

การจำลองการอพยพหนีไฟออกจากอาคารโรงพยาบาลด้วยแบบจำลอง PyroSim และ Pathfinder

พิชญภา จำรัมย์^{1*}, ประทีป ชัยเสริมเทวัญ² และ สุภัทร พัฒนวิชัยโชติ¹

¹ภาควิชา วิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*pichayapa.c@ku.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาระยะเวลาที่ปลอดภัยในการอพยพภายใต้สถานการณ์เพลิงไหม้ในอาคารโรงพยาบาลโดยใช้โปรแกรม Pyrosim, ศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพผู้ใช้อาคารออกจากอาคารโดยใช้โปรแกรม Pathfinder และเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงเส้นทางหนีไฟเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการอพยพ

การศึกษาดำเนินการโดยจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ในอาคารโรงพยาบาลสูง 3 ชั้น ด้วยโปรแกรม Pyrosim เพื่อวิเคราะห์การพัฒนาเพลิงและการแพร่กระจายของควัน และใช้โปรแกรม Pathfinder เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ ตัวแปรที่ใช้ในการประเมิน ได้แก่ อุณหภูมิ (THCP) ความเข้มข้นของก๊าซพิษ (FED) ระยะการมองเห็น และระดับชั้นควัน ซึ่งนำมาวิเคราะห์ร่วมกับแนวคิด Available Safe Egress Time (ASET) และ Required Safe Egress Time (RSET)

ผลการศึกษาพบว่า ในกรณีที่ไม่มีมาตรการควบคุมเพลิง สภาพแวดล้อมจากเพลิงไหม้เข้าสู่ระดับอันตรายอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะจากการสะสมของควันและก๊าซพิษ ส่งผลให้ค่า ASET ต่ำกว่าค่า RSET อย่างชัดเจน ขณะที่ผลการจำลองการอพยพแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการอพยพได้รับผลกระทบจากข้อจำกัดของผู้ใช้อาคารและสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

ความปลอดภัยในการอพยพขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมจากเพลิงไหม้เป็นหลัก โดยเฉพาะควันและทัศนวิสัย และแนวทางการปรับปรุง เช่น การติดตั้งระบบสปริงเกอร์ สามารถช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการอพยพได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การอพยพหนีไฟ ความปลอดภัยจากอัคคีภัย การจำลองเพลิงไหม้ PyroSim Pathfinder

Simulate Fire Evacuation from a Hospital Building Using PyroSim and Pathfinder Models

Phichayapa Jamram^{1*}, Prateep Chaisermewan² and Supat Patvichaichod¹

¹Safety Engineering and Environmental Management, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Sriracha

²Mechanical Engineering, Faculty of engineering at Sriracha, Kasetsart University, Sriracha Campus

*phichayapa.c@ku.th

Abstract

This study aims to evaluate the available safe egress time (ASET) under fire scenarios in a hospital building using PyroSim, determine the required safe egress time (RSET) using Pathfinder, and propose improvements to evacuation routes for enhancing evacuation safety.

Fire scenarios were simulated in a three-story hospital building using PyroSim to analyze fire development and smoke propagation, while Pathfinder was used to simulate occupant movement during evacuation. Key parameters, including temperature (THCP), fractional effective dose (FED), visibility, and smoke layer height (LH), were evaluated together with ASET and RSET concepts.

The results indicate that in scenarios without effective fire control measures, environmental conditions rapidly reach untenable levels, particularly due to smoke and toxic gas accumulation. As a result, ASET is significantly shorter than RSET, indicating unsafe evacuation conditions. Evacuation simulation results also show that evacuation time is influenced by occupant characteristics and environmental constraints.

Evacuation safety is primarily governed by fire-induced environmental conditions, especially smoke and visibility. Improvement measures such as sprinkler systems can significantly enhance evacuation safety.

Keywords: Fire evacuation, Fire safety, Fire simulation, PyroSim, Pathfinder

1. บทนำ

อัคคีภัยเป็นสาธารณภัยที่ส่งผลกระทบต่อชีวิต ทรัพย์สิน และความต่อเนื่องของบริการสาธารณะ โดยเฉพาะอาคาร ที่มีผู้ใช้งานจำนวนมาก [1] โรงพยาบาลมีความซับซ้อนด้านการอพยพมากกว่าอาคารทั่วไป เนื่องจากประกอบด้วย บุคลากรทางการแพทย์ ผู้ป่วย ญาติ และผู้มาใช้บริการ รวมถึงผู้ป่วยที่ต้องใช้รถเข็น เตียง หรือผู้ช่วยเหลือ ในการเคลื่อนย้าย เหตุเพลิงไหม้ในโรงพยาบาล ที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย การจัดลำดับการอพยพ และการควบคุมควันเป็นประเด็นสำคัญต่อการลดความสูญเสีย [2]

แนวคิด Performance-Based Fire Safety Design ประเมินความปลอดภัยจากความสัมพันธ์ระหว่าง ASET และ RSET โดย ASET คือระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเกิดเพลิงไหม้จนกระทั่งสภาวะแวดล้อมถึงเกณฑ์ที่ไม่ปลอดภัย ส่วน RSET คือผลรวมของเวลาตรวจจับ และแจ้งเหตุ เวลาก่อนเริ่มเคลื่อนที่ และเวลาเดินทางไปยังพื้นที่ปลอดภัย อาคารมีแนวโน้มปลอดภัยเมื่อ

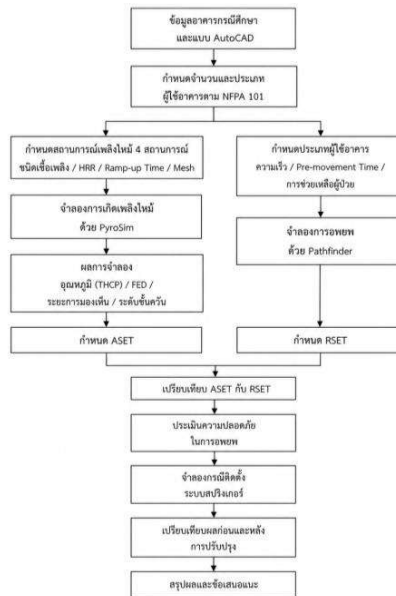
ASET มากกว่า RSET [3], [4] การศึกษานี้จึงใช้ PyroSim วิเคราะห์ความร้อน ก๊าซพิษ คว้น และทัศนวิสัย และใช้ Pathfinder วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของ ผู้ใช้อาคารภายใต้ข้อจำกัดของโรงพยาบาล

วัตถุประสงค์ของการศึกษา ได้แก่ (1) ประเมินสภาวะแวดล้อมจากเพลิงไหม้และค่า ASET ด้วย PyroSim (2) ประเมินการอพยพ และค่า RSET ด้วย Pathfinder และ (3) เสนอแนวทางปรับปรุงระบบป้องกันอัคคีภัยและการจัดการ อพยพผู้ป่วย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 กรอบการประเมินแบบสมรรถนะ

ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการสำรวจอาคารและแบบสถาปัตยกรรม การคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารตามประเภทพื้นที่ การคัดเลือก Design Fire Scenarios ตาม NFPA 101 การกำหนด HRR และ Ramp-up Time การสร้างแบบจำลอง PyroSim และ Pathfinder การหาค่า ASET และ RSET และการประเมินแนวทางปรับปรุงด้วยระบบสปริงเกอร์ การเปรียบเทียบทุกสถานการณ์ใช้รูปทรงอาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร และหลักเกณฑ์การประเมินเดียวกัน โดยเปลี่ยนเฉพาะเงื่อนไขที่กำหนดในแต่ละสถานการณ์ เช่น จุดต้นเพลิง เชื้อเพลิง สถานะประตู และการทำงานของระบบตรวจจับและแจ้งเหตุ กรอบแนวคิดในการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบการดำเนินการวิจัยตามแนวคิด Performance-Based Fire Safety Design

2.2 อาคารกรณีศึกษาและจำนวนผู้ใช้อาคาร

อาคารกรณีศึกษาเป็นโรงพยาบาลคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้น สูงจากระดับพื้นดิน 13.50 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยรวม 8,388.25 ตารางเมตร และมีจำนวนเตียงผู้ป่วย 50 เตียง แบบจำลองสร้างจากแปลนอาคารจริง โดยกำหนดตำแหน่งประตูทางเดิน บันได ห้องพักรักษาตัว ห้องเคิฟเวอร์ ห้องทำงานพยาบาล และห้องประชุมตามสภาพอาคาร ภาพรวมของอาคาร แปลนอาคาร และตำแหน่งสถานการณ์เพลิงไหม้แสดงดังภาพที่ 2

จำนวนผู้ใช้อาคารกำหนดตามมาตรฐาน NFPA 101: Life Safety Code (2021) [3] โดยคำนวณจากพื้นที่ใช้สอยและค่าความจุผู้ใช้อาคารตามประเภทกิจกรรม ดังสมการที่ (1)

$$\text{จำนวนผู้ใช้อาคาร (Occupant Load)} = \frac{\text{พื้นที่ (Area)}}{\text{ค่าความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)}} \quad (1)$$

โดยค่าความจุของผู้ใช้อาคารกำหนดตามประเภทกิจกรรมการใช้พื้นที่ตามมาตรฐาน NFPA 101 [3] ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ใช้อาคารที่ใช้ในการจำลอง

ชั้น	จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)	ประเภทพื้นที่ตามที่ใช้คำนวณในวิทยานิพนธ์
1	257	ชุมนุมคน (Assembly)
2	126	Residential Board and Care
3	140	Residential Board and Care
รวม	523	-



ภาพที่ 2 แพลนอาคารกรณีศึกษาแสดงตำแหน่งห้องต้นเพลิงในแต่ละสถานการณ์

2.3 การคัดเลือกสถานการณ์เพลิงไหม้

NFPA 101 กำหนดแนวคิด Design Fire Scenarios จำนวน 8 รูปแบบ งานวิจัยคัดเลือกสถานการณ์ที่ 1, 3, 5 และ 8 เนื่องจากสอดคล้องกับการใช้งานจริง ชนิดเชื้อเพลิง และความเป็นไปได้ของเหตุในโรงพยาบาล ส่วนสถานการณ์ที่ 2, 4, 6 และ 7 ไม่ถูกเลือก เนื่องจากเป็นกรณีที่มีเงื่อนไขเฉพาะหรือมีระดับความรุนแรงสูงกว่าความเสี่ยงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริงในอาคารกรณีศึกษา [3] จากกรอบดังกล่าวจึงกำหนดกรณีจำลอง 4 สถานการณ์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สถานการณ์จำลองเพลิงไหม้ในอาคารโรงพยาบาล

สถานการณ์	เหตุการณ์และเงื่อนไข	จุดต้นเพลิง	เชื้อเพลิง
1	ไฟฟ้าลัดวงจรทำให้ที่นอนลุกไหม้ ประตูห้องต้นเพลิงเปิดค้าง	ห้องพักผู้ป่วย ชั้น 2 ห้อง 223	ที่นอน
2	ไฟฟ้าลัดวงจร ประตูปิดสนิท ไม่มีผู้ใช้อาคาร และควันแพร่ตามรางสายไฟ	ห้องเซฟเวอร์ ชั้น 1	แผงวงจร
3	ไฟฟ้าลัดวงจร ระบบตรวจจับล่าช้า และประตูห้องต้นเพลิงเปิดค้าง	ห้องทำงานพยาบาล ชั้น 2	เคาน์เตอร์ไม้
4	ไฟฟ้าลัดวงจร ระบบตรวจจับและแจ้งเหตุไม่ทำงาน และมีทางออกจำกัด	ห้องประชุม ชั้น 3	โต๊ะไม้

2.4 การกำหนดเชื้อเพลิงและอัตราการปลดปล่อยความร้อน

ชนิดเชื้อเพลิงกำหนดจากการสำรวจพื้นที่จริง ส่วน HRR และ Ramp-up Time อ้างอิงผลการทดสอบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยที่นอนอ้างอิง Babrauskas [5] แผงวงจรอ้างอิง Babrauskas และคณะ [6] และวัสดุไม้อ้างอิง Kim และคณะ [7] ค่าที่ใช้จริงแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของวัตถุต้นเพลิงที่ใช้ในการจำลอง

สถานการณ์	เชื้อเพลิง	HRR สูงสุด (kW)	Ramp-up Time (s)	แหล่งข้อมูล
1	ที่นอน	1,150	88	Babrauskas [5]
2	แผงวงจร	205	396	Babrauskas et al. [6]
3	เคาน์เตอร์ไม้	215.6	13	Kim et al. [7]
4	โต๊ะไม้	215.6	13	Kim et al. [7]

2.5 การตั้งค่าแบบจำลอง PyroSim

ขนาดเซลล์ตาข่ายพิจารณาจาก FDS Mesh Size Calculator ของ UT Fire Research โดยป้อนขนาดแบบจำลอง และ HRR ของแต่ละสถานการณ์ [8] โดยผลการประเมินเสนอขนาดเซลล์ประมาณ $0.25 \times 0.25 \times 0.25$ เมตร อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เลือกใช้ขนาดเซลล์ตาข่าย $0.40 \times 0.40 \times 0.40$ เมตร เนื่องจากข้อจำกัดด้านสมรรถนะของคอมพิวเตอร์และระยะเวลาในการประมวลผล พร้อมแบ่งพื้นที่คำนวณเป็นหลาย Mesh Boundary และกำหนดเวลาจำลอง 1,000 วินาที



ตารางที่ 4 พารามิเตอร์และอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ใน PyroSim

รายการ	ค่าหรือวิธีที่ใช้จริง
Cell Size	กำหนดขนาดเซลล์ตาข่าย $0.40 \times 0.40 \times 0.40$ เมตร
ระยะเวลาจำลอง	1,000 s
FED device	ติดตั้งสูงจากพื้น 2.0 m ใกล้ต้นเพลิงและตามทางเดินทุก 8–10 m
Thermocouple (THCP)	ติดตั้งที่ระดับ 99% ของระยะจากพื้นห้อง
Visibility	ติดตั้งตำแหน่งเดียวกับ FED
Layer Height / Slide Plane	ใช้ประกอบการพิจารณาการแพร่ควัน โดย Slide Plane ในห้องต้นเพลิงและตามแนวทางเดิน

2.6 เกณฑ์สถานะที่เอื้อต่อการอพยพและการหาค่า ASET

งานวิจัยใช้ตัวแปรหลัก 2 ตัวในการกำหนด ASET ได้แก่ อุณหภูมิของชั้นก๊าซร้อน (THCP) ไม่เกิน 200°C และ Fractional Effective Dose (FED) ไม่เกิน 0.30 โดยเวลาที่ตัวแปรใดถึงเกณฑ์ก่อนถูกใช้เป็น ASET ของพื้นที่นั้น [9] ค่า Visibility และ Layer Height ใช้สนับสนุนการแปลผลการแพร่ควันและความสามารถในการใช้เส้นทางอพยพ แต่ไม่ได้ใช้เป็นตัวกำหนด ASET โดยตรง

ตารางที่ 5 เกณฑ์สถานะที่เอื้อต่อการอพยพและการกำหนดค่า ASET

ตัวแปร	ความหมาย	เกณฑ์ที่ใช้	หลักการพิจารณา / ที่มา
THCP (Temperature)	ผลกระทบจากความร้อนต่อความปลอดภัยในการอพยพ	$\text{THCP} < 200^{\circ}\text{C}$	ใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบระดับความรุนแรงด้านความร้อนภายในพื้นที่ต้นเพลิง ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันของทุกสถานการณ์ โดยใช้เพื่อการเปรียบเทียบเชิงสัมพัทธ์ของสภาวะวิกฤตมากกว่าการแทนค่าการสัมผัสของมนุษย์โดยตรง
FED (Fractional Effective Dose)	ผลกระทบของก๊าซพิษสะสมต่อความสามารถในการอพยพ	$\text{FED} < 0.30$	อ้างอิงแนวคิดด้าน Tenability โดย $\text{FED} = 0.30$ เป็นระดับที่เริ่มส่งผลกระทบต่อความสามารถในการตอบสนองและการอพยพของผู้ใช้อาคาร
Visibility	ความสามารถในการมองเห็นเส้นทางอพยพ ป้าย และสิ่งกีดขวาง	$\text{Visibility} > 5\text{ m}$	ใช้สนับสนุนการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการอพยพ โดยกำหนดให้สามารถมองเห็นเส้นทางอพยพและสิ่งกีดขวางได้ภายใต้สภาวะควัน
Smoke Layer Height	ระดับความสูงของชั้นควันเหนือพื้นหรือระดับหายใจ	Smoke Layer Height $> 2.5\text{ m}$	ใช้สนับสนุนการวิเคราะห์การแพร่กระจายของควัน โดยกำหนดให้ชั้นควันอยู่เหนือบริเวณเส้นทางอพยพและระดับการหายใจของผู้ใช้อาคาร

การศึกษานี้กำหนดค่า ASET จากเวลาที่อุณหภูมิจากจุดตรวจวัด THCP ถึง 200°C หรือค่า FED ถึง 0.30 โดยเลือกตัวแปรที่ถึงเกณฑ์ก่อนเป็นค่า ASET ส่วน Visibility และ Layer Height ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวิเคราะห์การแพร่กระจายของควันและความสามารถในการใช้เส้นทางอพยพ โดยไม่ได้ใช้กำหนดค่า ASET โดยตรง

2.7 การตั้งค่า Pathfinder และค่าพารามิเตอร์ผู้ใช้อาคาร

ผลสภาวะแวดล้อมจากการจำลองด้วย PyroSim ถูกนำมาใช้ประกอบการกำหนดเงื่อนไขการอพยพและการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม Pathfinder กำหนดระยะเวลาจำลอง 1,000 วินาที เพื่อให้ครอบคลุมการเคลื่อนย้ายผู้ใช้อาคารทั้งหมด ผู้ใช้อาคาร แบ่งเป็นผู้ที่อพยพได้ด้วยตนเองและผู้ที่ต้องได้รับความช่วยเหลือ การพยุงเดินและรถเข็นใช้ผู้ช่วย 1 คน ส่วนเตียงผู้ป่วยใช้ผู้ช่วย 2 คน โดยกำหนดให้ญาติผู้ป่วยช่วยการพยุงหรือเข็นรถเข็น และการเคลื่อนย้ายเตียงใช้ญาติผู้ป่วย 1 คนร่วมกับทีมตอบสนองเหตุฉุกเฉิน 1 คน ค่าความเร็วและ Pre-movement Time อ้างอิง Tinaburri และคณะ [10] และข้อมูลความเร็วในโรงพยาบาลของ Jiang และคณะ [11]

ตารางที่ 6 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้อาคารที่ใช้ใน Pathfinder

Profile ที่ใช้	การแจกแจง	ค่าเฉลี่ย μ (m/s)	σ	Min-Max ที่ใช้
ชายสุขภาพดี วัยกลางคน	ค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลอ้างอิง	1.15	0.06	1.01–1.30
หญิงสุขภาพดี วัยกลางคน	ค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลอ้างอิง	1.03	0.06	0.90–1.20
เด็กสุขภาพดี	ค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลอ้างอิง	0.95	0.08	0.81–1.10
ผู้สูงอายุสุขภาพดี	ค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลอ้างอิง	0.69	0.07	0.50–0.81
ผู้ป่วยชาย วัยกลางคน	ค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลอ้างอิง	1.00	0.06	0.90–1.10
ผู้ป่วยหญิง วัยกลางคน	ค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลอ้างอิง	0.85	0.06	0.75–0.95
ผู้ป่วยเด็ก	ค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลอ้างอิง	0.60	0.05	0.54–0.70
ผู้ป่วยสูงอายุ	ค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลอ้างอิง	0.50	0.03	0.45–0.60
ใช้ไม้พยุง	Normal	0.94	0.30	$\mu-1.0\sigma$ ถึง $\mu+1.4\sigma$
นั่งรถเข็นและเคลื่อนที่ได้เอง	Normal	0.69	0.35	$\mu-2.2\sigma$ ถึง $\mu+1.9\sigma$
ผู้ป่วยเดินโดยมีผู้ช่วยพยุง 1 คน	Normal	0.71	0.34	$\mu-1.7\sigma$ ถึง $\mu+1.8\sigma$
ผู้ป่วยรถเข็นโดยมีผู้ช่วย 1 คน	Normal	0.63	0.40	$\mu-3.0\sigma$ ถึง $\mu+3.0\sigma$
ผู้ป่วยเตียงโดยมีผู้ช่วย 2 คน	Normal	0.40	0.40	$\mu-3.0\sigma$ ถึง $\mu+3.0\sigma$

ตารางที่ 7 ระยะเวลาก่อนเริ่มอพยพของผู้ใช้อาคารแต่ละกลุ่ม

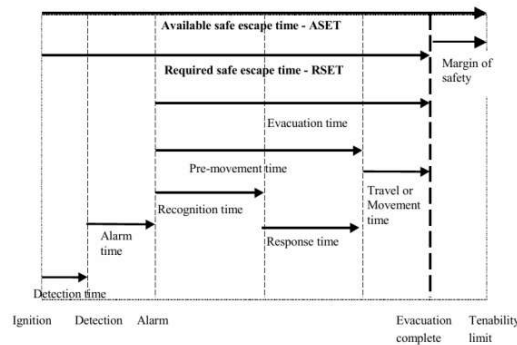
กลุ่มผู้ใช้อาคาร	การแจกแจง	μ (s)	σ (s)	Min-Max (s)
พนักงานโรงพยาบาล	Log-normal	71	60	30–246
กลุ่มผู้ใช้อาคาร	การแจกแจง	μ (s)	σ (s)	Min-Max (s)
ทีมตอบสนองเหตุฉุกเฉิน	Log-normal	43	6.44	30–60
ผู้ใช้อาคารอื่น/ผู้มาเยือน/ผู้ป่วยที่อพยพเอง	Log-normal	62.7	19.11	30–120
ผู้ป่วยเดินโดยมีผู้ช่วยพยุง	Normal	60	20	30–90
ผู้ป่วยรถเข็นโดยมีผู้ช่วย	Normal	110	36	2–218
ผู้ป่วยเตียงโดยมีผู้ช่วย	กำหนดเท่ากับรถเข็น	110	36	2–218

Delay Time ก่อนการรับรู้เหตุถูกกำหนดตามเวลาตั้งแต่เริ่มเกิดเพลิงจนระบบแจ้งเหตุทำงานในแต่ละสถานการณ์ ขณะที่ Pre-movement Time เป็นค่าตามตารางข้างต้น ดังนั้น RSET ในงานวิจัยไม่ได้ใช้ค่าความเร็วหรือเวลาหน่วงเดียวกัน สำหรับ ผู้ใช้อาคารทั้งหมด แต่สะท้อนความแตกต่างของบุคลากร ผู้ป่วยและผู้ที่ต้องได้รับความช่วยเหลือ

2.8 การประเมินความปลอดภัยด้วย ASET และ RSET

การประเมินความปลอดภัยในการอพยพพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่สภาพแวดล้อมยังคงปลอดภัยต่อการอพยพ (Available Safe Egress Time; ASET) และระยะเวลาที่ผู้ใช้อาคารต้องใช้ในการอพยพออกจากพื้นที่อันตราย (Required Safe Egress Time; RSET) โดยองค์ประกอบของระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพแสดงดังภาพที่ 3

อาคารหรือพื้นที่ที่พิจารณาจะถือว่ามีความปลอดภัยเมื่อค่า ASET มากกว่าค่า RSET โดยผลต่างระหว่าง ASET และ RSET แสดงถึงระยะเผื่อความปลอดภัย (Margin of Safety)



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพและความสัมพันธ์ระหว่าง ASET และ RSET ที่มา: (NIST Special Publication 1061, 2006) [4]

2.9 การออกแบบระบบสปริงเกอร์สำหรับการปรับปรุง

สถานการณ์ที่ 1 และ 4 ถูกนำมาจำลองซ้ำหลังติดตั้งระบบสปริงเกอร์ โดยออกแบบตามแนวทาง NFPA 13 สำหรับพื้นที่ Light Hazard [12] และนำค่าคำนวณไปตั้งค่าใน PyroSim โดยได้ค่าดังนี้



- ประเภทความเสี่ยง Light Hazard
- ขนาดพื้นที่ที่พิจารณา กว้าง 7.9 m × ยาว 85.9 m
- ความหนาแน่นการจ่ายน้ำ 4.1 L/min/m²
- พื้นที่ปกป้องสูงสุดต่อหัว 20 m²
- ระยะห่างสูงสุดระหว่างหัว 4.6 m
- จำนวนหัว 38 หัว (2 แนว × 19 หัว)
- ระยะห่างจริงระหว่างหัว 4.521 m
- พื้นที่ปกป้องจริงต่อหัว 17.86 m²
- อัตราการไหลต่อหัว 73.23 L/min
- K-factor 80
- แรงดันคำนวณ/ค่าที่ใช้ในแบบจำลอง 0.84 bar / ใช้ 1 bar
- อุณหภูมิทำงานและ RTI ใช้ค่าเดิมของโปรแกรม (ผลการจำลองเริ่มทำงานประมาณ 47–61 s ที่ประมาณ 68°C)

2.10 ข้อจำกัดของการศึกษา

ผลการจำลองขึ้นอยู่กับสมมติฐานของ HRR สถานะประตู การทำงานของระบบตรวจจับและแจ้งเหตุ ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัด ความเร็ว Pre-movement Time และจำนวนผู้ช่วยเหลือ แบบจำลองไม่สามารถแทนพฤติกรรมมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงแบบพลวัต ความตื่นตระหนก หรือความล้มเหลวพร้อมกันของหลายระบบได้ทั้งหมด นอกจากนี้

ขนาด Mesh ถูกเลือกภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากรคอมพิวเตอร์ จึงควรพิจารณาผลในขอบเขตของสมมติฐานและควรทำ Mesh Sensitivity หรือ Sensitivity Analysis ในการศึกษาต่อไป

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลการเปรียบเทียบ ASET และ RSET

ตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบ ASET และ RSET ห้องต้นเพลิง

สถานการณ์	ASET (s)	RSET (s)	ส่วนต่าง ASET-RSET (s)	ผลประเมิน
1 ห้องพักผู้ป่วย	43	104	-61	ไม่ปลอดภัย
2 ห้องเซิร์ฟเวอร์	146	N/A*	N/A*	ไม่มีผู้ใช้อาคารในห้องต้นเพลิง
3 ห้องทำงานพยาบาล	>1,000	>1,000	ระบุค่าแน่นอนไม่ได้	ผ่านภายในขอบเขตเวลาที่ประเมิน
4 ห้องประชุม	39	260	-221	ไม่ปลอดภัย

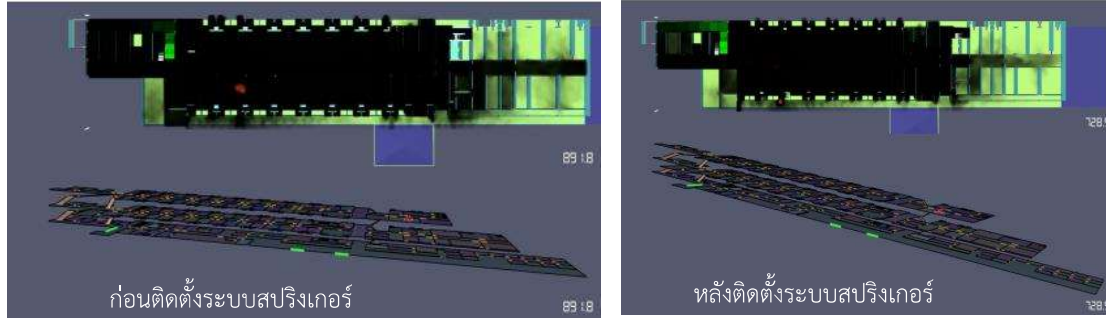
หมายเหตุ N/A* ไม่สามารถประเมินค่า RSET ภายในห้องต้นเพลิงได้ เนื่องจากไม่มีผู้ใช้อาคารอยู่ในพื้นที่ต้นเพลิง

สถานการณ์ที่ 1 มี HRR สูงที่สุดและประตูห้องต้นเพลิงเปิดค้าง ทำให้ THCP ถึง 200°C ที่เวลา 43 วินาที ขณะที่ FED ถึง 0.30 ที่เวลา 121 วินาที จึงใช้ 43 วินาทีเป็น ASET ค่า RSET 104 วินาทีสะท้อนเวลาของผู้ช่วยเหลือและการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยติดเตียง

สถานการณ์ที่ 2 ไม่ประเมินค่า RSET ภายในห้องต้นเพลิง เนื่องจากไม่มีผู้ใช้อาคารอยู่ภายใน อย่างไรก็ตามยังพิจารณาการแพร่กระจายของควันไปยังพื้นที่ข้างเคียงในการวิเคราะห์ผล

สถานการณ์ที่ 4 มี ASET ต่ำที่สุด 39 วินาที และ RSET 260 วินาทีจากข้อจำกัดของทางออกเพียงทางเดียวและมีผู้ใช้อาคารอยู่เป็นจำนวนมาก จึงมีส่วนต่างความปลอดภัยติดลบมากที่สุด

สถานการณ์ที่ 3 ไม่พบสภาวะแวดล้อมถึงเกณฑ์ไม่ปลอดภัย ภายในระยะเวลาจำลอง 1,000 วินาที จึงสามารถสรุปได้ว่าพื้นที่ดังกล่าวยังคงมีสภาวะแวดล้อมที่เอื้อต่อการอพยพตลอดช่วงเวลาจำลอง 1,000 วินาที



ภาพที่ 4 แสดงการแพร่กระจายควัน และการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ ในสถานการณ์ที่ 1

ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้งระบบสปริงเกอร์ โดยกรณีไม่ติดตั้งสปริงเกอร์ ควันแพร่กระจายครอบคลุมชั้นเกิดเหตุและเส้นทางอพยพหลัก มีค่า FED เท่ากับ 13.87 อุณหภูมิสูงสุด 752.16°C และใช้เวลาอพยพออกจากอาคาร 891.8 วินาที ขณะที่กรณีติดตั้งสปริงเกอร์ อุณหภูมิสูงสุดลดลงเหลือ 80.17°C การแพร่กระจายควันช้าลง ค่า ASET เพิ่มขึ้นจาก 43.0 เป็น 48.0 วินาที (11.72%) และเวลาอพยพลดลงเหลือ 728.5 วินาที หรือลดลง 163.3 วินาที (18.31%)

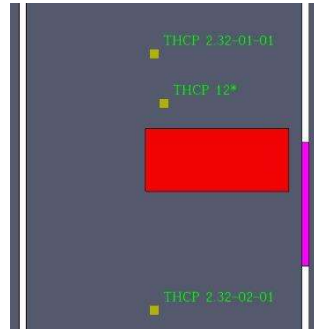
3.2 ผลของระบบสปริงเกอร์

ค่า RSET ที่ใช้เปรียบเทียบกับ ASET เป็นระยะเวลาอพยพของผู้ใช้อาคารในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากต้นเพลิง ส่วนเวลาอพยพออกจากอาคารเป็นระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเหตุจนผู้ใช้อาคารทุกคนออกจากอาคารหรือถึงพื้นที่ปลอดภัย จึงเป็นผลลัพธ์คนละระดับการประเมินและไม่ควรใช้แทนกัน

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบ ASET และ RSET สถานการณ์ที่ 1 ณ ชั้นต้นเพลิง

ตำแหน่ง	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ASET ก่อนติด (วินาที)	43	872	760	812	867	909	912	>1000	>1000	573	>1000
ASET หลังติด (วินาที)	43	809	987	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	849	>1000
ASET เพิ่มขึ้น	0	-63	227	118	55	91	88	-	-	276	-
REST ก่อนติด (วินาที)	104	367	315	266	372	421	472	503	540	415	724
RSET หลังติด (วินาที)	104	247	218	201	263	313	363	390	429	297	561
ลดลง	0	120	97	65	109	108	109	113	111	118	163

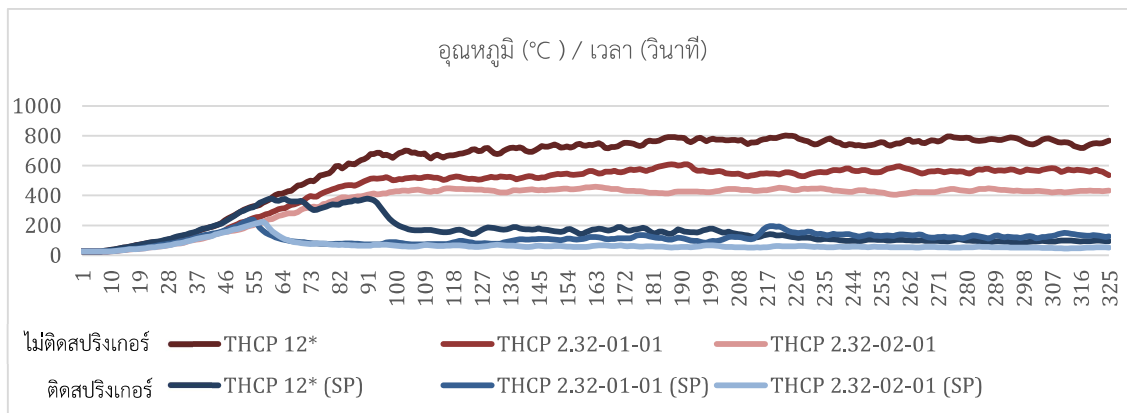
หมายเหตุ: เครื่องหมาย "-" หมายถึง ค่า ASET มากกว่า 1,000 วินาที หรือไม่สามารถคำนวณค่าความแตกต่างได้ภายในช่วงเวลาจำลอง



ภาพที่ 5 ตำแหน่งติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ ในห้องต้นเพลิง ในสถานการณ์ที่ 1

จากภาพที่ 5 จุดตรวจวัด THCP 12* ซึ่งอยู่ภายในห้องต้นเพลิง และการติดตั้งจุดวัดใกล้กับต้นเพลิงมากเกินไป ทำให้ค่า ASET ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่อช่วงเวลา พบว่า กรณีไม่ติดตั้งระบบสปริงเกอร์ อุณหภูมิถึงเกณฑ์อันตรายที่ 43 วินาที และเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนมีค่าสูงสุดประมาณ 800°C ขณะที่กรณีติดตั้งระบบสปริงเกอร์ THCP 12* (SP) อุณหภูมิถึงเกณฑ์อันตรายที่ 43 วินาทีเท่ากัน แต่ลดลงจนต่ำกว่าเกณฑ์อันตราย ในวินาทีที่ 99 โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 380°C

ผู้วิจัยจึงเพิ่มจุดวัด 2 จุด ที่จุดเดียวกันกับสปริงเกอร์ สำหรับจุดตรวจวัดภายนอกห้องต้นเพลิง ได้แก่ THCP 2.32-01-01 และ THCP 2.32-02-01 พบว่า อุณหภูมิมากกว่าเกณฑ์อันตราย เพียง 5 วินาที และเห็นได้ชัดเจนว่ากรณีติดตั้งระบบสปริงเกอร์มีอุณหภูมิต่ำกว่ากรณีไม่ติดตั้งตลอดช่วงเวลาการจำลอง แสดงให้เห็นว่าระบบสปริงเกอร์สามารถควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในห้องต้นเพลิง และลดการถ่ายเทความร้อนไปยังพื้นที่โดยรอบได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่แสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก่อนและหลังติดตั้งระบบสปริงเกอร์ในสถานการณ์ที่ 1

อุณหภูมิที่จุดตรวจวัด THCP ภายในและภายนอกห้องต้นเพลิง ระหว่างกรณีติดตั้งและไม่ติดตั้งระบบสปริงเกอร์ เพื่อแสดงผลของระบบสปริงเกอร์ต่อการควบคุมอุณหภูมิและการแพร่กระจายความร้อน

3.3 อภิปรายผล

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปัจจัยสำคัญไม่ได้มีเพียงระยะทางหนีไฟ แต่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการพัฒนาเพลิง กับความสามารถในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ค่า ASET ของสถานการณ์ที่ 1 และ 4 ต่ำมากเมื่อเทียบกับ RSET เนื่องจากสภาพแวดล้อมถึง เกณฑ์อันตรายในช่วงต้น ขณะที่ผู้ป่วยบางกลุ่มต้องรอผู้ช่วยและใช้อุปกรณ์เคลื่อนย้าย ผลดังกล่าวสอดคล้อง

กับงานด้านการอพยพ โรงพยาบาลที่ระบุว่าความแตกต่างด้านความเร็ว Pre-movement Time และการช่วยเหลือผู้ป่วยเพิ่มระยะเวลาการอพยพอย่าง มีนัยสำคัญ [10], [11]

การปรับปรุงจึงควรดำเนินการแบบบูรณาการ ได้แก่ ควบคุมเพลิงระยะเริ่มต้นด้วยสปริงเกอร์ ควบคุมการแพร่ควัน แบ่งพื้นที่ป้องกันควัน จัดการอพยพในแนวราบ เพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบตรวจจับและแจ้งเหตุ กำหนดทีมช่วยเหลือผู้ป่วยตามจำนวนเตียง และฝึกซ้อมโดยใช้รถเข็นและเตียงจริง ทั้งนี้ การอ้างว่า “สปริงเกอร์เพิ่มความปลอดภัยอย่างมีนัยสำคัญ” ควรแสดงค่าก่อนและหลังเชิงปริมาณตามตารางที่ 10 ไม่ควรสรุปจากกราฟอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว

ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นว่าการติดตั้งระบบสปริงเกอร์เพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอสำหรับอาคารโรงพยาบาลที่มีผู้ป่วยช่วยเหลือตนเองไม่ได้ จึงควรใช้มาตรการด้านวิศวกรรมและการบริหารจัดการร่วมกัน

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

อาคารกรณีศึกษาที่มีผู้ใช้อาคาร 523 คน และถูกประเมินภายใต้ 4 สถานการณ์เพลิงไหม้ สถานการณ์ที่ 1 และ 4 ไม่ผ่านเกณฑ์เพราะ ASET ต่ำกว่า RSET ส่วนสถานการณ์ที่ 2 ไม่มีผู้ใช้อาคารในห้องต้นเพลิง และสถานการณ์ที่ 3 ผ่านภายในช่วงเวลาที่ประเมิน การติดตั้งสปริงเกอร์ช่วยลดอุณหภูมิและเวลาอพยพ แต่เพิ่ม ASET ได้เฉพาะสถานการณ์ที่ 1 ขณะที่สถานการณ์ที่ 4 ยังมี ASET เท่าเดิมดังนั้นการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยของโรงพยาบาลต้องพิจารณาระบบ ควบคุมควัน การอพยพในแนวราบ ความพร้อม ของผู้ช่วยเหลือ และความน่าเชื่อถือของระบบแจ้งเหตุร่วมกัน

ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ ได้แก่ (1) ติดตั้งและบำรุงรักษาระบบสปริงเกอร์ในพื้นที่ผู้ป่วยและพื้นที่เชื้อเพลิงสูง งานวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาผลของระบบควบคุมควันต่อค่า ASET วิเคราะห์ผลของจำนวนบุคลากรต่อค่า RSET และเปรียบเทียบผลก่อน-หลังการปรับปรุงระบบอัคคีภัยและระบบอพยพของอาคาร

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาคีวิชาชีพวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตลอดจนคณาจารย์และผู้เกี่ยวข้องที่ให้ความแนะนำและสนับสนุนข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] Department of Disaster Prevention and Mitigation. (2023). Disaster statistics. (In Thai).
- [2] Dailynews Online. (2023, March 23). Fire at Rama II Hospital. (In Thai).
- [3] National Fire Protection Association. (2021). NFPA 101: Life Safety Code.
- [4] National Institute of Standards and Technology. (2006). NIST Special Publication 1061.
- [5] Babrauskas, V. (1980). Combustion of Mattresses Exposed to Flaming Ignition Sources Part II: Bench-Scale Tests and Recommended Standard Test. NBSIR.
- [6] Babrauskas, V., et al. (1988). Fire Hazard Comparison of Fire-Retarded and Non-Fire-Retarded Products. NBS Special Publication.
- [7] Kim, H.-J., et al. (2000). Heat Release Rates of Burning Items in Fires. 38th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit.
- [8] UT Fire Research Group. (n.d.). FDS Mesh Size Calculator.
- [9] Ye, C., Liu, Y., & Sun, C. (2020). Risk assessment of pedestrian evacuation under the influence of fire products. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2020, 9540942.



- [10] Tinaburri, A., Ponziani, F. A., & Ricci, V. (2018). Agent Based Modeling of Meta-Communication with Assisted People During Emergency Egress. FEMTC 2018.
- [11] Jiang, Z.-M., Zhang, P.-H., Shang, R.-X., & Tian, X.-L. (2014). Investigation and simulation on human evacuation behaviour in large hospital building in Shenyang. Procedia Engineering, 71, 101-106.
- [12] National Fire Protection Association. (2019). NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems.