ST-01

การจำลองอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pathfinder กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนโลหะปั๊มขึ้นรูป

Fire Evacuation Simulations using Pathfinder Program

A Case Study of the Manufacturing of Metal Stamping Parts

ทัตพิชา เทพวิไล[1] และ สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ[2]

Tatpicha Thepwilai[1], and Supat Patvichaichod[2]

[1] หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล: tatpicha.t@ku.th

บทคัดย่อ

โรงงานในเหตุการณ์เพลิงไหม้ การอพยพของผู้ใช้อาคารนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก โรงงานต้องออกแบบเส้นทางหนีไฟให้ปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและคำนึงถึงระยะเวลาการอพยพไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด คือ 5 นาที ดังนั้นผู้วิจัยจึงวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟและศึกษาระยะเวลาการอพยพหนีไฟ กรณีต่างๆ ของผู้ใช้อาคารทั้งหมดให้สอดคล้องกับกฎหมาย และมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code โดยจำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pathfinder ผลการศึกษา พบว่า ขีดความสามารถของประตูและบันไดที่ใช้ในการอพยพหนีไฟไม่สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้อาคาร ทำให้ผู้ใช้อาคารเกิดการรอคิวที่ประตูและแออัดบริเวณบันได จึงเสนอทำการปรับปรุงเส้นทางหนีไฟ ได้แก่ การขยายประตูหนีไฟ รื้อและสร้างบันไดหนีไฟใหม่ เพิ่มเส้นทางหนีไฟ รวมถึงจำกัดจำนวนผู้ใช้อาคารที่เหมาะสมกับขีดความสามารถของอาคารไม่เกิน 766 คน เพื่อให้สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้อาคารได้ โดยผู้ใช้อาคารมีการรอคิวที่ประตูไม่นานและไม่แออัดบริเวณบันได ส่งผลให้ผู้ใช้อาคารใช้เวลาอพยพไม่เกิน 5 นาที

คำหลัก: เวลาอพยพหนีไฟ เส้นทางหนีไฟ โรงงานผลิตชิ้นส่วนโลหะปั๊มขึ้นรูป

Abstract

In the event of a fire, evacuation of building occupants is critical. The factory must design a means of egress for users. If the evacuation time does not exceed the legal limit of 5 minutes, this can be considered. As a result, the researchers examined egress as well as fire evacuation time in accordance with the law and NFPA 101, Life Safety Code standards, while simulating fire evacuation with the Pathfinder program. The results of the study revealed that the capacity of fire evacuation doors and stairs couldn't support the number of building occupants, causing building occupants to queue at the door and congestion around the stairs.

In order to support the number of building occupants, it is proposed to improve the means of egress by expanding fire doors, destroying and rebuilding a new fire escape ladder, adding a means of egress, and limiting the number of building occupants suitable for the building's capacity to 766 people. So that the building's occupants don't have to queue for long periods of time at the doors and the stairs are less crowded. As a result, building occupants can be evacuated within 5 minutes.

Keywords: Fire evacuation time, Means of egress, Manufacturing of Metal Stamping Parts

บทนำ

การอพยพหนีไฟในโรงงานนับว่ามีความสำคัญ หากเกิดอุบัติภัยขึ้นโดยไม่คาดคิดอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและอาจสูญเสียชีวิตได้ เนื่องจากโรงงานมีผู้ใช้อาคารจำนวนมาก มีเครื่องจักรที่มีความเสี่ยงก่อให้เกิดอัคคีภัยสูง รวมถึงมีการนำสารเคมีอันตรายต่างๆ เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต กรณีที่มีก๊าซรั่ว หรือสารเคมีหกรั่วไหล ก็อาจทำให้เกิดอัคคีภัยได้ และเส้นทางเดินภายในโรงงานใช้เป็นเส้นทางสัญจรของพนักงาน และเป็นเส้นทางรถรับ-ส่งสินค้า รวมถึงใช้เป็นเส้นทางในการอพยพหนีไฟ รวมถึงเวลาที่ใช้ในการอพยพขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเร็วในการตรวจพบสถานการณ์ไฟไหม้และ สัญญาณเตือน จำนวนเส้นทางหนีไฟ ขนาดของเพลิงไม้ ความกว้างของบันไดหนีไฟ (Rostami & Alaghmandan, 2021) กรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน การอพยพพนักงานไปยังจุดที่ปลอดภัย ต้องดำเนินการในเวลาที่เร็วที่สุด มีการศึกษารูปแบบการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pyrosim และ Pathfinder พบว่า โปรแกรม Pathfinder มีรูปแบบที่เป็นระเบียบ จึงเหมาะสมที่ใช้ในงานจำลองมากที่สุด (สุรพงษ์, 2556)

ดังนั้นเส้นทางหนีไฟภายในโรงงานต้องมีความเหมาะสมและปลอดภัย รวมทั้งพนักงานที่อพยพต้องได้รับการฝึกซ้อมแผนฉุกเฉิน ปัจจุบันได้มีกฎหมายเกี่ยวกับการอพยพหนีไฟออกมาควบคุม เพื่อให้สถานประกอบกิจการปฏิบัติตาม งานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟให้สอดคล้องกับกฎหมาย และมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code และศึกษาระยะเวลาการอพยพหนีไฟ กรณีต่างๆ ของผู้ใช้อาคารทั้งหมดให้สอดคล้องกับกฎหมาย โดยจำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pathfinder เพื่อเตรียมความพร้อมต่อสถานการณ์ฉุกเฉิน และเสนอแนะปรับปรุงเส้นทางหนีไฟให้ถูกต้องตามกฎหมาย และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟให้สอดคล้องกับกฎหมาย และมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code
2. เพื่อศึกษาระยะเวลาการอพยพหนีไฟ กรณีต่างๆ ของผู้ใช้อาคารทั้งหมดให้สอดคล้องกับกฎหมาย

วิธีดำเนินการวิจัย

ขอบเขตการวิจัย

วิเคราะห์เส้นทางหนีไฟและศึกษาระยะเวลาการอพยพหนีไฟตามกฎหมายและมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code โดยไม่ปรับปรุงโครงสร้างอาคาร

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เป็นงานวิจัยเชิงทดลองโดยใช้โปรแกรม Pathfinder จำลองการอพยพหนีไฟตามสถานการณ์เพลิงไหม้ที่กำหนด

วิธีการ

1. ศึกษาแบบแปลนอาคาร

อาคารมีความสูงมากกว่าหนึ่งชั้น แบ่งเป็น 2 อาคาร เป็นพื้นที่ครอบครองประเภทกิจการโรงงาน มีทางออกสู่ภายนอกอาคารอยู่ 11 ทาง บันไดหนีไฟจำนวน 1 บันได และบันไดหนีไฟที่ใช้อพยพซึ่งเป็นบันไดที่ใช้สัญจรทั่วไป มีทั้งสิ้น 3 บันได

2. รวบรวมกฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเส้นทางหนีไฟ

3. คำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code

มีจำนวนผู้ใช้อาคารที่คำนวณได้ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code มีจำนวน 1,095 คน แบ่งเป็นเพศชายร้อยละ 39.52 และเพศหญิงร้อยละ 60.48

4. กำหนดรูปแบบสถานการณ์เพลิงไหม้ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code

ตารางที่ 1 แบบจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้

สถานการณ์	สถานการณ์จำลอง	พื้นที่ต้นเพลิง	เชื้อเพลิง
1	เกิดเพลิงไหม้จากกิจกรรมเปลี่ยนถ่ายเกลือ(สารเคมี) โดยพนักงานยกสายพานที่มีเกลือเกาะจำนวนมากและมีความร้อนสะสมสูงจากเตาเผา ขณะยกเคลื่อนย้ายเกลือที่เกาะสายพานหล่นลงพื้นโดนบล็อคพลาสติกและชิ้นงานที่เป็นโลหะที่วางข้างเตาเผา ทำให้ไฟลุกลามไปปิดประตูทางออก D-01 ไม่สามารถใช้งานได้	Industrial 1	บล็อคพลาสติกและชิ้นงานที่เป็นโลหะ
2	เกิดเพลิงไหม้ในห้องปรุงอาหาร เนื่องจากเกิดการรั่วไหลของก๊าซหุงต้ม LPG ระบบน้ำดับเพลิงอัตโนมัติไม่สามารถใช้งานได้ ทำให้ไฟลุกลามอย่างรวดเร็ว ประตูห้องต้นเพลิง Door 29 และ Door 30 เปิดค้างไว้ไฟ	Kitchen	ก๊าซหุงต้ม LPG
3	เกิดไฟฟ้าลัดวงจรภายในห้อง Server แต่เนื่องด้วยห้อง Server ไม่มีพนักงานปฏิบัติงานประจำ ความร้อนจากการลุกไหม้ภายในห้องขยายตัวและมีควันไฟแพร่ไปยังออฟฟิศที่มีคนทำงานอยู่จำนวนมาก โดยประตูต้นเพลิง Door 43 เปิดค้างไว้ จึงทำให้พนักงานทราบว่ามีเหตุเพลิงไหม้	Server room	อุปกรณ์ไฟฟ้า
4	เกิดไฟฟ้าลัดวงจรบนฝ้าเพดานที่มีการเดินสายไฟจำนวนมาก ทำให้เกิดไฟช็อตและไฟค่อยๆไหม้ลุกลามไปทั่วห้อง ควันไฟกระจายตัวออกมาภายนอกบริเวณบันไดหนีไฟ ST-06 จนใช้งานไม่ได้ ทำให้ผู้อพยพทั้งหมดต้องใช้บันไดหนีไฟ ST-07 ในการอพยพ	Screening room 1	สายไฟ

ตารางที่ 1 แบบจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ (ต่อ)

สถานการณ์	สถานการณ์จำลอง	พื้นที่ต้นเพลิง	เชื้อเพลิง
5	เกิดเหตุเพลิงไหม้จากไฟฟ้าลัดวงจรที่คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ พนักงานที่พบเห็นเหตุการณ์จึงใช้ถังดับเพลิงชนิดคาร์บอนไดออกไซด์เข้าระงับเหตุ แต่ไม่สามารถระงับเหตุได้ ต่อมาพนักงานหนึ่งคนไปกดสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ แต่อุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไหม้ไม่สามารถใช้งานได้	Office	เครื่องคอมพิวเตอร์
6	เกิดเพลิงไหม้บริเวณการผลิต Industrial 1 (Most Severe Fire) ที่เตาเผาชิ้นงาน เนื่องจากมีรอยรั่วบริเวณท่อแก๊สโปรเลียม (LPG) พนักงานที่ปฏิบัติงานในช่วงเกิดเหตุ เป็นพนักงานใหม่ที่ยังไม่ผ่านการฝึกอบรมดับเพลิงขั้นต้น จึงไม่สามารถใช้ถังดับเพลิงได้ ทำให้ไฟลุกลามอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ประตูทางออก D-03 ไม่สามารถใช้งานได้	Industrial 1	LPG
7	หม้อแปลงไฟฟ้าระเบิด ทำให้เกิดการลุกไหม้ ทิศทางลมพัดเข้าภายในอาคารบริเวณประตูทางออกที่ชั้น 1 ทำให้ประตู D-99 ใช้งานไม่ได้	Transformer (Outside)	หม้อแปลงไฟฟ้า
8	เกิดเพลิงไหม้ห้องเก็บเอกสารเป็นเชื้อเพลิง Class A ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้และตรวจจับเพลิงไหม้ไม่ทำงาน ทำให้ควันไฟลุกลามปิดประตู Door 102 และบันไดหนีไฟ ST-01 ใช้งานไม่ได้ ส่งผลให้ผู้อพยพทั้งหมดต้องใช้บันไดหนีไฟอื่นในการอพยพทั้งหมด	Document storage room	ชั้นวางเอกสาร, กระดาษและกล่องเอกสาร

5. สร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Pathfinder

- สร้างแบบจำลองอาคารตามแบบแปลน
- กำหนดพฤติกรรมของผู้ใช้อาคารเป็น Steering และการกำหนด Pre evacuation time (M2 B1-B2 A1-A2) ของ Behavior ที่ 1 คือ เวลาเริ่มอพยพสำหรับ First Occupant เป็น 1 นาที และ Behavior ที่ 2 กำหนดเวลาเริ่มอพยพ สำหรับ Occupant distribution เป็น 2 นาที PD7974-6:2004 (2004)
- กำหนดลักษณะของผู้ใช้อาคาร ดังนี้ ความเร็วในการอพยพ ความกว้างของไหล่ โดยจำแนกตามเพศและอายุ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะของผู้ใช้อาคาร จำแนกตามเพศและอายุ

ผู้ใช้อาคาร	ความกว้างไหล่ (cm)	อายุ (ปี)	ความเร็วในการเดิน (m/s)		
			ทางราบ	ลงบันได	ขึ้นบันได
เพศชาย	40.6 - 49.3	น้อยกว่า 30	1.11 - 1.85	0.76 - 1.26	0.50 - 0.84
		30 - 50	0.97 - 1.62	0.64 - 1.07	0.47 - 0.79
		มากกว่า 50	0.84 - 1.40	0.50 - 0.84	0.38 - 0.64
เพศหญิง	36.6 - 44.96	น้อยกว่า 30	0.93-1.55	0.56 - 0.94	0.47 - 0.79
		30 - 50	0.71-1.19	0.49 - 0.81	0.44 - 0.74
		มากกว่า 50	0.56-0.94	0.45 - 0.75	0.37 - 0.61

ที่มา: Murali Ramaiyan, 2014

ผลการวิจัย

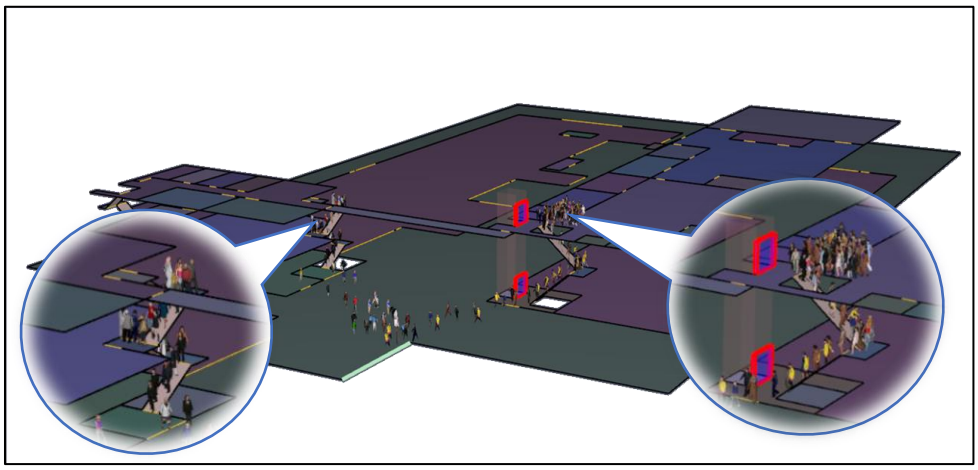
1. ผลการจำลองเวลาอพยพของผู้ใช้อาคาร

การจำลองการอพยพหนีไฟด้วยใช้โปรแกรม Pathfinder โดยมีจำนวนผู้ใช้อาคารที่คำนวณได้ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code มีจำนวน 1,095 คน แบ่งเป็นเพศชายร้อยละ 39.52 และเพศหญิงร้อยละ 60.48 โดยมีการกำหนดสถานการณ์เพลิงไหม้ให้ครอบคลุมทั้งหมด 8 สถานการณ์ และกำหนด Pre evacuation time สามารถสรุปผลการจำลองเวลาอพยพดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการจำลองเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคารก่อนปรับปรุง

สถานการณ์	เวลาการอพยพ (วินาที)
1	392.50
2	395.80
3	424.00
4	423.80
5	424.00
6	391.50
7	392.50
8	443.50

จากผลการจำลอง พบว่า ทุกสถานการณ์ใช้เวลาการอพยพเกิน 300 วินาที ผู้ใช้อาคารแออัดบริเวณบันไดฝั่งอาคาร 1 ชั้น 2 ชั้น 3 และอาคาร 2 ชั้น 2 ซึ่งเป็นเส้นทางที่อพยพช้าที่สุด ในช่วงเวลา 300 วินาที ผู้ใช้อาคารที่อพยพฝั่งอาคาร 1 ชั้น 2 ชั้น 3 และอาคาร 2 ชั้น 2 ยังไม่ออกจากภายในอาคาร แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การอพยพของผู้ใช้อาคาร ในช่วงเวลา 300 วินาที ก่อนปรับปรุง

2. การปรับปรุง

จากการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ทั้งหมด 8 สถานการณ์ พบว่า ใช้เวลาการอพยพเกิน 300 วินาที ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎหมายกำหนด คือ เวลาการอพยพต้องไม่เกิน 5 นาที หรือ 300 วินาที จึงต้องหาวิธีในการปรับปรุง เพื่อให้ผู้ใช้อาคารอพยพได้ทันเวลา โดยการปรับปรุงมี 3 อย่าง ดังนี้

1. ขยายประตูหนีไฟ
2. การรื้อบันไดหนีไฟภายนอกอาคารและสร้างใหม่ตรงตำแหน่งเดิม
3. สร้างบันไดหนีไฟภายนอกอาคาร เพื่อเพิ่มเส้นทางหนีไฟ

2.1 การปรับปรุงครั้งที่ 1

เนื่องจากผู้ใช้อาคารแออัดบริเวณบันไดฝั่งอาคาร 1 ชั้น 2 ชั้น 3 และอาคาร 2 ชั้น 2 ทำให้ใช้เวลาการอพยพเกิน 300 วินาที และผู้ใช้อาคารยังไม่ออกจากอาคาร จึงทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 คือ ขยายประตู D-102, 103 ซึ่งประตูเดิมกว้าง 100 ซม. และประตูใหม่กว้าง 110 ซม. แสดงดังภาพที่ 2

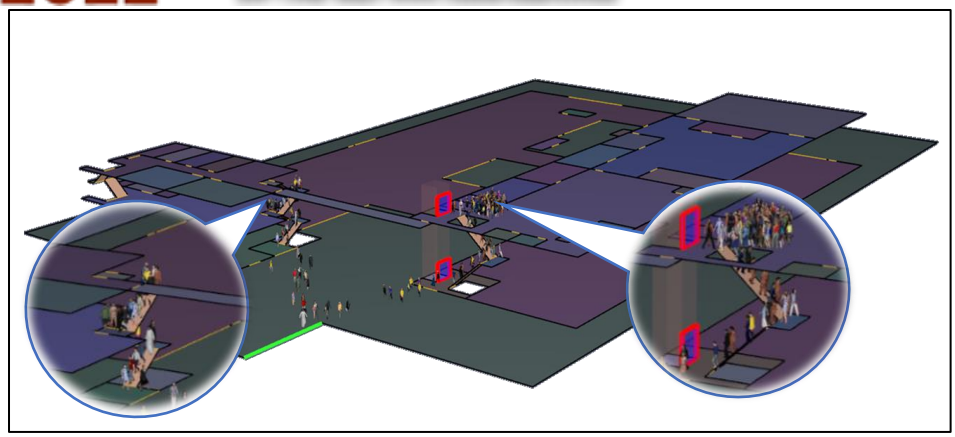
ภาพที่ 2 ตำแหน่งที่ขยายประตูหนีไฟ D-102, 103

จากการจำลองการอพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder โดยกำหนดสถานการณ์เพลิงไหม้ทั้งหมด 8 สถานการณ์ ในกรณีการปรับปรุงครั้งที่ 1 สามารถสรุปผลการจำลองเวลาอพยพดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการจำลองเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคารก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงครั้งที่ 1

สถานการณ์	เวลาการอพยพ ก่อนปรับปรุง (วินาที)	เวลาการอพยพ หลังปรับปรุง ครั้งที่ 1 (วินาที)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (%)
1	392.50	398.80	+ 1.61
2	395.80	417.50	+ 5.48
3	424.00	422.00	- 0.47
4	423.80	423.30	- 0.12
5	424.00	422.00	- 0.47
6	391.50	402.30	+ 2.76
7	392.50	398.80	+ 1.61
8	443.50	488.30	+ 1.08

จากผลการจำลอง พบว่า เมื่อขยายประตูหนีไฟ D-102 และ D-103 เวลาอพยพเฉลี่ยของสถานการณ์ที่ 1, 2, 6, 7, และ 8 เวลาที่ใช้อพยพเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 2.51 แต่สถานการณ์ที่ 3-5 เวลาที่ใช้อพยพลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.35 ทุกสถานการณ์ใช้เวลาการอพยพเกิน 300 วินาที ผู้ใช้อาคารแออัดบริเวณบันไดฝั่งอาคาร 1 ชั้น 2 ชั้น 3 และอาคาร 2 ชั้น 2 ซึ่งเป็นเส้นทางที่อพยพช้าที่สุด ในช่วงเวลา 300 วินาที ผู้ใช้อาคารที่อพยพฝั่งอาคาร 1 ชั้น 2 ชั้น 3 และอาคาร 2 ชั้น 2 ยังไม่ออกจากภายในอาคาร แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การอพยพของผู้ใช้อาคาร ในช่วงเวลา 300 วินาที หลังปรับปรุงครั้งที่ 1

2.2 การปรับปรุงครั้งที่ 2

จากการปรับปรุงครั้งที่ 1 ยังพบว่า ผู้ใช้อาคารแออัดบริเวณบันไดฝั่งอาคาร 1 ชั้น 2 ชั้น 3 และอาคาร 2 ชั้น 2 เวลาการอพยพเกิน 300 วินาที และผู้ใช้อาคารยังไม่ออกจากอาคาร จึงทำการปรับปรุงครั้งที่ 2 คือ การรื้อบันไดหนีไฟภายนอกอาคาร ST-01 และสร้างบันไดหนีไฟใหม่ตรงตำแหน่งเดิม ซึ่งบันไดหนีไฟภายนอกอาคารเดิมกว้าง 100 ซม. บันไดหนีไฟภายนอกคารใหม่กว้าง 172.5 ซม. แสดงดังภาพที่ 4

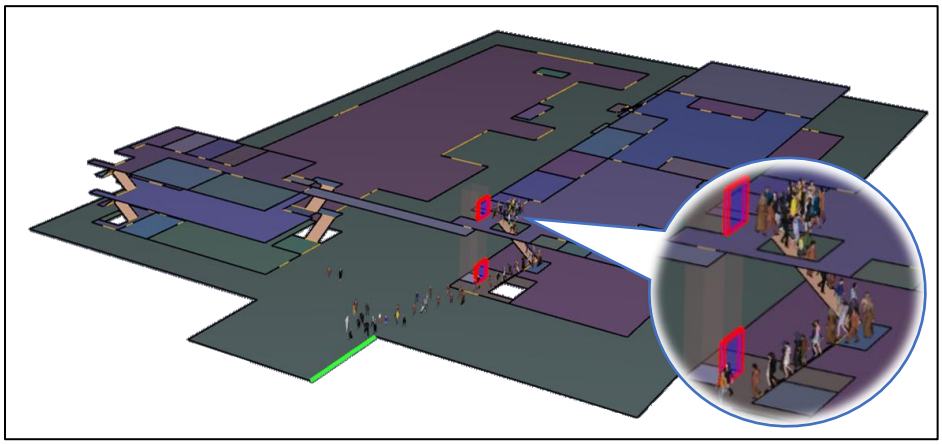
ภาพที่ 4 ตำแหน่งที่ขยายบันไดหนีไฟภายนอกอาคาร ST-01

จากการจำลองการอพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder โดยกำหนดสถานการณ์เพลิงไหม้ทั้งหมด 8 สถานการณ์ ในกรณีการปรับปรุงครั้งที่ 2 สามารถสรุปผลการจำลองเวลาอพยพดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการจำลองเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคารก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงครั้งที่ 2

สถานการณ์	เวลาการอพยพ หลังปรับปรุง ครั้งที่ 1 (วินาที)	เวลาการอพยพ หลังปรับปรุง ครั้งที่ 2 (วินาที)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (%)
1	398.80	350.00	- 12.24
2	417.50	351.50	- 15.81
3	422.00	375.50	- 11.02
4	423.30	376.30	- 11.10
5	422.00	375.50	- 11.02
6	402.30	353.80	- 12.06
7	398.80	350.00	- 12.24
8	488.30	441.80	- 1.45

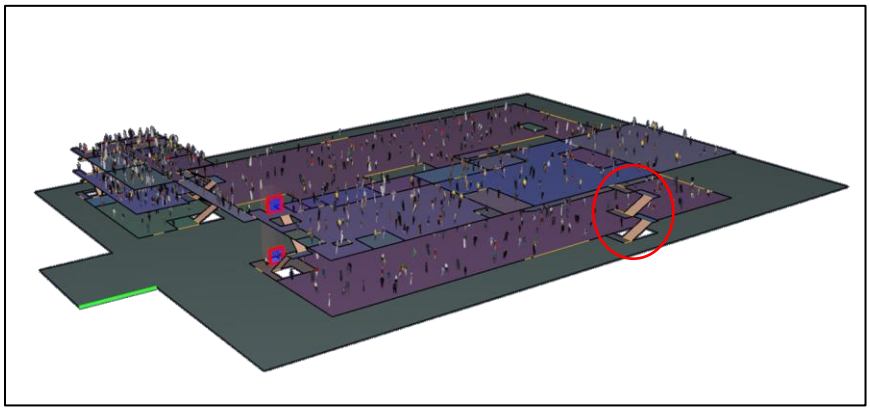
จากผลการจำลอง เมื่อการรื้อบันไดหนีไฟภายนอกอาคารและสร้างใหม่ตรงตำแหน่งเดิมให้กว้างขึ้น พบว่า เวลาการอพยพเฉลี่ยลดลงจากการปรับปรุงครั้งที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 10.87 ทุกสถานการณ์ใช้เวลาการอพยพเกิน 300 วินาที ผู้ใช้อาคารแออัดบริเวณบันไดฝั่งอาคาร 2 ชั้น 2 ซึ่งเป็นเส้นทางที่อพยพช้าที่สุด ในช่วงเวลา 300 วินาที ผู้ใช้อาคารที่อพยพฝั่งอาคาร 2 ชั้น 2 ยังไม่ออกจากภายในอาคาร แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การอพยพของผู้ใช้อาคาร ในช่วงเวลา 300 วินาที หลังปรับปรุงครั้งที่ 2

2.3 การปรับปรุงครั้งที่ 3

จากการปรับปรุงครั้งที่ 2 ยังพบว่า ผู้ใช้อาคารแออัดบริเวณบันไดอาคาร 2 ชั้น 2 เวลาการอพยพเกิน 300 วินาที และผู้ใช้อาคารยังไม่ออกจากอาคาร จึงทำการปรับปรุงครั้งที่ 3 คือ สร้างบันไดหนีไฟภายนอกอาคาร บริเวณอาคาร 2 เพื่อเพิ่มเส้นทางหนีไฟ ขนาดบันไดหนีไฟภายนอกอาคารกว้าง 172.5 ซม. และกำหนดเส้นทางการอพยพของผู้ใช้อาคาร Zone 2 B2F3 และ Zone 3 B2F3 เพื่อลดการแออัดบริเวณบันไดอาคาร 2 ชั้น 2 ที่มีผู้ใช้อาคารหนาแน่น แสดงดังภาพที่ 6



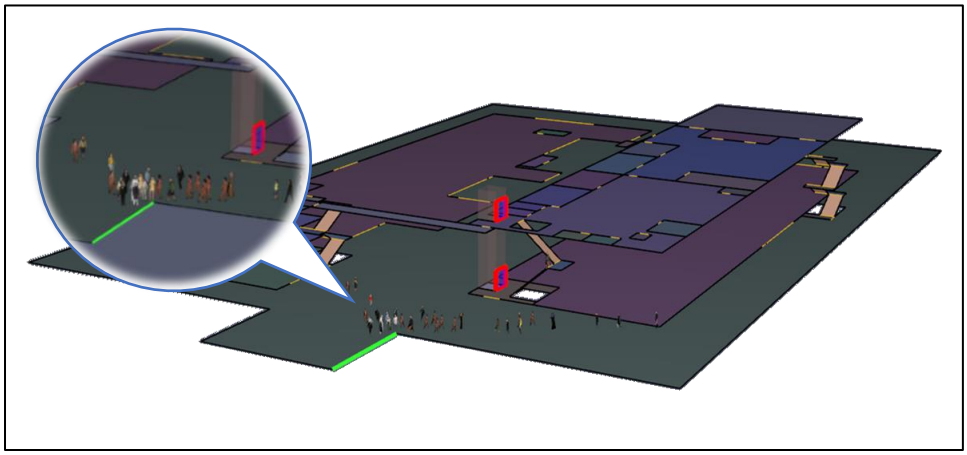
ภาพที่ 6 ตำแหน่งที่สร้างบันไดหนีไฟภายนอกอาคาร บริเวณสำนักงาน อาคาร 2

จากการจำลองการอพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder โดยกำหนดสถานการณ์เพลิงไหม้ทั้งหมด 8 สถานการณ์ ในกรณีการปรับปรุงครั้งที่ 3 สามารถสรุปผลการจำลองเวลาอพยพดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลการจำลองเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคารก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงครั้งที่ 3

สถานการณ์	เวลาการอพยพ หลังปรับปรุง ครั้งที่ 2 (วินาที)	เวลาการอพยพ หลังปรับปรุง ครั้งที่ 3 (วินาที)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (%)
1	350.00	324.80	- 7.20
2	351.50	322.80	- 8.17
3	375.50	336.50	- 10.39
4	376.30	336.50	- 10.58
5	375.50	336.50	- 10.39
6	353.80	325.50	- 8.00
7	350.00	324.80	- 7.20
8	441.80	353.80	- 19.92

จากผลการจำลองเมื่อเพิ่มเส้นทางหนีไฟ โดยสร้างบันไดหนีไฟภายนอกอาคาร และกำหนดเส้นทางอพยพ พบว่า เวลาการอพยพเฉลี่ยลดลงจากการปรับปรุงครั้งที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 10.23 ทุกสถานการณ์ใช้เวลาการอพยพเกิน 300 วินาที แต่ในช่วงเวลา 300 วินาที ผู้ใช้อาคารสามารถอพยพออกจากภายในอาคารได้ทั้งหมด ถึงแม้ว่าระยะทางสัญจรเพิ่มขึ้น จากการอพยพโดยใช้บันไดหนีไฟภายนอกอาคารที่สร้างใหม่ แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การอพยพของผู้ใช้อาคาร ในช่วงเวลา 300 วินาที หลังปรับปรุงครั้งที่ 3

2.4 การปรับปรุงครั้งที่ 4

จากการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้หลังการปรับปรุงทั้ง 3 อย่าง พบว่า ผู้ใช้อาคารใช้เวลาการอพยพเกิน 300 วินาที ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎหมายกำหนด จึงทำการปรับปรุงครั้งที่ 4 คือ การจำกัดจำนวนผู้ใช้อาคาร เพื่อช่วยลดความแออัดขณะอพยพ ส่งผลให้สามารถอพยพออกจากอาคารไปยังจุดรวมพลได้เร็วขึ้น ซึ่งในการจำลองครั้งนี้ลดจำนวนผู้ใช้อาคารลง ครั้งละ 10 % จนกว่าเวลาอพยพไม่เกิน 300 วินาที โดยเลือกลดจำนวนผู้ใช้อาคารบริเวณสำนักงานโรงอาหาร อาคาร 1 ชั้น 3 และส่วนการผลิต 3 จากการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารที่ลดลงสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สรุปจำนวนผู้ใช้อาคารสูงสุดที่ขีดความสามารถของเส้นทางหนีไฟรองรับได้

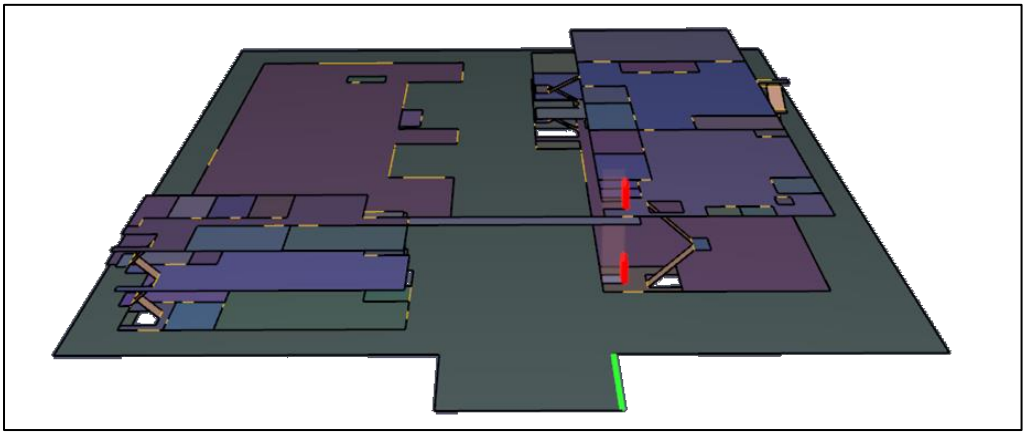
ลำดับ	การลดจำนวนผู้ใช้อาคาร (%)	จำนวนผู้ใช้อาคารคงเหลือ (คน)	เวลาอพยพ (วินาที)
1	0	1,095	443.50
2	10	985	331.00
3	20	876	322.80
4	30	766	288.00

จากตารางที่ 5 เป็นการจำลองลดจำนวนผู้ใช้อาคารในสถานการณ์ที่ 8 เนื่องจากเป็นสถานการณ์ที่ใช้เวลาอพยพมากที่สุด โดยผลการจำลอง พบว่า การลดจำนวนผู้ใช้อาคาร ส่งผลให้ระยะเวลาอพยพลดลง ซึ่งการลดจำนวนผู้ใช้อาคารที่เหมาะสม คือ ลดลง 30 % หรือจำกัดผู้ใช้อาคารไม่เกิน 766 คน โดยผลการจำลองสถานการณ์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลการจำลองเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคารก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงครั้งที่ 4

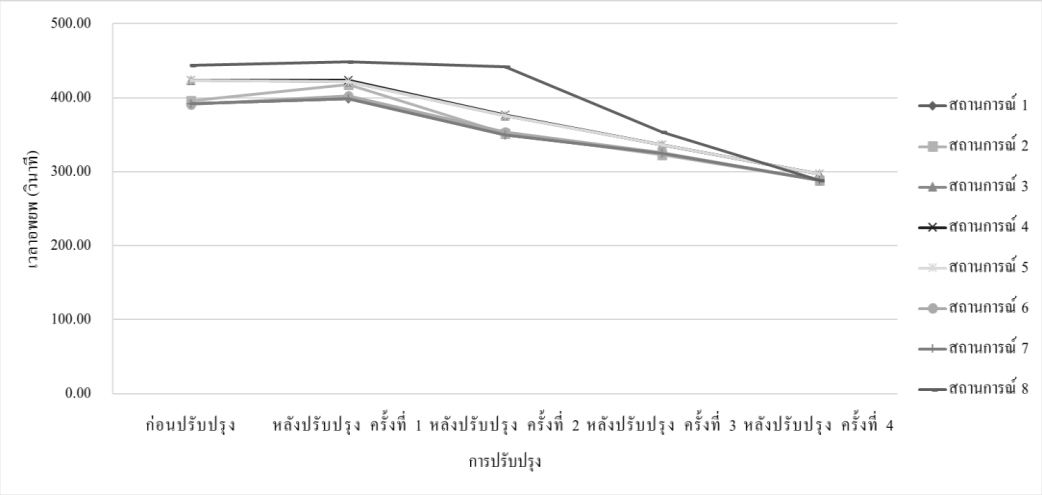
สถานการณ์	เวลาการอพยพ หลังปรับปรุง ครั้งที่ 3 (วินาที)	เวลาการอพยพ หลังปรับปรุง ครั้งที่ 4 (วินาที)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (%)
1	324.80	288.00	- 11.33
2	322.80	288.00	- 10.78
3	336.50	297.00	- 11.74
4	336.50	297.00	- 11.74
5	336.50	297.00	- 11.74
6	325.50	288.00	- 11.52
7	324.80	288.00	- 11.33
8	353.80	288.00	- 18.60

จากผลการจำลองทุกสถานการณ์ พบว่า เวลาการอพยพเฉลี่ยลดลงจากการปรับปรุงครั้งที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 12.35 ซึ่งการลดจำนวนผู้ใช้อาคารลง 30 % หรือผู้ใช้อาคารไม่เกิน 766 คน ส่งผลให้ผู้ใช้อาคารอพยพไปยังจุดรวมพลได้ไม่เกิน 300 วินาที ตามที่กฎหมายกำหนดทุกสถานการณ์ แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การอพยพของผู้ใช้อาคาร ในช่วงเวลา 297 วินาที หลังปรับปรุงครั้งที่ 4

จากผลการจำลองเวลาอพยพหนีไฟก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงครั้งที่ 1-4 พบว่า ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงครั้งที่ 1-2 ผู้ใช้อาคารใช้เวลาอพยพไปยังจุดรวมพลเกิน 300 วินาที เนื่องจากผู้ใช้อาคารแออัดบริเวณบันไดฝั่งอาคาร 1 ชั้น 2 ชั้น 3 และอาคาร 2 ชั้น 2 ซึ่งเป็นเส้นทางที่อพยพช้าที่สุด และผู้ใช้อาคารยังไม่สามารถอพยพออกจากภายในอาคารได้ภายใน 300 วินาที ทุกสถานการณ์ ส่วนการปรับปรุงครั้งที่ 3 ผู้ใช้อาคารทั้งหมดสามารถอพยพออกจากอาคารได้ทั้งหมด แต่ระยะเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคารไปยังจุดรวมพลเกิน 300 วินาที เนื่องจากมีระยะทางสัญจรที่เพิ่มขึ้น และการปรับปรุงครั้งที่ 4 ผู้ใช้อาคารสามารถอพยพไปยังจุดรวมพลได้ไม่เกิน 300 วินาที ตามที่กฎหมายกำหนด ซึ่งการปรับปรุงแต่ละครั้ง ส่งผลให้เวลาการอพยพลดลง ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กราฟเปรียบเทียบเวลาอพยพก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของแต่ละสถานการณ์

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองการอพยพหนีไฟโดยใช้โปรแกรม Pathfinder กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนโลหะปั๊มขึ้นรูป โดยมีจำนวนผู้ใช้อาคารที่คำนวณได้ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code มีจำนวน 1,095 คน แบ่งเป็นเพศชายร้อยละ 39.52 และเพศหญิงร้อยละ 60.48 โดยมีการกำหนดสถานการณ์เพลิงไหม้ให้ครอบคลุมทั้งหมด 8 สถานการณ์ และกำหนด Pre evacuation time (M2 B1-B2 A1-A2) เพื่อวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟและศึกษาศึกษาเวลาอพยพของผู้ใช้อาคารให้สอดคล้องกับกฎหมายและมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code

ผลการวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟ พบว่า ขีดความสามารถของประตูและบันไดที่ใช้ในการอพยพหนีไฟไม่สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้อาคารทำให้ทำให้ผู้ใช้อาคารเกิดการรอคิวที่ประตูและแออัดบริเวณบันไดฝั่งอาคาร 1 ชั้น 2 ชั้น 3 และอาคาร 2 ชั้น 2 แต่เมื่อทำการปรับปรุงโดยการขยายความกว้างของประตู สร้างบันไดหนีไฟใหม่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้อาคารได้ และเพิ่มเส้นทางหนีไฟ โดยสร้างบันไดหนีไฟภายนอกอาคาร รวมทั้งกำหนดเส้นทางอพยพ ทำให้ผู้ใช้อาคารมีการรอคิวที่ประตูไม่นานและไม่แออัดบริเวณบันได ส่งผลให้เวลาอพยพลดลง 0.35% ,10.87% และ 10.23 % ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนรินทร์ บุญประเสริฐ (2559) การเปรียบเทียบเวลาอพยพ แต่ทุกสถานการณ์ใช้เวลาการอพยพไปยังจุดรวมพลเกิน

300 วินาที เมื่อจำกัดจำนวนผู้ใช้อาคารลง 30 % หรือจำกัดผู้ใช้อาคารไม่เกิน 766 คน ทำให้เวลาการอพยพลดลง 12.35 % เนื่องจากลดความแออัดบริเวณทางออก ส่งผลให้ผู้ใช้อาคารอพยพไปยังจุดรวมพลได้ไม่เกิน 300 วินาที ตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ.2555 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Li, Zhu, Wang, & Zhou (2018) ซึ่งผลการศึกษา พบว่า ความหนาแน่นของประชากรที่มีจำนวนมาก และการใช้บันไดไฟร่วมกัน ทำให้เกิดความแออัดที่ทางออก ซึ่งมีผลต่อความเร็วในการอพยพที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

จากการพิจารณา ถ้าต้องอพยพผู้ใช้อาคารไปยังจุดรวมพล โดยใช้เวลาอพยพไม่เกิน 300 วินาที ของโรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางในการปรับปรุงโครงร้างอาคาร คือ 1. ขยายประตูหนีไฟ D-102 บริเวณอาคาร1 ชั้น 2 และประตูหนีไฟชั้น 3 D-103 บริเวณอาคาร1 ชั้น 3 โดยขนาดประตูหนีไฟกว้าง 110 ซม. 2. การรื้อบันไดหนีไฟและสร้างบันไดหนีไฟภายนอกอาคารใหม่ตรงตำแหน่งเดิม ST-01 บริเวณอาคาร 1 โดยขนาดบันไดหนีไฟกว้าง 172.5 ซม. และ 3. เพิ่มเส้นทางหนี โดยสร้างบันไดหนีไฟภายนอกอาคารเพิ่ม บริเวณอาคาร 2 ซึ่งขนาดบันไดหนีไฟกว้าง 172.5 ซม. และกำหนดเส้นทางอพยพของผู้ใช้อาคาร Zone 2 B2F3 และ Zone 3 B2F3 อพยพโดยใช้บันไดหนีไฟที่สร้างใหม่ รวมถึงการจำกัดจำนวนผู้ใช้อาคารที่เหมาะสมกับขีดความสามารถของอาคาร คือ ลดจำนวนผู้ใช้อาคารลง 30 % หรือจำกัดผู้ใช้อาคารไม่เกิน 766 คน

ข้อเสนอแนะ

จำลองการปรับปรุงในวิจัยนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งที่ผู้ใช้อาคารสามารถอพยพได้ภายในเวลา 300 วินาที ตามที่กฎหมายกำหนด แต่มีปัจจัยอื่น ๆ ที่เพิ่มประสิทธิภาพการอพยพ เช่น ควรฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ ฝึกซ้อมดับเพลิง บำรุงรักษาระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ และตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันอัคคีภัยเป็นประจำอย่างสม่ำเสมอ เพราะมีผลต่อเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคารที่เร็วขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำแนะนำปรึ กษา ฝ่ายความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม รวมถึงฝ่ายวิศวกรรม ที่คอยช่วยสนับสนุนข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้ให้บรรลุสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงแรงงาน. (2556). *กฎกระทรวงแรงงานเรื่องกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับ พ.ศ.2555*

นรินทร์. (2559). *การเปรียบเทียบเวลาอพยพในอาคารสูงระหว่างวิธี SFPE และ steering ด้วยโปรแกรม Pathfinder*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรพงษ์ สุประดิษฐอาภรณ์. *การจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารวิศวกรรมเครื่องกลด้วยโปรแกรม Pyrosim และ Pathfinder* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคลื่องกล]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2556.

Li, M.-x., Zhu, S.-b., Wang, J.-h., & Zhou, Z. (2018). *Research on Fire Safety Evacuation in a University Library in Nanjing*. Procedia Engineering 211 (2018), 372–378.

NFPA101. (2018a). *Life Safety Code Handbook 2018*. In. National Fire Protection Association.

PD7974-6:2004. (2004). *Part 6: Human factors: Life safety strategies* - Occupant evacuation, behaviors and condition. In.

Ramaiyan, M. (2014). *Utilization of Evacuation Model for Airports Using Risk Based Fire Safety Scenario*.

Rostami, R., & Alaghmandan, M. (2021). Performance-based design in emergency evacuation: From maneuver to simulation in school design. *Journal of Building Engineering, 33*.