การจำลองการอพยพจากอาคารเรียน โดยใช้ระบบช่วยแสดงภาพแบบสามมิติ

เกษม กมลชัยพิสิฐ[1,*] เธียรธาดา หิรัญญะชาติธาดา[1]
ชัยวัฒน์ บัวอำไพ[2]

[1]สาขาวิชาแอนิเมชั่นและมัลติมีเดีย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพ ฯ
[2]สาขาการออกแบบเชิงนวัตกรรมดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี
[*]Corresponding author e-mail: bmafueng@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการจำลองการอพยพออกจากอาคารเรียน 2 ชั้น 11 สาขาแอนิเมชั่นและมัลติมีเดีย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มีพื้นที่ใช้สอยเฉพาะห้องเรียนและทางเดินรวม 298 ตารางเมตร ประกอบด้วยห้องเรียนปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ จำนวน 3 ห้อง และห้องเรียนบรรยาย จำนวน 1 ห้อง มีจำนวนผู้ใช้งานเต็มความจุของห้อง จำนวน 151 คน ทำการจำลองการอพยพโดยใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติของชั้นเรียน Autodesk Maya 2017 และโปรแกรมจำลองการอพยพแบบแสดงภาพสามมิติ Pathfinder 2017 โดยให้อพยพไปยังประตูทางหนีไฟซึ่งกำหนดให้เป็นเส้นทางอพยพ จำนวน 1 ทางออก โดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการอพยพ ได้แก่ พฤติกรรมในการเดิน เส้นทางการอพยพ รูปแบบการจัดห้องเรียน ผลจำลองสถานการณ์การอพยพ พบว่าเส้นทางการอพยพมี 1 เส้นทาง และจากปัจจัยทั้งหมดรูปแบบการอพยพที่ดีที่สุด คือการเดินแบบเร่งรีบในรูปแบบการจัดห้องเรียนในแนวยาวซึ่งคือรูปแบบที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน โดยระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพ 96.7 วินาที

คำสำคัญ : การจำลองสถานการณ์/ การอพยพ/ ระบบช่วยแสดงภาพสามมิติ

Evacuation Simulation of Education Building by using 3D Visualization

Kasem Kamolchaipisit[1,*] Tiantada Hiranyachattada[1]
Chaiwat Bua-ampai[2]

[1]Animation and Multimedia Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok
[2]Innovative Digital Design Program, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathumthani Province
[*]Corresponding author e-mail: bmafueng@hotmail.com

Abstract

This paper presented the evacuation simulation of 11th floor in education building no.2 of Bansomdejchaopraya Rajabhat University with total size of 298 square meter in case scenario of maximum usage in building as of 151 people. This building composes of 3 computer lab rooms and 1 lecture room. We used 3D modelling software Autodesk Maya and 3D evacuation simulation software Pathfinder. Evacuator selected nearest route to the defined fire exit door. The factors use in this experiment are speed, route and classroom pattern. The result of simulation showed the time of evacuation. The migration route has one path, and of all the factors, the best style of seating is row arrangement, which is the current form have the evacuation time 96.7 seconds.

Keywords: Evacuation/ 3D Computer Simulation/ 3D Visualization

บทนำ

ปัจจุบันการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer simulation) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ และมีสวนช่วยในการออกแบบและการศึกษาวิจัยอย่างแพร่หลาย หลักการของกระบวนการของการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์แบ่งเป็นสองส่วน คือการสร้างแบบจำลอง และการนำเอาแบบจำลองไปใช้งานเชิงวิเคราะห์ (ศิริจันทร์, 2529) ช่วยให้เกิดความสะดวกในการทำงานและสามารถเห็นผลลัพธ์ได้รวดเร็ว เพราะการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์สามารถควบคุมสภาพแวดล้อม กำหนดและควบคุมปัจจัยในการจำลองสถานการณ์ได้ตามต้องการ ทำให้สามารถเห็นผลลัพธ์ที่แตกต่างกันโดยการปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยต่าง ๆ

อาคารเรียนเป็นอาคารที่มีผู้ใช้งานจำนวนมาก หากมีสถานการณ์ฉุกเฉินที่ทำให้ต้องมีการอพยพคนออกจากอาคาร โดยการอพยพจะเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน ส่งผลให้เกิดปัญหาการติดขัด การเบียด การแย่งอาจส่งผลให้เกิดอันตรายต่อชีวิตของผู้ใช้ได้ การอพยพคนจำนวนมากออกจากอาคารจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลัก และปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความปลอดภัยคือเวลาที่ใช้ในการอพยพ โดยมีประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัย ได้กำหนดว่าทางหนีไฟจะต้องสามารถอพยพลูกจ้างที่ทำงานในเวลาเดียวกันทั้งหมดสู่จุดที่ปลอดภัยได้โดยปลอดภัยภายในเวลาไม่เกินห้านาที และช่องทางผ่านไปสู่ทางออกหรือห้องบันไดฉุกเฉินต้องมีระยะห่างจากจุดที่ลูกจ้างทำงานไม่เกิน 15 เมตร (กระทรวงมหาดไทย, 2555)

แบบจำลองการอพยพออกจากอาคาร (Kuligowski, 2005) เป็นเครื่องมือในการช่วยคำนวณเวลาที่ใช้ในการอพยพให้มีความสมจริง และเห็นผลลัพธ์ ในปี พ.ศ. 2552 ได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาเส้นทางหนีไฟของอาคารเรียนโดยใช้มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย (โชติรส, 2552) โดยสำรวจ และวัดขนาดของพื้นที่ห้อง พื้นที่ทางหนีไฟ และองค์ประกอบของเส้นทางหนีไฟ เพื่อนำข้อมูลมาคำนวณหาขีดความสามารถของทางหนีไฟ จำนวนทางหนีไฟ รวมถึงคำนวณเวลาในการอพยพ Thompson และ Marchant (1995) ทำการศึกษาการอพยพคนในพื้นที่ขนาดใหญ่โดยใช้โปรแกรม Simulex ซึ่งเป็นโปรแกรมแรกที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเดิน และระยะห่างระหว่างบุคคล จากแบบจำลองพบว่าตัวแทนจะอพยพออกทางออกที่ใกล้สุด โดยป้ายสัญลักษณ์ทางหนีไฟและความคุ้นเคยกับเส้นทางหนีไฟในอาคาร ไม่มีผลต่อการเลือกเส้นทาง

บทความนี้ได้ทำการจำลองการอพยพจากอาคารเรียน 2 ชั้น 11 สาขาแอนิเมชั่นและมัลติมีเดีย มีห้องจำนวน 4 ห้อง ความจุ 151 คน โดยใช้ระบบช่วย

แสดงภาพสามมิติเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของอาคารเรียน และทำการจำลองสถานการณ์การอพยพออกจากอาคารเรียนโดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Software) เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการจำลองสถานการณ์ ทำให้เกิดความแม่นยำในการจำลอง ในรูปแบบของแบบจำลองด้วยภาพสามมิติ (Visual Simulation) ด้วยโปรแกรม Pathfinder (Thornton *et al*., 2012) เพื่อให้เห็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นและสิ่งที่เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการอพยพ อันจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการอพยพออกจากอาคารเรียนเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน หรือเป็นแนวทางในการหาทางป้องกันภัยที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการอพยพออกจากอาคารเรียน เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน
2. เพื่อศึกษาโปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติ
3. เพื่อศึกษาโปรแกรมในการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์
4. เพื่อสร้างการจำลองทางคอมพิวเตอร์ของการอพยพจากอาคารเรียน

วิธีการศึกษา

ขอบเขตการศึกษา

1. ทำการศึกษาโปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยโปรแกรม Autodesk Maya 2017
2. ทำการศึกษาการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Pathfinder 2017
3. ศึกษาพฤติกรรมของคน เป็นกรณีการเดิน และเดินอย่างเร่งรีบในสถานการณ์ปกติ
4. ศึกษาเฉพาะอาคารเรียนชั้น 11 อาคาร 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
5. ศึกษาเฉพาะส่วนพื้นที่ห้องเรียนทางเดินภายใน และทางออกหนีไฟเท่านั้น
6. การออกจากอาคารเรียนของผู้ใช้ นับเป็นสิ้นสุดเมื่อออกทางออกหนีไฟของชั้น 11 เท่านั้น

กลุ่มตัวอย่างในการศึกษา

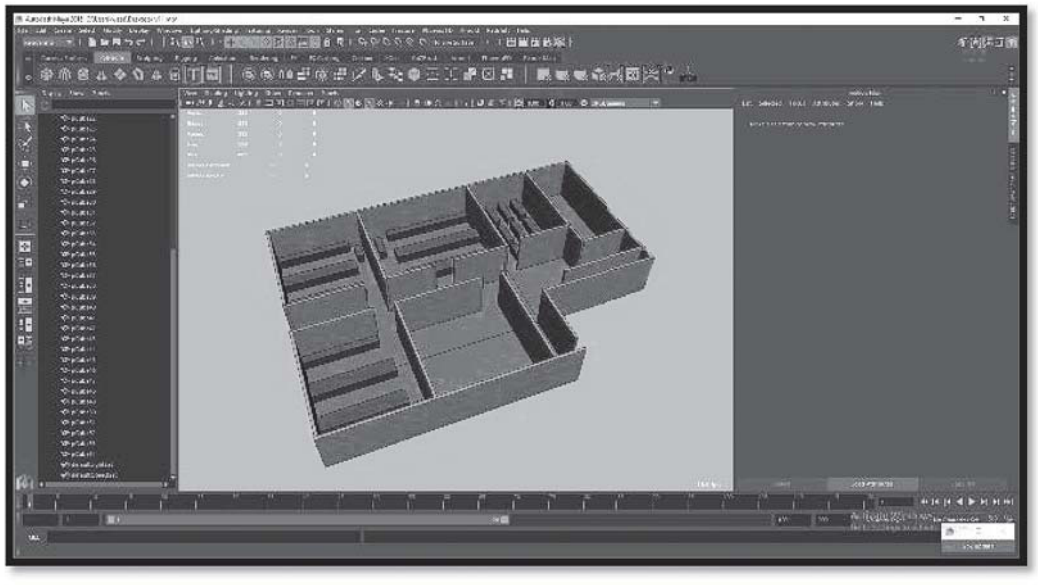
ศึกษาอาคาร 2 ชั้น 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ซึ่งประกอบด้วยห้องเรียนจำนวน 4 ห้อง ความจุทั้งหมด 151 คน พื้นที่ใช้สอย 298 ตารางเมตร

วิธีการดำเนินการ

การจำลองการอพยพออกจากอาคารเพื่อศึกษาการอพยพได้กำหนดวิธีการดังต่อไปนี้

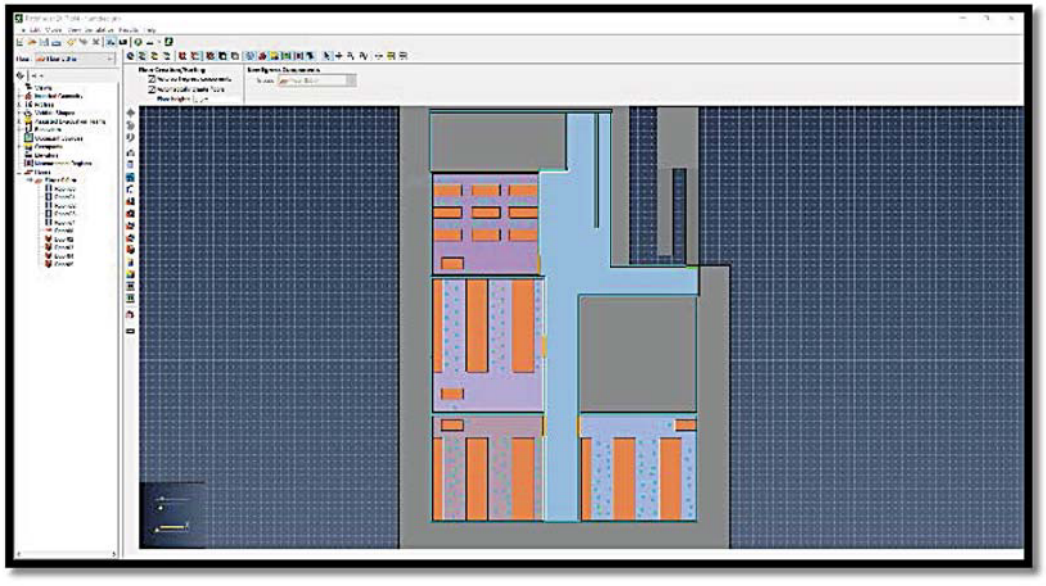
1. การศึกษาข้อมูล ทำการศึกษาการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติ Autodesk Maya 2017 (Palamar, 2017) เพื่อใช้สร้างแบบจำลองหรือโมเดลสามมิติ ศึกษาการใช้งานโปรแกรมจำลองสถานการณ์ Pathfinder 2017 ศึกษาพฤติกรรมของคน กรณีการเดินและเดินอย่างเร่งรีบในสถานการณ์ปกติ สำรวจและเก็บข้อมูลอาคารเรียนชั้น 11 อาคาร 2 และเก็บข้อมูลรายละเอียดการจัดวางโต๊ะเรียนในแต่ละห้องเรียน

2. การออกแบบและการสร้างแบบจำลองสามมิติ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรายละเอียดอาคาร 2 ชั้น 11 มาสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยโปรแกรม Autodesk Maya 2017 ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การจำลองโมเดลสามมิติของห้องเรียนด้วยโปรแกรม Autodesk Maya 2017

3. ขั้นตอนการทดลอง นำแบบจำลองที่ได้จากการสร้างด้วยโปรแกรม Autodesk Maya 2017 นำเข้าสู่โปรแกรมจำลองสถานการณ์ Pathfinder 2017 ทำการกำหนดตำแหน่งและจำนวนคนในแต่ละห้อง จำลองสถานการณ์โดยกำหนดจุดสิ้นสุดเมื่อผู้อพยพทั้งหมดออกไปถึงประตูหนีไฟ จำนวน 1 ทางออก ได้ทั้งหมด ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การจำลองสถานการณ์การอพยพด้วยโปรแกรม Pathfider 2017

4. กำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดลอง ได้แก่ พฤติกรรมการเดิน โดยกำหนดความเร็วในการเดินแบบปกติเท่ากับ 1.21 m/s (Tanaboriboon & Guyano, 1989) ความเร็วในการเดินแบบเร่งรีบเท่ากับ 1.85 m/s (Zabala *et al*., 2009) เส้นทางในการอพยพ รูปแบบการจัดห้องเรียน และจำนวนผู้อพยพ โดยกำหนดในจำนวนสูงที่สุดที่มีการกำหนดไว้สำหรับแต่ละห้อง โดยในแต่ละห้องเรียนสามารถจุคนได้มากที่สุด ดังตารางที่ 1

5. ทำการทดลองตามปัจจัยที่กำหนดไว้

6. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

ตารางที่ 1 รายละเอียดของห้องเรียน

ประเภทห้อง	วัตถุประสงค์การใช้งาน	ความจุ (คน)	จำนวน (ห้อง)	จำนวน (คน)
ห้องเรียน	ปฏิบัติการทางคอมพิวเตอร์	41	3	123
ห้องเรียน	บรรยาย	28	1	28
รวมจำนวนคนทั้งสิ้น				**151**

ผลการทดลอง

ในการจำลองการอพยพประกอบด้วยปฏิบัติการทางคอมพิวเตอร์ จำนวน 3 ห้อง และห้องบรรยาย จำนวน 1 ห้อง มีจำนวนผู้ใช้ทั้งสิ้น 151 คน ดังตารางที่ 1 โดยทำการทดลองปัจจัยต่างๆ ได้ผลลัพธ์ดังนี้

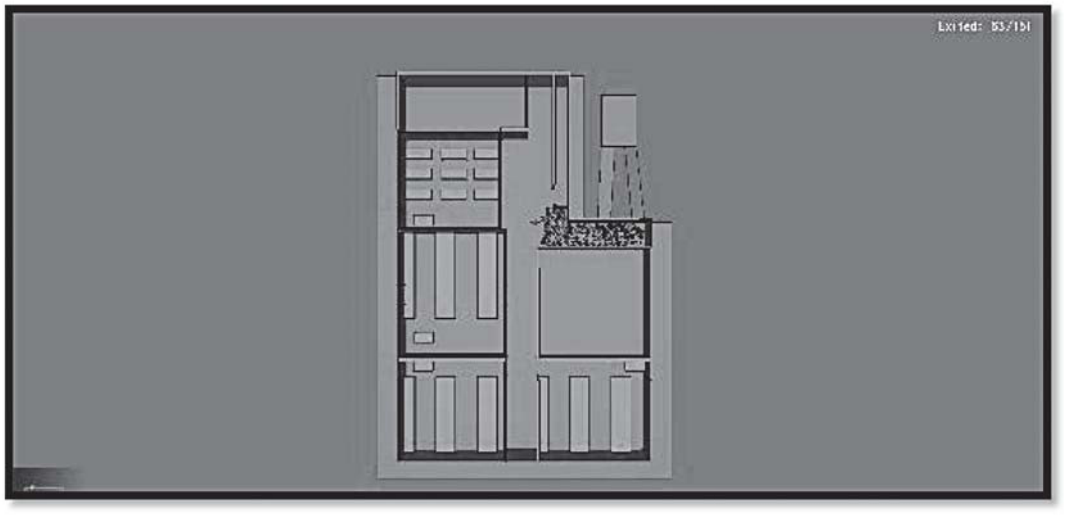
พฤติกรรมการเดิน

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการอพยพ

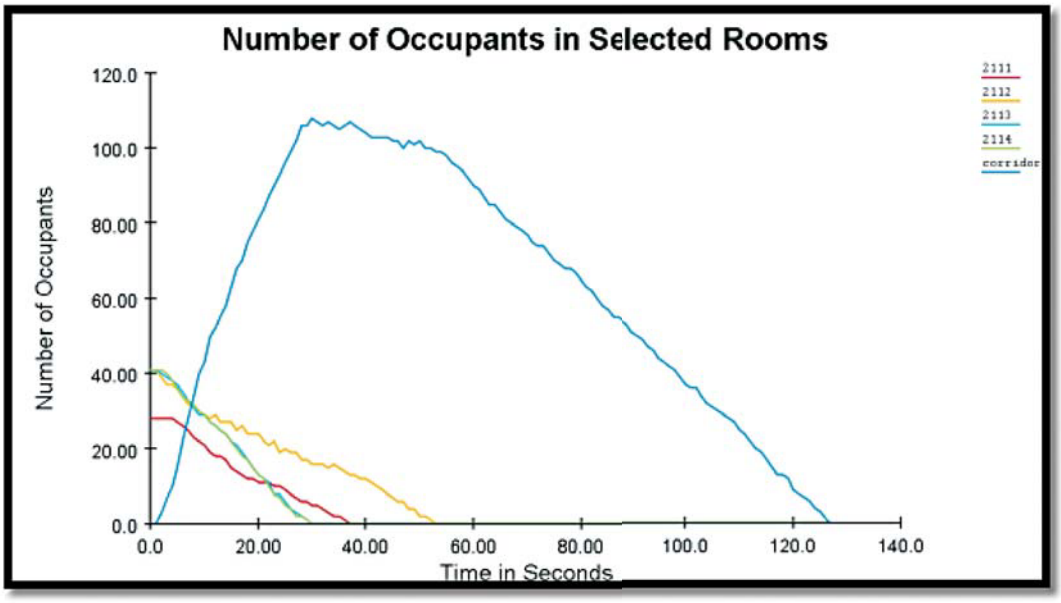
รูปแบบการอพยพ	ความเร็วเฉลี่ย	เวลาที่ใช้อพยพ (วินาที)				เวลาที่ใช้อพยพถึงประตู
		2111	2112	2113	2114	
เดิน	1.21 m/s	36.8	52.2	29.4	30.7	126.6
เดินแบบเร่งรีบ	1.85 m/s	27.3	39.8	20.6	21.7	96.7

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่ารูปแบบการอพยพในพฤติกรรมการเดินที่ความเร็วเฉลี่ย 1.21 เมตรต่อวินาที ใช้เวลาในการอพยพออกจากห้องเรียนทั้งหมดไปยังประตูหนีไฟใช้เวลารวมทั้งสิ้น 126.6 วินาที

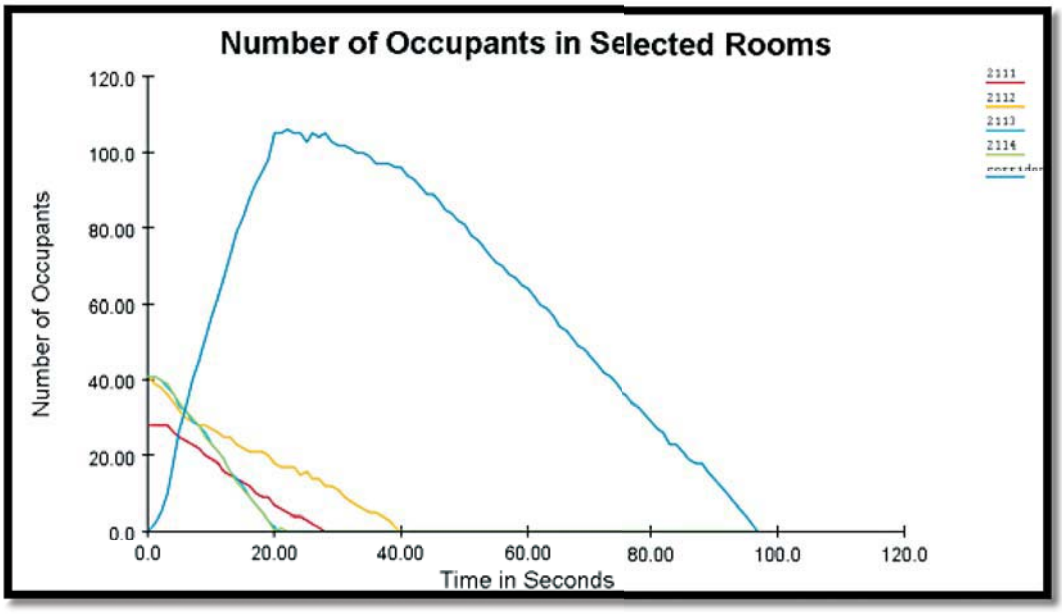
รูปแบบการอพยพในลักษณะการเดินแบบเร่งรีบ ที่ความเร็วเฉลี่ย 1.85 เมตรต่อวินาที พบว่าใช้เวลาในการอพยพจากห้องเรียนทั้งหมดไปยังประตูหนีไฟใช้เวลารวมทั้งสิ้น 96.7 โดยทั้งสองกรณีมักพบการกระจุกตัวบริเวณทางเดินก่อนถึงประตูหนีไฟอย่างมาก ดังภาพที่ 3 โดยมีอัตราในการอพยพ (Flow rate) แยกแต่ละห้อง ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5



ภาพที่ 3 การกระจุกตัวก่อนถึงประตูหนีไฟ



ภาพที่ 4 อัตราในการอพยพที่ความเร็ว 1.21 m/s



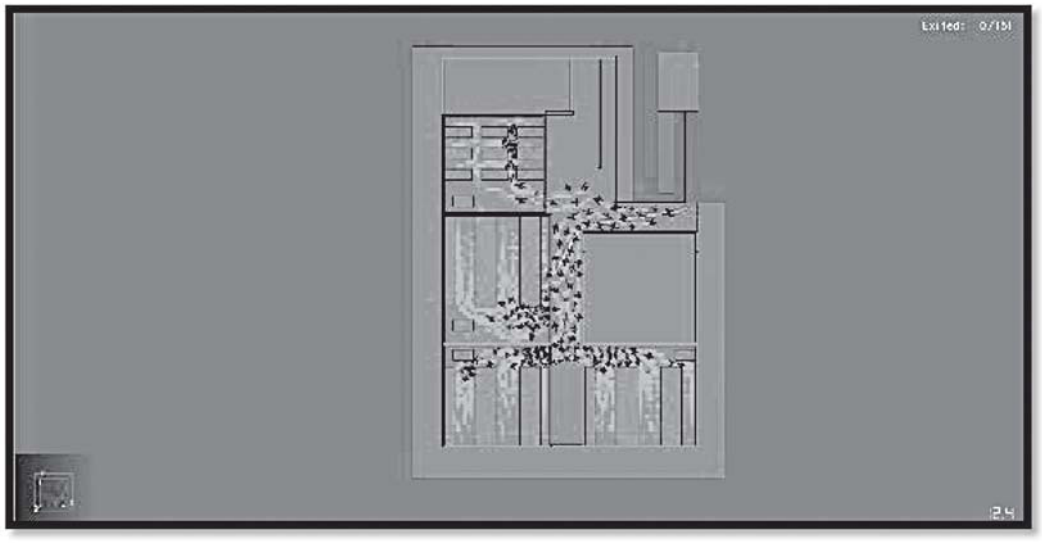
ภาพที่ 5 อัตราในการอพยพที่ความเร็ว 1.85 m/s

เส้นทางในการอพยพ

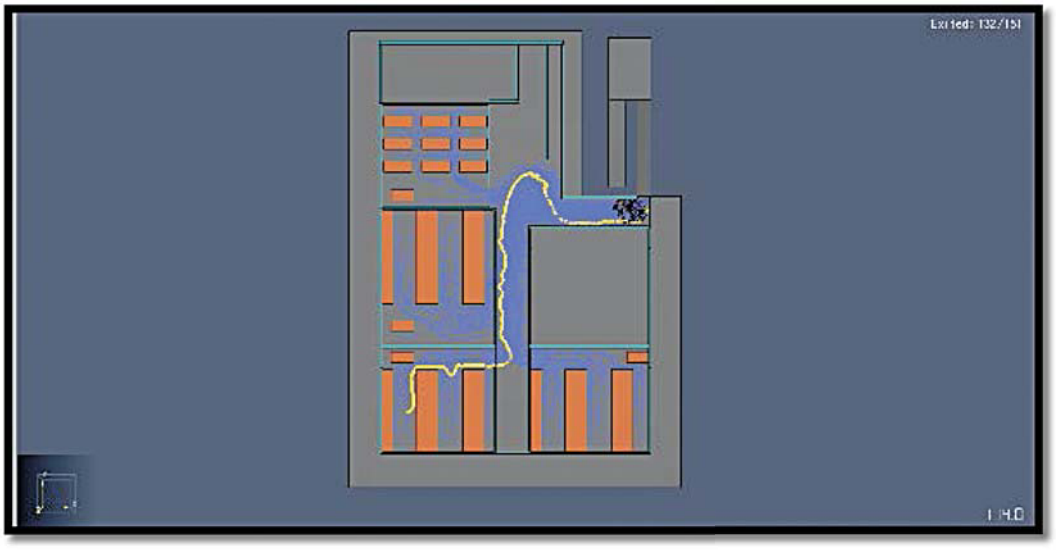
ตารางที่ 3 ระยะทางที่ใช้ในการอพยพ

ความเร็วเฉลี่ย	ทางเดินรวมไปทางหนีไฟ		
	ระยะทางน้อยสุด	ระยะทางมากที่สุด	ระยะทางเฉลี่ย
1.21 m/s	14.2 m	42.0 m	28.8 m
1.85 m/s	14.2 m	43.1 m	29.2 m

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าเส้นทางในการอพยพมีเส้นทางเดียว คือออกจากห้องเรียนมายังทางเดินรวม และจากทางเดินรวมไปยังทางหนีไฟ พฤติกรรมการเดินที่ความเร็วเฉลี่ย 1.21 เมตร/วินาที ใช้ระยะทางที่สั้นที่สุดคือ 14.2 เมตร ระยะทางที่ยาวที่สุดคือ 42.0 เมตร และเฉลี่ย 28.8 เมตร และพฤติกรรมการเดินที่ความเร็วเฉลี่ย 1.85 เมตร/วินาที ใช้ระยะทางสั้นที่สุดคือ 14.2 เมตร ระยะทางที่ยาวที่สุดคือ 43.1 เมตร และเฉลี่ย 29.2 เมตร ดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7



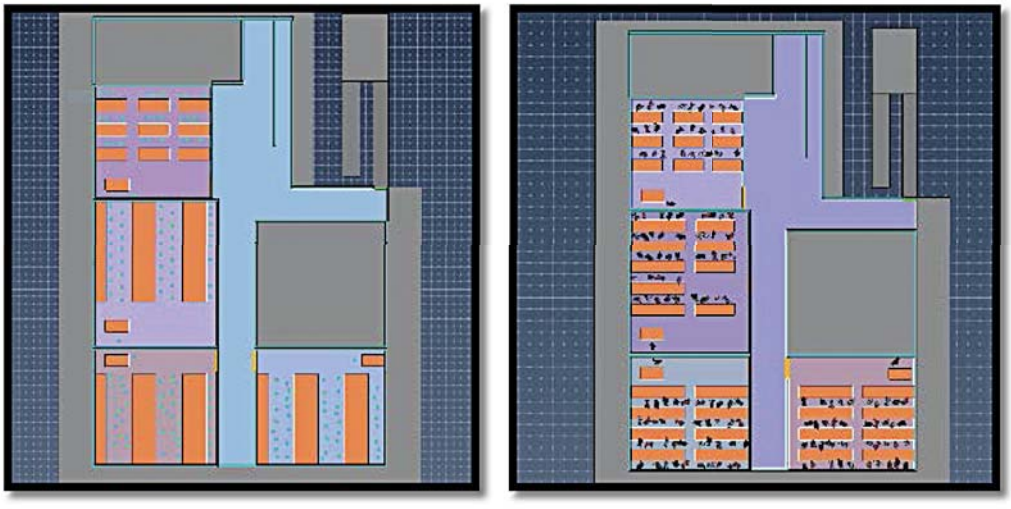
ภาพที่ 6 ระยะทางที่สั้นที่สุดในการอพยพ



ภาพที่ 7 ระยะทางที่ยาวที่สุดในการอพยพ

รูปแบบการจัดห้องเรียน

ในการจำลองการอพยพได้ทดลองการจัดห้องเรียนใน 2 รูปแบบ คือการจัดเรียงโต๊ะในแนวตั้ง และแนวขนาน ดังภาพที่ 8

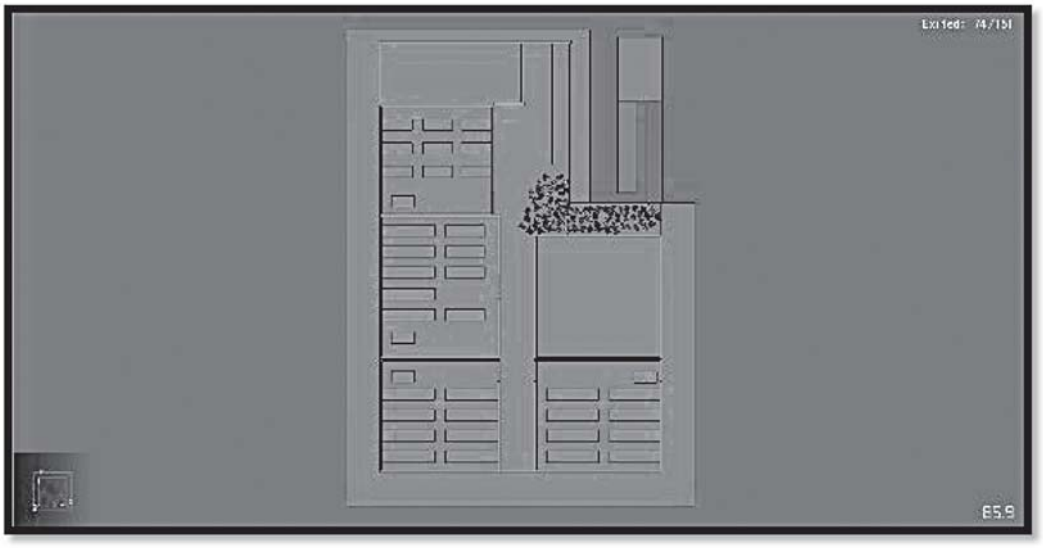


ภาพที่ 8 รูปแบบการจัดห้องเรียนทั้ง 2 รูปแบบ แนวตั้ง (ภาพซ้าย) และแนวขนาน (ภาพขวา)

ตารางที่ 4 รูปแบบการจัดห้องเรียน

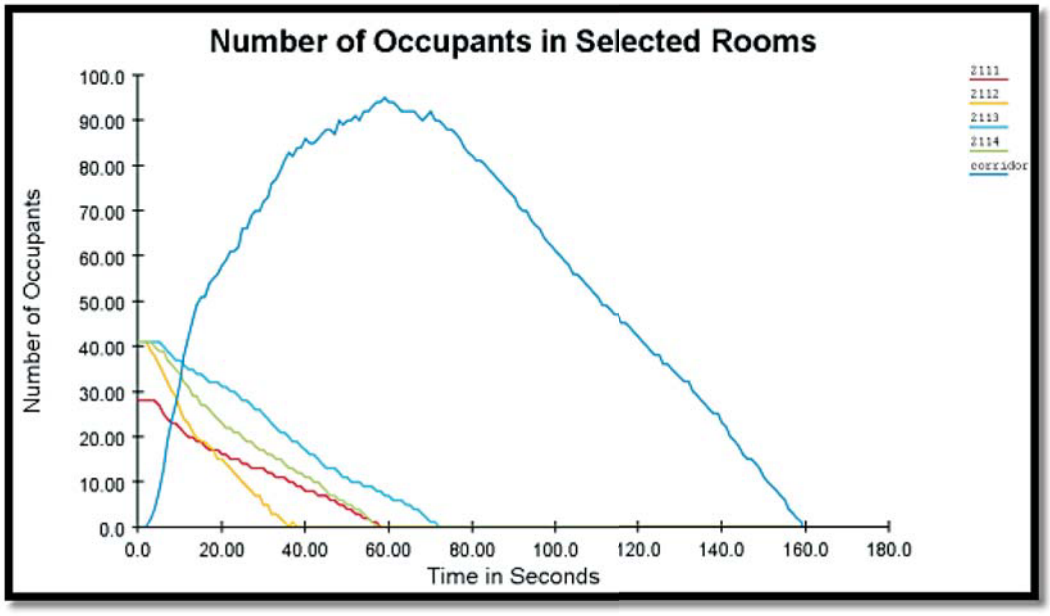
รูปแบบการจัดห้องเรียน	ความเร็วเฉลี่ย	เวลาที่ใช้ออกจากห้อง				เวลาที่ใช้อพยพถึงประตูหนีไฟ
		2111	2112	2113	2114	
แนวตั้ง	1.21 m/s	36.8	52.2	29.4	30.7	126.6
แนวขนาน	1.21 m/s	57.1	37.6	71.2	56.8	159.2
แนวตั้ง	1.85 m/s	27.3	39.8	20.6	21.7	96.7
แนวขนาน	1.85 m/s	39.0	26.2	53.7	39.2	113.7

จากตารางจะเห็นว่ารูปแบบการจัดห้องเรียนในแบบแนวตั้งใช้เวลาในการอพยพ 126.6 วินาที และ 96.7 วินาที ตามลำดับ และรูปแบบในการจัดห้องเรียนแนวขนาน ใช้เวลาในการอพยพ 159.2 วินาที และ 113.7 วินาที ตามลำดับ โดยพบการกระจุกตัวบริเวณทางเดินก่อนถึงประตูหนีไฟเป็นอย่างมาก ดังภาพที่ 9

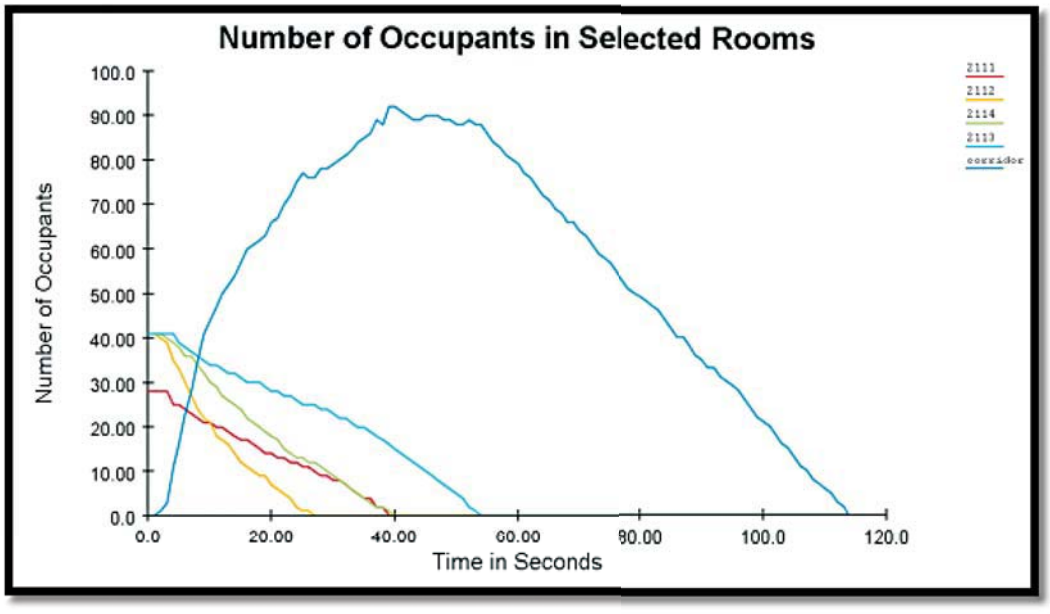


ภาพที่ 9 การกระจุกตัวก่อนถึงประตูหนีไฟ

รูปแบบแนวขนานมีอัตราในการอพยพ (Flow rate) ในรูปแบบการเดินปกติที่ความเร็วเฉลี่ย 1.21 m/s ดังภาพที่ 10 และรูปแบบการเดินแบบเร่งรีบที่ความเร็วเฉลี่ย 1.85 m/s ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 10 อัตราในการอพยพที่ความเร็ว 1.21 m/s



ภาพที่ 11 อัตราในการอพยพที่ความเร็ว 1.85 m/s

จากปัจจัยข้างต้นทั้งหมดพบว่ารูปแบบที่ดีที่สุดในการอพยพคือการเดินอย่างเร่งรีบในรูปแบบการจัดห้องเรียนในแนวตั้ง และปัญหาหลักที่พบคือการกระจุกตัวของผู้ใช้บริเวณทางเดินที่จะนำไปสู่ประตูหนีไฟ

อภิปรายผลการทดลอง

ผลการจำลองการอพยพออกจากอาคารเรียนชั้น 11 อาคาร 2 โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาในการอพยพดังนี้

พฤติกรรมในการเดิน จะเห็นว่าการเดินแบบเร่งรีบส่งผลให้เวลาในการอพยพลดลง

เส้นทางการอพยพมีเส้นทางเดียวคือออกจากห้องเรียนมายังทางเดินรวมและจากทางเดินรวมเพื่อไปยังทางหนีไฟ

รูปแบบการจัดห้องเรียน โดยวางโต๊ะในแนวตั้งฉากกับกระดาน ส่งผลต่อเวลาในการอพยพออกจากห้องเรียนที่ดีกว่ารูปแบบการจัดห้องเรียนในแนวขนานกับกระดาน

ปัญหาหลักที่พบ คือการกระจุกตัวบริเวณทางเดินเพื่อไปยังประตูทางหนีไฟซึ่งทางเดินมีขนาดเล็กและประตูมีความแคบส่งผลให้คนออกได้ช้า จึงควรมีการขยายทางเดินให้กว้างขึ้น

เวลาทั้งหมดจากการทดลองในทุกรูปแบบได้สอดคล้องกับที่กฎหมายกำหนดไว้ให้ใช้เวลาในการอพยพออกจากอาคารไม่เกิน 5.00 นาที (กระทรวงมหาดไทย, 2555)

จากการนำแบบจำลองในรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดที่สร้างขึ้นไปใช้ในการซ้อมอพยพจริง พบว่าเวลาที่ใช้ในการอพยพเฉลี่ยอยู่ที่ 122.4 วินาที ซึ่งมากกว่าการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากผู้ใช้อาคารไม่ทำการอพยพในทันที มีการเก็บสัมภาระและมีพฤติกรรมในการหยุดรอผู้อื่นส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการอพยพ ดังนั้นหากมีการฝึกซ้อมในการอพยพและแจ้งขั้นตอนในการอพยพแก่ผู้ใช้อาคารก็อาจส่งผลให้เวลาในการอพยพลดลงได้อีก

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงมหาดไทย. (2555). **กำหนดประเภทและระบบความปลอดภัยของอาคารที่ใช้เพื่อประกอบกิจการเป็นสถานบริการ.** กรุงเทพ ฯ : กระทรวงมหาดไทย.

โชติรส แสงชมภู. (2552). **การศึกษาเส้นทางการหนีไฟของอาคารเรียนโดยใช้มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. (2529). **การจำลองแบบปัญหา.** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรม ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Bryner, N., Madrzykowski, D., & Grosshandler, W. (2009). **Reconstructing the station nighclub fire-computer modeling of the fire growth and spread. National Institute of Standards and Technology**. Gaithersburg, Maryland USA.

Hearn, D., & Baker, P.M. (1996). **Computer Graphics C version**. (2nd Edition).

Kuligowaki, D.E. (2005). A Perfomance-based Egress Analysis of a Hotel Builiding Using Two Models. **Journal of Fire Protection Engineering**, 15, 287-305.

Macal, M.C., & North, J.M. (2008). **Agent-Based Modeling and Simulation: ABMS Examples**. Winter Simulation Conference, 102-112.

Palamar, T. (2016). **Mastering Autodesk Maya 2016: Autodesk Official Press**. (1st Edition). Sybex, U.S.A.

Tanaboriboon, Y. & Guyano, A.J. (1989). Level-Of-Service Standards for Pedestrian Facilities in Bangkok: A Case Study. **ITE Journal**, 39-41.

Thompson, P., & Marchant, W.E. (1995). A computer Model for the Evacuation of Large Building Population. **Fire Safety Journal**, 24, 139-148.

Thornton, C., O'Konski, R., Klein, B., Hardeman, B., & Swenson, D. (2012). **New way finding techniques in pathfinder and supporting research**. Manhattan: Thunderhead engineering.

Zebala, J., Ciepka, P., Reza, A., Rusitoru, F., Lazareko, L., & Sibian, D. (2009). **Pedestrian motion speed while crossing the road**. International Scientific Conference TRANSBALTICA, 251-255.