Research Article

Received: May 9, 2019; Accepted: November 8, 2019

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบตัวแทนสำหรับวิเคราะห์การวางแผนอพยพจากเหตุฉุกเฉินเพลิงไหม้ในกรณีศึกษาอาคารเรียน

Fire Emergency Evacuation Study Using Agent-based Computer Programming: A Case Study of Educational Building

กสิณ รังสิกรรพุม* และวัฒนา จันทะโคตร

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Kasin Ransikarbum* and Wattana Chanthakhot

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University,

Muang Si Khai, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani, 34190

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และวางแผนการอพยพในกรณีเหตุฉุกเฉินจากไฟไหม้โดยใช้โปรแกรม Pathfinder ซึ่งจำลองการอพยพที่ใช้การสร้างโมเดลแบบตัวแทน (ABS) โดยใช้กรณีศึกษาของอาคารเรียนรวม 6 ชั้น ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (EN6) ซึ่งประกอบด้วยห้องต่าง ๆ ภายในอาคารเรียนที่มีความแตกต่างกันที่ขนาดความจุและประเภทของห้องในแต่ละชั้นของอาคาร วัดผลด้วยระยะเวลาอพยพทั้งหมดที่จะสิ้นสุดลงเมื่อผู้ใช้อาคารอพยพออกเป็นคนสุดท้าย โดยเบื้องต้นได้ออกแบบการทดลองในการวิเคราะห์ผลกระทบด้านเวลาจากการเปรียบเทียบทางเลือกในการใช้ช่องทางในการอพยพแบบต่าง ๆ กรณีปกติที่ไม่มีเหตุฉุกเฉิน เพื่อดูผลกระทบด้านเวลาและจำนวนคนอพยพในแต่ละช่วงเวลา โดยกำหนดเป็น 6 กรณีศึกษาตามการเปิดใช้ของบันไดหนีไฟและลิฟท์ จากนั้นจำลองการอพยพหนีไฟภายใต้สถานการณ์ไฟไหม้จาก 7 สถานการณ์ ตามแหล่งกำเนิดไฟไหม้ที่ต่างกัน เพื่อพิจารณาการเลือกเส้นทางการอพยพของผู้ใช้อาคารหลังเกิดเหตุฉุกเฉิน ผลการวิเคราะห์พบว่าตำแหน่งการเกิดเพลิงไหม้ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการอพยพของผู้ใช้อาคาร นอกจากนี้การกำหนดเส้นทางการอพยพและการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟควรคำนึงถึงแหล่งเกิดเหตุฉุกเฉินและความรุนแรงที่ต่างกันด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนอพยพหนีไฟจริง

คำสำคัญ : แบบจำลองคอมพิวเตอร์แบบตัวแทน; การวางแผนการอพยพ; การจัดการเพลิงไหม้; อาคารเรียน

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** kasinphd@gmail.com

doi: 10.14456/tstj.2020.149

Abstract

In this research, we analyze the fire evacuation planning using the Pathfinder program, which is based on the agent-based simulation (ABS) approach. We conduct a designed experiment using a case study of a fire-emergency situation hypothetically occurred at the engineering building at Ubonratchathani university. Next, we analyze different egress/evacuation options for emergency evacuation planning, including stairway and elevator, by performing 6 designed cases to understand how these options affect travel time to an emergency exit on the first floor of building occupants. Then, we investigate agent behaviors and evacuation time of students and faculties assumed to randomly using various rooms in the building under 7 fire scenarios. Analyzed results show that various alternatives for evacuation planning affect both evacuation time and the number of people to be evacuated, which implies that proper plan for successful emergency preparedness and response, such as in an evacuation drill, should consider locations and severity of fire sources into account.

Keywords: agent-based simulation modeling; evacuation planning; fire management; academic building

1. บทนำ

ผลกระทบขนาดหนักทั่วโลกจากจำนวนเหตุฉุกเฉิน รวมถึงภัยพิบัติที่มากขึ้นทั้งจากทางธรรมชาติและที่เกิดจากมนุษย์ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมานี้ ส่งผลให้หลาย ๆ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการศึกษาของรัฐบาลและเอกชนให้ความสนใจและศึกษาอย่างจริงจัง โดยทางสหพันธ์สภากาชาดระหว่างประเทศ (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, IFRC) [1] ได้จัดทำรายงานภัยพิบัติโลก (world disaster report) ในปี ค.ศ. 2015 ซึ่งระบุว่าในช่วงประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา มีจำนวนเหตุฉุกเฉินจากภัยพิบัติเกิดขึ้น 6,311 ครั้ง (ค.ศ. 2005-2014) ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียมีผู้เสียชีวิต 0.8 ล้านคน กระทบกับผู้คนมากถึง 1.9 พันล้านคน และก่อให้เกิดความสูญเสียมากกว่า 1.6 ล้านล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งความเสียหายมากมายเหล่านี้ทำให้เกิดความสนใจในงานวิจัยด้านการบริหารจัดการภัยพิบัติขึ้น (disaster management) สำหรับทางการวิจัยมีการตั้งชื่อศาสตร์ด้านนี้ขึ้นใหม่ว่าการบรรเทาเหตุฉุกเฉิน (emergency relief) หรือระบบโลจิสติกส์ฮิวแมนนิแทเรียน (humanitarian logistics) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือด้านการวิจัยดำเนินงานและวิทยาศาสตร์การจัดการ (operations research and management science, OR/MS) เช่น การสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์และการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนจัดการเหตุฉุกเฉิน (emergency planning) ปัจจุบันมีการแบ่งตามวงจรการจัดการเหตุฉุกเฉินและภัยพิบัติทั้ง 4 เฟส ตามช่วงเวลาก่อนและหลังการเกิดเหตุ (pre- and post-emergency operation) โดยช่วงก่อนเกิดเหตุรวมถึงการลดความรุนแรงจากเหตุฉุกเฉินและภัยพิบัติให้น้อยลง (mitigation phase) และการเตรียมการสำหรับเหตุฉุกเฉิน (preparedness phase) ขณะที่ช่วงหลังการเกิดเหตุฉุกเฉินเน้นที่การตอบสนองทันที

หลังจากเกิดเหตุ (response phase) และการแก้ไขเหตุการณ์ให้กลับมาในสภาพปกติ (recovery phase) ดังแสดงในรูปที่ 1 [2]

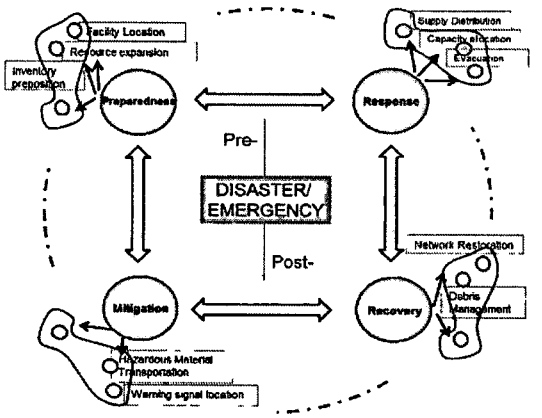

Figure 1 Emergency and disaster management cycle (adapted from [2])

ปัจจุบันแบบจำลองส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานวิจัยจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหาการจัดการเหตุฉุกเฉินหรือภัยพิบัติ ขณะที่การศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มีอยู่จำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาโมเดลจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบตัวแทนหรือ agent-based simulation (ABS) โดยโปรแกรมที่นำมาใช้วิเคราะห์ในงานวิจัย คือ Pathfinder [3] ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้เทคนิค ABS ในการโมเดลแบบจำลองการวางแผนอพยพ (evacuation planning) กรณีการเกิดเหตุฉุกเฉิน เมื่อไม่นานมานี้มีนักวิจัยที่เริ่มใช้โปรแกรม Pathfinder ในการจำลองปัญหาการอพยพในการเกิดเหตุฉุกเฉินสำหรับสถานการณ์ต่าง ๆ [21-24] ได้แก่ การจัดการเหตุฉุกเฉินในงานแสดงดนตรี การอพยพจากอาคารสูง การอพยพของนักเรียนจากอาคารเรียน เป็นต้น ทั้งนี้ข้อดีของการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ คือ การวิเคราะห์ปัญหาที่มีความสลับซับซ้อนและมีความไม่แน่นอนมาเกี่ยวข้องด้วย รวมถึงการใช้ภาพเคลื่อนไหว (animation) เข้ามาช่วยในการตัดสินใจ ขณะที่ข้อเสียจะเกี่ยวข้องกับเวลาในการพัฒนาแบบจำลองที่ต้องใช้เวลานาน [25] งานวิจัยนี้วิเคราะห์การแก้ปัญหาแบบบูรณาการในช่วงการวางแผนก่อนเกิดเหตุฉุกเฉินในช่วงการเตรียมตัวรับมือ (preparedness phase) กรณีการเกิดเหตุฉุกเฉินและหลังเกิดเหตุฉุกเฉินในช่วงการตอบสนอง (response phase) ในการอพยพ

2. วิธีการวิจัยและกรณีศึกษา

2.1 เครื่องมือวิจัย

การใช้เครื่องมือทางการวิจัยดำเนินงาน (OR/MS) ในการจัดการเหตุฉุกเฉินมีความเหมาะสม เนื่องจากเป็นที่ชัดเจนว่านโยบายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเหตุฉุกเฉินมีความเกี่ยวข้องกับคนหมู่มาก โดยมีค่าใช้จ่ายและความเสี่ยงสูงในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างมากที่จะต้องวิเคราะห์อย่างเป็นเหตุและผลก่อนนำไปใช้จริง โดยเครื่องมือทาง OR/MS มีทั้งในรูปแบบของการพัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) [4-10] และในรูปแบบของโมเดลแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (simulation model) [11-18] โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่จะเหมาะในการนำไปใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ (large-scale network) ขณะที่แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เหมาะกับปัญหาที่สลับซับซ้อนที่มีขนาดเล็ก รายละเอียดเยอะและมีความไม่แน่นอนสูงกว่า เช่น กรณีการวางแผนอพยพ งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบตัวแทนหรือ ABS ซึ่งถือเป็นเครื่องมือใหม่ที่พัฒนาขึ้นในการโมเดลระบบ ซึ่งประกอบด้วยการเชื่อมต่อกันของตัวแทน (agent) ในระบบ หรือผู้อพยพในงานวิจัยนี้ โดยผ่านกฎเกณฑ์ (rule) บางอย่าง

ในการควบคุมพฤติกรรมของ agent ในระบบ เพื่อติดต่อกันระหว่าง agent ด้วยกันเองและระหว่าง agent กับสิ่งแวดล้อม (environment) ข้อดีของ ABS คือ ศึกษาพฤติกรรมที่สลับซับซ้อนของ agent ได้ดีกว่าการใช้ simulation แบบอื่น ๆ ซึ่งการโมเดลโดยใช้ agent-based หรืออีกชื่อหนึ่ง คือ rule-based นี้เป็นลักษณะการโมเดลจากล่างขึ้นบน (bottom-up) นั่นคือ จากความเข้าใจในตัว agent ไปสู่การเข้าใจในตัวระบบในที่สุดนั่นเอง [19-20]

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Pathfinder ในการวิเคราะห์การอพยพภายใต้สถานการณ์ฉุกเฉินจากเพลิงไหม้ โดยวัดผลของระยะเวลาอพยพทั้งหมด (total evacuation) ที่จะสิ้นสุดลงเมื่อผู้ใช้อาคารอพยพออกเป็นคนสุดท้าย นอกจากนี้ได้แสดงผลทั้งในรูปแบบสองมิติและสามมิติที่คล้ายกับการเคลื่อนที่ของการอพยพคนในสถานการณ์จริง

2.2 กรณีศึกษา

โดยประสานงานกับทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เพื่อขอความอนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับแบบแปลนอาคารเรียนรวมของคณะวิศวกรรมศาสตร์ (EN6) และสำรวจพื้นที่จริงของอาคารในแต่ละชั้น เพื่อนำข้อมูลมาจัดสร้างโมเดลอาคารเรียนรวมคณะวิศวกรรมศาสตร์เสมือนจริง จำนวน 6 ชั้น ดังแสดงตัวอย่างอาคารเรียนรวมในรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยห้องเรียน ห้องพักอาจารย์ สำนักงาน รวมถึงห้องสมุด โดยแต่ละชั้นสูงประมาณ 4 เมตร และภายในอาคารมีขนาดความจุของห้องในแต่ละชั้นของอาคารต่างกัน โดยการโมเดลแบบจำลองอาคารแต่ละส่วนของ EN6 แสดงดังรูปที่ 3 ทั้งนี้ได้สร้างแบบจำลองโดยใช้สมมุติฐานในการสร้างอาคารเรียนแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่เป็นอาคารเรียน (อาคารส่วนที่ 1) ซึ่งมีฝั่งซ้ายและขวาของอาคารที่ขนานกัน และส่วนที่

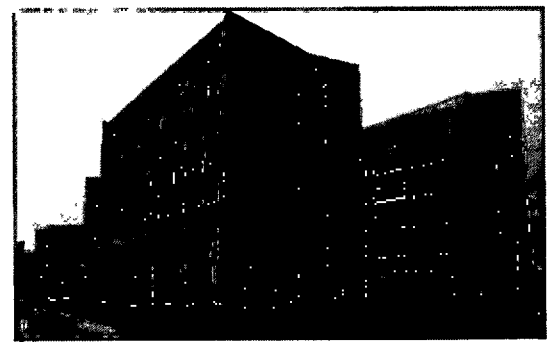

Figure 2 The case study of an engineering building (EN6)

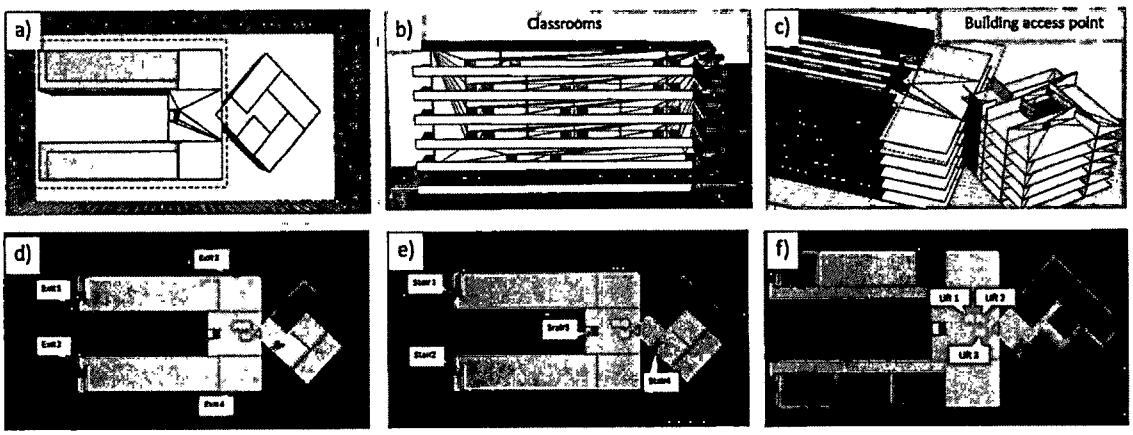

Figure 3 The simulation model of EN6 building: a) top view, b) side view, c) building access point, d) exit position or fire escape door, e) stair position, and f) elevator position

เป็นสำนักงานและห้องพักอาจารย์ (อาคารส่วนที่ 2) เพื่อลดความซับซ้อนในการสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ โดยที่ตัวอาคารมีการเชื่อมต่อกันระหว่าง 2 ส่วนหลัก โดยส่วนที่มีการเชื่อมต่อระหว่างสองส่วนอาคารที่มีลักษณะเป็นวงกลมในตัวแบบแปลน และได้ปรับแบบจำลองเป็นส่วนของสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อลดความซับซ้อนของแบบจำลอง ซึ่งไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งขั้นตอนต่อมาเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล โดยมีการพูดคุยกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้แน่ใจว่าโมเดลสร้างออกมาอย่างถูกต้องก่อนที่จะโมเดลเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อการวิเคราะห์ผลการอพยพและเวลาที่ใช้ต่อไป

2.3 สมมุติฐานและการออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษา 2 ประเด็นหลัก คือ (1) การวิเคราะห์ผลกระทบจากการใช้ช่องทางในการอพยพแบบต่าง ๆ ในสถานการณ์ปกติ และ (2) การวิเคราะห์การวางแผนการอพยพในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน โดยออกแบบการทดลองในการโมเดลรูปแบบพฤติกรรมของ agent ซึ่งแบบจำลองในงานวิจัยนี้ คือ

2.3.1 รูปแบบการอพยพของ agent เป็นรูปแบบการจำลองการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อน แต่เสมือนจริง โดยมีความโค้งและมีการเว้นระยะห่างระหว่างคนกับคนและคนกับสิ่งของ ซึ่งสอดคล้องกับธรรมชาติการอพยพของคน

2.3.2 รูปแบบพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของ agent กำหนดให้เป็นแบบการเคลื่อนที่เข้าหาทางออกที่ใกล้ที่สุดก่อน (go to any exit) ซึ่งหมายถึงการรับรู้ข้อมูลอย่างดีของผู้ใช้อาคารและสถานที่สำหรับตำแหน่งของทางออกต่าง ๆ รวมถึงบันไดหรือลิฟท์ที่จะใช้ในการอพยพ

2.3.3 ความเร็วของการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ (agent speed) กำหนดให้เท่ากันหมดที่ความเร็ว 1.19 เมตรต่อวินาที ในทุกกรณี เพื่อให้เป็นปัจจัยคงที่ในการเปรียบเทียบทุกเหตุการณ์ที่ศึกษาในการออกแบบการทดลอง

2.3.4 กำหนดสมมุตฐานให้ไม่มีความแตกต่างระหว่าง agent ที่อพยพ ความหมาย คือ ไม่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญด้านเพศ อายุ หรือความแตกต่างด้านร่างกายที่อาจมีผลต่อการอพยพ

2.3.5 กำหนดการประมาณจำนวน agent ทั้งหมด 1,000 คน ในการออกแบบการทดลองในงานวิจัยโดยประเมินจำนวนผู้ใช้อาคารในเวลาปกติช่วงเปิดเทอม และกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของ agent เป็นแบบสุ่ม

3. ผลการศึกษา

3.1 การศึกษาช่องทางในการอพยพ (as-is analysis)

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ผลกระทบด้านเวลาจากการเปรียบเทียบทางเลือก (egress option) ในการใช้ช่องทางการอพยพแบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นกรณีปกติที่ไม่มีเหตุฉุกเฉิน เพื่อดูผลกระทบด้านเวลาและจำนวนคนอพยพในแต่ละช่วงเวลา โดยกำหนดเป็น 6 กรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 1

โดยกรณีที่ 2- 4 ใช้การเลือกเปิดบันไดตัวที่ 1-3 และปิดบันไดตัวที่ 4 โดยจากการพูดคุยกับเจ้าหน้าที่พบว่าเป็นบันไดที่ในภาวะปกติจะไม่มีการใช้งาน และเป็นบันไดที่มีขนาดความกว้างน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับบันไดอื่น ๆ นอกจากนี้กรณีที่ 3 และ 4 เป็นการเลือกเปิดลิฟท์แบบสุ่ม กรณีที่ลิฟท์บางตัวใช้ไม่ได้ ส่วนกรณีที่ 5 ไม่เปิดบันไดหนีไฟให้ใช้งาน และเปิดลิฟต์ 3 ตัว และกรณีที่ 6 เปิดใช้บันไดหนีไฟทุกตัว แต่ไม่เปิดลิฟต์ให้ใช้งาน

3.1.1 ช่องทางในการอพยพกรณีที่ 1

กรณีที่ 1 เมื่อเปิดให้ใช้ช่องทางการอพยพทุกทาง ดังแสดงผลการ run โมเดลแต่ละช่วง

Table 1 Conditions for turning on and off of the fire escape routes in each case of evacuation

Cases	Stair 1	Stair 2	Stair 3	Stair 4	Lift 1	Lift 2	Lift 3
Case 1	On	On	On	On	On	On	On
Case 2	On	On	On	Off	Off	Off	Off
Case 3	On	On	On	Off	On	On	Off
Case 4	On	On	On	Off	On	Off	Off
Case 5	Off	Off	Off	Off	On	On	On
Case 6	On	On	On	On	Off	Off	Off

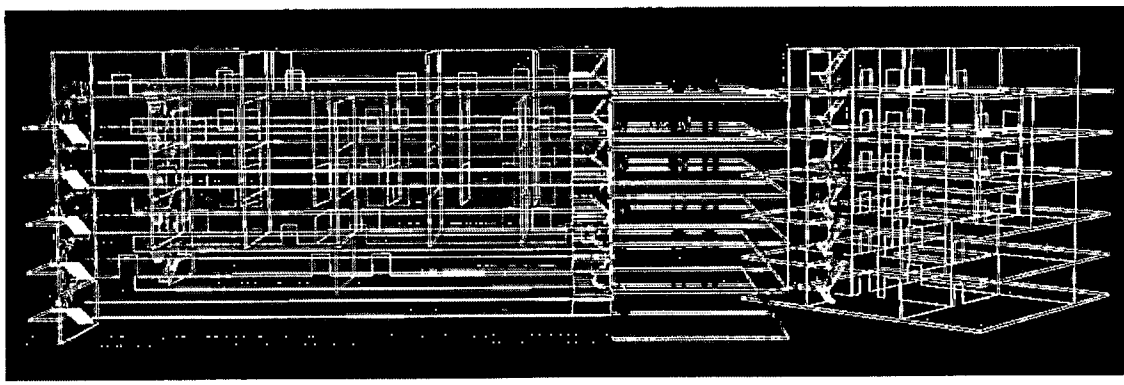

Figure 4 The illustration of simulation run for case 1

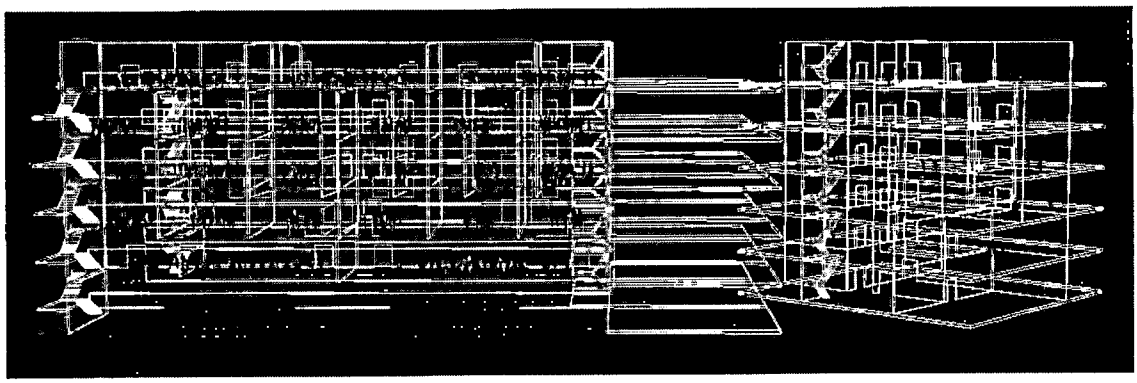

Figure 5 The illustration of simulation run for case 2

เวลาในรูปที่ 4 พบว่า agent จะเลือกใช้ช่องทางออกจากอาคารที่ใกล้ที่สุดกับตำแหน่งเริ่มต้นที่อยู่ และคนสุดท้ายออกจากอาคารได้โดยใช้เวลา 319 วินาที

3.1.2 ช่องทางในการอพยพกรณีที่ 2 กรณีที่ 2 เมื่อเปิดให้ใช้บันไดหนีไฟ 3 บันได แต่ไม่เปิดลิฟต์ให้ใช้งาน สามารถแสดงผลการ run โมเดลแต่ละช่วงเวลาดังแสดงในรูปที่ 5 โดยผลการจำลองโมเดลพบว่าคนสุดท้ายออกจากอาคารได้

โดยใช้เวลา 330.8 วินาที

3.1.3 ช่องทางในการอพยพกรณีที่ 3

กรณีที่ 3 เมื่อเปิดใช้บันไดหนีไฟ 3 บันได และเปิดลิฟต์ 2 ตัว สามารถแสดงผลการ run โมเดลแต่ละช่วงเวลาดังแสดงในรูปที่ 6 โดยผลการจำลองโมเดล พบว่าคนสุดท้ายออกจากอาคารได้โดยใช้เวลา 319 วินาที

3.1.4 ช่องทางในการอพยพกรณีที่ 4

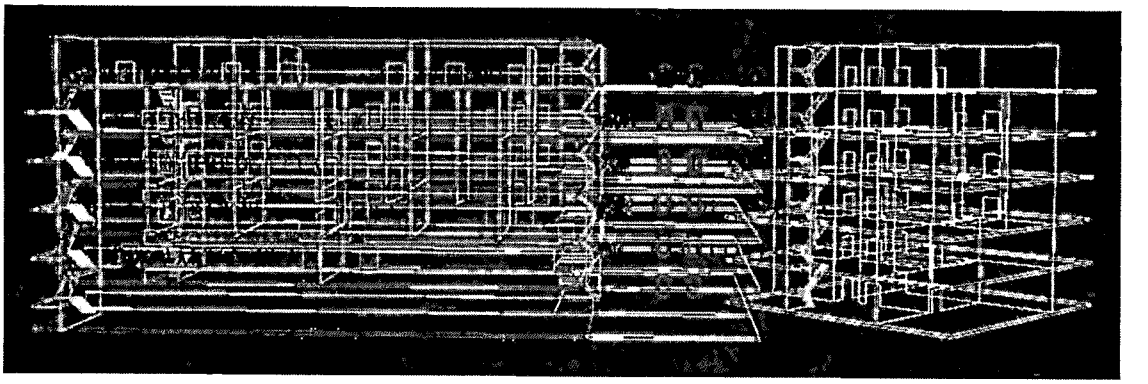

Figure 6 The illustration of simulation run for case 3

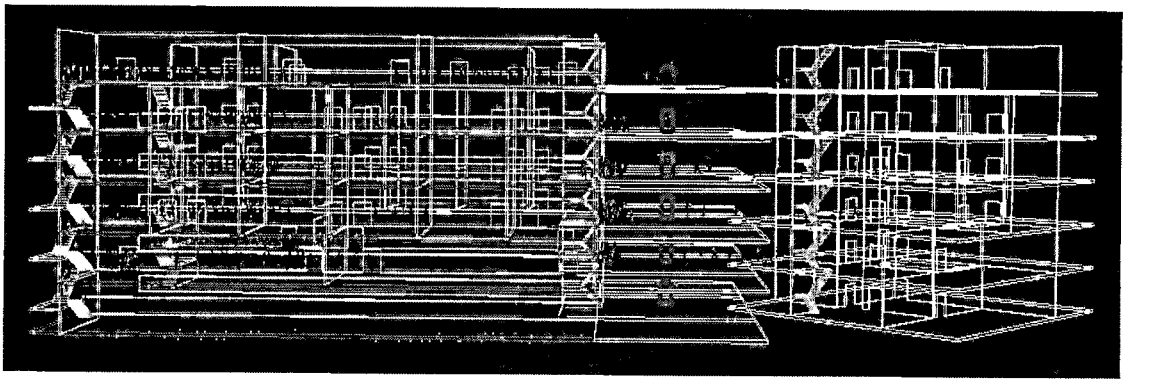

Figure 7 The illustration of simulation run for case 4

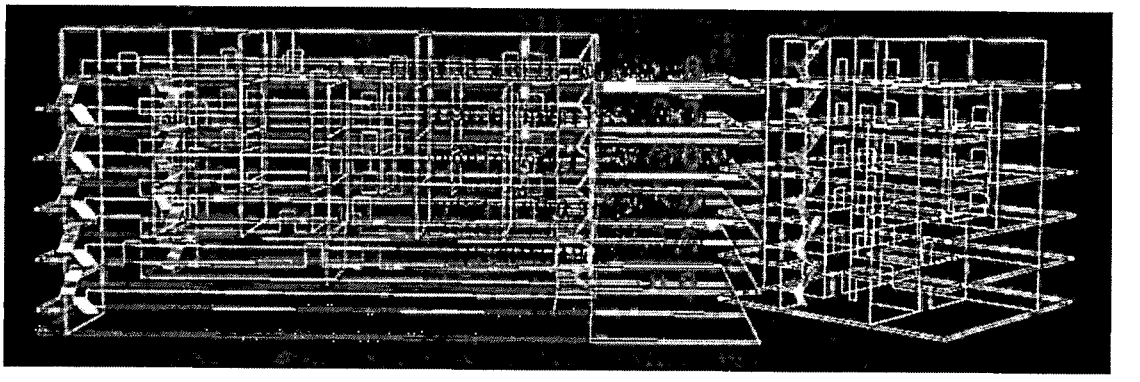

Figure 8 The illustration of simulation run for case 5

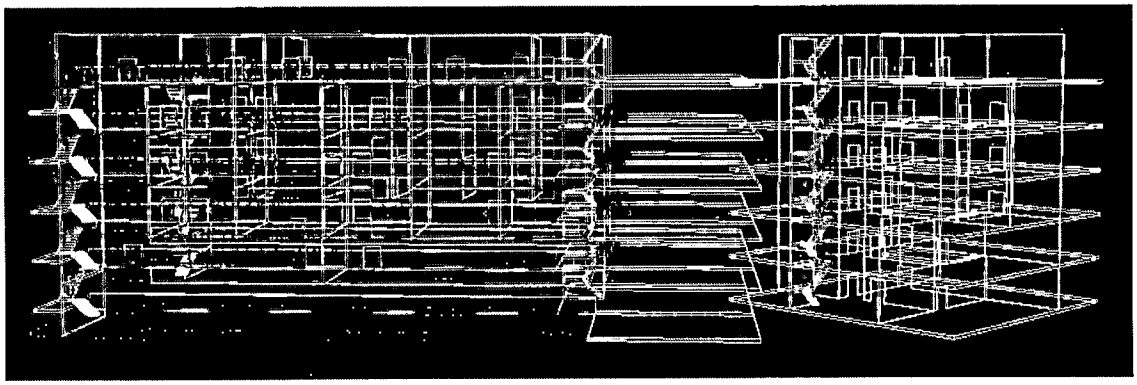

Figure 9 The illustration of simulation run for case 6

Table 2 Comparison of the number of evacuees at each time for all the 6 cases

Cases		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
Time (seconds)	100	251	216	229	224	25	249
	200	680	571	611	588	66	643
	300	959	927	955	949	132	933
	400	0	0	0	0	175	0
	500	0	0	0	0	225	0
	600	0	0	0	0	285	0
	700	0	0	0	0	342	0
	800	0	0	0	0	393	0
	900	0	0	0	0	446	0
	1,000	0	0	0	0	501	0
	1,100	0	0	0	0	565	0
	1,200	0	0	0	0	623	0
	1,300	0	0	0	0	688	0
	1,400	0	0	0	0	754	0
	1,500	0	0	0	0	811	0
	1,600	0	0	0	0	877	0
	1,700	0	0	0	0	946	0

กรณีที่ 4 เมื่อเปิดใช้บันไดหนีไฟ 3 บันได และเปิดลิฟต์ 1 ตัว สามารถแสดงผลการ run โมเดลแต่ละช่วงเวลา ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าคนสุดท้ายออกจากอาคารได้ โดยใช้เวลา 319 วินาที

3.1.5 ช่องทางในการอพยพกรณีที่ 5

กรณีที่ 5 เมื่อเปิดเฉพาะการใช้ลิฟต์ สามารถแสดงผลการ run โมเดลแต่ละช่วงเวลาดังแสดงในรูปที่ 8 โดยพบว่าคนสุดท้ายออกจากอาคารได้โดยใช้เวลา 1,768.8 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่สูงมากกว่ากรณีอื่น ๆ ก่อนหน้านี้ เนื่องจากการรอคอยและความแออัดของการใช้ลิฟท์เพียงอย่างเดียว

3.1.6 ช่องทางในการอพยพกรณีที่ 6

กรณีที่ 6 เมื่อเปิดใช้บันไดหนีไฟเพียงอย่างเดียว สามารถแสดงผลการ run โมเดลแต่ละช่วงเวลาดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าคนสุดท้ายออกจากอาคารได้โดยใช้เวลา 329 วินาที

3.1.7 ผลการเปรียบเทียบทั้ง 6 กรณี

การวิเคราะห์ข้างต้นสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบของทั้ง 6 กรณีศึกษา ได้ดังแสดงในตารางที่ 2 สำหรับจำนวนคนที่อพยพออกจากพื้นที่ได้ในแต่ละช่วงเวลา ทั้งนี้สามารถสรุปผลการวิเคราะห์กรณีศึกษาแบบจำลองพื้นฐานทั้ง 6 กรณี สำหรับผลกระทบจากการใช้ช่องทางในการอพยพแบบต่าง ๆ ในช่วงเวลาปกติที่ไม่มีสถานการณ์ฉุกเฉิน โดยพบว่าการอพยพในกรณีเปิดให้ใช้ได้ทุกช่องทาง (กรณีที่ 1) จะใช้เวลาในการออกจากอาคาร 319 วินาที ส่วนกรณีที่เปิดใช้ลิฟต์เพียงอย่างเดียวทั้ง 3 ตัว จะใช้เวลาถึง 1,769 วินาที (กรณีที่ 5) ส่วนการใช้บันไดอย่างเดียวโดยไม่ใช้ลิฟต์ (กรณีที่ 6) จะใช้เวลา 329 วินาที นอกจากนี้ผลการจำลองกรณีศึกษา 2-4 ซึ่งเป็นการทดลองกรณีปิด 1 บันได (บันไดที่ 4) โดยให้ใช้ได้เพียงบันไดที่ 1-3 แล้วทดลองไม่เปิดใช้งานลิฟต์ (กรณีที่ 2) พบว่าใช้เวลาออกจากอาคาร 330.8 วินาที ทดลองเปิดให้ใช้ลิฟต์เพียง 2 ตัว (กรณีที่ 3) พบว่าใช้เวลา 319 วินาที เช่นเดียวกับการทดลองเปิดให้ใช้ลิฟต์เพียง 1 ตัว (กรณีที่ 4) ที่พบว่าใช้เวลา 319 วินาที

3.2 การศึกษาการวางแผนการอพยพในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน (what-if analysis)

ผลการศึกษาในส่วนนี้เป็นการจำลองการอพยพหนีไฟจากการโมเดลเหตุฉุกเฉินเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดไฟไหม้ในจุดต่าง ๆ โดยใช้กรณีศึกษาที่ 6 ข้างต้น (อพยพหนีไฟ โดยใช้ได้เฉพาะบันไดหนีไฟทั้ง 4 ตัว) เป็นเงื่อนไขหลักในการกำหนดพฤติกรรมการหนีไฟ นอกจากนี้ออกแบบการทดลองโดยการจำลองตำแหน่งของการเกิดกองไฟที่ลุกไหม้ บริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดเหตุเพลิงไหม้ เพื่อศึกษาพฤติกรรมและเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคาร โดยแบ่งเป็น 7 สถานการณ์ตามขนาดห้องและบริเวณของอาคารที่ต่างกัน โดยสถานการณ์ที่ 1-4 แสดงการจำลองการเกิดเหตุในบริเวณส่วนอาคารเรียนหลักที่มีลักษณะขนานเป็นตึกฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของอาคาร โดยพิจารณาจากขนาดห้องเรียนที่มีความจุของนักศึกษาต่างกัน และพิจารณาจากตำแหน่งของจุดเกิดเหตุด้านในและด้านนอกอาคาร โดยตำแหน่งที่เกิดเพลิงไหม้ภายในห้องเรียนและภายนอกห้องเรียนของการวิเคราะห์ที่ชั้นเรียนใด ๆ ไม่จำเป็นต้องเป็นห้องเดียวกัน นอกจากนี้สถานการณ์ที่ 5-7 แสดงการจำลองการเกิดเหตุในบริเวณส่วนหัวของอาคารที่เป็นจุดเชื่อมต่อของอาคารเรียนหลักในส่วนตึกฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของอาคาร โดยเป็นส่วนสำนักงานของเจ้าหน้าที่ฝ่ายสนับสนุนรวมถึงห้องพักอาจารย์ ดังนี้

3.2.1 สถานการณ์ที่ 1 จำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ บริเวณชั้น 2 ภายในห้องเรียนรวม

การจำลองการวางแผนการอพยพจากการเกิดเหตุฉุกเฉินตามสถานการณ์ที่ 1 พบว่าเมื่อเริ่มจำลองการลุกไหม้ มีการสะสมปริมาณควันบริเวณในห้องที่เกิดการลุกไหม้และมีปริมาณสะสมของควันไฟเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในห้อง และกระจายตัวทั่วบริเวณห้อง โดยมีควันบางส่วนระบายออกด้านประตูของห้อง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการอพยพหนีไฟ ดังแสดง

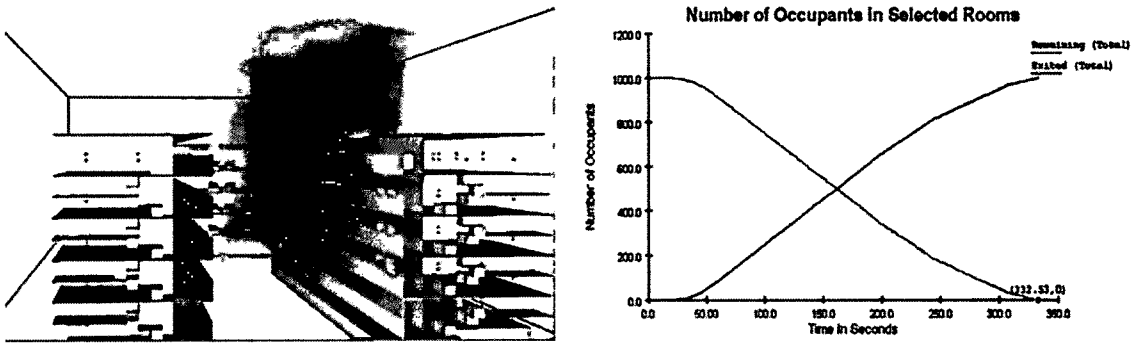

Figure 10 An illustration of the 1st scenario emergency (left); Number of evacuees at each period (right)

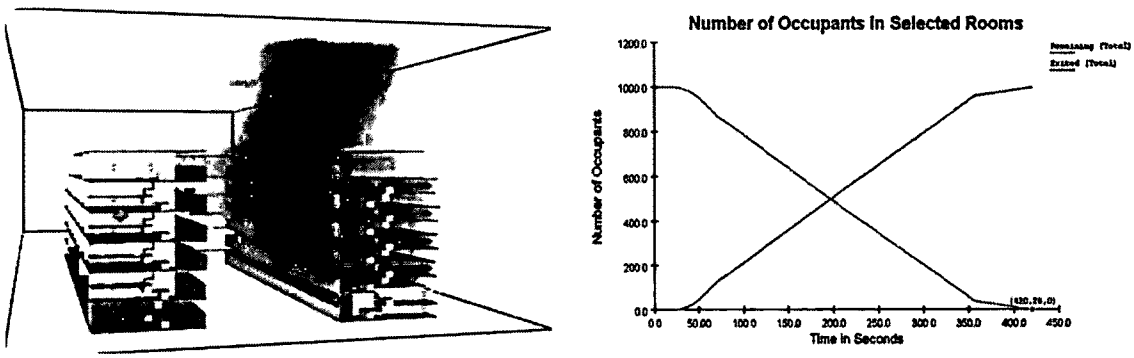

Figure 11 An illustration of the 2nd scenario emergency (left); Number of evacuees at each period (right)

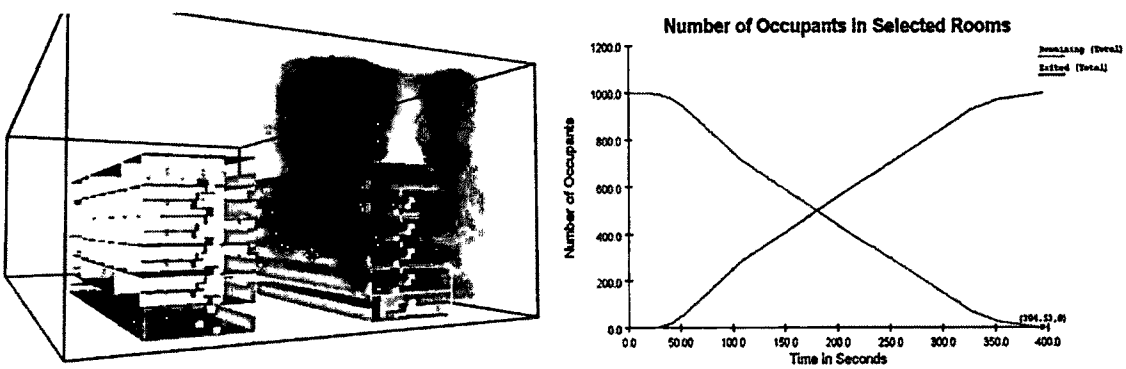

Figure 12 An illustration of the 3rd scenario emergency (left); Number of evacuees at each period (right)

ในรูปที่ 10 โดยพบว่าผู้อพยพทั้งหมดสามารถออกจากพื้นที่ห้องที่เกิดเหตุได้ในช่วงเวลา 20 วินาที โดยผู้อพยพคนแรกที่ออกจากตัวอาคารได้ใช้เวลา 23 วินาที นอกจากนี้พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคาร 87 คน

ในช่วงเวลา 60 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคาร 333 คน ในช่วงเวลา 120 วินาที และพบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคาร 558 คนในช่วงเวลา 180 วินาที ส่วนเวลาที่ผู้อพยพใช้ในการอพยพคนทั้งหมดคิดเป็น 332.5 วินาที

3.2.2 สถานการณ์ที่ 2 จำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ บริเวณชั้น 2 ภายนอกห้องเรียนรวม

การจำลองการวางแผนการอพยพจากการเกิดเหตุฉุกเฉินตามสถานการณ์ที่ 2 เป็นการกำหนดให้ตำแหน่งกองไฟอยู่บริเวณระเบียงหน้าห้องชั้นสองของอาคาร โดยเมื่อเริ่มจำลองการเกิดไฟไหม้ พบว่ามีควันไฟเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและแพร่กระจายตัวขึ้นสู่ชั้นบน คือ ชั้นที่ 3, 4, 5 และ 6 อย่างรวดเร็ว ดังนั้นผู้อพยพที่อยู่เหนือชั้นที่เกิดไฟไหม้ขึ้นไป จึงไม่สามารถอพยพผ่านช่องทางระเบียงที่ได้รับอิทธิพลจากควันไฟนี้ ทั้งนี้พบว่าผู้อพยพทั้งหมดสามารถออกจากพื้นใกล้เคียงที่เกิดเหตุได้ในเวลา 29 วินาที โดยมีผู้อพยพคนแรกที่ออกจากตัวอาคารได้เมื่อเวลาผ่านไป 22 วินาที นอกจากนี้เมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคาร 89 คน เมื่อเวลาผ่านไป 120 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคาร 274 คน เมื่อเวลาผ่านไป 180 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคาร 452 คน ส่วนเวลาที่ใช้ในการอพยพคนทั้งหมด คือ 420.3 วินาที ดังแสดงในกราฟของรูปที่ 11

3.2.3 สถานการณ์ที่ 3 จำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ บริเวณชั้น 3 ภายในห้องเรียนทั่วไป

การจำลองการวางแผนการอพยพจากการเกิดเหตุฉุกเฉินตามสถานการณ์ที่ 3 เป็นการจำลองการเกิดเหตุฉุกเฉินมีตำแหน่งกองไฟอยู่บริเวณมุมห้องขนาดปกติด้านในชั้นสามของอาคาร เมื่อเริ่มจำลองการเกิดไฟไหม้ พบว่ามีควันไฟเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและแพร่กระจายตัวขึ้นไปปิดคลุมช่องทางและบันไดหนีไฟชั้นที่ 3 เอง รวมถึงชั้นที่ 4, 5 และ 6 ที่อยู่เหนือขึ้นไป ดังนั้นผู้อพยพที่อยู่เหนือชั้นที่เกิดไฟไหม้ขึ้นไป จึงไม่สามารถอพยพผ่านช่องทางบันไดด้านนี้ได้ (บันได 1) โดยพบว่าผู้อพยพทั้งหมดสามารถออกจากพื้นที่ห้องที่เกิดเหตุได้ในช่วงเวลา 16 วินาทีซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าสถานการณ์ที่ 1 เนื่องจากห้องไม่ได้มีขนาดใหญ่มาก โดยผู้อพยพคนแรกสามารถออกจากตัวอาคารได้ เมื่อเวลาผ่านไป 23 วินาที นอกจากนี้เมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้จำนวน 86 คน เมื่อเวลาผ่านไป 120 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้จำนวน 321 คน และเมื่อเวลาผ่านไป 180 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้จำนวน 498 คน ส่วนเวลาที่ใช้ในการอพยพคนทั้งหมดคือ 394.5 วินาที ดังแสดงในกราฟรูปที่ 12

3.2.4 สถานการณ์ที่ 4 จำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ บริเวณชั้น 3 ภายนอกห้องเรียนทั่วไป

การจำลองการวางแผนการอพยพจากการเกิดเหตุฉุกเฉินตามสถานการณ์ที่ 4 กำหนดตำแหน่งกองไฟอยู่บริเวณระเบียงด้านนอกห้องเรียนโดยอยู่ในตำแหน่งติดกับฝั่งห้องเรียนทั่วไปในชั้น 3 ของอาคาร ซึ่งเมื่อเริ่มจำลองการเกิดไฟไหม้ พบว่ามีควันไฟเกิดขึ้น และแพร่กระจายตัวขึ้นปิดคลุมช่องทางหนีไฟชั้น 3 และบริเวณชั้นที่ 4, 5 และ 6 ที่อยู่เหนือขึ้นไป ซึ่งส่งผลให้ผู้ใช้อาคารที่อยู่เหนือชั้นที่เกิดไฟไหม้ขึ้นไปไม่สามารถอพยพผ่านช่องทางบันไดที่อยู่กลางอาคาร (บันได 3) นอกจากนี้พบว่าผู้อพยพทั้งหมดออกจากพื้นที่ใกล้เคียงที่เกิดเหตุได้ในเวลา 13 วินาที โดยผู้อพยพคนแรกสามารถออกจากตัวอาคารเมื่อเวลาผ่านไป 21 วินาที โดยเมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 87 คน เมื่อเวลาผ่านไป 120 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 318 คน เมื่อเวลาผ่านไป 180 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 485 คน โดยเวลาที่ใช้ในการอพยพคนทั้งหมด 410.8 วินาที ดังแสดงในกราฟในรูปที่ 13

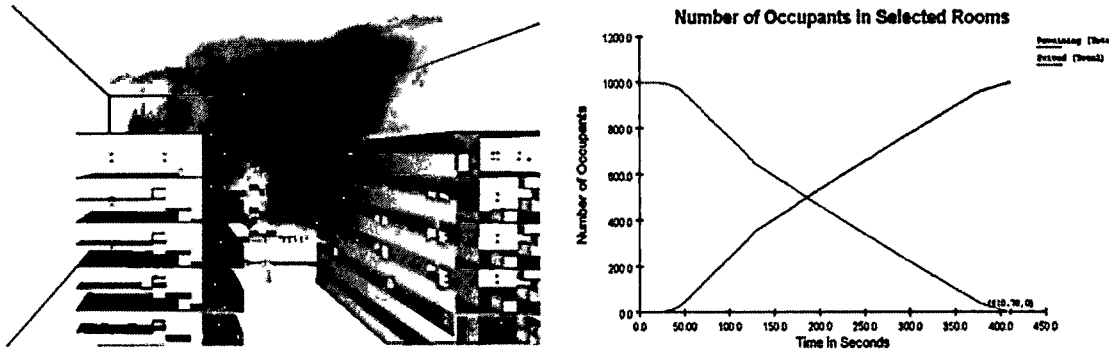

Figure 13 An illustration of the 4th scenario emergency (left); Number of evacuees at each period (right)

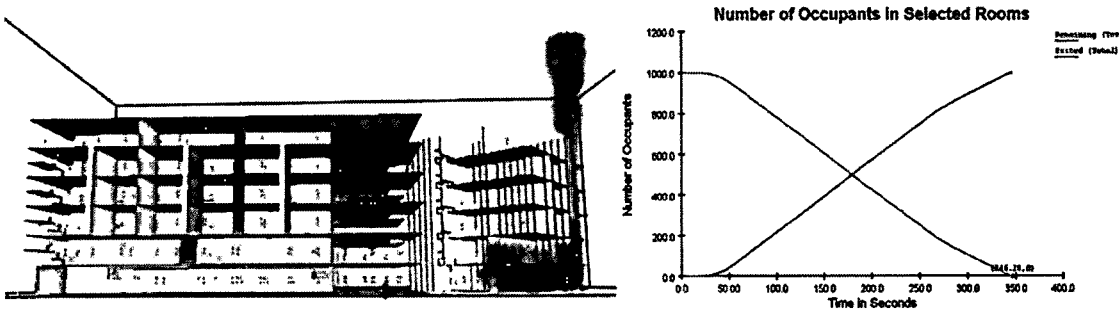

Figure 14 An illustration of the 5th scenario emergency (left); Number of evacuees at each period (right)

3.2.5 สถานการณ์ที่ 5 จำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ บริเวณชั้น 1 ภายในห้องสมุด

การจำลองการวางแผนการอพยพจากการเกิดเหตุฉุกเฉินตามสถานการณ์ที่ 5 เป็นการจำลองการเกิดเหตุฉุกเฉินโดยตำแหน่งกองไฟอยู่บริเวณมุมด้านในห้องสมุดชั้น 1 ซึ่งเมื่อเริ่มจำลองการเกิดไฟไหม้ พบว่ามีควันไฟเกิดขึ้นและแพร่กระจายไปทั่วบริเวณชั้น 1 โดยมีการกระจายตัวของควันออกไปถึงบันไดหนีไฟที่อยู่ใกล้ ๆ ดังนั้นผู้อพยพที่อยู่เหนือชั้นที่เกิดไฟไหม้ขึ้นไปจึงไม่สามารถอพยพผ่านช่องทางบันได 4 นั่นคือ เมื่ออพยพลงมาถึงชั้น 2 ผู้อพยพจึงต้องเลี่ยงไปใช้ช่องทางบันได 3 ที่อยู่กลางอาคารแทน ทั้งนี้พบว่าผู้อพยพคนแรกที่ออกจากตัวอาคารใช้เวลา 23 วินาที นอกจากนี้เมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 78 คน เมื่อเวลาผ่านไป 120 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 288 คน เมื่อเวลาผ่านไป 180 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 503 คน ส่วนเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารทั้งหมดคือ 346.3 วินาที ดังแสดงในกราฟในรูปที่ 14

3.2.6 สถานการณ์ที่ 6 จำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ บริเวณชั้น 2 ภายนอกห้องเจ้าหน้าที่

การจำลองการวางแผนการอพยพจากการเกิดเหตุฉุกเฉินตามสถานการณ์ที่ 6 เป็นการจำลองตำแหน่งกองไฟในบริเวณมุมหน้าห้องเจ้าหน้าที่ ชั้น 2 โดยเมื่อเริ่มจำลองการเกิดไฟไหม้ พบว่ามีควันไฟเกิดขึ้นและแพร่กระจายขึ้นไปด้านบนตรงห้องโถงโล่ง

ไปยังชั้นที่ 3-6 และมีควันกระจายตัวออกไปถึงบันได หนีไฟที่อยู่ใกล้ (บันได 4) ดังนั้นแม้ระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะไม่สูง ผู้อพยพที่อยู่เหนือชั้นที่เกิดไฟไหม้ขึ้นไปในอาคารฝั่งหัวที่เป็นห้องพักบุคลากรอาจได้รับผลกระทบจากควันไฟ ทำให้ไม่สามารถอพยพผ่านช่องทางบันไดหนีไฟ 4 และจำเป็นต้องอพยพโดยใช้ช่องทางบันไดแนวกลางอาคาร (บันได 3) แทน โดยพบว่าผู้อพยพทั้งหมดออกจากพื้นที่ใกล้เคียงที่เกิดเหตุได้ค่อนข้างเร็วในช่วงเวลา 7 วินาที โดยผู้อพยพคนแรกออกจากตัวอาคารได้เมื่อเวลาผ่านไป 23 วินาที นอกจากนี้เมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 78 คน เมื่อเวลาผ่านไป 120 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 288 คน เมื่อเวลาผ่านไป 180 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 504 คน โดยเวลาที่ใช้ในการอพยพคนทั้งหมดออกจากอาคาร คือ 350.8 วินาที ดังแสดงในกราฟในรูปที่ 15

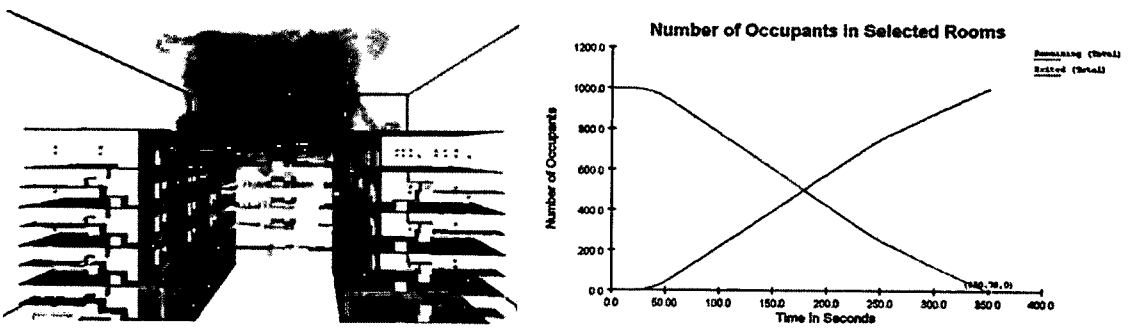

Figure 15 An illustration of the 6th scenario emergency (left); Number of evacuees at each period (right)

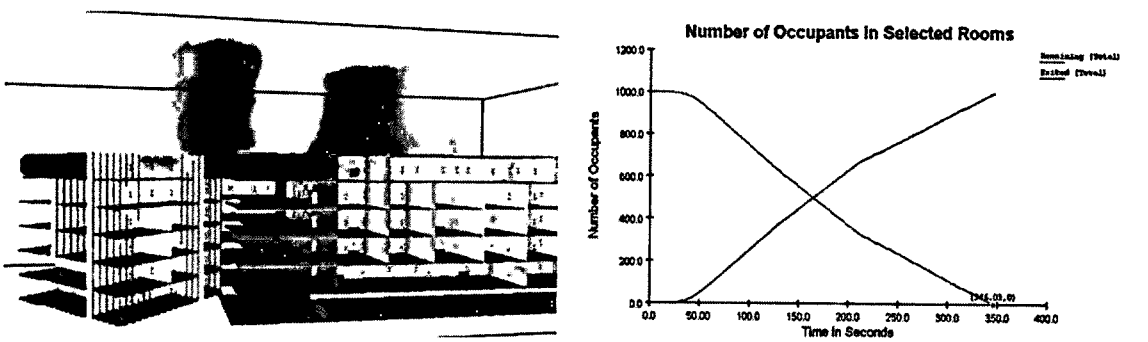

Figure 16 An illustration of the 7th scenario emergency (left); Number of evacuees at each period (right)

3.2.7 สถานการณ์ที่ 7 จำลองการเกิดเหตุเพลิงไหม้ บริเวณชั้น 6 ภายนอกห้องพักอาจารย์

การจำลองการวางแผนการอพยพจากการเกิดเหตุฉุกเฉินในสถานการณ์สุดท้ายตามสถานการณ์ที่ 7 ได้จำลองการเกิดเหตุฉุกเฉินโดยใช้ตำแหน่งกองไฟบริเวณชั้น 6 ที่หน้าห้องพักอาจารย์ เมื่อเริ่มจำลองการเกิดไฟไหม้พบว่ามีควันไฟเกิดขึ้นและแพร่กระจายไปเป็นบริเวณกว้างของชั้น 6 และ

กระจายตัวออกไปถึงบันไดหนีไฟที่อยู่ใกล้เคียง (บันได 3) ดังนั้นผู้อพยพที่อยู่ชั้น 6 จึงไม่สามารถอพยพผ่านช่องทางบันได 3 และจำเป็นต้องเลี่ยงไปใช้ช่องทางบันได 1 และ 2 แทน โดยพบว่าผู้อพยพทั้งหมดออกจากพื้นที่ใกล้เคียงที่เกิดเหตุได้ค่อนข้างเร็วในช่วงเวลา 6 วินาที โดยผู้อพยพคนแรกออกจากตัวอาคารได้ เมื่อเวลาผ่านไป 23 วินาที นอกจากนี้เมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที มีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 87 คน เมื่อเวลาผ่านไป 120 วินาที มีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 333 คน และเมื่อเวลาผ่านไป 180 วินาที พบว่ามีผู้อพยพออกจากอาคารได้ 556 คน ส่วนเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารทั้งหมด คือ 346.0 วินาที ดังแสดงในกราฟในรูปที่ 16

3.2.8 ผลการเปรียบเทียบเวลาการอพยพจากเหตุฉุกเฉินทั้ง 7 สถานการณ์

ผลการวิจัยข้างต้นสามารถวิเคราะห์แสดงผลเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากพื้นที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3 ทั้งนี้จากการจำลองการอพยพทั้ง 7 สถานการณ์ฉุกเฉิน พบว่าเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินจากเพลิงไหม้ขึ้น (what-if model) ส่งผลให้เวลาในการอพยพคนออกจากอาคารสูงกว่าในกรณีที่ไม่มีเหตุฉุกเฉินที่ 329 วินาที (as-is model ในกรณีที่ 6) ในทุกสถานการณ์ ทั้งนี้สืบเนื่องจากในทุกสถานการณ์ที่เกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น มีผลกระทบกับการใช้ช่องทางในการอพยพที่บางช่องทางได้รับผลกระทบไปด้วย โดยส่งผลให้ผู้อพยพอาจไม่ได้เลือกทิศทางที่ใกล้ที่สุด แต่เลือกทิศทางที่ปลอดภัยกว่า ทั้งนี้สถานการณ์ที่ 2 ใช้เวลามากที่สุดที่ 421 วินาที โดยผลการจำลองการอพยพทั้ง 7 สถานการณ์ นอกจากนี้จากกราฟเปรียบเทียบผลการจำลองการอพยพทั้ง 7 สถานการณ์ฉุกเฉิน จะเห็นได้ว่ากรณีเกิดเพลิงไหม้ชั้นล่างของตัวอาคารและควันไฟลอยขึ้นไปปิดบังช่องทางการอพยพหนีไฟบริเวณชั้นบนจะทำให้ผู้อพยพใช้เวลาในการอพยพหนีไฟนานขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการที่เส้นทางอพยพหนีไฟถูกปิดกั้น และหากตำแหน่งของการจำลองสถานการณ์ไฟไหม้เป็นพื้นที่ระเบียงหรือการที่ตำแหน่งของไฟอยู่ใกล้กับบันไดหนีไฟ (สถานการณ์ที่ 2-4) ก็จะทำให้ผู้อพยพไม่สามารถใช้ช่องทางบันไดหนีไฟเส้นทางนั้น ๆ และส่งผลทำให้เวลาการอพยพใช้เวลานานขึ้น ส่วนกรณีไฟไหม้ด้านในห้องบริเวณช่วงกลางของอาคาร จะทำให้ผู้อพยพมีเวลาเลือกใช้เส้นทางที่อยู่ใกล้ที่สุดโดยได้รับผลกระทบจากควันไฟน้อยกว่า (สถานการณ์ที่ 1) ส่งผลให้สามารถอพยพได้เร็ว นอกจากนี้หากตำแหน่งของการเกิดเพลิงไหม้อยู่ในส่วนของอาคารที่มีจำนวนผู้อพยพอาศัยอยู่น้อย จะส่งผลกระทบกับเวลาการอพยพโดยรวมไม่มากนัก (สถานการณ์ที่ 5-7) เนื่องจากผู้อพยพส่วนใหญ่สามารถเลือกช่องทางในการอพยพที่ไม่ได้รับผลกระทบจากไฟ

4. สรุปผลและแนวทางวิจัยในอนาคต

ผลการศึกษาเวลาในการอพยพในแต่ละสถานการณ์จำลองการเกิดเหตุฉุกเฉินจากเพลิงไหม้ พบว่าตำแหน่งการเกิดเพลิงไหม้ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการอพยพของผู้ใช้อาคาร โดยเฉพาะหากเพลิงไหม้เกิดขึ้นในพื้นที่ปิดใด ๆ อาจส่งอิทธิพลต่อส่วนอื่นของอาคารและการวางแผนอพยพได้ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิที่สูงขึ้นซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผู้ใช้อาคาร หรือการแพร่กระจายควันโดยที่ควันไฟอาจเป็นอุปสรรคและปิดกั้นเส้นทางการอพยพ โดยหากตำแหน่งการเกิดไฟไหม้อยู่ใกล้เส้นทางหลักที่อพยพ และเป็นเส้นทางที่มีคนอาศัยอยู่จำนวนมาก ก็จะยิ่งส่งผลกระทบทำให้เวลาการอพยพล่าช้าลงไปอีก ดังนั้นการวางแผนการอพยพที่ดี การกำหนดเส้นทางการอพยพที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟโดยคำนึงถึงแหล่งเกิดเหตุฉุกเฉินและความรุนแรงที่ต่างกันอยู่เสมอ ย่อมส่งผลช่วยให้ผู้ที่ใช้งานอาคารมีความสามารถในการอพยพ

อย่างปลอดภัยและรวดเร็วมากขึ้น ทั้งนี้การวางแผนซ้อมอพยพทั่วไปมักจะเป็นการซ้อมอพยพโดยจำลองการเกิดเหตุที่จุดใดจุดหนึ่งเฉพาะ โดยผลจากการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ แนะนำว่าจำเป็นต้องพิจารณาจุดที่เกิดเหตุที่ต่างกันด้วยเช่นกัน ซึ่งเรื่องเหล่านี้ล้วนจะต้องได้รับการบริหารจัดการต่อไป

Table 3 Comparison of the total evacuation time for all evacuees in 7 emergency scenarios

Emergency scenarios (Evacuation time: seconds)	Percentages of evacuees			
	25 %	50 %	75 %	100 %
Scenario 1	101	162	227	333
Scenario 2	112	197	284	421
Scenario 3	100	181	266	395
Scenario 4	103	186	288	411
Scenario 5	109	179	251	347
Scenario 6	109	178	250	351
Scenario 7	100	165	245	346

ทั้งนี้สามารถสรุปข้อเสนอแนะของงานวิจัยได้ว่าในการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟนอกจากควรได้รับการฝึกฝนและควรมีการสื่อสารแผนงานการฝึกซ้อมเป็นอย่างดี เพื่อให้การอพยพหนีไฟใช้เวลาน้อยที่สุด โดยผู้อพยพมีความปลอดภัยมากที่สุดแล้ว ควรต้องพิจารณารูปแบบการฝึกซ้อมที่หลากหลาย โดยเฉพาะการจำลองตำแหน่งการเกิดเพลิงไหม้ในแผนการการฝึกซ้อมอพยพ เพื่อให้ผู้อพยพสามารถเลือกเส้นทางอพยพที่ปลอดภัยในสถานการณ์ไฟไหม้ที่หลากหลาย รวมถึงกรณีที่มีความรุนแรงต่างกัน ทั้งนี้เป็นสิ่งสำคัญที่ควรกำหนดแผนการตรวจตราพื้นที่อยู่เสมอ โดยเฉพาะเส้นทางหนีไฟ (fire exit corridor) ที่ไม่ควรมีการจัดเก็บวัสดุที่สามารถติดไฟง่ายเก็บสะสมไว้ เนื่องจากหากเกิดเพลิงไหม้จะมีความเสี่ยงสูงมากขึ้นต่อการอพยพ ทั้งนี้ในกรณีศึกษาของอาคารเรียนเอง เป็นสิ่งจำเป็นที่ควรจัดให้มีการฝึกซ้อมอพยพหนีไฟ สำหรับนักศึกษาและคณาจารย์อยู่เสมอเป็นประจำทุกปี เพื่อให้มีความพร้อมตอบสนองต่อสถานการณ์ฉุกเฉินไฟไหม้อยู่เสมอ

นอกจากนี้งานวิจัยมีข้อจำกัดที่บางประการที่สามารถขยายต่อได้ในอนาคตเกี่ยวกับการศึกษาการวางแผนอพยพจากเหตุฉุกเฉินสามารถ ดังนี้

4.1 กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นในส่วนของอาคารเรียน อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการอพยพในอาคารที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ครอบครองหลากหลายประเภท เช่น พื้นที่ห้างสรรพสินค้า ที่มีอาคารสำนักงาน พื้นที่ค้าขาย ส่วนงานสัมมนาอบรม โรงหนัง ซึ่งอยู่ในอาคารหลังเดียวกัน

4.2 ควรขยายงานวิจัย โดยศึกษาการอพยพในพื้นที่อาคารที่มีความหลากหลายของผู้ที่อยู่อาศัยในตัวอาคาร เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการอพยพ หรือการรับรู้และตอบสนองต่อสถานการณ์เพลิงไหม้ ซึ่งจะนำไปสู่การเตรียมการรองรับต่อสถานการณ์ฉุกเฉินได้ดียิ่งขึ้น

4.3 ควรมีการทดสอบสมมุติฐานต่าง ๆ ที่ใช้ใน

งานวิจัยนี้เพิ่มเติมในอนาคต เช่น การกำหนดความเร็วในการเคลื่อนไหวของ agent ที่ต่างกัน การศึกษาผลกระทบจากความแตกต่างของเพศ อายุ และสมรรถนะของร่างกายของ agent และ การทดสอบผลการอพยพเมื่อปริมาณของ agent เปลี่ยนไปในระบบ

4.4 นอกจากนี้ควรศึกษาและทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพการอพยพโดยทดลองเพิ่มจำนวน และ/หรือ ปรับขนาดของช่องทางการอพยพหนีไฟ เพื่อนำไปสู่การวางแผนการปรับปรุงและวิเคราะห์การส่งผลต่อระยะเวลาในการอพยพ

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ (รหัสโครงการ FDA-CO-2561-5696-TH) ได้รับการสนับสนุนเงินวิจัยจากกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (วท.) สำนักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) เรื่องการศึกษาและการพัฒนาแบบจำลองโมเดลทางคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวางแผนการตัดสินใจในกรณีการเกิดเหตุฉุกเฉิน ความคิดเห็นและคำแนะนำที่ได้จากเอกสารงานวิจัยนี้ไม่จำเป็นต้องสะท้อนถึงมุมมองของผู้ให้ทุน

6. References

[1] International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, World Disaster Reports, Available Source: http://www.ifrc.org/publications-and-reports, August 25, 2016.

[2] McLoughlin, D., 1985, A framework for integrated emergency management, Publ. Admin. Rev. 45: 165-172.

[3] Thunderhead, Simulation Software for Science and Engineering: Manage Geometry, Specify Parameters, Deliver Results, Available Source: http://www.thunderheadeng.com, August 25, 2016.

[4] Ransikarbum, K. and Mason, S.J., 2016, Goal programming-based post-disaster decision making for integrated relief distribution and early-stage network restoration, Int. J. Prod. Econ. 182: 324-341.

[5] Piraintorn, P. and Ransikarbum, K., 2018, Integrating geographic information system (GIS) in humanitarian relief logistics: Practical view point, pp. 1-7, 7th Asia Conference on Earthquake Engineering: Disaster Risk Reduction and Disaster Risk Management, Bangkok.

[6] Ransikarbum, K. and Mason, S.J., 2016, Multiple-objective analysis of integrated relief supply and network restoration in humanitarian logistics operations, Int. J. Prod. Res. 54: 49-68.

[7] Habib, M.S., Lee, Y.H., Memon, M.S., 2016, Mathematical models in humanitarian supply chain management: A systematic literature review, Math. Probl. Eng., Article ID 3212095.

[8] Altay, N., Green, W.G., 2006, OR/MS research in disaster operations management, Eur. J. Oper. Res. 175: 475-493.

[9] Sheu, J.B., 2007, Challenges of emergency logistics management, Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev. 43: 655-659.

[10] Tofighi, S., Torabi, S.A., Mansouri, S.A.,

2016, Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty, Eur. J. Oper. Res. 250: 239-250.

[11] Wattanasang, N., Chantakot, W., Wisedla, K., and Ransikarbum, K., 2018, Simulation of fire smoke distribution in the electronics industry for automotive industry, pp., 1152-1156, Conference on Industrial Engineering (IE Network), Ubon Ratchathani.

[12] Chantakot, W., Wattanasang, N., Wisedla, K. and Ransikarbum, K., 2018, Research agenda for simulation of fire escape with computer models in Thailand, pp. 1136-1141, Conference on Industrial Engineering Network (IE Network), Ubon Ratchathani.

[13] CHantakot, W., Wattanasang, N., Wisedla, K. and Ransikarbum, K., 2018, Impact assessment using a computer model to study the leakage and explosion of LPG storage and distribution tanks of a separate type air conditioner factory, pp. 1157-1162, Conference on Industrial Network Engineering Conference (IE Network), Ubon Ratchathani.

[14] Djanatliev, A., German, R, Kolominsky-Rabas, P. and Hofmann, B.M., 2012, Hybrid simulation with loosely coupled system dynamics and agent-based models for prospective health technology assess ments, Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC).

[15] Shendarkar, A., Vasudevan, K., Lee, S. and Son, Y., 2006, Crowd simulation for emergency response using BDI agent based on virtual reality, pp. 545-553, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference (WSC).

[16] Yodchan, K., 2014, Application of Simulation Programs for Fire and Migration Dynamics to Analyze the Evacuation Capacity on an Extra Large Building, Master Thesis, Kasetsart University, Bangkok.

[17] Prasertpanij, S., 2012, Simulation of Fire Evacuation of High-rise Buildings with the Pathfinder Model: Case Study Q. House Lumpini Building, Master Thesis, Kasetsart University, Bangkok.

[18] Wagner, N. and Agrawal, V., 2014, An agent-based simulation system for concert venue crowd evacuation modeling in the presence of a fire disaster, Exp. Syst. Appl. 41: 2807-2815.

[19] Macal, C.M. and North, M.J., 2006, Tutorial on agent-based modeling and simulation part 2: How to model with agents, pp. 73-83, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference (WSC).

[20] Joo, J., Kim, N., Wysk, R.A., Rothrock, L., Son, Y. and Oh, Y., 2013, Agent-based simulation of affordance-based human behaviors in emergency evacuation, Simul. Mod. Pract. Theor. 32: 99-105.

[21] Ronchi, E., Uriz, F.N., Criel, X. and Reilly, P., 2016, Modelling large-scale evacuation

of music festivals, Case Stud. Fire Safety 5: 11-19.

[22] Ronchi, E. and Nilsson, D., 2014, Assess ment of Total Evacuation Systems for Tall Buildings, Springer, New York.

[23] Wang, H.R., Chen, Q.G., Yan, J.B., Yuan, Z. and Liang, D., 2014, Emergency guidance evacuation in fire scene based on pathfinder, pp. 226-230, 7th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (IEEE).

[24] Cuesta, A., Ronchi, E. and Gwynne, S.M., 2015, Collection and use of data from school egress trials, pp. 233- 244, 6th International Symposium: Human Behavi our in Fire, Interscience Communications.

[25] Ren, C., Yang, C. and Jin, S., 2009, Agent-based modeling and simulation on emergency evacuation, pp. 1451- 1461, International Conference on Complex Sciences, Springer, Heidelberg.