

การวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟและการคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟโดยวิธี Hydraulic Flow Calculation กรณีศึกษา : อาคารสูงและขนาดใหญ่พิเศษ

Means of Egress Analysis and Evacuation Time Calculation by Using Hydraulic Flow Calculation Case Study: High-Rise and Extra Large Building

ธนายุทธ สิริรัตนานนท์¹ อภิชาติ แจ่มบำรุง²

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน¹
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน²

Email : fengacc@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหลักการ และการคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟโดยวิธี Hydraulic Flow Calculation สำหรับอาคารสูงและขนาดใหญ่พิเศษ ซึ่งมีจำนวน 40 ชั้น สูง 154.5 เมตร พื้นที่ใช้สอยรวมประมาณ 58,881 ตารางเมตร เป็นอาคารสำนักงานให้เช่าในเขตกรุงเทพมหานคร

ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาอพยพสูงสุดผ่านบันไดหนีไฟ ในกรณีที่ตั้งสมมติฐานให้มีผู้ใช้นั้นที่สูงสุดตามมาตรฐาน NFPA 101 มีค่าเท่ากับ 67.90 นาที ในส่วนประกอบของเส้นทางหนีไฟ พบว่ามีจุดควบคุมอัตราการไหลของผู้อพยพที่แท้จริงอยู่ที่ประตูหนีไฟ โดยที่ค่าอัตราการไหลของผู้อพยพที่ประตูหนีไฟ (F_cDoor) เท่ากับ 0.8184 คนต่อวินาที การปรับปรุงเส้นทางหนีไฟเพื่อลดเวลาการอพยพนั้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มเส้นทางหนีไฟอีก 1 เส้นทาง ขยายความกว้างของประตูหนีไฟให้กว้างขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า F_cDoor เพิ่มขึ้นและระยะเวลารอคอย (Queuing time) ลดลง แต่การขยายความกว้างของประตูหนีไฟนั้น สามารถทำได้มากที่สุดคือ การทำให้ค่า F_cDoor มีค่าเท่ากับ $F_cStairway = 1.1990$ คนต่อวินาที เท่านั้น ถ้าขยายความกว้างจนกระทั่ง F_cDoor มีค่ามากกว่า $F_cStairway$ จะทำให้จุดควบคุมอัตราการไหลที่แท้จริงจะเปลี่ยนไปอยู่ที่บันไดหนีไฟแทน และนอกจากนี้การปรับปรุงการปิดล้อมเส้นทางหนีไฟให้ต่อเนื่องไปจนถึงจุดปล่อยออกนอกอาคารด้วยกระจกและประตูทนไฟ ส่งผลให้เวลาอพยพลดลง ซึ่งเวลาการอพยพหนีไฟหลังจากการปรับปรุงสามารถลดลงได้รวมเท่ากับ 5.27 นาที

โดยสรุป ปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟคือ จำนวนผู้ใช้อาคาร, ขนาดความกว้างของส่วนประกอบบนเส้นทางหนีไฟ ได้แก่ ช่องทางผ่าน ประตูหนีไฟ และบันไดหนีไฟ รวมถึงขนาดลูกตึ๊งและลูกนอนของบันไดหนีไฟด้วย

คำสำคัญ

การคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟ การคำนวณโดยหลักการ Hydraulic Flow อาคารสูง และขนาดใหญ่พิเศษ ระยะเวลารอคอย

Abstract

This research involves the study of principle and evacuation time calculation based on Hydraulic Flow Calculations for high-rise and extra large rental building in Bangkok, which has 40 stories. The height of building is 154.5 meters and the building has usage area of 58,881 square meters.

The study showed that the maximum evacuation time of fire stairway was 67.90 minutes using the assumption of maximum occupant load follow NFPA 101. In addition, the flow control point of exit doors (FcDoor) was 0.8184 person per second. The result of the study also suggested that a fire exit shall be added and the width of door shall be enlarged to enhance its FcDoor and to reduce its queuing time. However, the extension of the doors shall not make FcDoor value more than flow control of the stairway (FcStairway) which was at 1.1990 persons per second. The improper extension of the door will move the flow control point from the exit door to the stairway. In addition, means of egress improvement were continued to the release point with fire resistant glass and fire door. After all improvements are evaluated, the evacuation time can be reduced by 5.27 minutes.

In conclusion, factors of evacuation time are the building's occupant load, the width of means of egress component such as corridor, exit door, stairway and stair riser and tread size.

Keywords

evacuation time calculation, hydraulic flow calculations, high-rise and extra large building, queuing time

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความต้องการพื้นที่สำหรับทำกิจกรรมต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่การขยายพื้นที่ทางแนวราบไม่สามารถทำได้สะดวกนัก อันเนื่องมาจากในเขตเศรษฐกิจที่ดินมีราคาสูงมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องขยายพื้นที่ทางแนวตั้ง ลักษณะของอาคารสูง (High-Rise

Buildings) ต่างๆ ที่กรุงเทพฯ มีระบบและอุปกรณ์ประกอบอาคารต่างๆ มากมายเช่น ระบบปรับอากาศ ระบบลิฟต์ ระบบป้องกันและระงับอัคคีภัย เป็นต้น ซึ่งระบบเหล่านี้มีไว้เพื่ออำนวยความสะดวก และให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้อาคาร แต่ก็ยังมีข้อพิพาทใหม่ อาคารสูงที่ทำให้มีผู้เสียชีวิตมากมาย ซึ่งเจ้าของอาคารนอกจากจะต้องดูแลระบบและอุปกรณ์ประกอบอาคาร

ให้มีความสมบูรณ์พร้อมใช้งานตลอดเวลาแล้ว ควรมีการตรวจสอบ วิเคราะห์เส้นทางหนีไฟให้มีความปลอดภัยตลอดเส้นทางของการอพยพ และคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟว่ามีเวลาอพยพเท่าไร ทั้งนี้เพื่อนำผลการตรวจสอบ วิเคราะห์เส้นทางหนีไฟและการคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟที่ต้องทำตามหลักวิศวกรรม มาวางแผนการอพยพหนีไฟให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอหลักการคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟโดยวิธี Hydraulic Flow Calculation และการปรับปรุงเวลาอพยพหนีไฟเท่านั้น ส่วนหลักการตรวจ วิเคราะห์เส้นทางหนีไฟ และการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารตามมาตรฐาน NFPA 101 สามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จากบทความในวิศวกรรมสาร [1]

2. ข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟนี้ทำโดยใช้อาคารสูงและขนาดใหญ่พิเศษ ที่มีจำนวน 40 ชั้น สูง 154.5 เมตร ซึ่งเป็นอาคารสำนักงานให้เช่าในเขตกรุงเทพมหานคร มีพื้นที่ใช้สอยรวมประมาณ 58,881 ตารางเมตร แบบตัวอย่างอาคารกรณีศึกษา แสดงตามภาพที่ 6 และ 7 เป็นชั้น 25 และ 2 ตามลำดับ อาคารมีระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติครอบคลุมทุกพื้นที่ ระบบท่อเย็นและสายฉีดน้ำดับเพลิงติดตั้งทุกชั้น และมีบันไดหนีไฟที่มีการปิดล้อมด้วยผนังทนไฟจำนวน 3 บันได คือ บันไดหนีไฟ FST-1, 2 & 3 (ภาพที่ 6 และ 7)

การคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟจะใช้บันไดหนีไฟ FST-2 เป็นบันไดตัวอย่างในการคำนวณ เนื่องจากเป็นบันไดหลักที่มีขนาดใหญ่กว่าอีก 2 บันไดที่เหลือและผู้อพยพคุ้นเคยกับบันไดนี้ในการซ้อมอพยพหนีไฟประจำปี

โดยทั่วไปแล้วเวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟ (Evacuation time) ของผู้ใช้อาคารแต่ละคนคือ

การนับเวลาที่เกิดอัคคีภัย (Ignition of the fire) ไปจนถึงเวลาที่ผู้ใช้อาคารสามารถอพยพออกจากอาคารไปสู่สถานที่ปลอดภัยได้ ซึ่งเวลาทั้งหมดสามารถแยกเป็นองค์ประกอบได้ดังนี้

1. เวลาที่ใช้ในการรับรู้เหตุเพลิงไหม้ (Time to notification)
2. เวลาที่ใช้ในการตอบสนองต่อเหตุเพลิงไหม้ (Reaction time)
3. เวลาที่ใช้ในการเตรียมการอพยพ (Pre-evacuation activity time)
4. เวลาที่ใช้ในการเดินทางหรือเคลื่อนย้าย (Travel or movement time)

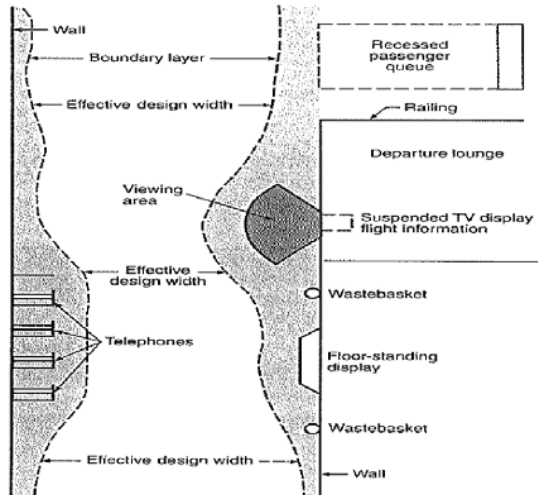
สามองค์ประกอบแรกรวมกันเรียกว่า “เวลาล่าช้า” (Delay time) หรือ “เวลาก่อนการเคลื่อนย้าย” (Pre-movement time) ดังนั้น สมการของการคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟเป็นดังนี้

$$\text{Evacuation time} = \text{Delay time} + \text{Travel time} \quad (1)$$

สิ่งสำคัญมากที่ต้องคำนึงถึงสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบและคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟบนเส้นทางหนีไฟคือ ต้องไม่ประเมินเวลาล่าช้าต่ำเกินไป แต่โดยปกติแล้วกรณีอพยพหนีไฟของอาคารสำนักงานนั้น มี “Delay time” ต่ำมาก แต่เวลาส่วนใหญ่จะใช้เวลา “Travel time” ซึ่งงานวิจัยนี้ได้คำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟในส่วนของ “Travel time” เท่านั้น การคำนวณใช้วิธี Hydraulic Flow Calculations โดยมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาดังนี้

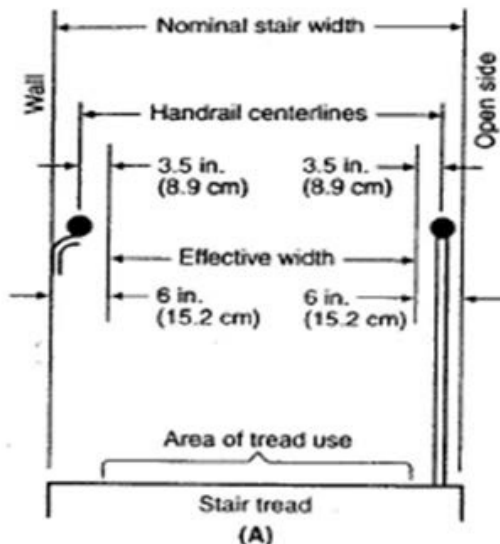
1. ความกว้างที่ใช้ได้จริง (Effective width- W_e) คือ ความกว้างที่ผู้อพยพสามารถใช้ได้จริง โดยการอพยพนั้นผู้อพยพต้องรักษาระยะห่างจากกำแพงของช่องทางผ่าน (corridor) ช่องบันได ประตู และอื่นๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งระยะห่างนี้ เรียกว่า

“ระยะชั้นขอบเขต” (Boundary layer) มีหน่วยเป็น เมตร (m) ค่าต่างๆ แสดงตามภาพที่ 1, 2 และตารางที่ 1 ภาพที่ 1 การวัดความกว้างที่ใช้ได้จริงของบันไดที่สัมพันธ์



กับกำแพง, ราวจับ [2]

ภาพที่ 2 ความกว้างที่ใช้ได้จริงของช่องทางเดิน



สาธารณะ [2]

ตารางที่ 1 ความกว้างของระยะชั้นขอบเขต

โดยมีสมการสำหรับการคำนวณดังนี้

ส่วนประกอบของ ทางหนีไฟ	ระยะชั้นขอบเขต (Boundary Layer, BL)
	เซนติเมตร
ช่องบันได (Stairways)	15
ประตู (Door)	15
ช่องทางเดิน (Corridor)	20
สิ่งกีดขวาง (Obstacles)	10

$$W_e = W_d - (2 \times BL) \quad (2)$$

W_d – ความกว้างสุทธิของส่วนประกอบของทางหนีไฟ

2. ความหนาแน่นของการอพยพ (Density – D)

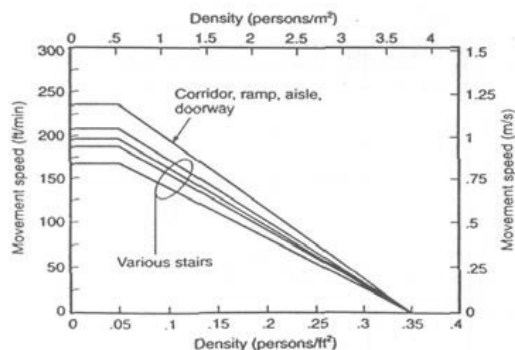
คือ การวัดจำนวนคนในเส้นทางอพยพหนีไฟในทางวิจัยนี้มีหน่วยเป็น จำนวนคนต่อตารางเมตร (Persons/m²) ตามสมการ

$$\text{ความหนาแน่น} = \text{จำนวนคน} / \text{พื้นที่} \quad (3)$$

3. ความเร็วของการอพยพ (Speed of exiting individuals – S) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

3.1 ความเร็วของการอพยพของกลุ่มขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการอพยพ ตามภาพที่ 3

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วและ



ความหนาแน่นของการอพยพ [2]

3.2 ถ้าความหนาแน่นน้อยกว่า 0.54 คนต่อ

ตารางเมตร ผู้อพยพจะไปด้วยความเร็วอิสระที่ไม่ขึ้นกับความเร็วของผู้อพยพคนอื่น

3.3 ถ้าความหนาแน่นมากกว่า 3.8 คนต่อตารางเมตร จะไม่มีการเคลื่อนที่จนกว่าความหนาแน่นของผู้อพยพจะลดลง

3.4 ระหว่างความหนาแน่นที่ 0.54 และ 3.8 คนต่อตารางเมตร จะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นในลักษณะเป็นแบบเส้นตรง [2] ตามสมการ

$$S = k - akD \quad (4)$$

$$k = k2 \text{ ตามตารางที่ 2 และ } a = 0.266$$

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ k ของความเร็วในการอพยพสำหรับสมการที่ 4

3.5 ค่าคงที่ $k = k2 = 1.40$ ของความเร็วการ

ส่วนประกอบของทางหนีไฟ		ค่า $k = k2$
ช่องทางเดิน, ทางลาดเอียง, ประตู		1.40
ลูกตั้ง(ม.ม.)	ลูกนอน(ม.ม.)	
190	254	1.00
178	279	1.08
165	305	1.16
165	330	1.23

อพยพตามสมการที่ 4 เป็นไปตามแนวการเคลื่อนที่ แต่สำหรับในบันไดหนีไฟ ค่า k ของความเร็วของการอพยพจะเป็นไปตามขนาดลูกตั้ง และลูกนอนของบันไดหนีไฟ

3.6 การเคลื่อนที่ในบันไดหนีไฟต้องมีการปรับค่าความสูงของบันไดหนีไฟให้มีค่าเทียบเท่ากับระยะทางเคลื่อนที่ตามแนวราบของแนวการเคลื่อนที่ [2] โดยตารางที่ 3 ให้ตัวแปลงค่า (Conversion Factor) ไว้โดยปกติแล้วผู้คำนวณจะต้องบวกระยะของชานพักบันไดเพิ่มเติมเข้าไปด้วย ตามสมการ

$$\text{ระยะทางทั้งหมด} = (\text{ความสูงระหว่างชั้น} \times$$

$$\text{Conversion Factor}) + \text{ระยะชานพักทั้งหมด} \quad (5)$$

3.7 ความเร็วของการอพยพสูงสุด กรณีความหนาแน่นของการอพยพมีค่าน้อยกว่า 0.54 คนต่อตารางเมตร [2] แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ตัวแปลงค่า (Conversion Factor) เป็นระยะทางการเคลื่อนที่แนวราบของลูกตั้งลูกนอน ขนาดต่างๆ

ตารางที่ 4 ความเร็วของการอพยพสูงสุดกรณีความ

บันไดหนีไฟ		ตัวแปลงค่า (Conversion Factor)
ลูกตั้ง(ม.ม.)	ลูกนอน(ม.ม.)	
190	254	1.66
178	279	1.85
165	305	2.08
165	330	2.22

หนาแน่นของการอพยพน้อยกว่า 0.54 คนต่อตร.ม.

4. อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ (Specific Flow

ส่วนประกอบของทางหนีไฟ		ความเร็วตามเส้นทาง การอพยพ (เมตรต่อวินาที)
ช่องทางเดิน, ทางลาดเอียง, ประตู		1.19
ลูกตั้ง(ม.ม.)	ลูกนอน(ม.ม.)	
190	254	0.85
178	279	0.95
165	305	1.00
165	330	1.05

– F_s) คือ จำนวนของผู้อพยพที่ไหลเคลื่อนผ่านจุดที่เป็นทางออกต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยความกว้างที่ใช้ได้จริง มีหน่วยเป็น จำนวนคนต่อวินาทีต่อเมตร ของความกว้างที่ใช้ได้จริง (Persons/s-m effective width) ตามสมการ

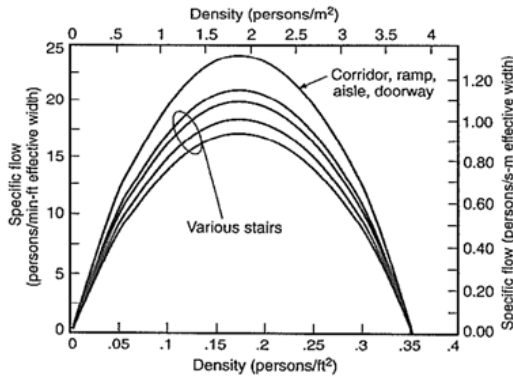
$$F_s = SD \quad (6)$$

$$F_s = (1 - aD)kD \quad (7)$$

4.1 ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรา

ไหลเคลื่อนเฉพาะกับความหนาแน่นของการอพยพ

ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ



ในรูปฟังก์ชันความหนาแน่นของการอพยพ [2]

4.2 ในแต่ละแบบของอัตราการไหลเคลื่อน

ตารางที่ 5 อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะสูงสุด (Maximum Specific Flows – F_{sm})

ส่วนประกอบของทางหนีไฟ		อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะสูงสุด F _{sm} (คนต่อวินาทีต่อเมตร)
ช่องทางเดิน, ทางลาดเอียง, ประตู		1.32
ลูกตั้ง (ม.ม.)	ลูกนอน (ม.ม.)	
190	254	0.94
178	279	1.01
165	305	1.09
165	330	1.16

6. เวลาสำหรับทางผ่าน (Time for Passage – T_p) คือ เวลาสำหรับกลุ่มผู้อพยพที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งบนเส้นทางหนีไฟ มีหน่วยเป็น วินาที (s) ตามสมการ

$$T_p = P/F_c \quad (9)$$

P คือ จำนวนคนที่อพยพผ่าน

เฉพาะที่มีค่ามากที่สุด (Maximum specific flows – F_{sm}) จะเกิดขึ้นเมื่อความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 1.9 คนต่อตารางเมตร [2] ดังแสดงตามภาพที่ 4 และตารางที่ 5

5. อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (Calculated Flow – F_c) คือ อัตราการไหลจริงของผู้อพยพ โดยไหลเคลื่อนผ่านจุดใดจุดหนึ่ง มีหน่วยเป็น จำนวนคนต่อวินาที (Persons/s) ตามสมการ

$$F_c = F_s W_e \quad (8)$$

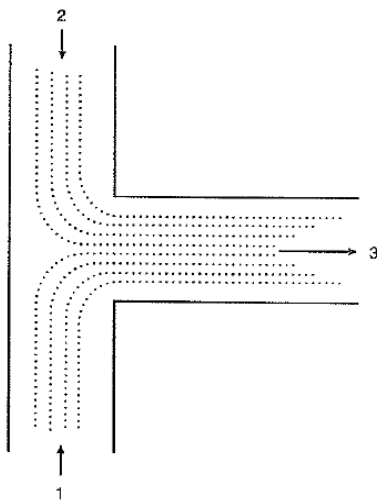
7. จุดเปลี่ยนถ่าย (Transition) คือ จุดใดๆ ในเส้นทางหนีไฟที่ขนาดของเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีเส้นทางมาบรรจบรวมกัน เช่น

7.1 ตำแหน่งจาก Corridor เข้าสู่บันได (Stairway) มีจุดเปลี่ยนถ่ายเกิดขึ้น 2 จุด

- จุดที่หนึ่ง คือ จุดที่เกิดการไหลผ่านจากช่องทางผ่านเข้าสู่ทางเข้าประตูหนีไฟ (Doorway)

- จุดที่สอง คือ จุดที่ไหลออกจากทางเข้า
ประตูหนีไฟผ่านไปสู่บันไดหนีไฟ

7.2 จุดที่มีการไหลเคลื่อนสู่ทางออกที่มี 2
กระแสการไหลหรือมากกว่ามารวมกัน เช่น การบรรจบ
กันของกระแสไหลเคลื่อนตามภาพที่ 5 กรณีนี้เหมือนกับ
กับผู้อพยพหนีไฟที่อพยพเข้าสู่บันไดหนีไฟจากชั้นใดๆ
แล้วมาพบกับผู้อพยพชั้นถัดมาที่กำลังอพยพเข้าสู่บันได
หนีไฟเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 5 กระแสไหลเคลื่อน 2 กระแสที่มารวมกัน [2]

8. กฎที่ใช้กำหนดความหนาแน่นและอัตราการ
ไหลเคลื่อนของจุดเปลี่ยนถ่าย

8.1 อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ F_c ตาม
จุดเปลี่ยนถ่ายจะมีค่าไม่มากกว่าอัตราการไหลเคลื่อน
สูงสุด F_{sm} คูณด้วย ความกว้างที่ใช้ได้จริง We (ค่า F_c
= F_s or $F_{sm} \times We$)

8.2 ในข้อจำกัดของหัวข้อ 8.1 ทำให้อัตราการ
ไหลเคลื่อนเฉพาะ F_s ที่ทางออกจากจุดเปลี่ยนถ่ายมี
หลักพิจารณาดังนี้

ก. อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะเข้าหนึ่งกระแส
และออกหนึ่งกระแสจากจุดเปลี่ยนถ่าย ตามสมการ

$$F_s(out) = F_s(in) We(in) / We(out) \quad (10a)$$

ข. อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะเข้าสองกระแส
และออกจากจุดเปลี่ยนถ่ายหนึ่งกระแส เช่น การรวมตัว
กันของผู้อพยพที่กำลังเคลื่อนที่ลงทางบันไดหนีไฟกับผู้
อพยพกลุ่มหนึ่งที่กำลังเคลื่อนที่เข้าสู่บันไดหนีไฟที่ชั้น
เดียวกัน ตามสมการ

$$F_s(out) = \{ [F_s(in-1)We(in-1)] + [F_s(in-2)We(in-2)] \} / We(out) \quad (10b)$$

การคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟมีการกำหนด
สมมติฐาน ดังนี้

1. การอพยพหนีไฟสำหรับบันไดหนีไฟ FST-2
รองรับจำนวนคนทั้งหมด 50 % ของชั้นนั้นๆ

2. การคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟจะไม่
คำนวณที่ชั้น 1 และ 2 เนื่องจากชั้น 1 ผู้ใช้อาคารสามารถ
อพยพออกนอกอาคารไปสู่จุดปลอดภัยได้ทันที ส่วนชั้น
2 ผู้ใช้อาคารไม่จำเป็นต้องใช้บันไดหนีไฟเพื่อลงสู่ชั้น 1
แต่สามารถอพยพออกนอกอาคารและวิ่งลงผ่าน Ramp
ได้ทันที

3. การอพยพหนีไฟจะเกิดขึ้นพร้อมกัน โดยการ
เคลื่อนตัวจากตำแหน่งใดๆ ในชั้นใดๆ ไปสู่หน้าประตู
หนีไฟ FST-2 ของชั้นนั้นๆ กำหนดให้เวลาเคลื่อนที่
ที่ใช้เวลามากที่สุดในการเคลื่อนที่จากจุดใดๆ ไปสู่หน้า
ประตูหนีไฟ FST-2 ให้เป็นตัวแทนของเวลาอพยพของ
ทุกชั้น ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เวลา 46 วินาที ของชั้น 25 (ภาพ
ที่ 6) เวลาอพยพนี้เรียกว่า “Time to exit door”

4. ผู้อพยพที่ยืนอยู่หน้าประตูหนีไฟในชั้นของ
ตนเองทุกชั้นจากข้อ 3 จะเริ่มเคลื่อนที่ผ่านประตูหนีไฟ
ลงสู่บันไดหนีไฟของชั้นที่ต่ำกว่าพร้อมกัน ดังนั้น
จะมีคนเข้าไปอยู่ในบันไดหนีไฟตั้งแต่ชั้น 3 ถึงชั้น 40
พร้อมกัน เวลาอพยพนี้เรียกว่า “Time floor to floor”

5. เริ่มการอพยพสำหรับคนที่เหลือในแต่ละชั้น โดยให้ความสำคัญกับชั้น 40 ก่อน โดยผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้น 40 ลงมาอยู่ที่ชั้น 39 แล้ว ถัดจากนั้น จึงจะเป็นคิวของผู้อพยพของชั้น 39 อพยพต่อไป ทำการคำนวณทุกชั้นจนผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้น 3 ออกจากประตูหนีไฟชั้น 2 และอพยพออกสู่นอกอาคารอย่างปลอดภัย เวลาอพยพนี้เรียกว่า “Queuing time”

6. “เวลาอพยพหนีไฟรวม” หรือ “เวลาที่ใช้ในการเดินทาง” (Travel time) ได้ ตามสมการ

$$\begin{aligned} \text{Travel time} &= \text{Time to exit door} + \\ &\text{Total time floor to floor} + \text{Total} \\ &\text{queuing time} \quad (11) \end{aligned}$$

3. วิธีดำเนินการ

1. วิเคราะห์กิจกรรมการใช้อาคาร เพื่อกำหนดตัวประกอบความจุของผู้ใช้อาคาร (OLF) ตามมาตรฐาน [3]

2. คำนวณหาจำนวนคนของแต่ละพื้นที่ในอาคารตามข้อมูลตัวประกอบความจุของผู้ใช้อาคาร (OLF) [3]

3. ตรวจสอบแบบแปลนเพื่อกำหนดรายละเอียดของเส้นทางหนีไฟ และระยะสัญญาณที่ไกลที่สุดในแต่ละพื้นที่ของอาคาร เพื่อกำหนดหาเวลาที่มากที่สุดในการเคลื่อนที่ไปสู่ประตูหนีไฟ และกำหนดให้เป็นตัวแทนเวลาอพยพ Time to exit door ของทุกชั้น

4. วัดขนาดความกว้างของช่องทางผ่าน ประตูหนีไฟ และบันไดหนีไฟ เพื่อนำมาคำนวณหา ความกว้างที่ใช้ได้จริง (Effective Width – W_e) และวัดขนาดของขานพักบันไดหนีไฟ เพื่อนำมาประกอบการคำนวณระยะทางรวมในบันไดหนีไฟ

5. คำนวณเวลา Time to exit door ตามสมการ

$$\text{Time} = \text{ระยะทาง} / \text{ความเร็ว} \quad (12)$$

ของแต่ละพื้นที่เพื่อหาเวลาที่มากที่สุดมาเป็นตัวแทนของเวลาอพยพ

6. คำนวณค่า $F_{cCorridor}$ ของช่องทางผ่านที่นำไปสู่ประตูหนีไฟ

7. วิเคราะห์ที่ประตูหนีไฟ

7.1 คำนวณอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะของประตูหนีไฟ F_{sDoor}

7.2 คำนวณค่า F_{cDoor} ของประตูหนีไฟ

8. เปรียบเทียบค่า $F_{cCorridor}$ และ F_{cDoor} เพื่อตรวจสอบว่าจุดคอขวด หรือจุดควบคุมอัตราการไหลที่แท้จริงคือจุดใด โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประตูหนีไฟ เนื่องจากขนาดความกว้างของประตูแคบกว่าช่องทางผ่านแน่นอน

9. วิเคราะห์ที่บันไดหนีไฟ

9.1 คำนวณอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะของบันไดหนีไฟ $F_{sStairway}$ สำหรับชั้น 40 ลงมาสู่ชั้น 39

9.2 คำนวณความหนาแน่นในบันไดหนีไฟ สำหรับชั้น 40 ลงมาสู่ชั้น 39, $D_{Stairway}$

9.3 คำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ในบันไดหนีไฟจากชั้น 40 ลงมาสู่ชั้น 39, $S_{Stairway}$

9.4 คำนวณระยะทางในการเคลื่อนที่ในบันไดหนีไฟที่ถูกปรับค่าแล้วจากชั้น 40 ลงมาสู่ชั้น 39

9.5 คำนวณเวลาในการเคลื่อนที่จากชั้น 40 ลงมาสู่ชั้น 39 $\text{Time}_{40 \text{ to } 39}$ (Time floor to floor)

9.6 คำนวณค่า $F_{cStairway}$ สำหรับชั้น 40 ลงมาสู่ชั้น 39

9.7 คำนวณจำนวนผู้อพยพที่อพยพเข้าสู่บันไดหนีไฟตามเวลาขั้นตอน 9.5 โดยที่หลังจากเวลาผ่านไป $\text{Time}_{40 \text{ to } 39}$ มีคนเข้าไปอยู่ในบันไดหนีไฟ = $F_{cStairway} \times \text{Time}_{40 \text{ to } 39}$ คน

9.8 ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 9.1 – 9.7 สำหรับทุกชั้นที่เหลือ จะได้เวลา Time floor to floor และจำนวนคนที่อพยพเข้าสู่บันไดหนีไฟของแต่ละชั้น

ขั้นตอนต่อไปคือการผสมรวมตัวกันของผู้อพยพของ
บันไดหนีไฟชั้นสูงกว่าและประตูหนีไฟชั้นต่ำกว่า

10. ประเมินผลกระทบการผสมรวมกันของอัตราการไหลของบันไดหนีไฟกับอัตราการไหลของประตูหนีไฟ

10.1 ประเมินอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ
ของบันไดหนีไฟ $F_{s, \text{Stairway}}$ สำหรับชั้น 39 ลงมาสู่ชั้น 38

10.2 คำนวณค่า $F_{c, \text{Stairway}}$ สำหรับชั้น 39 ลง
มาสู่ชั้น 38

10.3 ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 10.1 – 10.2 เพื่อ
คำนวณค่า $F_{c, \text{Stairway}}$ ของแต่ละชั้น

10.4 นำค่า $F_{c, \text{Stairway}}$ ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ
 $F_{c, \text{Door}}$ แบบขั้นต่อขั้น เพื่อตรวจสอบว่าจุดคอขวดหรือ
จุดควบคุมอัตราการไหลที่แท้จริงคือจุดใด

10.5 นำจำนวนคนที่เหลือที่ยืนคอยที่หน้า
ประตูหนีไฟของแต่ละชั้นหารด้วย F_c ค่าต่ำกว่าของ
แต่ละชั้นที่ได้จากการเปรียบเทียบกับขั้นตอนที่ 10.4
จะได้เวลาที่ผู้อพยพคนที่เหลือออกมาทั้งหมดในแต่ละ
ชั้นเข้าสู่บันไดหนีไฟ โดยผู้อพยพคนสุดท้ายยืนหันหลัง
ให้ประตูหนีไฟของชั้นตนเอง (Queuing time) ตามสมการ

$$\text{เวลาอพยพเข้าสู่บันไดหนีไฟ} = \frac{\text{จำนวนคนที่เหลือ}}{F_c} \text{ ควบคุมอัตราการไหลที่แท้จริง (13)}$$

11. คำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟรวม ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 5 คือ เวลา Time to exit door
 - ขั้นตอนที่ 9 คือ Total time floor to floor
 - ขั้นตอนที่ 10 คือ Total queuing time
- Travel time = Time to exit door +
Total time floor to floor + Total
queuing time

ข้อมูลต่างๆ ที่นำมาประกอบการคำนวณ

1. จำนวนคนทั้งหมดในแต่ละชั้นตามมาตรฐาน
NFPA 101 [4] แสดงตัวอย่างดังตารางที่ 6
2. ช่องผ่านทาง (Corridor) มีข้อมูลดังนี้

- พื้นที่ช่องผ่าน (Corridor area) 33 ตร.ม.
สำหรับทุกชั้น ยกเว้นชั้น 9 เท่ากับ 132 ตร.ม.

$$- W_{e, \text{Corridor}} = 2.85 \text{ เมตร}$$

- $F_{sm} = 1.32$ คนต่อวินาทีต่อเมตร ของ
ความกว้างสุทธิ

$$- k = k_2 = 1.40, a = 0.266$$

3. ประตูหนีไฟ (Door) มีข้อมูล ดังนี้

$$- W_{e, \text{Door}} = 0.62 \text{ เมตร}$$

- $F_{sm} = 1.32$ คนต่อวินาทีต่อเมตร ของ
ความกว้างสุทธิ

$$- k = k_2 = 1.40, a = 0.266$$

4. บันไดหนีไฟ (Stairway) มีข้อมูล ดังนี้

$$- W_{e, \text{Stairway}} = 1.10 \text{ เมตร}$$

- ขนาดลูกตั้ง 165 มม., ลูกนอน 300 มม.

$$- F_{sm} = 1.09 \text{ คนต่อวินาทีต่อเมตร ของ}$$

ความกว้างสุทธิ

$$- k = k_2 = 1.16, a = 0.266$$

- Conversion Factor = 2.08

- ระยะขานพักที่ประตูหนีไฟ 1.84 เมตร
ระหว่างชั้น 1.55 เมตร

4. ผลการคำนวณ

จากผลการคำนวณได้ค่าต่างๆ ดังนี้

$$1. \text{ Time to exit door} = 46 \text{ วินาที}$$

2. ช่องทางผ่านมีค่า $F_{s, \text{Corridor}}$ และ $F_{c, \text{Corridor}}$
แปรเปลี่ยนไปตามความหนาแน่น แสดงค่าตามตาราง
ที่ 6 และ 7

3. ประตูหนีไฟมีค่าต่างๆ ดังนี้

- $F_{s, \text{Door}} = F_{sm} = 1.32$ คนต่อวินาที
ต่อเมตร ของความกว้างสุทธิ ทุกชั้น

- $F_{c, \text{Door}} = 0.8184$ คนต่อวินาที สำหรับ
ทุกชั้น แสดงค่าตามตารางที่ 8

- เกิดการรอคอยที่ประตูหนีไฟ แสดงค่าตามตารางที่ 9 ดังนั้นจุดคอขวดหรือจุดควบคุมการไหลที่แท้จริงในชั้นนี้คือ ประตูหนีไฟ

4. บันไดหนีไฟ(ก่อนการผสมรวมกันกับผู้อพยพจากชั้นอื่น) มีค่าต่างๆ ดังนี้

- $F_{s\text{Stairway}} = 0.744$ คนต่อวินาทีต่อเมตรของความกว้างสุทธิ ทุกชั้น

- $F_{c\text{Stairway}} = 0.8184$ คนต่อวินาที ทุกชั้น

- เวลาในการเคลื่อนที่จากชั้นหนึ่งลงสู่อีกชั้นหนึ่ง (Time floor to floor) คือ 13.48 และ 14.62 วินาที แตกต่างกันเนื่องจากความสูงของชั้นไม่เท่ากัน งานวิจัยนี้ใช้ตัวเลข 14 วินาที เป็นตัวแทนของ Time floor to floor ของทุกชั้น

- จำนวนคนอพยพเข้าไปในบันไดหนีไฟของทุกชั้นมีค่าเท่ากันคือ 12 คนต่อชั้น ที่เวลาผ่านไป 14 วินาที แสดงค่าต่างๆ ตามตารางที่ 10

5. บันไดหนีไฟ(หลังการผสมรวมกันกับผู้อพยพจากชั้นอื่น) มีค่าต่างๆ ดังนี้

- ชั้น 40 $F_{s\text{Stairway}} = 0.744$ คนต่อวินาทีต่อเมตรของความกว้างสุทธิ, $F_{c\text{Stairway}} = 0.8184$ คนต่อ

วินาที แสดงค่าตามตารางที่ 11

- ชั้นอื่นๆ ทุกชั้น $F_{s\text{Stairway}} = F_{sm} = 1.09$ คนต่อวินาทีต่อเมตร ของความกว้างสุทธิ, $F_{c\text{Stairway}} = 1.1990$ คนต่อวินาที แสดงค่าตามตารางที่ 11

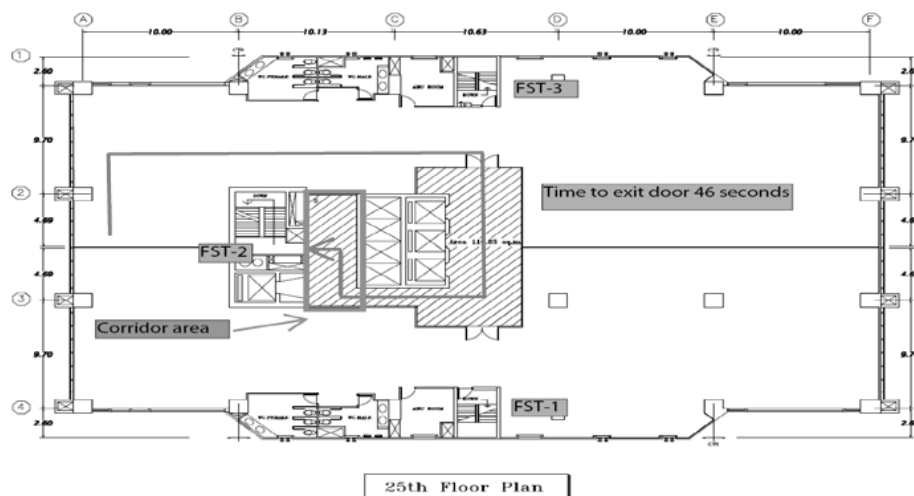
- เกิดการรอคอยที่ประตูหนีไฟ แสดงค่าตามตารางที่ 12 ดังนั้นจุดคอขวดหรือจุดควบคุมการไหลที่แท้จริงในชั้นนี้คือ ประตูหนีไฟ ซึ่งมีค่า $F_c = 0.8184$ คนต่อวินาที ทุกชั้น

- Queuing time มีค่าแตกต่างกันในแต่ละชั้น ค่าต่างๆ แสดงตามตารางที่ 13

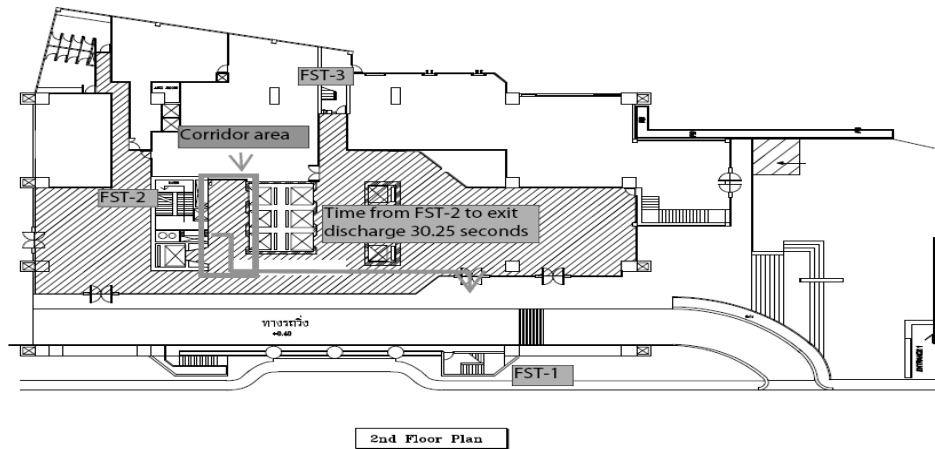
6. รวมระยะเวลาการอพยพหนีไฟดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Travel time} &= \text{Time to exit door} + \text{Total time floor to floor} + \text{Total queuing time} \\ &= 46 + (14 \times 39) + 3,451.86 \\ &= 4,043.86 \end{aligned}$$

รวมเวลาเคลื่อนที่จากหน้าประตูหนีไฟ FST-2 ออกไปนอกอาคารอีก 30.25 วินาที ตามภาพที่ 7 ดังนั้นเวลาอพยพหนีไฟรวม (Travel time) เท่ากับ 4,074.11 วินาที หรือ 67.90 นาที



ภาพที่ 6 แบบแปลนของอาคารชั้น 25, บันไดหนีไฟ FST-2 และเวลาอพยพเคลื่อนที่ไปสู่ประตูหนีไฟที่มากที่สุด เป็นตัวแทนของเวลาอพยพของทุกชั้น



ภาพที่ 7 แบบแปลนของอาคารชั้น 2 และเวลาเคลื่อนที่จากบันไดหนีไฟ FST-2 ไปสู่จุดปล่อยออก

ตารางที่ 6 จำนวนคนที่อพยพของบันไดหนีไฟ FST-2 (50%), ขนาดพื้นที่ช่องทางผ่าน, ความหนาแน่นและความเร็วบนช่องทางผ่านบนเส้นทางหนีไฟ

ชั้นที่	จำนวนคนทั้งหมด (คน)	จำนวนคนค้อบันได หนีไฟ (คน)	พื้นที่ช่องทางผ่าน Corridor Area (ตารางเมตร)	ความหนาแน่น Density (คน/ตารางเมตร)	ความเร็ว Speed(Corridor) (เมตร/วินาที)
31	141	71	33	2.14	0.60
32	141	71	33	2.14	0.60
33	141	71	33	2.14	0.60
34	104	52	33	1.58	0.81
35	105	53	33	1.59	0.81
36	106	53	33	1.61	0.80
37	106	53	33	1.61	0.80
38	106	53	33	1.61	0.80
39	106	53	33	1.61	0.80
40	120	60	33	1.82	0.72

ตารางที่ 7 ค่าอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ, ความกว้างที่ใช้ได้จริง, ค่าที่นำมาใช้ของอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ, อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ของช่องทางผ่าน (Corridor) บันไดหนีไฟ FST-2 (50%)

ชั้นที่	อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ Specific Flow, $F_s(\text{Corridor})$ (คน/วินาที/เมตร ของความกว้างสุทธิ)	ความกว้างที่ใช้ได้จริง $W_e(\text{Corridor})$ (เมตร)	ค่าที่นำมาใช้สำหรับ อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ $F_s(\text{Corridor})$ or $F_{sm} = 1.32$	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ Calculated Flow, $F_c(\text{Corridor})$ (คน/วินาที)
31	1.29	2.85	1.29	3.6801
32	1.29	2.85	1.29	3.6801
33	1.29	2.85	1.29	3.6801
34	1.28	2.85	1.28	3.6520
35	1.28	2.85	1.28	3.6615
36	1.29	2.85	1.29	3.6705
37	1.29	2.85	1.29	3.6705
38	1.29	2.85	1.29	3.6705
39	1.29	2.85	1.29	3.6705
40	1.31	2.85	1.31	3.7460

ตารางที่ 8 ค่าอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ, ความกว้างที่ใช้ได้จริง, ค่าที่นำมาใช้ของอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ, อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ของประตู (Door) บันไดหนีไฟ FST-2 (50%)

ชั้นที่	อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ Specific Flow, $F_s(\text{Door})$ (คน/วินาที/เมตร ของความกว้างสุทธิ)	ความกว้างที่ใช้ได้จริง $W_e(\text{Door})$ (เมตร)	ค่าที่นำมาใช้สำหรับ อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ $F_s(\text{Door})$ or $F_{sm} = 1.32$	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ Calculated Flow, $F_c(\text{Door})$ (คน/วินาที)
31	5.94	0.62	1.32	0.8184
32	5.94	0.62	1.32	0.8184
33	5.94	0.62	1.32	0.8184
34	5.89	0.62	1.32	0.8184
35	5.91	0.62	1.32	0.8184
36	5.92	0.62	1.32	0.8184
37	5.92	0.62	1.32	0.8184
38	5.92	0.62	1.32	0.8184
39	5.92	0.62	1.32	0.8184
40	6.04	0.62	1.32	0.8184

ตารางที่ 9 อัตราการสะสมการรอคิวที่เกิดขึ้นที่จุดเปลี่ยนถ่ายของบันได FST-2 (ช่องทางผ่านสู่ประตูหนีไฟ)

ชั้นที่	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ Calculated Flow, $F_c(\text{Corridor})$ (คน/วินาที)	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ Calculated Flow, $F_c(\text{Door})$ (คน/วินาที)	อัตราการรอคิวที่เกิดขึ้น ที่จุดเปลี่ยนถ่าย (คน/วินาที)
31	3.6801	0.8184	2.8617
32	3.6801	0.8184	2.8617
33	3.6801	0.8184	2.8617
34	3.6520	0.8184	2.8336
35	3.6615	0.8184	2.8431
36	3.6705	0.8184	2.8521
37	3.6705	0.8184	2.8521
38	3.6705	0.8184	2.8521
39	3.6705	0.8184	2.8521
40	3.7460	0.8184	2.9276

ตารางที่ 10 ค่าอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะก่อนการผสมรวมกับชั้นอื่น, ความหนาแน่น, ความเร็ว, ระยะทางการเคลื่อนที่, เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จากชั้นหนึ่งสู่อีกชั้นหนึ่ง, อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ก่อนการผสมรวมกับชั้นอื่น, จำนวนคนที่อพยพเข้าไปในบันไดหนีไฟ (Stairway) ของบันไดหนีไฟ FST-2 (50%)

ชั้น ที่	F _s Stairway Floor to Floor ก่อนการผสมรวมกับชั้นอื่น (Merger)		ค่าที่นำมาใช้ สำหรับอัตรา การไหล เคลื่อนเฉพาะ	ความ หนาแน่น ค่าต่ำ (Minimum Density)	ความเร็ว (Speed)	ระยะทาง รวมเมื่อปรับ ค่าแล้วใน บันไดหนี ไฟ	เวลาที่เคลื่อนที่จากชั้นหนึ่งไปสู่ อีกชั้นหนึ่ง		F _c Stairway Floor to Floor ก่อนการผสมรวมกับชั้นอื่น (Merger)	จำนวนคนที่ จะ ไปอยู่ใน บันไดหนี ในแต่ละ ชั้น ของตนเอง หลังจากผ่าน Time Fl. To Fl.	
	(คน/วินาที/เมตร ของความ กว้างสุทธิ)		F _s (Stairway, FST-2) or F _{sm} = 1.09	(คน/ตาราง เมตร)	(เมตร/วินาที)	Conversion Factor = 2.08	Time Floor to Floor (วินาที)		(คน/วินาที)		
34	Fl. 34 to Fl. 33	0.744	0.744	0.8204	0.9069	12.2200	Fl. 34 to Fl. 33	13.4752	Fl. 34 to Fl. 33	0.8184	12
35	Fl. 35 to Fl. 34	0.744	0.744	0.8204	0.9069	12.2200	Fl. 35 to Fl. 34	13.4752	Fl. 35 to Fl. 34	0.8184	12
36	Fl. 36 to Fl. 35	0.744	0.744	0.8204	0.9069	13.2600	Fl. 36 to Fl. 35	14.6220	Fl. 36 to Fl. 35	0.8184	12
37	Fl. 37 to Fl. 36	0.744	0.744	0.8204	0.9069	13.2600	Fl. 37 to Fl. 36	14.6220	Fl. 37 to Fl. 36	0.8184	12
38	Fl. 38 to Fl. 37	0.744	0.744	0.8204	0.9069	13.2600	Fl. 38 to Fl. 37	14.6220	Fl. 38 to Fl. 37	0.8184	12
39	Fl. 39 to Fl. 38	0.744	0.744	0.8204	0.9069	13.2600	Fl. 39 to Fl. 38	14.6220	Fl. 39 to Fl. 38	0.8184	12
40	Fl. 40 to Fl. 39	0.744	0.744	0.8204	0.9069	13.2600	Fl. 40 to Fl. 39	14.6220	Fl. 40 to Fl. 39	0.8184	12

ตารางที่ 11 ค่าอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ, ความกว้างที่ใช้ได้จริง, ค่าที่นำมาใช้ของอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ, อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ของบันไดหนีไฟ (Stairway) FST-2 (50%)

ชั้นที่	อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ Specific Flow, F_s (Stairway, FST-2) (คน/วินาที/เมตร ของความกว้างสุทธิ)	ความกว้างที่ใช้ได้จริง W_e (Stairway, FST-2) (เมตร)	ค่าที่นำมาใช้สำหรับ อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ F_s (Stairway, FST-2) or $F_{sm} = 1.09$	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ Calculated Flow, F_c (Stairway, FST-2) (คน/วินาที)
31	1.8340	1.1	1.09	1.1990
32	1.8340	1.1	1.09	1.1990
33	1.8340	1.1	1.09	1.1990
34	1.8340	1.1	1.09	1.1990
35	1.8340	1.1	1.09	1.1990
36	1.8340	1.1	1.09	1.1990
37	1.8340	1.1	1.09	1.1990
38	1.8340	1.1	1.09	1.1990
39	1.4880	1.1	1.09	1.1990
40	0.7440	1.1	0.7440	0.8184

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (F_c) ของประตูหนีไฟ (Door) และบันไดหนีไฟ (Stairway, FST-2)

ชั้นที่	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ Calculated Flow, F_c (Door) (คน/วินาที)	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ Calculated Flow, F_c (Stairway-FST2) (คน/วินาที)	จุดคอขวดที่ถูกนำมา พิจารณาในการคำนวณ ระยะเวลาอพยพหนีไฟ	ค่า F_c ที่ นำมาใช้ (คน/วินาที)
31	0.8184	1.1990	F_c (Door)	0.8184
32	0.8184	1.1990	F_c (Door)	0.8184
33	0.8184	1.1990	F_c (Door)	0.8184
34	0.8184	1.1990	F_c (Door)	0.8184
35	0.8184	1.1990	F_c (Door)	0.8184
36	0.8184	1.1990	F_c (Door)	0.8184
37	0.8184	1.1990	F_c (Door)	0.8184
38	0.8184	1.1990	F_c (Door)	0.8184
39	0.8184	1.1990	F_c (Door)	0.8184
40	0.8184	0.8184	F_c (Door) or F_c (Stairway)	0.8184

ตารางที่ 13 การคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟของบันไดหนีไฟ FST-2

ชั้น	จำนวนคนทั้งหมดที่จะอพยพเข้าสู่บันไดหนีไฟ FST-2 (คน)	จำนวนคนที่จะไปอยู่ในบันไดหนีไฟในแต่ละชั้นของตนเองหลังจากผ่านไป 14 วินาที	จำนวนคนที่กำลังคอยที่ทางเข้าประตูหนีไฟ FST-2	จำนวนคนทั้งหมดของแต่ละชั้นเข้าสู่บันไดหนีไฟใช้เวลา (Queuing time, วินาที)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จากชั้นหนึ่งสู่อีกชั้นหนึ่ง (วินาที)	ณ เวลาที่ (วินาที)	รายละเอียด
40	60	12	48	58.65		118.65 (46+14+58.65)	ผู้อพยพชั้น 40 อพยพออกมาทั้งหมด
					14	132.65	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้น 40 มาอยู่ที่ชั้น 39
39	53	12	41	50.10		182.75	ผู้อพยพชั้น 39 อพยพออกมาทั้งหมด
					14	196.75	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้น 39 มาอยู่ที่ชั้น 38
38	53	12	41	50.10		246.85	ผู้อพยพชั้น 38 อพยพออกมาทั้งหมด
					14	260.85	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้น 38 มาอยู่ที่ชั้น 37
37	53	12	41	50.10		310.94	ผู้อพยพชั้น 37 อพยพออกมาทั้งหมด

ตารางที่ 13 การคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟของบันไดหนีไฟ FST-2 (ต่อ)

ชั้น	จำนวนคนที่ ทั้งหมดที่จะ อพยพเข้าสู่ บันไดหนีไฟ FST-2 (คน)	จำนวนคนที่ จะไปใน บันไดหนีไฟ ในแต่ละชั้นของ ตนเองหลังจาก ผ่านไป 14 วินาที	จำนวนคนที่ กำลังคอยที่ ทางเข้าประตู หนีไฟ FST-2	จำนวนคน ทั้งหมดของ แต่ละชั้นเข้า สู่บันไดหนี ไฟใช้เวลา (Queuing time, วินาที)	เวลาที่ใช้ใน การเคลื่อนที่ จากชั้นหนึ่งสู่ อีกชั้นหนึ่ง (วินาที)	ณ เวลาที่ (วินาที)	รายละเอียด
					14	324.94	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้น 37 มาอยู่ที่ชั้น 36
36	53	12	41	50.10		375.04	ผู้อพยพชั้น 36 อพยพออกมาทั้งหมด
					14	389.04	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้น 36 มาอยู่ที่ชั้น 35
35	53	12	41	50.10		439.14	ผู้อพยพชั้น 35 อพยพออกมาทั้งหมด
					14	453.14	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้น 35 มาอยู่ที่ชั้น 34
4	87	12	75	91.64		3,959.65	ผู้อพยพชั้น 4 อพยพออกมาทั้งหมด
					14	3,973.65	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้น 4 มาอยู่ที่ชั้น 3
3	58	12	46	56.21		4,029.86	ผู้อพยพชั้น 3 อพยพออกมาทั้งหมด
					14	4,043.86	ผู้อพยพคนสุดท้ายของชั้น 3 มาอยู่ที่ชั้น 2
2	ระยะเวลาที่เคลื่อนที่จากประตูหนีไฟชั้น 2 สู่จุดปล่อย ออก			30.25		4,074.11	ผู้อพยพชั้น 2 คนสุดท้ายวิ่งผ่านช่องทางผ่านมาสู่ ประตูจุดปล่อยออกที่ปลอดภัย
Total				3,482.11 (3,451.86+30.25)	546.00	4,074.11 (46+546 +3451.86 +30.25)	

5. การปรับปรุงระยะเวลาอพยพหนีไฟ

จากผลการคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟและการวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟ พบว่าสามารถปรับปรุงระยะเวลาอพยพหนีไฟได้ ดังนี้

1. เพิ่มเส้นทางหนีไฟอีก 1 เส้นทางที่ชั้น 9 ตามภาพที่ 8 โดยแบ่งจำนวนคนครึ่งหนึ่งที่บันไดหนีไฟ FST-2 ให้อพยพไปสู่เส้นทางหนีไฟใหม่ที่เชื่อมต่อกับอาคารจอดรถ (ชั้น 9 มีผู้อพยพ 380 คน) สามารถลดระยะเวลาอพยพ ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{เวลาที่ลดลง} &= \text{จำนวนคนที่ลดลง} / F_{c(\text{Door})} \\ &= 190 / 0.8184 = 232.16 \text{ วินาที}\end{aligned}$$

2. เนื่องจากจุดควบคุมอัตราการไหลที่แท้จริงหรือคอขวดอยู่ที่ประตู $F_{c\text{Door}} = 0.8184$ คนต่อวินาที การขยายความกว้างของประตูจะมีผลทำให้ค่า $F_{c\text{Door}}$ เพิ่มขึ้น และค่า Queuing time ลดลง ตามภาพที่ 8

แต่การขยายความกว้างของประตูทำได้สูงสุดในระดับที่ทำให้เกิดค่า F_c เท่ากับบันไดหนีไฟเท่านั้นคือ 1.199 คน/วินาที ถ้ามากกว่านี้จุดควบคุมอัตราการไหลจะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ที่บันไดแทน สามารถขยายความกว้างประตูหนีไฟได้ทุกประตู แต่งานวิจัยนี้เลือกขยายความกว้างของประตูที่ชั้น 9 เนื่องจากมีผู้อพยพมากที่สุด

$$\begin{aligned}F_{c\text{Door}} &= F_{s\text{Door}} W_{e\text{Door}} \\ 1.199 &= 1.32 \times W_{e\text{Door}} \\ W_{e\text{Door}} &= 0.9083\end{aligned}$$

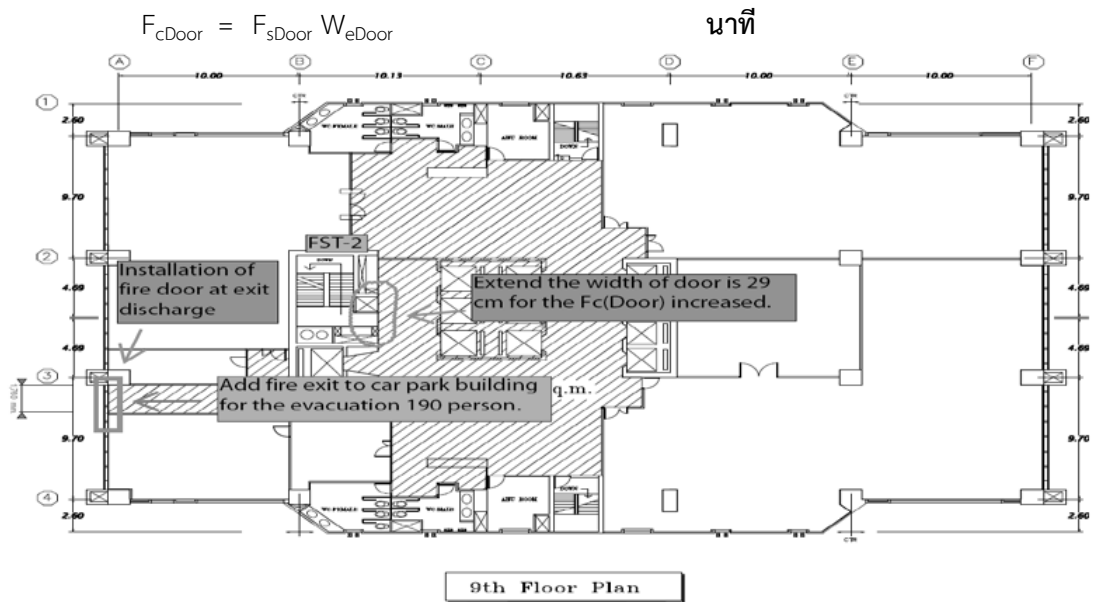
ดังนั้น ต้องใช้ประตูกว้าง Clear width = 0.9083 + (2 × 0.15) = 1.2083 = 1.21 เมตร โดยการขยายความกว้างของประตูเพิ่มอีก 1.21 – 0.92 = 0.29 เมตร = 29 เซนติเมตร

เวลาที่ลดลง = (จำนวนคนที่เหลือทั้งหมดเข้าสู่บันไดหนีไฟชั้น 9 / $F_{c\text{Door}}$ เดิม) - (จำนวนคนที่เหลือทั้งหมด เข้าสู่บันไดหนีไฟชั้น 9 / $F_{c\text{Door}}$ ใหม่)

$$= (178 / 0.8184) - (178 / 1.199) \\ = 69.04 \text{ วินาที}$$

3. การปรับปรุงการปิดล้อมเส้นทางหนีไฟที่ชั้น 2 ส่งผลให้ระยะเวลาอพยพลดลงได้อีก 15.12 วินาที

รวมเวลาที่ปรับลดลงได้ $232.16 + 69.04 + 15.12 = 316.32$ วินาที ได้ระยะเวลาอพยพหนีไฟใหม่เท่ากับ $4,074.11 - 316.32 = 3,757.79$ วินาที = 62.63 นาที



ภาพที่ 8 แบบแปลนของอาคารชั้น 9 การเพิ่มเส้นทางหนีไฟและขยายความกว้างประตูหนีไฟ FST-2

6. สรุป

การคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟโดยวิธี Hydraulic Flow Calculations เป็นเครื่องมือในการคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม โดยปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาอพยพหนีไฟมีดังนี้คือ

1. จำนวนผู้ใช้อาคาร
2. ขนาดความกว้างของช่องทางผ่าน, ประตูหนีไฟ และบันไดหนีไฟ
3. ขนาดของลูกตั้งและลูกนอนของบันไดหนีไฟ โดยปัจจัยดังกล่าวจะใช้เป็นข้อมูลและการเลือกค่าต่างๆ ประกอบการคำนวณตามลำดับขั้นที่นำเสนอ

การเคลื่อนที่ของผู้อพยพจะเกิดขึ้นพร้อมกันโดยเคลื่อนที่เข้าไปสู่บันไดหนีไฟในแต่ละชั้นของตนเอง ถัดจากนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณการอพยพจะเริ่มที่ชั้นสูงสุดก่อน ผู้อพยพชั้นอื่นต้องรอคิวตามลำดับ ซึ่งไม่ว่าจะกำหนดให้ชั้นไหนอพยพก่อน ระยะเวลาอพยพรวมที่ได้จะมีค่าเท่ากัน

เมื่อคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟแล้วพบว่า ค่าที่ต้องนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับกันคือ อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ F_c ของแต่ละส่วนประกอบของเส้นทางหนีไฟได้แก่ ช่องทางผ่าน ประตูหนีไฟ และบันไดหนีไฟ ซึ่งค่า F_c ที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลที่แท้จริงหรือเรียกว่าจุดคอขวด (Bottle neck) จากการคำนวณพบว่า $F_{cDoor} = 0.8184$ คนต่อ

วินาที เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลที่แท้จริง ดังนั้นการปรับปรุงเส้นทางหนีไฟเพื่อลดระยะเวลาอพยพหนีไฟทำได้โดยเพิ่มเส้นทางหนีไฟอีก 1 เส้นทาง ซึ่งส่งผลให้จำนวนผู้อพยพสำหรับบันได FST-2 ลดลง และขยายขนาดประตูหนีไฟให้กว้างขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่า F_{cDoor} เพิ่มขึ้น และค่า Queuing time ลดลง โดยการขยายขนาดความกว้างของประตูหนีไฟนั้นทำได้มากที่สุดคือ การทำให้ค่า F_{cDoor} มีค่าเท่ากับ $F_{cStairway} = 1.1990$ คนต่อวินาที เท่านั้น ถ้ามากกว่านี้ตัวควบคุมอัตราการไหลที่แท้จริงจะเปลี่ยนไปอยู่ที่บันไดหนีไฟแทน นอกจากนี้การปรับปรุงการกันแยกการปิดล้อมเส้นทางหนีไฟที่ชั้น 2 ยังส่งผลให้ระยะเวลาอพยพลดลงได้อีกด้วย

จากผลการคำนวณที่ได้นั้นสามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าการช้อมอพยพหนีไฟจริง แล้วทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ ทำให้สามารถประเมินสิ่งต่างๆ ได้มากขึ้น เช่น ระยะเวลาอพยพหนีไฟที่แตกต่างกันในฐานข้อมูลจำนวนคนอพยพที่เท่ากันเกิดจากสาเหตุอะไร เป็นต้น

สรุปแล้วการออกแบบอาคารให้มีความปลอดภัยจากอัคคีภัยในแง่ของการคำนวณระยะเวลาอพยพหนีไฟให้มีระยะเวลาอพยพสั้นที่สุดนั้น ผู้ออกแบบควรมีความรู้เรื่องการวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้อาคาร และต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อระยะเวลาอพยพหนีไฟตามที่กล่าวมาข้างต้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] บุษกร แสนสุข. 2553. การวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟและการคำนวณระยะเวลาอพยพโดยวิธี HYDRAULIC ANALOGY. วิศวกรรมสาร ฉบับที่ 3 เดือนพฤษภาคม - มิถุนายน 2553, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- [2] Harold E., Bud N., and Hamish A. M. 1995. SFPE Hand book of Fire Protection Engineering . Section 3 Chapter 14 Emergency Movement. 2nd ed. Society of Fire Protection Engineers. Boston, Massachusetts.
- [3] Cote R. and Gregory E. H.. 2006. Life Safety Code Handbook. 10th ed. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.