

การศึกษาเปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองกับการฝึกซ้อมอพยพจริง ในพื้นที่อาคารสูงสำนักงาน[†]

Comparison of Process of Simulation to Actual Fire Evacuation Drills in a High-Rise Office Building Area

อรวรรณ บัวแย้ม^{1*} และ ธงไชย โรหิตะดิษฐ์ ศรีนพคุณ²Orawan Buayaem¹ and Thongchai Rohitatisha Srinophakun²¹สาขาสหวิทยาการความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) กรุงเทพมหานคร 10900²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) กรุงเทพมหานคร 10900¹Graduate Program in Safety Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*อีเมล: orawan.buay@ku.th

บทคัดย่อ

บทความนี้จำลองการอพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder เปรียบเทียบกับการซ้อมอพยพหนีไฟจริงในปี 2566 ในพื้นที่อาคารสำนักงาน ความสูง 22 ชั้น ขนาดพื้นที่ทั้งหมด 36,700 ตารางเมตร พื้นที่ใช้งาน 6.66 ตารางเมตรต่อคน เส้นทางหนีไฟ 2 ทาง จำนวนพนักงานทั้งหมดประมาณ 3,000 คน ในการจำลองสถานการณ์กำหนดจำนวนคนทั้งหมด 901 คนและเปรียบเทียบระยะเวลาในการอพยพคนออกนอกอาคาร กรณีไม่กำหนดผู้นำอพยพและเส้นทางหนีไฟกับกรณีกำหนดผู้นำอพยพและเส้นทางหนีไฟโดยการแบ่งจำนวนคนในพื้นที่ 70 % ให้ใช้บันไดหนีไฟที่ 1 อีก 30 % ให้ใช้บันไดหนีไฟที่ 2 พบว่าเมื่อเทียบกับการซ้อมอพยพจริงโดยไม่มีการกำหนดผู้นำอพยพและเส้นทางหนีไฟ พบปัญหาเดียวกันคือ ผู้อพยพบางรายไม่ทราบเส้นทางหนีไฟ บันไดหนีไฟที่ 2 มีความแออัดสูงกว่าบันไดหนีไฟที่ 1 เนื่องจากบันไดหนีไฟที่ 2 มีขนาดเล็กกว่าบันไดหนีไฟที่ 1 แต่ยังสามารถอพยพคนออกจากอาคารได้โดยใช้เวลาไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด และกรณีกำหนดผู้นำอพยพและเส้นทางหนีไฟใช้เวลาในการอพยพคนออกนอกอาคารน้อยกว่าถึง 10 นาที 15 วินาที เมื่อเทียบกับการไม่กำหนดเส้นทางหนีไฟเนื่องจากไม่พบปริมาณความแออัดในบันไดหนีไฟที่ 1 และ 2 การใช้โปรแกรม Pathfinder ในการจำลองการอพยพหนีไฟสามารถนำผลการจำลองมาปรับใช้ในการจัดทำแผนอพยพคนภายในอาคารกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน

คำสำคัญ: โปรแกรม Pathfinder, การจำลองการอพยพหนีไฟ, บันไดหนีไฟ, เส้นทางหนีไฟ, ผู้นำอพยพ

Abstract

This article simulates fire evacuation using the Pathfinder program, comparing it with real fire evacuation drills in 2023 in the office building of 22 floors with a total area of 36,700 square meters. The usable area is 6.66 square meters per person, with 2 fire exit stairs. The total number of employees is approximately 3,000. In simulating the scenario, 901 people are considered, and the evacuation time is compared between scenarios where no evacuation leader and exit route are designated, and where they are designated, dividing the number of people in the area so that 70 % use fire exit stair 1 and 30 % use fire exit stair 2. The same issue as in the real evacuation drills without designated leaders and routes is encountered: some evacuees are unaware of the fire evacuation routes. Fire exit stair 2 is more congested than fire exit stair 1 due to its smaller size, however it can still evacuate people within the legally required time. When designated evacuation leaders and exit routes are employed, evacuation time is reduced by up to 10 min 15 s compared to scenarios without designated routes due to reduced congestion. The use of the Pathfinder program for fire evacuation simulation can be adapted to develop emergency evacuation plans within the building in case of emergencies.

Keywords: Pathfinder program, Fire evacuation simulation, Fire exit stairs, Exit route, Evacuation leaders

[†]Presented at the National Conference on Routine to Research (R2R) for High Performance Organization 2024 (March 27, 2024 at Walailak University, Thailand)

บทนำ

เหตุการณ์เพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในอดีตจนถึงปัจจุบัน นับเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง อีกทั้งยังสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่โรงงานหรืออาคารสำนักงานที่มีจำนวนพนักงานอยู่ในพื้นที่เป็นจำนวนมากเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้อาจเกิดความแออัดในเส้นทางหนีไฟได้ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของพนักงาน หน่วยงานภาครัฐจึงได้ออกกฎหมาย ให้สถานประกอบการดำเนินการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เพื่อความปลอดภัยของลูกจ้างกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินจะได้อพยพคนออกจากอาคารได้อย่างถูกต้องปลอดภัยและใช้ระยะเวลาไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด (กระทรวงแรงงาน, 2555)

อาคารสำนักงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นอาคารสูง 22 ชั้น พื้นที่สำนักงาน 20,000 ตร.ม. มีจำนวนพนักงานทั้งหมดประมาณ 3,000 คน รูปแบบการใช้อาคารแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนสำนักงาน Co-working space ศูนย์ประชุมและห้องสัมมนา ซึ่งในปี 2566 ที่ผ่านมา อาคารสำนักงานที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้ทำการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟประจำปี มีจำนวนผู้เข้าร่วมซ้อมอพยพ 901 คน คิดเป็น 30 % ของจำนวนผู้ใช้อาคารทั้งหมด พบว่าผู้อพยพทำการอพยพโดยไม่รอสัญญาณแจ้งเตือนเหตุเพลิงไหม้ในพื้นที่ตนเองและไม่ทราบเส้นทางหนีไฟภายในอาคาร นอกจากนี้ยังพบว่าบันไดหนีไฟทางที่ 2 เกิดความแออัดบริเวณประตูหนีไฟที่ชั้น L ซึ่งเป็นประตูที่จะนำพาคนออกไปภายนอกอาคาร รวมทั้งจุดรวมพลที่จัดตั้งไม่สามารถรองรับจำนวนคนอพยพทั้งหมดได้

ดังนั้นการใช้โปรแกรม Pathfinder จำลองการอพยพหนีไฟจึงเป็นทางเลือกในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการจัดการระบบป้องกันเหตุเพลิงไหม้ เป็นเครื่องมือที่สามารถจำลองการตอบสนองต่อเหตุเพลิงไหม้ของผู้ใช้งานในพื้นที่เพื่อศึกษาปริมาณความแออัดของผู้ใช้อาคารในบันไดหนีไฟกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ ของผู้ใช้อาคาร และนำไปปรับปรุงระบบการจัดการป้องกันเหตุเพลิงไหม้ให้มีประสิทธิภาพและสามารถอพยพคนในพื้นที่ออกจากอาคารได้เร็วที่สุด (กรทิพย์ ศรีพรหม, 2560; ชลธิชา วงศ์เสงี่ยม, 2561)

อย่างไรก็ดีการจำลองโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปควรมีการเปรียบเทียบผลกับการทดสอบการอพยพจริง เพื่อศึกษาปริมาณความแออัดของผู้ใช้อาคารในบันไดหนีไฟกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้และในการอพยพคนในพื้นที่ออกจากอาคารได้เร็วที่สุดให้ เกิดความมั่นใจในผลการจำลองและนำไปสู่การออกแบบเส้นทางอพยพ

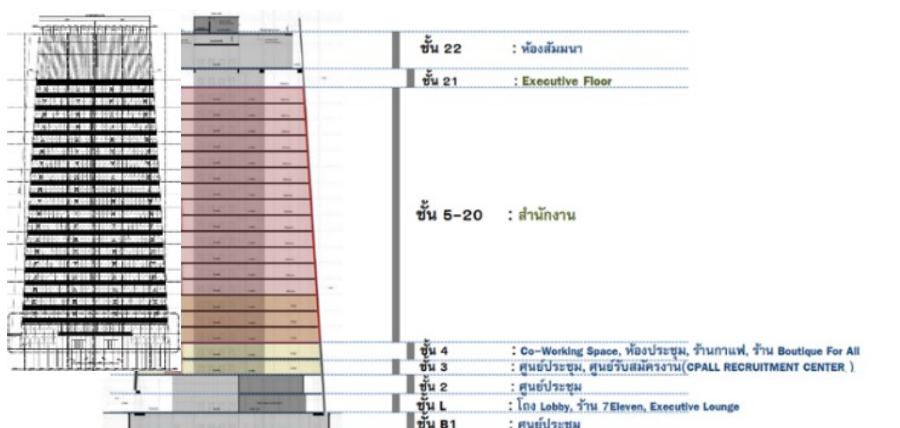
วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความแออัดของผู้ใช้อาคารในบันไดหนีไฟกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้เทียบกับการผลการซ้อมอพยพหนีไฟจริงในปี 2566
2. เพื่อเสนอแนวทางในกำหนดเส้นทางอพยพหนีไฟเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคารสำนักงาน
3. เพื่ออพยพคนในพื้นที่ออกจากอาคารได้เร็วที่สุด

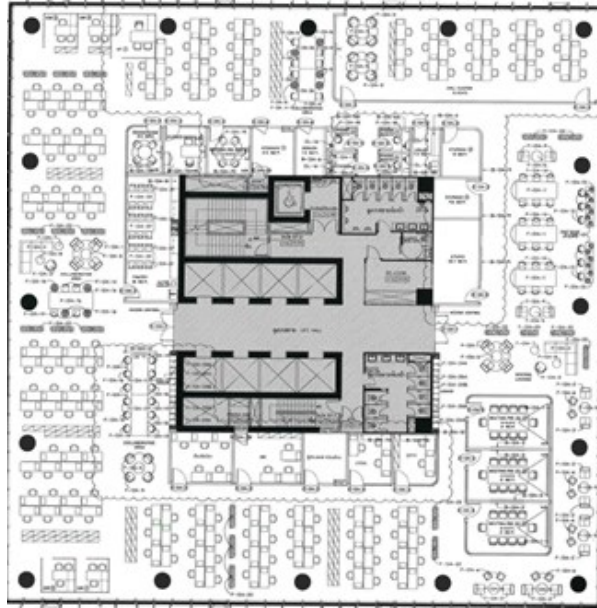
วิธีการศึกษา

1. ศึกษาแบบจำลองอาคารและปัจจัยที่มีผลต่อการอพยพหนีไฟ

- 1.1 รูปแบบพื้นที่ใช้สอยของอาคาร (ภาพที่ 1 และภาพที่ 2)
- 1.2 บันไดหนีไฟภายในอาคาร
- 1.3 จำนวนประตูและความกว้างของประตูทางออก
- 1.4 จำนวนผู้ใช้อาคาร



ภาพที่ 1 การแบ่งพื้นที่ใช้สอยของอาคาร



ภาพที่ 2 ตัวอย่าง Lay out ภายในชั้น

การศึกษาข้อมูลอาคารสรุปได้ดังนี้ อาคารสำนักงานเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ประเภทอาคารสูง ความสูง 107.6 เมตร ขนาดพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 36,700 ตารางเมตร พื้นที่ใช้งาน 6.66 ตร.ม/คน อาคารมีจำนวนชั้นทั้งหมด 22 ชั้น ภายในอาคารมีบันไดหนีไฟจำนวน 2 ทาง มีจำนวนพนักงานทั้งหมดประมาณ 3,000 คนพื้นที่ใช้สอยตามประเภทการใช้งานเป็น 4 ประเภทดังนี้

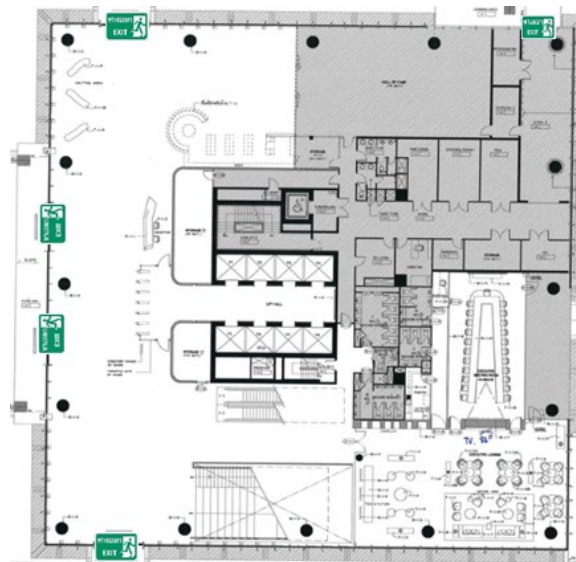
ประเภทที่ 1 ชั้น B1 และชั้น 1 - 3 เป็นพื้นที่ศูนย์ประชุมและห้องสัมมนา

ประเภทที่ 2 ชั้น 4 เป็นพื้นที่ Co-working space

ประเภทที่ 3 ชั้น 5 - 21 เป็นโซนสำนักงาน

ประเภทที่ 4 ชั้น 22 เป็นห้องสัมมนา

ภายในอาคารสำนักงานมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเหตุเพลิงไหม้ในพื้นที่ เช่น อุปกรณ์ตรวจจับควัน อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน อุปกรณ์ดับเพลิงอัตโนมัติ รวมทั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแจ้งเหตุซึ่งอาคารได้กำหนดให้ขั้นตอนการแจ้งสัญญาณฉุกเฉินหรือการแจ้งสัญญาณเตือนแจ้งเหตุเพลิงไหม้เป็นแบบหลายขั้นตอน (Multi state alarm) วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2559) บันไดหนีไฟที่ 1 ความกว้างของประตูหนีไฟ 90 ซม. สูง 240 ซม. ความกว้างของบันไดหนีไฟ 90 ซม. ลูกตั้ง 17 ซม. ลูกนอน 25 ซม. ราวจับสูง 90 ซม. หนีไฟที่ 2 ความกว้างของประตูหนีไฟ 90 ซม. สูง 240 ซม. ความกว้างของบันไดหนีไฟ 150 ซม. 15 ซม. ลูกนอน 25 ซม. ราวจับสูง 90 ซม. ประตูหนีไฟและผนังสามารถทนไฟได้น้อย 2 ชั่วโมง ประตูทางออกไปสู่นอกอาคารตั้งอยู่ที่ชั้น L มีจำนวนประตูทางออกทั้งหมด 5 ประตู (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 จำนวนประตูทางออกจากอาคาร

การจำลองขั้นตอนการอพยพหนีไฟโดยโปรแกรม Pathfinder ในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองการอพยพคนออกนอกอาคารเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้โดยกำหนดจำนวนคนในการจำลองทั้งหมด 901 คนตามจำนวนที่มีการซ่อมอพยพจริงในปี 2566 เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกนอกอาคารกรณีไม่กำหนดเส้นทางหนีไฟให้กับคนในแต่ละชั้นกับกรณีมีการกำหนดเส้นทางหนีไฟในแต่ละชั้นโดยกำหนดโซนพื้นที่ในแต่ละชั้นในการใช้บันไดทางหนีไฟ (ภาพที่ 4)



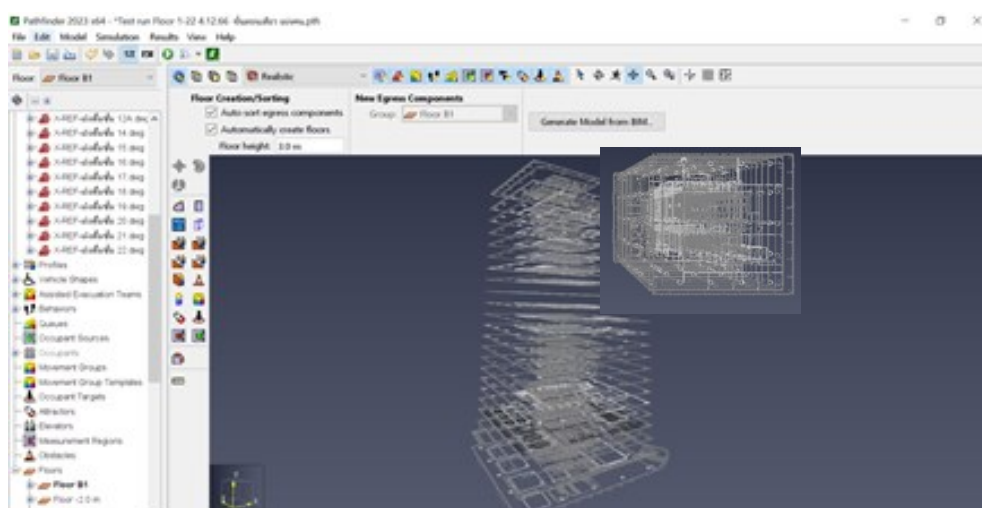
ภาพที่ 4 แสดงการกำหนดเส้นทางหนีไฟ

2. สร้างแบบจำลองอาคารโดยใช้โปรแกรม Pathfinder และโปรแกรม Auto CAD

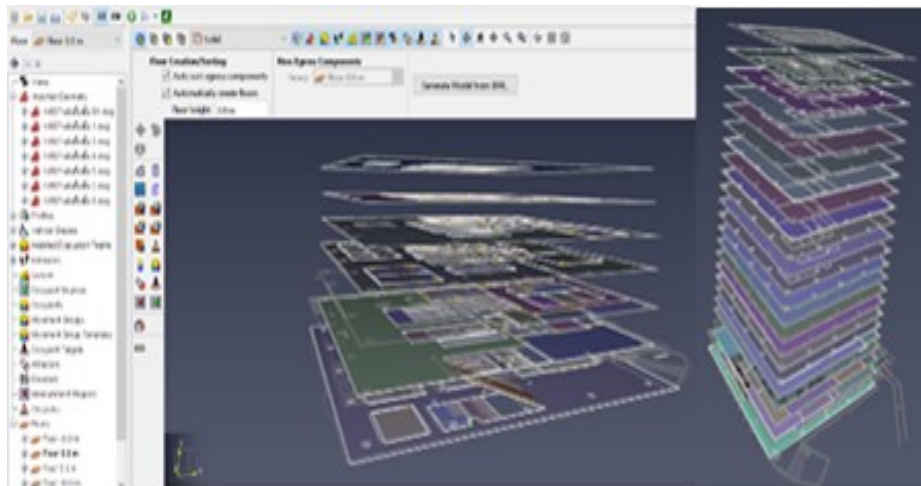
สร้างแบบจำลองเสมือนจริงของอาคารสำนักงาน เริ่มจากการ Import file auto CAD 2021 ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารลงในโปรแกรม Pathfinder Thunderhead Engineering (2023) จากนั้นดำเนินการสร้างแบบจำลองอาคาร โดยการวาดพื้นที่อาคาร ประตู ทางหนีไฟในแต่ละชั้นให้ได้ขนาดและสัดส่วนตามไฟล์ Auto CAD เพื่อสร้างอาคารที่ใช้ในการจำลองให้มีความเสมือนจริงกับอาคารจริงมากที่สุด (ภาพที่ 6) หลังจากวาดโครงสร้างอาคารเรียบร้อยแล้วทำการเพิ่มจำนวนคนในแต่ละชั้นตามตารางที่ 1 (ภาพที่ 7) และทำการจำลองสถานการณ์ในการอพยพในโปรแกรม Pathfinder 2 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 ไม่กำหนดผู้นำอพยพและเส้นทางในการอพยพคนภายในอาคารไปยังประตูทางออก

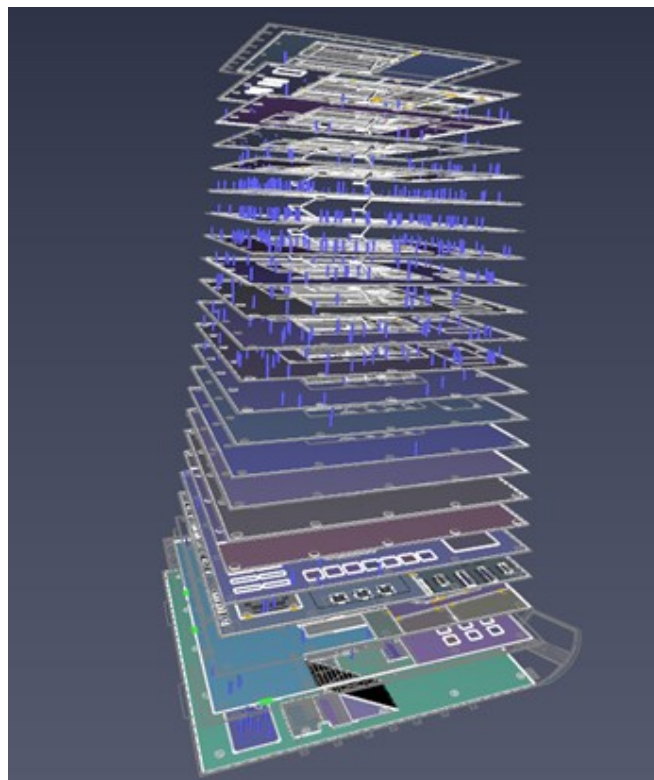
กรณีที่ 2 กำหนดให้มีผู้นำทางในการอพยพ อพยพคนภายในชั้น โดยการแบ่งจำนวนคนในพื้นที่ 70 % ให้ใช้บันไดทางหนีไฟหลัก บันไดที่ 1 อีก 30 % ให้ใช้บันไดหนีไฟทางรอง บันไดที่ 2 (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 5 แสดงรูปแบบอาคารตามไฟล์ Auto CAD



ภาพที่ 6 แสดงแบบจำลองอาคารสำนักงาน



ภาพที่ 7 แสดงการกำหนดจำนวนคนในแต่ละชั้น

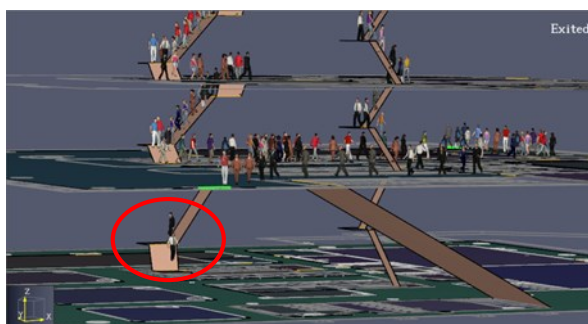
ผลการศึกษา

ผลการสร้างแบบจำลองของอาคารสำนักงานแห่งหนึ่ง เทียบกับรายงานการฝึกซ้อมอพยพจริงในปี 2566 พบว่า ผลการสร้างแบบจำลองเกิดปัญหาเดียวกันกับการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ ดังนี้

1. พบมีความแออัดบางช่วงที่บริเวณทางออกหนีไฟที่ชั้น L (ภาพที่ 8)
2. ผู้ใช้งานอาคารไม่ทราบว่าต้องอพยพไปทางหนีไฟไหนและผู้อพยพบางรายลงบันไดหนีไฟเลยทางออกที่ชั้น L ไปที่ชั้นใต้ดิน (ภาพที่ 9) และบันไดหนีไฟ 2 (ทางรอง)



ภาพที่ 8 แสดงผลปริมาณความแออัดที่บันไดหนีไฟ 2 ดังแสดงในบริเวณที่วงกลม

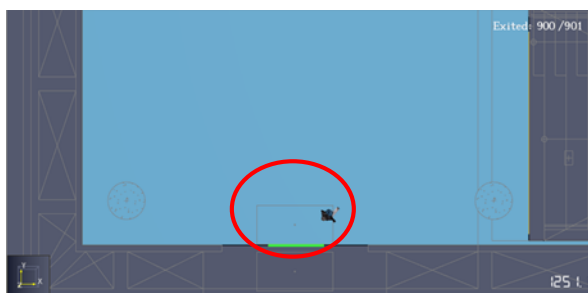


ภาพที่ 9 แสดงผลผู้อพยพ อพยพลงไปที่ชั้นใต้ดิน ดังแสดงในบริเวณที่วงกลม

กรณีที่ 1 ผลการจำลองเมื่อไม่กำหนดผู้นำอพยพและเส้นทางในการอพยพคนภายในอาคารไปยังประตูทางออกที่ชั้น L พบว่า มีความแออัดในบันไดทางหนีไฟที่ 2 โดยพบความหนาแน่นมากในบันไดหนีไฟชั้นที่ 14-18 (ตารางที่ 1) ซึ่งใช้เวลาอพยพคนไปยังจุดปลอดภัยเกินตามที่กฎหมายกำหนด 5 นาที (กระทรวงแรงงาน, 2555) ใช้ระยะเวลาในการอพยพคนในพื้นที่ทั้งหมดออกภายนอกอาคารทั้งหมด 20 นาที 52 วินาที หรือ 1252 วินาที (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 10 แสดงผลปริมาณความแออัดในบันไดทางหนีไฟที่ 1 ดังแสดงในบริเวณที่วงกลม

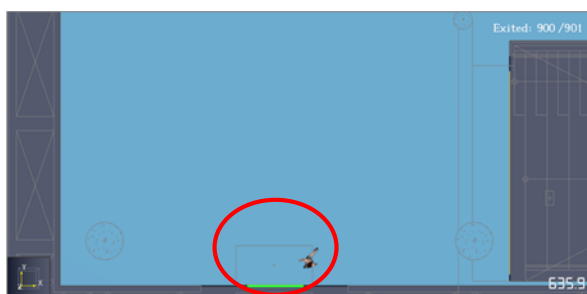


ภาพที่ 11 แสดงผลคนสุดท้ายอพยพออกนอกอาคาร ดังแสดงในบริเวณที่วงกลม

กรณีที่ 2 ผลการจำลองกำหนดให้ผู้นำทางในการอพยพ อพยพคนภายในชั้น โดยการแบ่งจำนวนคนในพื้นที่ 70 % ให้ใช้บันไดทางหนีไฟหลัก บันไดที่ 1 อีก 30 % ให้ใช้บันไดหนีไฟทางรอง บันไดที่ 2 พบว่า ไม่พบปริมาณความแออัดในบันไดทางหนีไฟที่ 1 และ 2 (ภาพที่ 12) และใช้ระยะเวลาในการอพยพคนในพื้นที่ทั้งหมดออกภายนอกอาคารทั้งหมด 10 นาที 37 วินาทีหรือ 637 วินาที (ภาพที่ 13) ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่ากรณีที่ 1 ถึง 10 นาที 15 วินาทีหรือ 615 วินาที



ภาพที่ 12 แสดงผลปริมาณความแออัดในบันไดทางหนีไฟที่ 1 และ 2 ดังแสดงในบริเวณที่วงกลม



ภาพที่ 13 แสดงผลคนสุดท้ายอพยพออกไปยังจุดปลอดภัย (ทางหนีไฟ) ดังแสดงในบริเวณที่วงกลม

ตารางที่ 1 แสดงระยะเวลาการอพยพคนในพื้นที่ไปยังจุดปลอดภัย (ทางหนีไฟ) กรณีที่ 1 และ 2

ที่	ชั้น	จำนวน คนภายใน ชั้น	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
			ระยะเวลาอพยพคน ทั้งหมด (วินาที)	ระยะเวลาการอพยพ เฉลี่ย/คน (วินาที)	ระยะเวลาอพยพคน ทั้งหมด (วินาที)	ระยะเวลาการอพยพ เฉลี่ย/คน (วินาที)
1	B1	69	84.2	1.22	85.7	1.24
2	L	20	27.7	1.38	27.5	1.38
3	2	18	32.5	1.81	34.3	1.91
4	3	35	104.7	2.99	64.3	1.84
5	4	68	150.4	2.21	80.2	1.18
6	5	58	200.9	3.45	64.9	1.12
7	6	-	-	-	-	-
8	7	-	-	-	-	-
9	8	7	30.1	4.30	13.4	1.91
10	9	9	32.7	3.63	15.7	1.74
11	10	18	43.3	2.41	28.4	1.58
12	11	89	141.9	1.60	130.5	1.47
13	12	58	199.7	3.44	74.7	1.29
14	12A	48	252.6	5.26	59.4	1.24
15	14	43	323.6	7.53	59.4	1.38
16	15	78	391.0	5.01	110.8	1.42

ที่	ชั้น	จำนวนคนภายในชั้น	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
			ระยะเวลาอพยพคนทั้งหมด (วินาที)	ระยะเวลาการอพยพเฉลี่ย/คน (วินาที)	ระยะเวลาอพยพคนทั้งหมด (วินาที)	ระยะเวลาการอพยพเฉลี่ย/คน (วินาที)
17	16	82	475.2	5.80	118.7	1.45
18	17	93	601.5	6.47	115.0	1.24
19	18	53	729.0	13.75	71.0	1.34
20	19	27	65.0	2.41	45.7	1.70
21	20	22	48.1	2.19	42.1	1.91
22	21	6	34.5	5.75	11.2	1.86
23	22	-	-	-	-	-

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาลงมือการจำลองในครั้งนี้เป็นการจำลองการอพยพคนในพื้นที่อาคารสำนักงาน ซึ่งเป็นอาคารสูง 22 ชั้น เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและเป็นแนวทางในการจัดทำแผนอพยพคนในพื้นที่ที่ออกไปสู่ภายนอกอาคารกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินเพลิงไหม้ การจำลองในโปรแกรมกำหนดให้มีผู้ใช้อาคารทั้งหมด 901 คนซึ่งคิดเป็นเพียง 30 % จากจำนวนผู้ใช้อาคารทั้งหมด จะเห็นได้ว่าการอพยพคนภายในพื้นที่ออกจากอาคารในกรณีที่ 1 ใช้เวลาในการอพยพมากถึง 20 นาที 52 วินาที และพบปริมาณความแออัดในช่องทางการหนีไฟที่ 2 ซึ่งอาจส่งผลทำให้เกิดอุบัติเหตุในระหว่างการอพยพหรืออาจเกิดสภาวะขาดอากาศหายใจได้เนื่องจากการถ่ายเทอากาศในช่องทางการหนีไฟไม่เพียงพอกับจำนวนคนที่แออัดอยู่ในพื้นที่ จึงดำเนินการกำหนดให้มีผู้นำอพยพและเส้นทางการหนีไฟให้กับคนภายในอาคารตามการจำลองในกรณีที่ 2 พบว่าใช้ระยะเวลาในการอพยพคนในพื้นที่ทั้งหมดออกภายนอกอาคารน้อยกว่ากรณีที่ 1 ถึง 10 นาที 15 วินาที หรือ 615 วินาทีเนื่องจากไม่พบปริมาณความแออัดในบันไดทางหนีไฟที่ 1 และ 2

อภิปรายผล

ในการจำลองโดยใช้โปรแกรม Pathfinder กำหนดสถานการณ์อพยพหนีไฟสามารถนำผลการจำลองมาปรับใช้ในการจัดทำแผนอพยพคนภายในอาคารกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน เพื่อแก้ไขปัญหาปริมาณความแออัดในช่องทางการหนีไฟและเป็นแนวทางในการอพยพคนออกจากอาคารให้ได้เร็วที่สุดสอดคล้องกับงานวิจัยของชวัญชนก ยศจันทร์ (2557) และจิราภรณ์ สุดเต้ (2562) การใช้โปรแกรม Pathfinder จะมีประโยชน์สูงสุดหากใช้ในการจำลองก่อนการก่อสร้างอาคาร และนำผลที่ได้จากการจำลองมาปรับปรุงแก้ไขรูปแบบและโครงสร้างของอาคารเพื่อให้สามารถรองรับการอพยพคนในพื้นที่กรณีเกิดเหตุฉุกเฉินให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้อาคารมากที่สุด

ในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองโดยไม่มีการนำขั้นตอนการแจ้งสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ในแต่ละโซนมากำหนดพฤติกรรมในการอพยพ หากนำงานวิจัยไปพัฒนาเสนอให้มีการกำหนดขั้นตอนการแจ้งสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ในแต่ละโซนมากำหนดพฤติกรรมในการอพยพ เพื่อให้ได้ผลในการจำลองใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริงมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนค่าลงทะเบียนเข้าร่วมนำเสนอผลงานในงานวิชาการ

เอกสารอ้างอิง

กฤษิพย์ ศรีพรม, ประทีป ชัยเสริมเทวัญ, และ สุภัทรพัฒน์วิชัยโชติ. (2560). การเปรียบเทียบเวลาในการอพยพหนีไฟระหว่างการอพยพแบบปกติและการอพยพแบบห่วงเวลาด้วยโปรแกรม Pathfinder. ใน การประชุมวิชาการชา่่งานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2560, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

กระทรวงแรงงาน. (2555). กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555. กรุงเทพฯ: กระทรวงแรงงาน.

ชวัญชนก ยศจันทร์. (2557). การประยุกต์โปรแกรมการจำลองด้านพลวัตของไฟและการอพยพเพื่อวิเคราะห์ขีดความสามารถของการอพยพอาคารขนาดใหญ่พิเศษ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- จีราภรณ์ สุดเต้. (2562). การวิเคราะห์สมรรถนะเส้นทางหนีไฟของอาคารสูงและขนาดใหญ่พิเศษ ด้วยโปรแกรม Pyrosim และ Pathfinder กรณีศึกษา : พื้นที่ครอบครองประเภทที่อยู่อาศัย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชลธิชา วงศ์เสงี่ยม, ประทีป ชัยเสริมเทวัญ, และ สุภัทรพัฒน์วิชัยโชติ. (2561). การจำลองการอพยพหนีไฟของโรงงานผลิตรายรถยนต์ โดยใช้โปรแกรม Pathfinder. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมความปลอดภัยแห่งชาติ ครั้งที่ 9, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, ชลบุรี.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2559). มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- Qin, J., Liu, C., & Huang, Q. (2020). Simulation on fire emergency evacuation in special subway station based on Pathfinder. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21, 100677.
- Thunderhead Engineering. (2023). *Pathfinder user manual*. Manhattan: Thunderhead Engineering.