การจำลองการอพยพหนีไฟโดยโปรแกรม Pathfinder กรณีศึกษา อาคารโรงแรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

พิชญา อุ่มเจริญ[1*] , ดาราพร ผุสิงห์[2] และสุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ[3]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[3]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
*pichaya.u@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสถานการณ์การอพยพหนีไฟภายในอาคารโรงแรมกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้โดยใช้โปรแกรม Pathfinder เพื่อเสนอแนวทางและวิธีการปรับปรุงเส้นทางหนีไฟให้สอดคล้องกับกฎหมายและมาตรฐาน NFPA 101 เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้อาคาร งานวิจัยนี้ได้จำลองการอพยพหนีไฟของอาคารโรงแรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา คำนวณความจุผู้ใช้อาคารได้ 2,908 คน ผู้วิจัยนำโปรแกรม Pathfinder มาใช้ในการจำลองเพื่อหาเวลาในการอพยพ และทำการกำหนดสถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้จำนวน 4 สถานการณ์

จากการจำลองพบว่า สถานการณ์ที่ S23 ใช้เวลาในการอพยพน้อยที่สุดคือ 1,237.3 วินาที และสถานการณ์ที่ S14 ใช้เวลาในการอพยพมากที่สุดคือ 2,395.5 วินาที, สถานการณ์ที่ S24 เวลาในการอพยพ 1,262.5 วินาทีและสถานการณ์ที่ S34 เวลาในการอพยพ 1,351 วินาที ซึ่งในบางกรณีขณะอพยพเกิดการชนกันที่หน้าประตูหรือบันไดหนีไฟ ทำให้เกิดความแออัด ส่งผลให้ผู้อพยพเคลื่อนไหวช้าลง เสนอแนะให้ขยายขนาดของประตู บันไดหนีไฟ เพิ่มเส้นทางหนีไฟบริเวณที่มีจำนวนผู้ใช้อาคารหนาแน่นเพื่อลดความแออัด ซึ่งเวลาที่ได้จากการจำลองการอพยพทั้ง 4 สถานการณ์ ไม่เกิน 1 ชั่วโมง แม้ว่าผลการจำลองสามารถอพยพผู้ใช้อาคารได้สอดคล้องตามที่กฎหมายกำหนดนั้น ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความปลอดภัยในการอพยพของผู้ใช้อาคารมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: จำลองเพลิงไหม้ การอพยพ อาคารสูง

Simulation of Fire Evacuation using Pathfinder Program: A Case Study of Hotel Building, Kasetsart University Sriracha Campus

Pichaya Umcharoen[1*] , Daraporn Phusing[2] and Supat Patvichaichod[3]

[1] Safety Engineering and Environmental Management, Faculty of Engineering at Sriracha
[2]Civil Engineering, Faculty of engineering at Sriracha, Kasetsart University, Sriracha Campus
[3]Mechanical Engineering, Faculty of engineering ay Sriracha, Kasetsart University, Sriracha Campus
*pichaya.u@ku.th

Abstract

The purpose of this research was to simulate fire evacuation using the Pathfinder program in a case study of a hotel building at Kasetsart University's Sriracha Campus. The objective was to propose guidelines and improvements for fire exits in accordance with Ministerial Regulation No. 33 and NFPA 101, Life Safety Code 2018, to ensure occupant safety. The building had an occupant load of 2,908 people, and the simulation was conducted across four different fire scenarios.

Regarding total building evacuation time, Scenario S23 showed the shortest evacuation time at 1,237.3 seconds, while Scenario S14 recorded the longest at 2,395.3 seconds. Scenarios S24 and S34 had evacuation times of 1,262.5 and 1,351 seconds, respectively. During some scenarios, occupant movement was impacted by congestion, particularly near stairways and exit doors. To mitigate congestion and improve evacuation flow, it is recommended to expand staircases, enlarge exit doors, and add additional exits. All four simulated scenarios demonstrated evacuation times below 3,600 seconds (1 hour), thereby meeting the legal requirement under Ministerial Regulation No. 33. Although the simulation results complied with relevant safety standards, further enhancements are recommended to optimize evacuation efficiency and improve safety for all building occupants in the event of a fire.

Keywords: Fire simulation, evacuation, high building

1. บทนำ

อัคคีภัยเป็นภัยใกล้ตัวและเกิดขึ้นบ่อยในปัจจุบัน ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นในบางครั้งนั้นไม่สามารถประเมินค่าได้ ทั้งชีวิตและทรัพย์สินไม่ว่าจะเป็นอาคารที่พักอาศัย บ้านเรือน สถานประกอบกิจการ โรงงานต่างๆ สาเหตุอาจเกิดจากการลอบวางเพลิง ไฟฟ้าลัดวงจร ความประมาท ขาดความรู้ และความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ของผู้ใช้อาคาร ทำให้เกิดเพลิงไหม้ ก่อให้เกิดความเสียหายสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินรวมถึงผลกระทบอื่นๆที่ตามมา สาเหตุของการเสียชีวิตส่วนใหญ่เกิดจากการสำลักควันบริเวณทางเดินและบันไดหนีไฟ ดังนั้นในการออกแบบอาคารจำเป็นต้องพิจารณาถึงความปลอดภัยของผู้ใช้อาคารเป็นหลัก เนื่องจากโดยทั่วไปมีผู้ใช้อาคารมีหลากหลายประเภท ซึ่งมีกฎหมายควบคุมอยู่แล้วแต่ในบางข้อกฎหมายยังไม่ชัดเจนในทางปฏิบัติ เข้าใจได้ยาก จึงเห็นควรพิจารณานำเอามาตรฐานสากลที่มีการนำเอาเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาปรับปรุงเหมาะสมกับการใช้งานในปัจจุบันสามารถนำมาปรับใช้ในการออกแบบเพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้อาคาร

อาคารโรงแรมภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา เป็นอาคารสร้างใหม่ ภายในอาคารประกอบด้วยห้องพัก ห้องออฟฟิศ ห้องประชุม สระว่ายน้ำ และห้องอื่นๆ หากเกิดเหตุเพลิงไหม้หรือเหตุฉุกเฉินที่ต้องมีการอพยพ และภายในห้องต่างๆ มีสิ่งของที่อาจเป็นสาเหตุหรือต้นเพลิงที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ง่าย ประกอบกับอาคารโรงแรมมีการรองรับผู้เข้าใช้บริการเป็นจำนวนมาก โดยผู้เข้าใช้บริการส่วนใหญ่จะไม่คุ้นชินกับสถานที่ ไม่ได้ผ่านการซ้อมอพยพหนีไฟภายในอาคารมาก่อน จึงควรพิจารณาการออกแบบให้มีการวางแผนและกำหนดเส้นทางหนีไฟของผู้ใช้บริการ ผู้ใช้อาคารให้ปลอดภัยและคำนึงถึงพฤติกรรมของผู้อพยพขณะเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งจะช่วยให้เกิดความปลอดภัยและลดการสูญเสียชีวิตของผู้ใช้บริการ ผู้ใช้อาคารที่ประเมินค่าไม่ได้และลดการสูญเสียทรัพย์สิน ดังนั้นจึงต้องทำการจำลองการอพยพหนีไฟและวิเคราะห์จำลองเหตุการณ์ด้วยโปรแกรม Pathfinder เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเส้นทางหนีไฟของอาคารโรงแรมและสามารถนำการอพยพไปใช้ในทางปฏิบัติจริง

2. วัตถุประสงค์

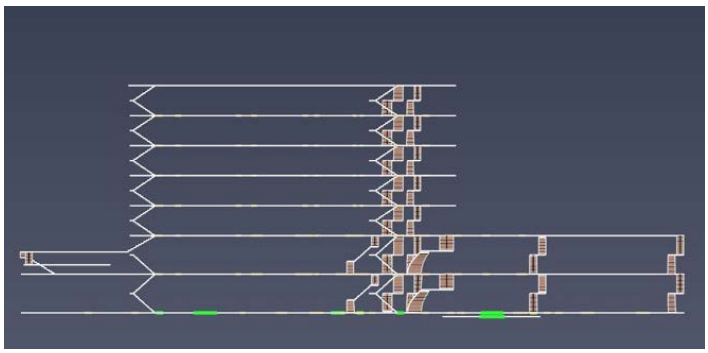
2.1 เพื่อจำลองสถานการณ์การอพยพหนีไฟภายในอาคารโรงแรมกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้โดยใช้โปรแกรม Pathfinder

2.2 เพื่อเสนอแนะแนวทางและวิธีการปรับปรุงเส้นทางหนีไฟ ให้สอดคล้องกับกฎหมายและมาตรฐานให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้อาคาร

3. อุปกรณ์และวิธีการ / วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาแบบแปลนอาคาร

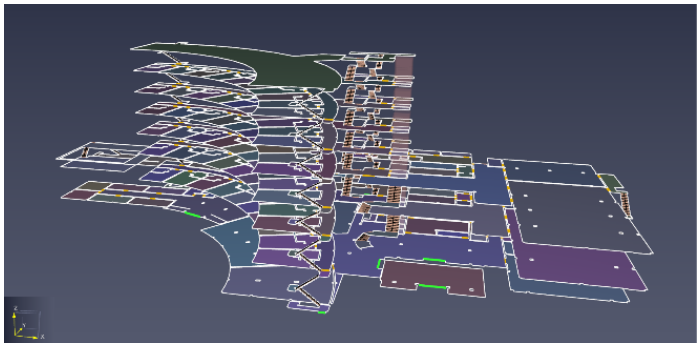
อาคารโรงแรมของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา เป็นอาคารสูง 7 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอบ 8,148 ตารางเมตร ทั้งอาคารประกอบด้วยสระว่ายน้ำ 1 สระ,ห้องประชุมทั้งหมด 7 ห้อง, ห้องออฟฟิศ 42 ห้อง, ห้องเก็บของ 39 ห้องและห้องพักทั้งหมด 50 ห้อง โดยอาคารนี้มีเส้นทางหนีไฟออกสู่ภายนอกอาคารอยู่ 10 เส้นทาง บันไดหนีไฟจำนวน 3 บันไดและบันไดที่ใช้อพยพซึ่งเป็นบันไดสัญจรทั่วไปมี 5 บันได แสดงดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตำแหน่งเส้นทางหนีไฟและบันไดหนีไฟ

3.2 ศึกษารายละเอียดโปรแกรม Pathfinder

3.2.1 นำแบบจากโปรแกรม Pyrosim แบบ 3 มิตินำเข้าข้อมูลไปยังโปรแกรม Pathfinder เพื่อทำการสร้างห้องประตู และบันไดหนีไฟ โดยโปรแกรม Pathfinder เป็นโปรแกรมจำลองการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยจำลองและแสดงผลออกมาในรูปแบบ 2 มิติ, 3 มิติ อีกทั้งใช้เพื่อจำลองการเข้าออกภายในอาคาร โดยโปรแกรม Pathfinder สามารถกำหนดทิศทางลักษณะการบังคับเลี้ยวและข้อจำกัดทางกายภาพ อายุ เพศ เป็นต้น เพื่อจำลองพฤติกรรมของมนุษย์หลายๆคนและแสดงเวลาการอพยพตามการเคลื่อนไหวของมนุษย์หรือผู้ใช้อาคารแต่ละคน แสดงดังในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แบบจำลองอาคารจากโปรแกรม Pathfinder

3.2.2 คำนวนจำนวนผู้ใช้อาคาร (Occupant Load) ตามมาตรฐาน NFPA 101,Life Safety Code หาได้จากขนาดพื้นที่ในแต่ละชั้นหารด้วยค่าตัวประกอบความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor) เป็นค่ากำหนดขนาดพื้นที่ต่อคนตามกิจกรรมการใช้งานของแต่ละพื้นที่แต่ละส่วนภายในชั้น ดังแสดงตัวอย่างในสมการที่ (1) และค่าตัวประกอบความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor) ที่ใช้ภายในอาคารนี้ แสดงดังตารางที่ 1

$$\text{จำนวนผู้ใช้อาคาร} = \frac{\text{ขนาดพื้นที่ (ตารางเมตร)}}{\text{ค่าตัวประกอบความจุของผู้ใช้อาคาร (ตารางเมตรต่อคน)}} \quad (1)$$

ตารางที่ 1 ค่าตัวประกอบความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor) ที่ใช้ภายในอาคารนี้

กิจกรรมการใช้งาน	ค่าตัวประกอบความจุของผู้ใช้อาคาร (ตารางเมตรต่อคน)
กิจกรรมการใช้งานประเภทชุมนุมคน	
การใช้งานหนาแน่น เก้าอี้ไม่ได้ยึดติดกับที่	0.65 สุทธิ
สระว่ายน้ำ	4.6 (บริเวณผิวน้ำ)
ขอบสระว่ายน้ำ	2.8
กิจกรรมการใช้งานประเภทธุรกิจ	
การใช้งานนอกเหนือจากประเภทธุรกิจแบบคนหนาแน่น,ธุรกิจควบคุมการจราจรสนามบิน	14
กิจกรรมการใช้งานประเภทพักอาศัย	
โรงแรมและหอพัก	18.6
กิจกรรมการใช้งานประเภทจัดเก็บ	
สำหรับอาคารอื่นๆที่ไม่ใช่คลังสินค้าและร้านค้า (ห้องเก็บของ)	46.5

ที่มา: NFPA 101, Life Safety Code (2018) [1]

ค่าตัวประกอบความจุผู้ใช้อาคาร จากตารางที่ 1 นำมาแทนค่าในสมการที่ (1) เพื่อคำนวณหาจำนวนผู้ใช้อาคารของแต่ละชั้น จากการคำนวนได้จำนวณผู้ใช้อาคารทั้งหมด 2,912 คน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละชั้น

ชั้นที่	1	2	3	4	5	6	7
จำนวน (คน)	994	934	864	30	30	30	30
รวมจำนวนผู้ใช้อาคารทั้งหมด 2,912 คน							

3.2.3 กำหนดสถานการณ์ที่ใช้ในการจำลองการอพยพ โดยพิจารณาจากหลักการ Performance-Based Fire Safety Design ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code ในการคัดเลือกสถานการณ์ต่างๆ ทำกานกำหนดสถานที่เกิดเพลิงไหม้ คือ ห้องพัก (S11-S14), ห้องประชุม (S21-S24) และห้องออฟฟิศ (S31-S34) โดยใช้แผนภูมิต้นไม้ในการประเมินเพื่อพิจารณาโอกาศความน่าจะเป็นและผลกระทบของแต่ละสถานการณ์ นำมาจัดลำดับความเสี่ยงโดยใช้เมทริกซ์โอกาสและผลกระทบที่จะเกิดขึ้น แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินความเสี่ยงที่ได้จากเมทริกซ์โอกาสและผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

	ความน่าจะเป็นของสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้น					
ผลที่ตามมา	น้อยมากๆ	น้อยมาก	น้อย	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
สูงมากๆ						
สูงมาก				S24		
สูง	S34		S23	S14		
ปานกลาง		S32, S33		S13, S22		
น้อย				S11	S12, S21	S31
น้อยมาก						

■ พื้นที่เสี่ยงสูง ■ พื้นที่เสี่ยงปานกลาง ■ พื้นที่เสี่ยงต่ำ ■ พื้นที่เสี่ยงต่ำมาก

จากตารางที่ 3 การประเมินความเสี่ยงที่ได้จากเมทริกซ์โอกาสและผลกระทบที่จะเกิดขึ้นพบว่าไม่มีสถานการณ์ใดอยู่ในพื้นที่เสี่ยงสูง, สถานการณ์ที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงปานกลาง จำนวน 1 สถานการณ์ คือ S24, สถานการณ์ที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงต่ำ จำนวน 1 สถานการณ์ คือ S14 และสถานการณ์ที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงต่ำมาก จำนวน 10 สถานการณ์ คือ S11, S12, S13, S21, S22, S23, S31, S32, S33 และ S34 ผู้วิจัยให้ความสำคัญกับสถานการณ์ที่มีผลกระทบรุนแรง ได้แก่ S14 และ S24 มีโอกาสเกิดในระดับปานกลาง แต่ผลกระทบสูงถึงสูงมาก, S23 และ S34 แม้โอกาสเกิดจะน้อยหรือน้อยมาก แต่ผลกระทบสูงจึงควรนำสถานการณ์เหล่านี้มาพิจารณาเป็นพิเศษ ดังนั้น สถานการณ์ที่จะนำไปวิเคราะห์มีทั้งหมด 4 สถานการณ์ คือ S14, S23, S24, S34 รายละเอียดสถานการณ์ดังต่อไปนี้

สถานการณ์ที่ 1 (S14) ห้องพัก ชั้นที่ 7 เกิดเพลิงไหม้ในช่วงเวลากลางคืนภายในห้องพักไม่มีคนอยู่ สาเหตุเกิดจากไฟฟ้าลัดวงจร ไม่มีผู้ใช้อาคารอยู่ในห้องพักจึงไม่สามารถดับเพลิงเบื้องต้นโดยใช้เครื่องมือดับเพลิงแบบมือถือได้และระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติขัดข้องไม่สามารถใช้งานได้ ในขณะเกิดเพลิงไหม้เส้นทางหนีไฟไม่สามารใช้งานได้ 1 เส้นทางเนื่องจากมีสิ่งกีดขวาง

สถานการณ์ที่ 2 (S23) ห้องประชุม ชั้นที่ 3 สาเหตุเพลิงไหม้เนื่องจากไฟฟ้าลัดวงจร เกิดประกายไฟลุกลามอย่างรวดเร็วไปยังสายไฟและอุปกรณ์ต่างๆ เครื่องมือดับเพลิงแบบมือถือไม่สามารถใช้งานได้และระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติภายในเกิดขัดข้องไม่สามารถใช้งานได้ ขณะเกิดเพลิงไหม้ประตูสามารถใช้งานได้ตามปกติ

สถานการณ์ที่ 3 (S24) สถานการณ์ S24 ห้องประชุม ชั้นที่ 1 เกิดไฟฟ้าลัดวงจรทำให้เกิดประกายไฟลุกลามอย่างรวดเร็วไปยังอุปกรณ์ต่างๆ เครื่องมือดับเพลิงแบบมือถือไม่สามารถใช้งานได้และระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติภายในเกิดขัดข้องไม่สามารถใช้งานได้ ภายในห้องมีการวางโต๊ะกีดขวางประตูทางออกฝั่งห้องเก็บของจึงทำให้ไม่สามารถใช้งานได้

สถานการณ์ที่ 4 (S34) ห้องออฟฟิศ ชั้นที่ 2 เกิดเพลิงไหม้บริเวณตู้เก็บเอกสารไฟลุกลามไปยังกองเอกสารภายในห้อง เครื่องมือดับเพลิงแบบมือถือไม่สามารถใช้งานได้ และระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติไม่สามารถใช้งานได้ ขณะเกิดเพลิงไหม้ประตูห้องเปิดอยู่ทำให้ควันออกมาจากห้องทำให้เส้นทางหนีไฟระหว่างห้องพักและห้องออฟฟิศไม่สามารถใช้งานได้

3.2.4 กำหนดพฤติกรรมของผู้อพยพกำหนดให้เป็นแบบ Steering เป็นการเคลื่อนไหวโดยเว้นระยะห่างระหว่างตัวบุคคลและเคลื่อนไหวอย่างอิสระเป็นไปตามค่าเริ่มต้นของโปรแกรม Pathfinder [2]

3.2.5 กำหนดการแจ้งเหตุเพลิงไหม้แบบแซนวิช กล่าวคือ เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้สัญญาแจ้งเตือนเหตุเพลิงไหม้ของชั้นต้นเพลิงจะดังก่อนและเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งสัญญาณแจ้งเตือนเหตุเพลิงไหม้ของชั้นบนหรือชั้นล่างของชั้นต้นเพลิง 1 ชั้นจึงจะเริ่มดังและเมื่อเวลาผ่านไปอีกระยะหนึ่งสัญญาณแจ้งเตือนเหตุเพลิงไหม้ของชั้นอื่นๆที่เหลือจึงจะเริ่มดัง

3.2.6 กำหนด Pre evacuation time (M2 A1-A2 B1-B2) [3] เพื่อหาเวลาที่ผู้ใช้อาคารเริ่มอพยพทำการการประเมิน Pre-evacuation time ของทั้งสถานการณ์ 4 สถานการณ์ ตามมาตรฐาน PD 7974-6:2019 [3] ดังนี้ ระดับการบริการจัดการ (Management Level) เป็น M2 เนื่องจากภายในอาคารโรงแรมมีสัดส่วนของผู้ใช้อาคารมากกว่าจำนวนพนักงานซึ่งโดยทั่วไปส่วนมากพนักงานจะมีตำแหน่งเป็นแม่บ้าน ซึ่งทำให้ในแต่ละชั้นจะไม่มีพนักงานที่ดูแลด้านความปลอดภัยด้านอัคคีภัยโดยเฉพาะ ,ระดับการแจ้งเตือน (Alarm Level) เป็น A1 เนื่องจากอาคารโรงแรมนี้มีการติดตั้งระบบตรวจจับและแจ้งเหตุเพลิงไหม้ทั่วทั้งอาคาร และถ้าหากตรวจจับเพลิงไหม้ได้จะแจ้งเหตุไปยังผู้ใช้อาคารทุกคนทันทีและความซับซ้อนของอาคาร (Building complexity) เป็น B2 เนื่องจากอาคารโรงแรมแห่งนี้เป็นอาคารที่มีหลายชั้นแต่ไม่ซับซ้อน มีผังอาคารแบบง่ายแบ่งกั้นห้องแต่ละชั้นชัดเจนถึงจะมีจำนวนห้องที่แบ่งกั้นมากแต่ผู้ใช้อาคารสามารถค้นหาเส้นทางหนีไฟได้อย่างรวดเร็ว

โดยกำหนดสถานการณ์ S14 ห้องพัก กำหนดเป็น (Ciii: Sleeping and Unfamiliar (Hotel) ,สถานการณ์ที่ 2 (S23) ห้องประชุม และสถานการณ์ที่ 3 (S24) ห้องประชุม กำหนดเป็น (B: Awake and Unfamiliar (Shop, restaurant, circulation space)) และในสถานการณ์ที่ 4 (S34) ห้องออฟฟิศ กำหนดเป็น (A: Awake and Familiar (office or industrial)) แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางการประเมิน Pre-evacuation time

Scenario category and modifier	First occupants (Minutes)	Occupant distribution (Minutes)
A : Awake and familiar (Office) M2 B1 – B2 A1 – A2	1	2
B : Awake and Unfamiliar (Shop, restaurant, circulation space) M2 B1 A1 – A2 For B2 add 0.2 for wayfinding.	1	3
Ciii : Sleeping and unfamiliar (hotel) M2 B2 A1 – A2	20	20

ที่มา: PD 7974-6:2019 [3]

จากตารางการประเมิน Pre-evacuation time สามารถสรุปเวลาที่ผู้ใช้อาคารเริ่มอพยพของทั้ง 4 สถานการณ์ดังนี้

สถานการณ์ที่ 1 (S14) เวลาที่เริ่มอพยพของผู้ใช้อาคารชั้นต้นเพลิง (First Occupant) เป็น 20 นาทีและเวลาที่เริ่มอพยพของผู้ใช้อาคารที่ไม่ได้อยู่ในชั้นต้นเพลิง (Occupant distribution) เป็น 20 นาที

สถานการณ์ที่ 2 (S23) และสถานการณ์ที่ 3 (S24) เวลาที่เริ่มอพยพของผู้ใช้อาคารชั้นต้นเพลิง (First Occupant) เป็น 1.2 นาที และเวลาที่เริ่มอพยพของผู้ใช้อาคารที่ไม่ได้อยู่ในชั้นต้นเพลิง (Occupant distribution) เป็น 3.2 นาที

สถานการณ์ที่ 4 (S34) เวลาที่เริ่มอพยพของผู้ใช้อาคารชั้นต้นเพลิง (First Occupant) เป็น 1 นาทีและเวลาที่เริ่มอพยพของผู้ใช้อาคารที่ไม่ได้อยู่ในชั้นต้นเพลิง (Occupant distribution) เป็น 2 นาที

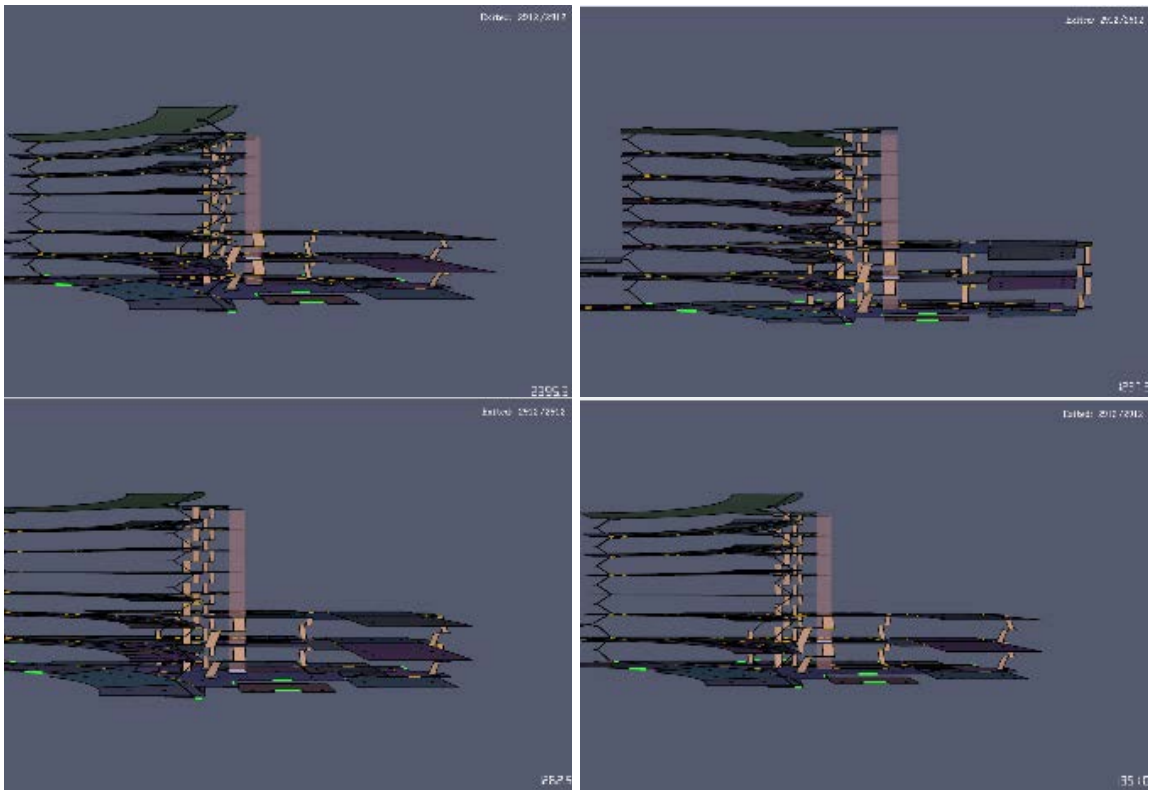
4. ผลการวิจัย

การจำลองการอพยพโดยใช้โปรแกรม Pathfinder ในการจำลองการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคาร จำนวน 2,912 คน ทั้ง 4 สถานการณ์ พบว่า เวลาอพยพที่น้อยที่สุด คือ 1,237.3 วินาที แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการจำลองเวลาในการอพยพของอาคารในแต่ละสถานการณ์

สถานการณ์	แหล่งต้นเพลิง	เวลาในการอพยพ (วินาที)
S14	ห้องพัก ชั้นที่ 7	2,395.3
S23	ห้องประชุม ชั้นที่ 3	1,237.3
S24	ห้องประชุม ชั้นที่ 1	1,262.5
S34	ห้องออฟฟิศ ชั้นที่ 2	1,351

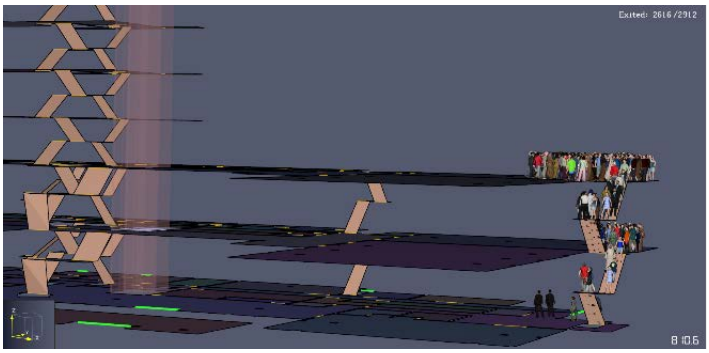
จากการจำลองการอพยพหนีไฟออกจากอาคารโรงแรม โดยการจำลองทั้งหมด 4 สถานการณ์ พบว่า สถานการณ์ที่ 1 (S14) ใช้เวลาในการอพยพ 2,395.3 วินาที, สถานการณ์ที่ 2 (S23) ใช้เวลาในการอพยพ 1,237.3 วินาที, สถานการณ์ที่ 3 (S24) ใช้เวลาในการอพยพ 1,262.5 วินาที และสถานการณ์ที่ 4 (S34) ใช้เวลาในการอพยพ 1,351 วินาที แสดงดังในภาพที่ 3



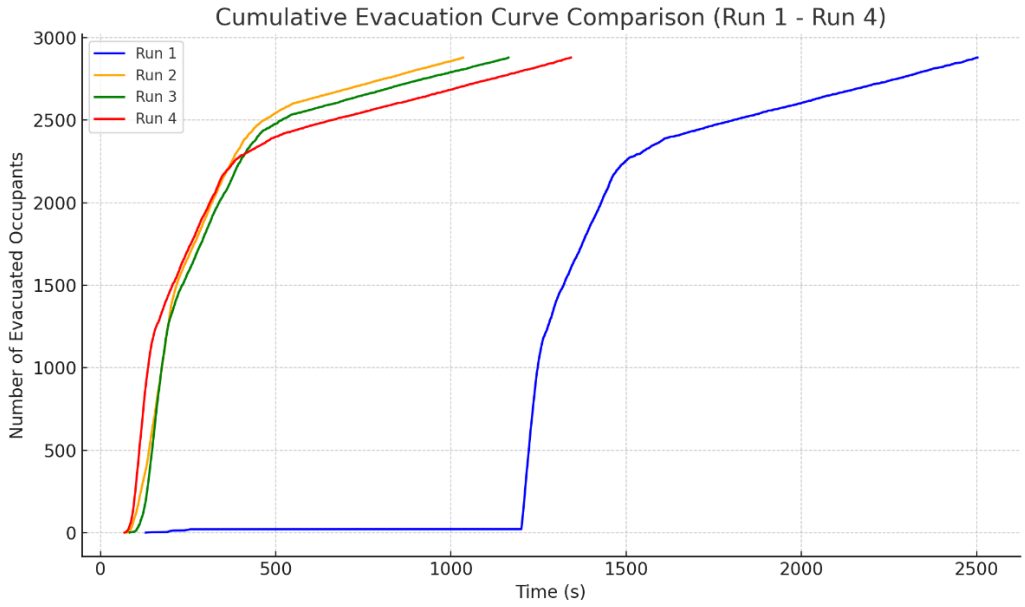
ภาพที่ 3 ผลการจำลองการอพยพ โดยโปรแกรม Pathfinder

5. การวิจารณ์ผล

การจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารโรงแรมด้วยโปรแกรม Pathfinder พบว่าผู้ใช้อาคารสามารถอพยพได้ภายในระยะเวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมงหรือ 3,600 วินาที ตามที่กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (2535) [4] แสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าในสถานการณ์ที่ 1 (S14) มีจำนวนผู้ใช้อาคารในชั้นต้นเพลิง จำนวน 30 คน แต่ใช้เวลาในการอพยพออกจากอาคารมากที่สุด เนื่องจากห้องต้นเพลิงอยู่บริเวณชั้นบนสุดของอาคาร เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ผู้ใช้อาคารที่อยู่ชั้นล่างของห้องต้นเพลิงจะรับรู้ได้ช้ากว่าชั้นต้นเพลิงจึงทำให้การอพยพล่าช้า และจากการจำลองการอพยพพบว่าในขณะที่ผู้ใช้อาคารทำการอพยพเกิดการแออัดบริเวณที่ประตูและบันไดหนีไฟ เนื่องจากผู้ใช้อาคารเลือกเส้นทางหนีไฟที่ใกล้มากที่สุดทำให้มีการอพยพพร้อมกัน ทำให้ผู้อพยพเคลื่อนไหวช้าลง ส่งผลให้เวลาในการอพยพเพิ่มมากขึ้น รวมถึงการกำหนดตั้งค่า Initial delay time ของการอพยพที่แตกต่างกันในแต่ละชั้นเป็นเหตุให้มีผลต่อระยะเวลาในการอพยพของผู้ใช้อาคารเช่นกัน [5] แสดงดังในภาพที่ 4 และภาพที่ 5



ภาพที่ 4 การแออัดบริเวณที่ประตูและบันไดหนีไฟ



ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบการอพยพทั้ง 4 สถานการณ์ จากการจำลองการอพยพโดยโปรแกรม Pathfinder

จากภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบการอพยพทั้ง 4 สถานการณ์ โดย Run 1 คือสถานการณ์ที่ 1 (S14) ใช้เวลาในการอพยพ 2,395.3 วินาที, Run 2 คือสถานการณ์ที่ 2 (S23) ใช้เวลาในการอพยพ 1,237.3 วินาที, Run 3 คือสถานการณ์ที่ 3 (S24) ใช้เวลาในการอพยพ 1,262.5 วินาที และRun 4 คือสถานการณ์ที่ 4 (S34) ใช้เวลาในการอพยพ 1,351 วินาที

ส้นโค้งที่ชันขึ้นแสดงถึงคนจำนวนมากอพยพออกได้ในช่วงเวลานั้นและเส้นโค้งที่แบนแสดงถึงการอพยพช้าลงเกิดจากคอขวดหรือเกิดความแออัดตามจุดต่าง ๆ จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่า Run 1 (สถานการณ์ S14) ใช้เวลานานที่สุดทุกช่วงแสดงถึงการอพยพที่ช้าที่สุด เกิดจากปัญหาความแออัดมากที่บริเวณเส้นทางการอพยพ, Run 2 (สถานการณ์ที่ S23) มีประสิทธิภาพดีที่สุดในหลายช่วง, Run 3 (สถานการณ์ที่ S24) ใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่ S23 โดยเฉพาะช่วงแรกแต่ค่อยๆช้าลงในช่วงท้าย และRun 4 (สถานการณ์ที่ S34) มีการอพยพช่วงต้นที่เร็วที่สุดแต่ค่อยๆ ช้าลงในช่วงท้าย ซึ่งสัดส่วนเวลาแออัดต่อเวลาทั้งหมดไม่มีผู้ใดที่ใช้เวลามากกว่า 80% ของเวลาทั้งหมดอยู่ในสภาวะแออัด แสดงว่าปัญหาความแออัดมีแนวโน้มกระจายตัวไม่สม่ำเสมอและเกิดขึ้นเฉพาะในบางช่วงเวลาหรือพื้นที่

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการจำลองการอพยพหนีไฟอาคารโรงแรมด้วยโปรแกรม Pathfinder โดยมีผู้ใช้อาคาร 2,912 คน และทำการกำหนดสถานการณ์เพลิงไหม้ ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code จำนวนทั้งหมด 4 สถานการณ์ และกำหนด Pre evacuation time เพื่อวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟและเวลาในการอพยพของผู้ใช้อาคารให้สอดคล้องกับกฎหมายและมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code พบว่าเวลาในการอพยพหนีไฟทั้งหมด 4 สถานการณ์เวลาในการอพยพน้อยที่สุด คือ 1,237.3 วินาที, 1,262.5 วินาที, 1,351 วินาที และเวลาในการอพยพมากที่สุด คือ 2,395.3 วินาทีตามลำดับ ซึ่งเวลาอพยพไม่เกิน 1 ชั่วโมง หรือ 3,600 วินาที ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (2535) กำหนด ดังนั้นการอพยพหนีไฟของอาคารโรงแรมนี้สอดคล้องตามกฎหมาย ถึงแม้ว่าผลการจำลองของอาคารโรงแรมสามารถอพยพผู้ใช้อาคารได้ทันเวลาตามที่กฎหมายกำหนดนั้น ปัญหาหลักที่พบคือการแออัดบริเวณประตูและบันไดหนีไฟ ส่งผลให้ความเร็วในการอพยพลดลง ผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางวิธีการอพยพเพื่อลดปัญหาการแออัดบริเวณประตูและบันไดหนีไฟ ขยายขนาดประตูและบันไดหนีไฟเพื่อเพิ่มความสามารถในการรองรับการอพยพและลดความแออัดบริเวณทางออก ตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 และมาตรฐาน NFPA 101, ขนาดของทางหนีไฟต้องเพียงพอรองรับจำนวนผู้อพยพในช่วงเวลาเร่งด่วน กำหนดเส้นทางหนีไฟให้หลากหลายและกระจายความหนาแน่นเพื่อลดการรวมตัวของผู้อพยพในจุดเดียว การมีทางออกหลายจุดช่วยกระจายจำนวนผู้อพยพ ลดจุดแออัด และช่วยให้การอพยพเกิดขึ้นเร็วขึ้น อีกทั้งปรับปรุงการจัดเก็บภายในห้อง เช่น ไม่วางสิ่งของกีดขวางประตูหรือเส้นทางหนีไฟ ที่พบในสถานการณ์ S24 ตามที่มาตรฐานNFPA 101 กำหนดว่าทางหนีไฟต้องปราศจากสิ่งกีดขวางตลอดเส้นทางและจัดอบรมฝึกซ้อมการอพยพหนีไฟ โดยเฉพาะพนักงานประจำอาคารที่สามารถให้ความช่วยเหลือผู้ใช้อาคารได้ในกรณีฉุกเฉินหากเกิดเหตุเพลิงไหม้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ดาราพร ผุสิงห์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ในการให้คำปรึกษารวมถึงให้คำแนะนำแนวทางต่างๆตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องจนทำให้วิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

8. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] NFPA 101, (2018). *Life Safety Code Handbook: With the Complete Text of the 2018 Edition of NFPA 101, Life Safety Code*. pp.101-81. National Fire Protection Association.

[2] Petchmanee Suthangkornkul. (2021). *Simulation of Fire and Evacuation: Case study at Airport* [Master's thesis]. Kasetsart University. (In Thai)

[3] PD 7974-6:2004. (2004). The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6). pp.9-25.

[4] Ministry of Interior. (1992). Ministerial Regulation No.33 (B.E.2535) Issued under the Building Control Act, B.E. 2522 (1979). Government of Thailand. (In Thai)

[5] Shotika Saeueng. (2022). *Fire Evacuation Simulation using Pathfinder Program: A Case Study of Electrical Appliance Production Factory Building* [Master's thesis]. Kasetsart University. (In Thai)