การพัฒนาสมการคำนวณเวลาอพยพหนีไฟโดยผสานวิธี Steering กับวิธี SFPE

Development of Equation for Calculating Fire Evacuation Time by Using Steering Method Integrated with SFPE Method

เนตรนภา ชำปฏิ[1*]และ สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ[2]

Netnapa Chompati[1*] and Supat Patvichaichod[2]

ABSTRACT

This research is conducted to improve the equation for calculating fire evacuation time by applying Hydraulic Flow Calculation with Steering method. In order to calculate the fire evacuation time, it can be calculated by using Hydraulic Flow Calculation method. While the equation of the speed (S) and population's density (D) relationship including the equation of the relationship between flow rate (Fs) and population's density (D) that are used to calculate, it is developed from Steering method in order to calculate evacuation time from the buildings comparing with evacuation time of Hydraulic Flow Calculation method by using Pathfinder program.

The result shows that if the population density in the building increases, the speed of evacuation will decrease. The relationship between the speed of evacuation and the population density in the building calculated by using Steering method is the same with SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. The equation of finding fire evacuation time equation is Polynomials term: $S = aD^2 + bD + c$. This was applied with Hydraulic Flow Calculation and improved to calculate evacuation time from the buildings. The results of calculating are quite similar. The evacuation time calculated by Hydraulic Flow Calculation is 13.12 minutes while the result of Steering Method is 13.26 minutes. It is clear that the equation fire evacuation time that difference is only 0.01. It can be analyzed that the equation fire evacuation time was improved from Steering method can be really used.

Keywords: Evacuation, Hydraulic flow calculation, Steering

[1*]สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

Safety Engineering and Environmental Management Program, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi 20230, Thailand.

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล กลุ่มวิจัยวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

Department of Mechanical Engineering, Safety Engineering Research Group, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi 20230, Thailand.

[*]Corresponding author: Tel. 09-5163-2690, E-mail address: netnapach22@gmail.com

บทคัดย่อ

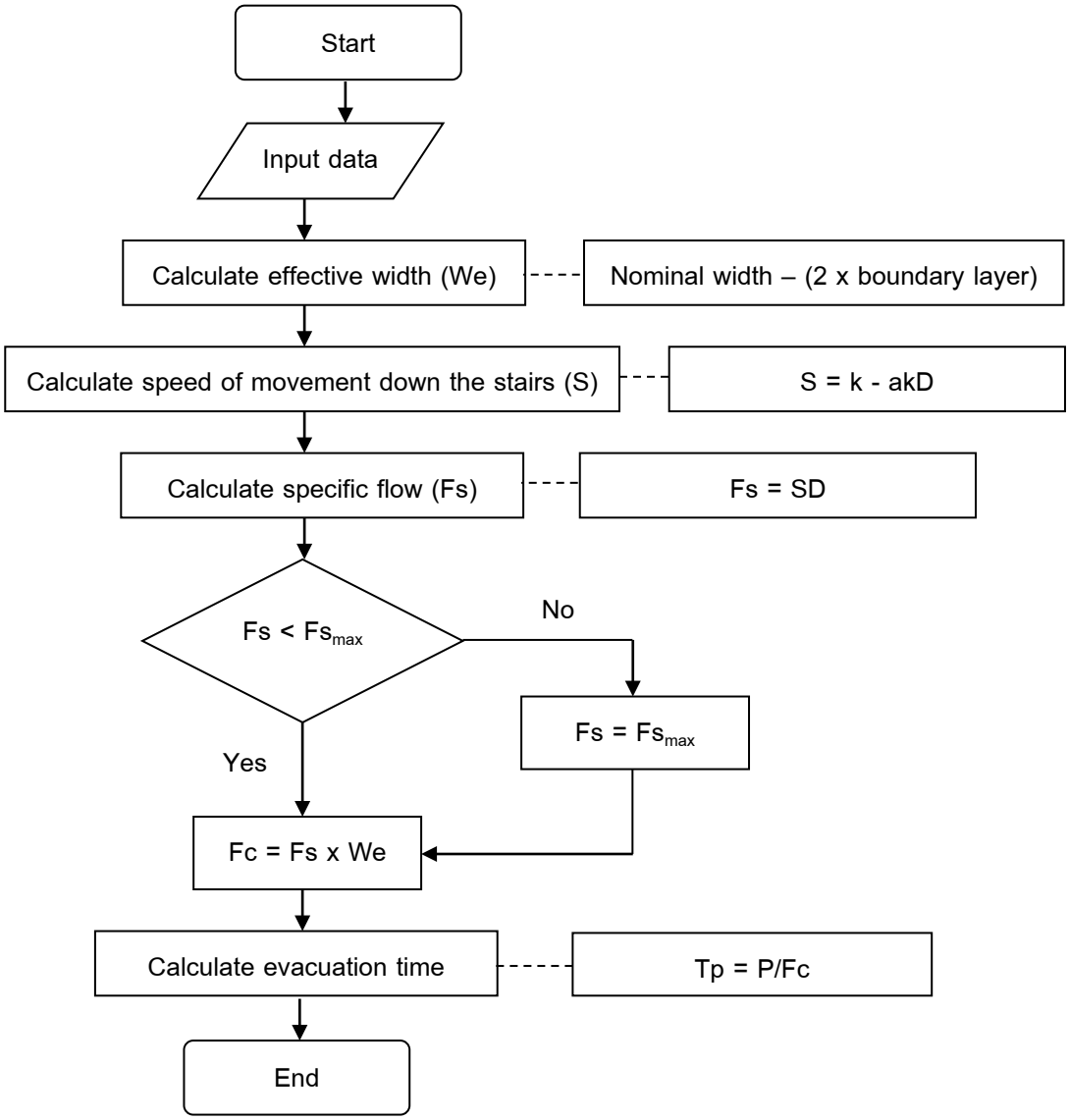
งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาสมการสำหรับใช้คำนวณหาเวลาการอพยพหนีไฟ โดยการประยุกต์จากวิธี Hydraulic Flow Calculation ผสานกับวิธี Steering ซึ่งการคำนวณหาเวลาการอพยพหนีไฟนั้น ยังคงใช้รูปแบบการคำนวณตามวิธี Hydraulic Flow Calculation แต่สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการอพยพและความหนาแน่น และสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเฉพาะและความหนาแน่นที่ใช้ในการคำนวณได้รับการปรับปรุงมาจากวิธี Steering เพื่อนำมาพัฒนาคำนวณหาเวลาอพยพออกจากอาคาร และเปรียบเทียบระยะเวลาการอพยพระหว่างวิธี Hydraulic Flow Calculations กับวิธี Steering จากโปรแกรม Pathfinder

ผลการศึกษาพบว่า ถ้าความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารมากขึ้น ความเร็วในการอพยพก็จะต่ำ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการอพยพกับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารที่ได้จากวิธี Steering เหมือนกับในคู่มือของ SFPE (Society of Fire Protection Engineer) สมการคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟนั้นอยู่ในรูปสมการโพลิโนเมียล คือ $S = aD^2 + bD + c$ สมการความสัมพันธ์ที่ได้นั้นมาจากการประยุกต์ด้วยวิธี Hydraulic Flow Calculation และนำมาพัฒนาคำนวณหาเวลาอพยพออกจากอาคาร ผลการคำนวณเวลาในการอพยพมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือ เวลาในการอพยพจากการคำนวณด้วยวิธี Hydraulic Flow Calculation ได้เวลาการอพยพเท่ากับ 13.12 นาที และเวลาในการอพยพหนีไฟจากวิธี Steering คือ 13.26 นาที ซึ่งมีค่าความแตกต่างร้อยละ 0.01 แสดงว่า สมการคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟที่ปรับปรุงขึ้นมาใหม่จากวิธี Steering สามารถใช้งานได้จริง

คำสำคัญ: การอพยพ วิธี Hydraulic Flow Calculations วิธี Steering

คำนำ

การคำนวณระยะเวลาในการอพยพหนีไฟสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ 1) วิธีการเชิงประจักษ์ (Empirical calculations) เป็นแนวคิดที่ได้จากข้อเท็จจริง จากการสังเกตการณ์ การทดลอง หรือการสำรวจ 2) วิธีการคำนวณทางวิศวกรรม (Manual engineering calculations) และ 3) วิธีการใช้แบบจำลองการอพยพ (Evacuation modeling) (Erica, 2016) โดยทั่วไปจะมีผู้ศึกษาเกี่ยวกับการอพยพและคำนวณเวลาอพยพหนีไฟโดยใช้วิธีคำนวณด้วยวิธีการคำนวณทางวิศวกรรม (Manual engineering calculations) ในรูปแบบการคำนวณด้วยมือวิธี Hydraulic Flow Calculations หรือจำลองการอพยพหนีไฟด้วยวิธีการใช้แบบจำลองการอพยพ (Evacuation modeling) คือ การใช้โปรแกรมจำลองการอพยพหนีไฟ เช่น โปรแกรม Pathfinder เป็นต้น สำหรับการคำนวณมือหาเวลาในการอพยพหนีไฟด้วยวิธี Hydraulic Flow Calculations ตามที่ระบุในคู่มือของ SFPE (Society of Fire Protection Engineer) (Pauls,1995) จะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการอพยพกับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร ซึ่งอยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น โดยถ้าความหนาแน่นมากขึ้น ความเร็วจะลดลง (Rita, 2003) แต่วิธี Hydraulic Flow Calculations ยังมีจุดอ่อน เพราะใช้อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (F_C) ของประตูเป็นตัวควบคุมเวลาอพยพ ไม่คำนึงถึงระยะห่างระหว่างคน ซึ่งสามารถเห็นภาพการเคลื่อนที่ได้ชัดเจนขึ้น จากการประมวลผลในโหมด SFPE จากโปรแกรม Pathfinder ที่การอพยพของคนมีการเดินชนกัน เดินผ่านทะลุกัน ซึ่งตามหลักความเป็นจริง คนไม่สามารถเดินทะลุผ่านกันได้ โดยขั้นตอนการคำนวณเวลาอพยพหนีไฟด้วยวิธี Hydraulic Flow Calculations แสดงใน Figure 1



We = Effective width (m)

S = Speed (ft/s or m/s)

k = Speed Factor

a = Constants

D = Density (persons/ft^2 or persons/m^2)

Fs = Specific flow (persons/minutes/ft or persons/s/m)

Fc = Calculated flow (persons/minutes or persons/s)

P = People (persons)

Tp = Evacuation time (minutes or seconds)

Figure 1 Calculating fire evacuation time flowchart

จาก Figure 1 แสดงขั้นตอนในการคำนวณเวลาอพยพหนีไฟ และพบว่าสมการที่สำคัญในวิธี Hydraulic Flow Calculations คือ สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (Speed, S มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที) กับความหนาแน่น (Density, D มีหน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร) ซึ่งถ้าสมการดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไป ก็จะส่งผลกระทบกับสมการอื่น

สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (S) กับความหนาแน่น (D) คือ S = k – akD ดัง Figure 2
โดยค่า k = ค่าตัวประกอบความเร็ว
a = ค่าคงที่ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่า k

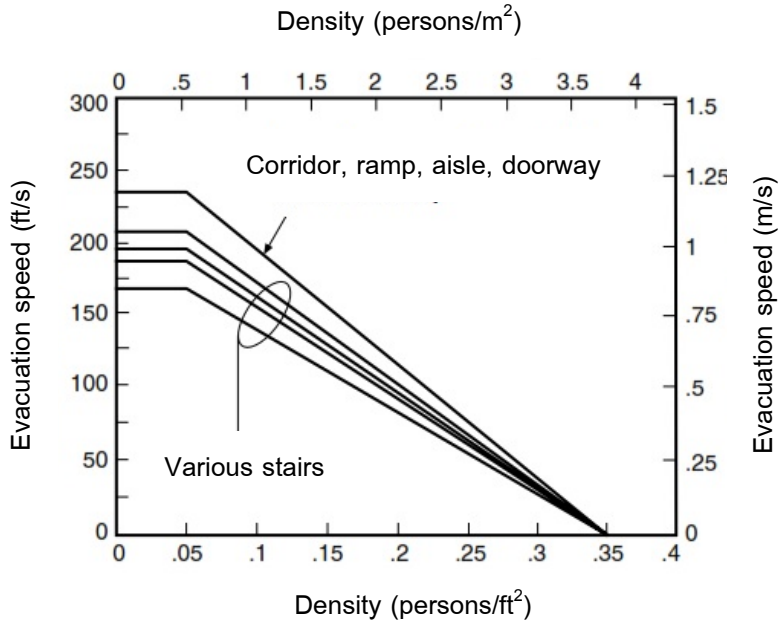


Figure 2 The graphic representation of the relationship between evacuation speed and density for simulation: S = k – akD

Source: Rita (2003)

สมการนี้พัฒนามาจากวิธีเชิงประจักษ์ โดยไม่คำนึงถึงระยะห่างระหว่างบุคคล ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (S) กับความหนาแน่น (D) ใหม่ โดยคำนึงถึงระยะห่างระหว่างบุคคล เพื่อความเหมือนจริง ซึ่งจะทำการจำลองการอพยพจากโปรแกรมจำลองการอพยพ Pathfinder ในโหมด Steering ซึ่งเป็นการพัฒนาสมการหาเวลาอพยพหนีไฟโดยผสานวิธี Steering กับวิธี SFPE จากนั้นจะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเฉพาะ (Fs) กับความหนาแน่น (D) จนเปลี่ยนจากเดิม ส่งผลให้อัตราการไหลสูงสุด (Fs_{max}) เปลี่ยนแปลง และค่าความหนาแน่นที่ทำให้เกิดอัตราการไหลสูงสุดเปลี่ยน และนำสมการที่พัฒนานั้นมาพิสูจน์หรือทดสอบว่าสามารถใช้ได้จริง ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาหรือผู้รับผิดชอบในการออกแบบอาคาร สามารถคำนวณเวลาในการอพยพออกจากอาคารที่ก่อสร้างแล้วและกำลังจะก่อสร้างได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. โปรแกรมจำลองการอพยพ Pathfinder

โปรแกรม Pathfinder ของบริษัท Thunderhead Engineer Consultant Incorporation เป็นโปรแกรมจำลองอพยพ ที่มีการพัฒนาให้แบบจำลองสามารถเคลื่อนที่อพยพได้อย่างอิสระ การแสดงผลมีทั้งรูปแบบสามมิติและ

สองมิติ ที่เหมือนกับการเคลื่อนที่ของคนอพยพจริง (Thunderhead_Engineering, 2009)

ส่วนสำคัญของโปรแกรมนี้ คือ การแสดงผลที่มีความหลากหลาย เช่น กราฟ การแสดงความหนาแน่นของแต่พื้นที่อพยพ เวลาการอพยพ เป็นต้น

การจำแนกการเคลื่อนที่สามารถจำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ

1 . The society of fire protection engineering (SFPE) ลักษณะการเคลื่อนที่จะเป็นเส้นตรงตลอดทาง ส่วนความเร็วจะพิจารณาจากความหนาแน่นของผู้อพยพตามเส้นทางหนีไฟ และความกว้างของประตูหนีไฟจะกำหนดความเร็วของผู้อพยพในการเข้าประตูหนีไฟ

2. Steering ลักษณะการเคลื่อนที่สมดุล เพราะมีการเลี้ยวในแนวโค้งเพื่อหลบหลีก ทำให้การเคลื่อนที่มีความซับซ้อน เว้นระยะระหว่างคนกับสิ่งขวาง และคนกับคน

2. การสร้างแบบจำลองอาคาร

สร้างแบบจำลองอาคารขนาด 2 ชั้น ด้วยโปรแกรม Pathfinder เพื่อจำลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการอพยพ (S) กับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร (D) โดยสาเหตุที่เลือกใช้อาคารขนาด 2 ชั้น เนื่องจากการศึกษาในขั้นตอนนี้มุ่งเน้นหาความความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการอพยพ (S) กับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร (D) เท่านั้น การใช้อาคารขนาด 2 ชั้นนี้ จึงเพียงพอสำหรับในการศึกษาลักษณะการอพยพทั้งในบันไดและทางเดิน โดยสร้างโครงข่ายของแบบจำลองอาคาร ขนาด 2 ชั้น แต่ละชั้นมีความกว้าง 8 เมตร ความยาว 14 เมตร ชานพักยาว 4 เมตร ดัง Figure 3

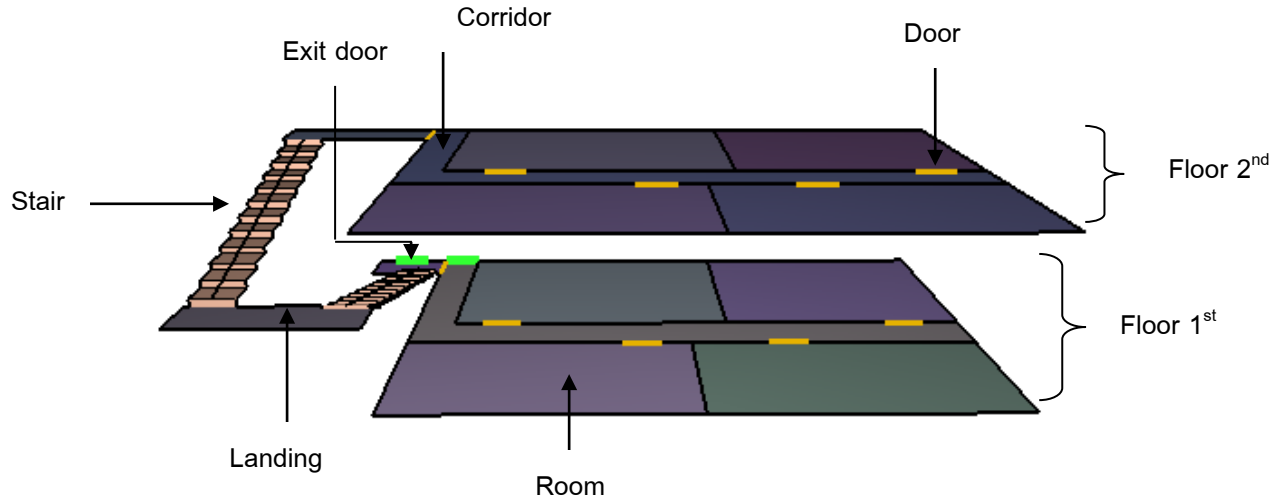


Figure 3 The component of structure building for simulation of the movement on corridor and stairway

สร้างส่วนประกอบต่างๆ ของอาคาร ดัง Figure 3 ได้แก่ ประตูทางออก (Exit door) ที่มีความกว้าง 100 เซนติเมตร (1 เมตร) ขนาดทางเดิน (Corridor) ที่มีความกว้าง 100 เซนติเมตร (1 เมตร) และสร้างบันได (Stair) ขนาดต่างๆ ได้แก่ ขนาดลูกตั้ง 15 เซนติเมตร ลูกนอน 30 เซนติเมตร ขนาดลูกตั้ง 17 เซนติเมตร ลูกนอน 28 เซนติเมตร ขนาดลูกตั้ง 18 เซนติเมตร ลูกนอน 27 เซนติเมตร และขนาดลูกตั้ง 20 เซนติเมตร ลูกนอน 25 เซนติเมตร เนื่องจากบันไดขนาดต่างๆ นั้น เป็นขนาดของบันไดหนีไฟที่มักพบในอาคารของประเทศไทย ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการวัดจริงในบางอาคาร เช่น อาคารสูงบางแห่งในเขตกรุงเทพมหานคร เมืองพัทยา และอาคารสถานศึกษาในจังหวัดชลบุรี พบว่า ส่วนใหญ่บันไดหนีไฟมีขนาดลูกตั้ง 17 เซนติเมตร ลูกนอน 28 เซนติเมตร และขนาดลูกตั้ง 18 เซนติเมตร ลูกนอน 27 เซนติเมตร นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ศึกษางานวิจัย

ที่เกี่ยวกับการอพยพหนีไฟ ที่ได้นำแบบอาคารที่มีอยู่จริงมาใช้ในการศึกษา เช่น บันไดหนีไฟในโรงภาพยนตร์ มีหลายขนาด ได้แก่ ขนาดลูกตั้ง 18 เซนติเมตร ลูกนอน 27 เซนติเมตร ขนาดลูกตั้ง 20 เซนติเมตร ลูกนอน 25 เซนติเมตร (ขนิษฐา, 2554) หรือจากการศึกษาข้อมูลการสร้างบันไดที่มีความเหมาะสมต่อผู้สูงวัย พบว่าการสร้างบันไดในอาคารควรมีขนาดลูกตั้ง 15 เซนติเมตร ลูกนอน 30 เซนติเมตร (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2558) และการศึกษาข้อมูลการออกแบบอาคารสถานบริการสุขภาพ พบว่า การสร้างบันได ควรมีขนาดลูกตั้งสูง 15 เซนติเมตร ลูกนอนกว้าง 30 เซนติเมตร (กองแบบแผน, 2558)

กำหนดการอพยพ โดยจะทำการสร้างโครงข่ายการอพยพ และกำหนดจำนวนคนให้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ในช่วง 0.1 – 2.8 คนต่อตารางเมตร เนื่องจากการกำหนดความหนาแน่นในโปรแกรม Pathfinder ไม่สามารถกำหนดเริ่มต้นได้ที่ 0 คนต่อตารางเมตร จึงเริ่มต้นด้วย 0.1 คนต่อตารางเมตร ส่วนการกำหนดความหนาแน่นสูงสุดที่ 2.8 คนต่อตารางเมตร เนื่องจากที่ความหนาแน่นดังกล่าว ความเร็วเริ่มคงที่ กล่าวคือ เมื่อความหนาแน่นของผู้อพยพในอาคารตั้งแต่ 2.8 คนต่อตารางเมตรขึ้นไป ความเร็วที่อพยพจะมีค่าเท่ากันในทุกขนาดของบันได และทางเดิน กำหนดรูปแบบการประมวลผลโปรแกรมให้เป็นวิธี Steering จากโปรแกรม Pathfinder

3. การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น

เมื่อประมวลผลด้วยโปรแกรม Pathfinder ของแบบจำลองอาคาร 2 ชั้น ทั้งการจำลองการอพยพในทางเดิน ดัง Figure 4 และการจำลองการอพยพในบันได ดัง Figure 5 จะทำให้ทราบค่าระยะทางในการอพยพ จะแสดงผลลัพธ์ในรูปของระยะสัญจร (Travel Distances) และเวลาในการอพยพ (Exit times) และนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น

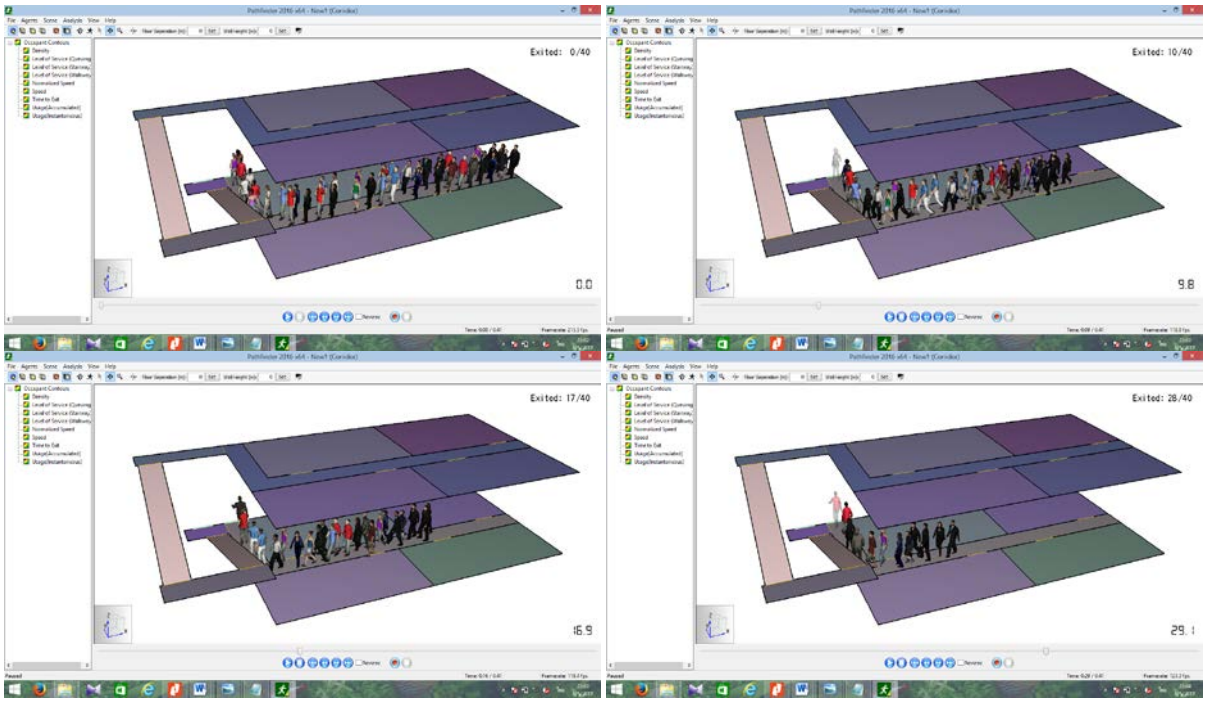


Figure 4 Processing program Pathfinder for fire evacuation on corridor

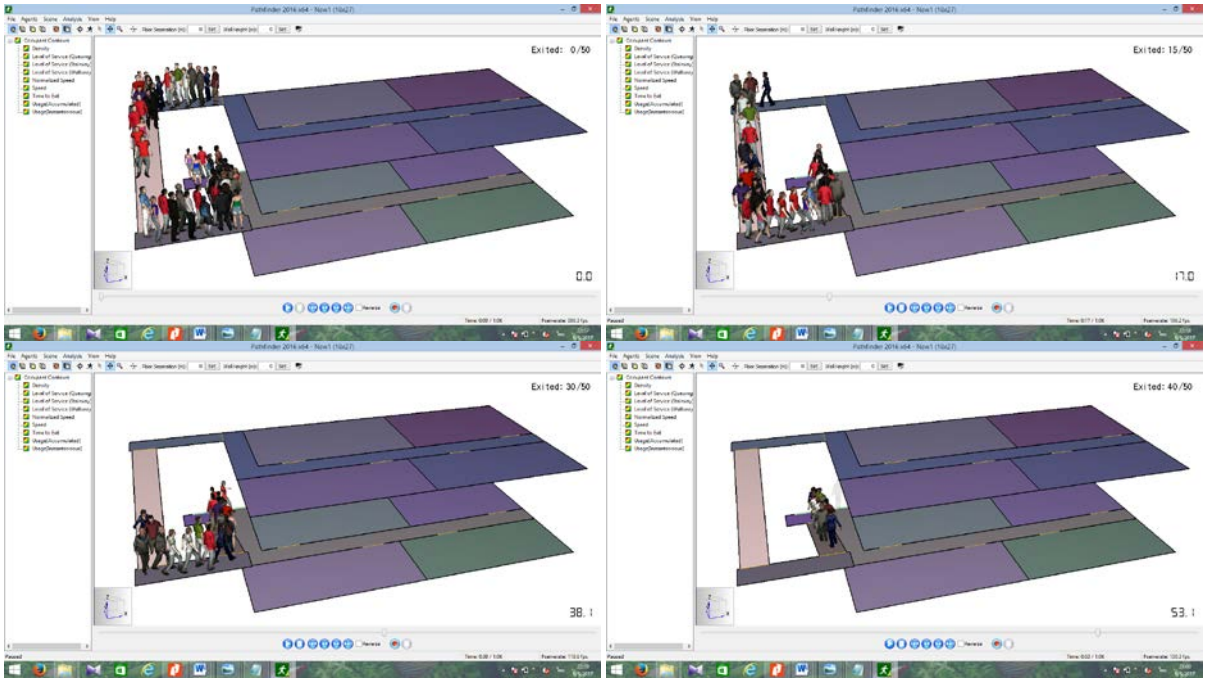


Figure 5 Processing program Pathfinder for fire evacuation on stairway

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าความเร็ว (Speed) สามารถทำได้จากการนำค่าระยะทางเฉลี่ยและเวลาการอพยพเฉลี่ยที่ได้จากผลลัพธ์ ดัง Figure 6 มาคำนวณจากสมการ คือ ความเร็ว = ระยะทาง/เวลา

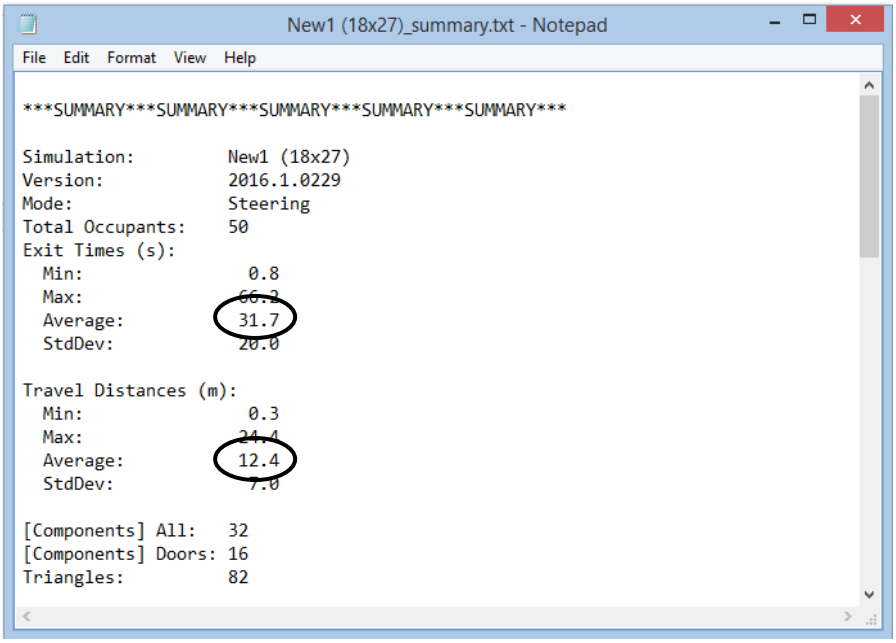


Figure 6 Results of travel distances and exit times by program Pathfinder

จาก Figure 4 เป็นตัวอย่างผลลัพธ์จากโปรแกรม Pathfinder กรณีการจำลองการอพยพของอาคาร 2 ชั้น ในบันไดหนีไฟที่มีขนาดลูกตั้ง 18 เซนติเมตร ลูกนอน 27 เซนติเมตร และกำหนดความหนาแน่นเท่ากับ 2.2 คนต่อตารางเมตร ซึ่งจะเห็นว่า ระยะทางหรือระยะสัญจรเฉลี่ย (Travel

Distances Average) มีค่าเฉลี่ยคือ12.4 เมตร และเวลาในการอพยพ (Exit Times Average) มีค่าเฉลี่ยคือ 31.7 วินาที ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณค่าความเร็ว (Speed) จะได้ความเร็วเท่ากับ 0.39 เมตรต่อวินาที จากนั้นเปลี่ยนค่าความหนาแน่นเป็นค่าต่างๆ และคำนวณค่าความเร็ว (Speed) จะได้ความเร็วแสดง Table 1

Table 1 Density and Speed

Density (person/m^2)	Speed (m/s)				
	Corridor	Various stairs (Riser x Tread: cm.)			
		15 x 30	17 x 28	18 x 27	20 x 25
0.1	1.09	1.02	0.94	0.92	0.84
0.2	1.08	1.00	0.90	0.90	0.83
0.3	1.07	0.99	0.89	0.89	0.82
0.4	1.06	0.98	0.88	0.88	0.81
0.5	1.05	0.94	0.87	0.87	0.80
0.6	1.02	0.90	0.85	0.84	0.75
0.7	1.00	0.87	0.82	0.80	0.74
0.8	0.96	0.85	0.79	0.76	0.73
0.9	0.91	0.78	0.75	0.74	0.67
1.0	0.88	0.74	0.67	0.66	0.61
1.1	0.82	0.72	0.65	0.64	0.60
1.2	0.81	0.63	0.63	0.61	0.57
1.3	0.78	0.65	0.59	0.58	0.55
1.4	0.73	0.58	0.55	0.54	0.52
1.5	0.71	0.57	0.54	0.52	0.49
1.6	0.67	0.52	0.51	0.49	0.48
1.7	0.63	0.5	0.47	0.47	0.45
1.8	0.61	0.48	0.46	0.45	0.42
1.9	0.60	0.47	0.44	0.43	0.41
2.0	0.58	0.46	0.41	0.41	0.40
2.1	0.55	0.43	0.40	0.40	0.39
2.2	0.52	0.42	0.39	0.39	0.38
2.3	0.50	0.40	0.38	0.38	0.37
2.4	0.47	0.39	0.37	0.37	0.36
2.5	0.46	0.38	0.36	0.36	0.35
2.6	0.44	0.36	0.35	0.35	0.33
2.7	0.43	0.35	0.34	0.33	0.32
2.8	0.42	0.45	0.38	0.38	0.36

ผล

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น

จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Pathfinder ของแบบจำลองอาคาร 2 ชั้น ทั้งการจำลองการอพยพในทางเดิน และการจำลองการอพยพในบันได รวมทั้งหมด 5 กรณี ได้แก่

1) การจำลองการอพยพในทางเดิน

2) การจำลองการอพยพในบันไดขนาดลูกตั้ง 15 เซนติเมตร ลูกนอน 30 เซนติเมตร

3) การจำลองการอพยพในบันไดขนาดลูกตั้ง 17 เซนติเมตร ลูกนอน 28 เซนติเมตร

4) การจำลองการอพยพในบันไดขนาดลูกตั้ง 18 เซนติเมตร ลูกนอน 27 เซนติเมตร

5) การจำลองการอพยพในบันไดขนาดลูกตั้ง 20 เซนติเมตร ลูกนอน 25 เซนติเมตร

ทำให้ทราบข้อมูลระยะทางและเวลาในการอพยพ เพื่อนำมาคำนวณหาความเร็วในการอพยพจากสมการ ความเร็ว = ระยะทาง/เวลา โดยผลการคำนวณหาความเร็วในการอพยพ แสดงดัง Table 1 จะทำให้สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเร็วในการอพยพ ดัง Figure 7

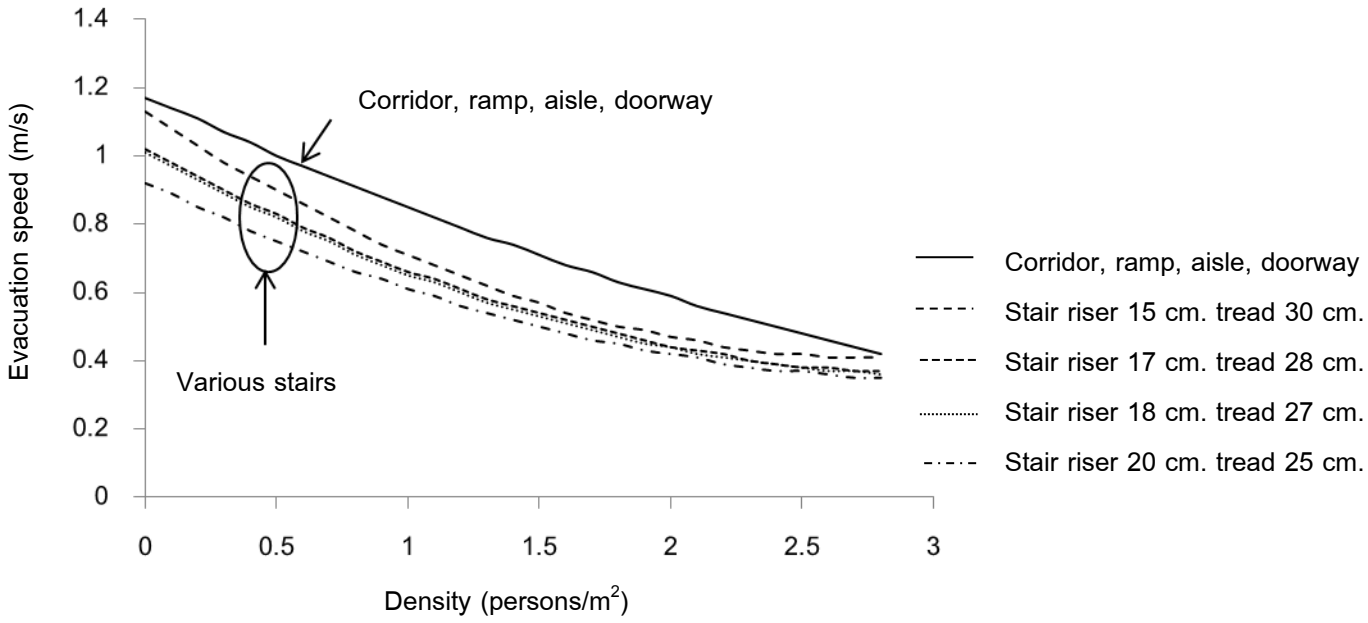


Figure 7 The graphic representation of the relationship between evacuation speed and density

จาก Figure 7 จะเห็นว่าความเร็วในการอพยพขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร กล่าวคือ เมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารสูงขึ้น ความเร็วในการอพยพก็จะต่ำ หรือเมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารต่ำ ความเร็วในการอพยพก็จะสูง

2. สมการระหว่างความหนาแน่นและความเร็ว

จากการพัฒนาสมการหาเวลาอพยพหนีไฟโดยผสานวิธี Steering กับวิธี SFPE เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (S) กับความหนาแน่น (D) จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเร็ว ในรูปฟังก์ชันโพลิโนเมียล ที่สอดคล้องกับ Figure 7 ดังนี้

$$S = aD^2 + bD + c$$

S = ความเร็วในการอพยพ

D = ความหนาแน่น (คนต่อตารางเมตร)

a = เป็นค่าคงที่ แสดงไว้ในดัง Table 2

b = เป็นค่าคงที่ แสดงไว้ใน Table 2

c = เป็นค่าคงที่ แสดงไว้ใน Table 2

Table 2 Constants for equation for calculating fire evacuation time

Exit route element			a	b	c	R^2
Corridor, Ramp, Aisle, Doorway			0.0327	- 0.3603	1.1770	0.9874
Stair	Riser (cm.)	Tread (cm.)				
	15	30	0.0908	- 0.5108	1.1288	0.9687
	17	28	0.0697	- 0.4303	1.0251	0.9757
	18	27	0.0710	- 0.4306	1.0135	0.9758
	20	25	0.0596	- 0.3715	0.9230	0.9764

จะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเร็วที่ได้ใหม่นั้น เป็นไปตามวิธีคู่มือของ SFPE (Society of Fire Protection Engineer) กล่าวคือ เมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารสูงขึ้น ความเร็วในการอพยพก็จะต่ำ หรือเมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารต่ำ ความเร็วในการอพยพก็จะสูง

แต่สมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเร็วจากการผสานวิธี Steering กับวิธี SFPE แตกต่างจากวิธี SFPE กล่าวคือ ในวิธี SFPE จะได้สมการเชิงเส้น เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนที่ และการอพยพของคนเป็นเส้นตรงตลอดทาง ในขณะที่การผสานวิธี Steering กับวิธี SFPE จะได้สมการกำลังสอง (รูปฟังก์ชันโพลิโนเมียล) ดูได้จากลักษณะของกราฟที่เป็นเส้นโค้ง เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนที่ตามวิธี Steering มีการเลี้ยวโค้งหักหลบ เว้นระยะห่างระหว่างคนกับคน คนกับสิ่งกีดขวาง

จากนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเฉพาะ (Fs) กับความหนาแน่น (D) ใหม่ ดัง Figure 8 สามารถแสดงดังสมการด้านล่างนี้

$$Fs = SD$$

$$= [aD^2 + bD + c]D$$

ซึ่งทำให้อัตราการไหลสูงสุด (Fs_{max}) เปลี่ยนแปลง แสดงดัง Table 3 และค่าความหนาแน่นที่ทำให้เกิดอัตราการไหลสูงสุดเปลี่ยน โดยพบว่า อัตราการไหลสูงสุดจะเกิดเมื่อความหนาแน่นเป็น 2.6 คนต่อตารางเมตร ของพื้นที่เส้นทางออกบริเวณโถงทางเดิน ทางเดิน ทางลาด และทางระหว่างประตู และจะเกิดเมื่อความหนาแน่นเป็น 2.8 คนต่อตารางเมตร ของพื้นที่เส้นทางออกบริเวณบันไดขนาดต่างๆ ดัง Figure 8

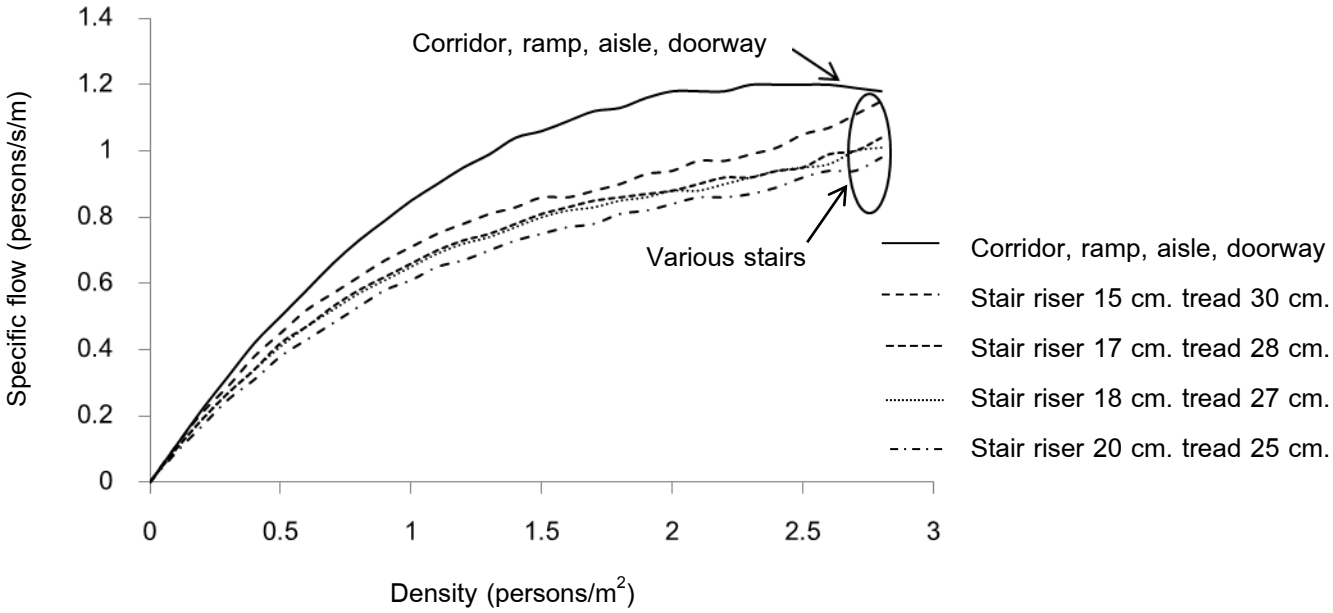


Figure 8 The graphic representation of the relationship between specific flow and density

Table 3 The maximum specific flow (Fs_{max})

Exit route element		Maximum specific flow (persons/s/m)
Corridor, Ramp, Aisle, Doorway		1.20
Stair		
Riser (cm.)	Tread (cm.)	
15	30	1.15
17	28	1.04
18	27	1.01
20	25	0.98

3. การพิสูจน์ความแม่นยำของสมการที่พัฒนาขึ้น

ในการพิสูจน์ความแม่นยำของสมการที่พัฒนาขึ้น จะทำการสร้างแบบจำลองของอาคารขึ้นมาใหม่อีกแบบหนึ่ง และคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pathfinder เลือกลักษณะการอพยพแบบ Steering เปรียบเทียบกับวิธี Hydraulic flow calculation

สร้างแบบจำลองอาคาร คือ เป็นอาคาร 3 ชั้น สำหรับจำลองการอพยพหนีไฟและคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ การเลือกใช้อาคารขนาด 3 ชั้นนั้น เนื่องจากอาคารโดยทั่วไป เช่น บ้านเรือน อาคารที่พักอาศัย สถานที่ราชการ เป็นต้น จะมีจำนวนชั้นอย่างน้อย 2 ชั้น หรือจำนวน 2 ชั้นขึ้นไป แต่การคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟจะไม่ทำการคำนวณการอพยพในชั้นที่ 1 เพราะมีทางออกที่กว้างมาก เส้นทางการอพยพไม่ต้องผ่านจุดเปลี่ยนถ่ายใดๆ เป็นการเคลื่อนที่ในแนวราย สามารถออกนอกอาคารได้ในเวลาอันรวดเร็วกว่าชั้นอื่นๆ แน่นอน ดังนั้น ผู้ศึกษาจึงเลือกใช้อาคารขนาดอย่างน้อย 3 ชั้น สำหรับการศึกษาในขั้นตอนนี้

รายละเอียดอาคารขนาด 3 ชั้น คือ มีขนาด 52 x 44 เมตร (2,288 ตารางเมตร) ดัง Figure 9 ในอาคารได้ติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

อัตโนมัติทั้งอาคาร มีระบบท่อยืน ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ และถังดับเพลิง ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 มีช่องผ่านที่มีความกว้างสุทธิ 3.5 เมตร ประตูทนไฟที่เจาะทะลุบันไดหนีไฟมีความกว้างสุทธิ 1.3 เมตร สูง 2 เมตร บันไดกว้างสุทธิ 1.9 เมตร ประตูห้องทุกห้องกว้างสุทธิ 84 เซนติเมตร บันไดหนีไฟมีขนาดลูกตั้งสูง 17.7 เซนติเมตร ลูกนอนกว้าง 28 เซนติเมตร ชั้น 2 มีผู้ใช้อาคารจำนวน 1,265 คน ชั้น 3 มีผู้ใช้อาคารจำนวน 497 คน รวมผู้ใช้อาคารทั้งสิ้น 1,762 คน

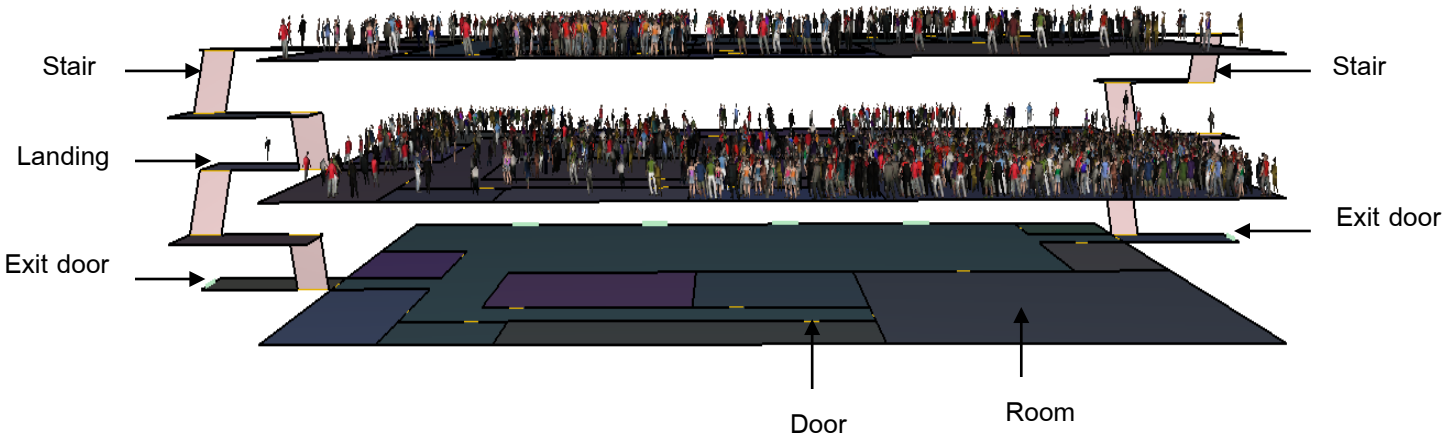


Figure 9 The component of structure building for simulation of evacuation time proof

การคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟด้วยวิธี Hydraulic flow calculation โดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเร็ว จากการผสานวิธี Steering กับวิธี SFPE ได้ค่าเฉลี่ยของเวลาการอพยพเท่ากับ 787 วินาที หรือ 13.12 นาที ดัง Table 4

Table 4 Calculating fire evacuation time by Hydraulic flow calculation

List	Calculating	Output
Calculate effective width of door (We_{door})	1.3 - (2 x 0.15)	1.0 m
Calculate effective width of stair (We_{stair})	1.9 - (2 x 0.15)	1.6 m
Calculate calculated flow of door (Fc_{door})	1.20 x 1.0	1.20 persons/s
Calculate calculated flow of stair (Fc_{stair})	1.01 x 1.6	1.62 persons/s
Calculate speed of movement down the stairs (S)	$[(0.0710 \cdot 2.8^2) - (0.4306 \cdot 2.8) + 1.0135]$	0.36 m/s
Calculate travel distance	- The landing distance of floor 3rd between floor 2nd = 8 m - The height of floor 3rd between floor 2nd = 10.6 m	18.6 m
Calculate people of building	1,762 / 2	881 persons
Calculate travel time in each floor	18.6 / 0.36	52 (51.67) s
Calculate travel time in each stair	881 / 1.20	735 (734.17) s
Calculate evacuation time	52 + 735	787 s or 13.12 minutes

ส่วนการจำลองการอพยพหนีไฟด้วยวิธี Steering จากโปรแกรม Pathfinder พบว่า ได้ค่าเฉลี่ยของเวลาการอพยพเท่ากับ 795.5 วินาที หรือ 13.26 นาที ดัง Figure 10

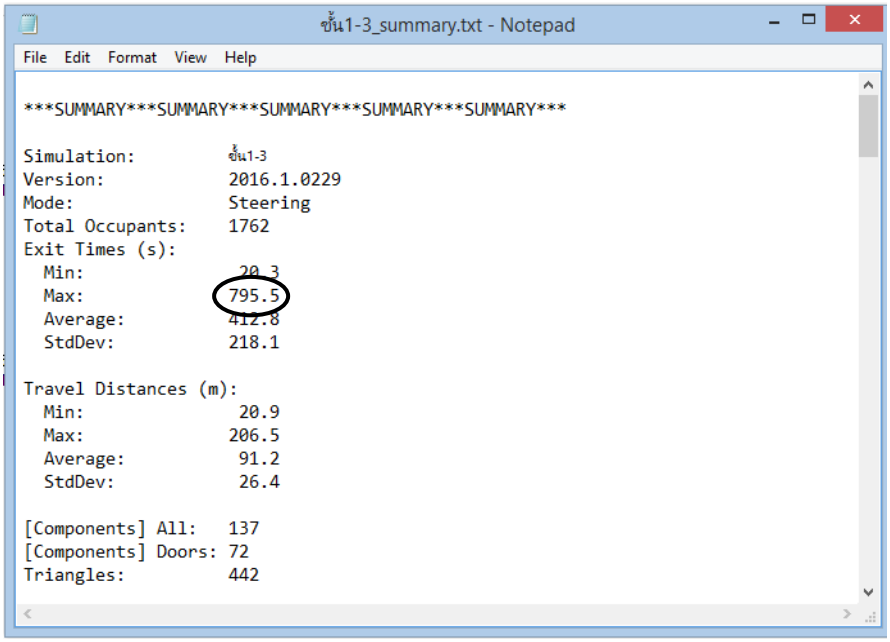


Figure 10 Results of exit times by program Pathfinder

เปรียบเทียบผลการคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟระหว่างผลการคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟด้วยวิธี Hydraulic flow calculation กับการจำลองการอพยพหนีไฟด้วยวิธี Steering จากโปรแกรม Pathfinder พบว่า ระยะเวลาอพยพหนีไฟที่ได้จากการคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟด้วยวิธี Hydraulic flow calculation มีค่าน้อยกว่าระยะเวลาอพยพหนีไฟที่ได้จากการจำลองการอพยพหนีไฟด้วยวิธี Steering จากโปรแกรม Pathfinder 0.14 นาที หรือมีค่าความแตกต่างร้อยละ 0.01

วิจารณ์

จากการพัฒนาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการอพยพ (S) กับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร (D) ที่ได้จากวิธี Steering ทำให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการอพยพ (S) กับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร (D) ที่ได้จากวิธี Steering เป็นไปตามในคู่มือของ SFPE (Society of Fire Protection Engineer) กล่าวคือ ถ้าความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารต่ำ ความเร็วในการอพยพจะสูง และถ้าความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารสูง ความเร็วในการอพยพก็จะต่ำ แต่ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการอพยพ (S) กับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร (D) ที่ได้จากวิธี Steering นั้นเป็นแบบเส้นโค้ง เป็นฟังก์ชันของโพลิโนเมียล ซึ่งแตกต่างจากคู่มือของ SFPE ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ทั้งนี้ คาดว่ามีอิทธิพลมาจากลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Steering ที่มีการเลี้ยวในแนวโค้ง เพื่อหลบหลีก ไม่มีการเดินชนกัน หรือเดินทะลุผ่าน มีการเว้นระยะห่างระหว่างคนกับสิ่งกีดขวาง และคนกับคน

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเฉพาะ (Fs) กับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร (D) ที่ได้จากวิธี Steering สอดคล้องกับในคู่มือของ SFPE (Society of Fire Protection Engineer) โดยเมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารต่ำ อัตราการไหลเฉพาะจะน้อย และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเฉพาะ (Fs) กับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร (D) ที่ได้จากวิธี Steering นั้นทำให้ได้ค่าอัตราการไหลเฉพาะสูงสุด (Fs_{max}) ค่าใหม่ขึ้นมาใช้สำหรับการคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ

สรุปผลการทดลอง

สมการคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟด้วยวิธี Hydraulic Flow Calculation ที่ได้ปรับปรุงมาเป็นสมการคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟใหม่จากวิธี Steering นั้น อยู่ในรูปสมการโพลิโนเมียล คือ $S = aD^2 + bD + c$

การคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟด้วยวิธี Hydraulic flow calculation ได้ค่าเฉลี่ยของเวลาการอพยพเท่ากับ 787 วินาที หรือ 13.12 นาที ส่วนการคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟการจำลองการอพยพหนีไฟด้วยวิธี Steering จากโปรแกรม Pathfinder ได้ค่าเฉลี่ยของเวลาการอพยพเท่ากับ 795.5 วินาที หรือ 13.26 นาที ซึ่งมีค่าความแตกต่างกัน 0.14 นาที คิดเป็นร้อยละ 0.01 นั่นแสดงว่า สมการคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟที่ปรับปรุงขึ้นมาใหม่จากวิธี Steering สามารถใช้งานได้จริง

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก คณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชาทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อชี้แนะที่มีประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบุคลากรของคณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชาที่ให้คำแนะนำและติดต่อประสานงานต่างๆ สำหรับการศึกษาวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข. 2558. คู่มือการออกแบบอาคารสถานบริการสุขภาพและสภาพแวดล้อม : ฉบับทั่วไป.

ขนิษฐา ส่งสกุลชัย. 2554. การศึกษาระยะเวลาการอพยพออกจากโรงภาพยนตร์ประเภทรวมหลายโรงในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.2558. การจัดการสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ. สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

Erica, D.K. 2016. Computer evacuation models for buildings.

Pauls,J.1995. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Section 3 Chapter 13 Movement of People. 2nd ed. Society of Fire Protection Engineers. Boston, Massachusetts.

Rita, F.F.2003. Fire Protection Handbook. Section 4 Chapter 2 Calculation Methods for Egress Prediction. 19th ed. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

Thunderhead_Engineering. 2009. Pathfinder Technical Reference. Available Sourse: http:// thunderheadeng.com/pathfinder/, August 10, 2016.

Received 2 May 2017

Accepted 29 December 2017