การศึกษาเวลาในการหนีภัยในอาคาร - กรณีประเทศไทย

Study of Evacuation Time in Buildings – a Thailand Situation

นิวัตน์ ศิริกุล

Niwat Sirikul

Order Key 26248
BIB Key 171510

เลขหมู่ TH9A10 N665
เลขทะเบียน 2542 v.2
...../...../.....

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (การขนส่ง)

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Engineering Thesis in Civil Engineering (Transportation)

Prince of Songkla University

2542

ชื่อวิทยานิพนธ์	**การศึกษาเวลาในการหนีภัยในอาคาร - กรณีประเทศไทย**
ผู้เขียน	**นายนิวัฒน์ ศิริกุล**
สาขาวิชา	**วิศวกรรมโยธา (การขนส่ง)**

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกริศน์ กนกกันฑพงษ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์เจริญ จันทลักขณา)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกริศน์ กนกกันฑพงษ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์เจริญ จันทลักขณา)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

.....กรรมการ
(ดร. รุจ ศุภวิไล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (การขนส่ง)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ก้าน จันทร์พรหมมา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเวลาในการหนีภัยในอาคาร - กรณีประเทศไทย
ผู้เขียน	นายนิวัฒน์ ศิริกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา (การขนส่ง)
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

การศึกษาเวลาหนีภัยในอาคารครั้งนี้จะเน้นเวลาที่ใช้ในการหนีไฟออกจากอาคารเป็นสำคัญ โดยนับเวลาตั้งแต่เคลื่อนย้ายคนจากตำแหน่งที่อยู่ในอาคารขณะเกิดเพลิงไหม้ เคลื่อนไปตามทางเดิน ผ่านออกประตู ลงสู่บันไดจนออกจากอาคารโดยปลอดภัย

การวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อหนีอัคคีภัยของ The Building Officials and Code Administrators, Inc. (BOCA) ประเทศสหรัฐอเมริกา, Department of the Environment and the Welsh Office ประเทศอังกฤษ, Australian Uniform Building Regulations Co-ordinating Council ประเทศออสเตรเลีย, และกฎหมายฉบับต่าง ๆ ของประเทศไทย สำหรับฐานข้อมูลภาคสนาม ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหาค่าเวลารวมของการอพยพตามทางเดินในแนวราบ, ผ่านประตู และลงบันได โดยจำลองสภาพการอพยพในอาคาร 20 ครั้งเป็นเวลา 20 วัน โดยใช้นักศึกษา 120 คนจากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ ในอาคาร 3 หลัง ซึ่งสูง 2, 3 และ 4 ชั้น อย่างละหลัง

เมื่อประยุกต์ข้อมูลที่ทดสอบกับผลงานของ Greensberg และ Greenshield ตามทฤษฎีการไหลของการจราจร ผู้วิจัยสามารถหาสมการอัตราการเคลื่อนตัวของคนต่อหน่วยความกว้างของทางหนีไฟแนวราบ ในสามรูปแบบคือ 1. $u = 197.61 - 100.01\sqrt{k}$, 2. $u = 85.81 * \ln\frac{3.9}{k}$, และ 3. $u = 115.92 - 29.69k$, อัตราเคลื่อนตัวของคนผ่านประตูเท่ากับ 55 เมตร/นาที และอัตราลงบันไดในสามรูปแบบ คือ 1. $u = 107.44 - 54.98\sqrt{k}$, 2. $u = 47.19 * \ln\frac{3.82}{k}$, และ 3. $u = 62.19 - 16.27k$ โดยที่ u คือ อัตราเคลื่อนตัวมีหน่วยเป็นเมตร/นาที/ความกว้างหนึ่งเมตร, k คือความหนาแน่นมีหน่วยเป็นคน/ตารางเมตร

สมการที่วิเคราะห์จากข้อมูลของคนไทยข้างต้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลวิจัยของ J.L.Pauls กับคนสหรัฐอเมริกา, S.J. Melinek กับคนสหรัฐอเมริกา, และ Tokawa กับคนญี่ปุ่น พบว่าผลลัพธ์มีความใกล้เคียงกัน โดยผลลัพธ์จะใกล้เคียงกับชาวญี่ปุ่นมากกว่าชาวตะวันตก

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้แสดงการคำนวณเวลาที่ใช้ในการอพยพคนจากอาคารตัวอย่าง 2 ประเภท คือ โรงภาพยนต์ที่ตั้งอยู่บนชั้นที่ 5 ของศูนย์การค้าไดอาน่าหาดใหญ่ และห้องประชุมตะกั่วป่าที่ชั้น 3 ของโรงแรมเจบีหาดใหญ่ และท้ายสุดผู้วิจัยได้เสนอแนะว่าควรเพิ่มรายละเอียดในเรื่องอัตราการอพยพคนในกฎหมายไทย โดยประยุกต์ผลของการวิจัยครั้งนี้

Thesis Title	**Study of Evacuation Time in Buildings – a Thailand Situation**
Author	**Mr. Niwat Sirikul**
Major Program	**Civil Engineering (Transportation)**
Academic Year	**1999**

Abstract

This study of evacuation time in buildings stresses on the total time used in escaping from fire in buildings. The timing starts at the movement away from the occupied position in the fire engulfing building, moving along the passageway, through the doors, and down the stairs until safely out of the building.

This research used the building design fire codes of the Building Officials and Code Administrators, Inc. (BOCA) in U.S.A., Department of the Environment and the Welsh Office in U.K., Australian Uniform Building Regulations Co-ordinating Council, and various related Thai laws. For field data, the researcher conducted experiments to find the total time to evacuate from buildings along horizontal walkways, through doors, and down stairs. Using 120 students of Rajamangkala Institute of Technology, Southern Campus, the experiments simulated the evacuation situations 20 times in 20 days from three buildings with 2, 3, and 4 storeys each.

Using Greensburg and Greenshield models in the theory of traffic flow, the researcher could derive the following models: the passage speed along horizontal escape paths in three forms as 1. $u = 197.61 - 100.01\sqrt{k}$, 2. $u = 85.81 * \ln\frac{3.9}{k}$, and 3. $u = 115.92 - 29.69k$; the passage speed through doors averaged as 55 meters/minute; and the passage speed down the stairs in three forms as 1. $u = 107.44 - 54.98\sqrt{k}$, 2. $u = 47.19 * \ln\frac{3.82}{k}$, and 3. $u = 62.19 - 16.27k$. Where as u is the passage speed with meters per minute per one meter width unit, and k is the density with persons per square meter unit.

When compared the results of J.L. Pauls and S.J. Melinek studies of American people, and Tokawa study of Japanese people, and the derived models of Thai people, all outcomes are relatively close. Where as, the Thai outcome was closer toward the Japanese than the Western ones.

In addition, the researcher has shown the sample calculation of evacuation time from two buildings. The first one is the evacuation of occupants from the cinema in the fifth floor of Hatyai Diana Shopping Complex. The second one is the Takuapa conference room in the third floor of Hatyai J.B. Hotel. Finally, the researcher suggested the incorporation of evacuation time in Thai laws by applying the outcomes of this study.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกริศน์ กนกกันฑพงษ์ และอาจารย์เจริญ จันทลักขณา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ และ ดร.รุจ ศุภวิไล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้กรุณาสั่งสอนให้ความรู้และให้คำแนะนำ ทำให้การทำวิทยานิพนธ์เป็นไปตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้เขียนได้พึ่งเอกสารข้อมูลจากห้องสมุดคุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ห้องสมุดของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย, สำนักงานโยธาธิการ จังหวัดนครปฐม, สำนักงานเทศบาลนครหาดใหญ่ และ กองบังคับการตำรวจดับเพลิงโดยเฉพาะพ.ต.อ.(พิเศษ)วิริยะ วรวินิต รองผู้บังคับการ

ในการทดสอบหาปัจจัยของคนไทยในการวิ่ง ผู้เขียนขอขอบคุณต่อการเสียสละเวลา และความร่วมมือของนักศึกษาแผนกวิชาช่างโยธา, แผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม, แผนกวิชาช่างก่อสร้าง และแผนกวิชาช่างสำรวจ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ ที่ยินยอมให้ใช้สถานที่ในการทดสอบ

การเขียนวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือ และแนะนำจาก พันเอกดำรงศักดิ์ เขียวไพรี, คุณทรงศักดิ์ รวิรังสรรค์, คุณวีรโชติ ฤทธิ์โต, คุณนฤมล ทองสอาด, คุณวีระ ดวงสุวรรณ, คุณวนิดา อุดมล้ำเลิศ และคุณสุวภาคย์ เบญจธนวัฒน์

สุดท้ายนี้ เนื้อหาวิทยานิพนธ์ได้มีการปรับปรุงตามข้อเสนอของกรรมการสอบ คือ ศ.ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ในการปรับปรุงข้อมูลวิ่งของนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ในสภาพปกติให้อยู่ในสภาพหนีไฟของต่างประเทศ และรศ.ดร.จักรกริศน์ กนกกันฑพงษ์ได้ทำการปรับอีกครั้งให้อยู่ในสภาพหนีไฟของคนไทย

นิวัฒน์ ศิริกุล

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบาญ	(6)
รายการตาราง	(10)
รายการรูป	(13)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(15)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา	4
1.4 ขั้นตอนดำเนินการศึกษา	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	5
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ลักษณะของไฟ	6
2.1.1 องค์ประกอบของไฟ	6
2.1.2 ประเภทของไฟ	8
2.1.3 การดับไฟ	10
2.2 พฤติกรรมของคนในเหตุการณ์ไฟไหม้	10
2.2.1 ข้อสังเกตพฤติกรรมของคน	10
2.2.2 พฤติกรรมการหนีไฟขึ้นกับความรับผิดชอบของบุคคลในองค์กร	11
2.2.3 เวลาในการอพยพสำหรับคนที่แข็งแรงและคนพิการ	12
2.2.4 ควรมีการหยุดใช้ลิฟท์หรือไม่	12
2.2.5 โอกาสที่จะเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเพื่อความปลอดภัยของชีวิต	12
2.2.6 ข้อจำกัดในการกระตุ้นการหนี	14
2.2.7 ข้อพิจารณาด้านกายภาพของคนและความเป็นพิษ	15

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 อุปกรณ์เกี่ยวกับการตรวจจับเพลิงไหม้โดยอัตโนมัติ	16
2.3.1 อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน	16
2.3.2 อุปกรณ์ตรวจจับควัน	17
2.3.3 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง	22
2.3.4 อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซที่เกิดจากเพลิงไหม้	24
2.3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตือนให้หนีไฟ	25
2.4 โครงสร้างของอาคารที่เกี่ยวข้องกับการหนีไฟ	29
2.4.1 การติดต่อในทางพื้นราบ	29
2.4.2 การติดต่อระหว่างชั้น	29
2.4.3 ขนาดความกว้างของบันไดและความสูงเหนือศีรษะ	30
2.4.4 ขนาดและส่วนต่าง ๆ ของบันได	30
2.4.5 ลักษณะและชนิดต่าง ๆ ของบันได	33
2.4.6 สัดส่วนของลูกตั้งลูกนอนบันได	35
2.5 เวลาที่ใช้ในการอพยพคน	37
2.6 ทฤษฎีการไหลของการจราจร	38
2.7 ข้อมูลที่นักวิชาการต่างชาติได้ศึกษาวิเคราะห์ไว้	42
2.7.1 การวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร	42
2.7.2 วิธีการหาค่าดัชนีความปลอดภัยสำหรับการหนีภัย	54
3. การทดลอง	60
3.1 สถานที่และบุคคลในการทดลอง	60
3.1.1 สถานที่ที่ทำการทดลอง	60
3.1.2 บุคคลที่ทำการทดลอง	63
3.2 รูปแบบการทดลอง	63
3.2.1 การทดลองหาอัตราความเร็ว	64
3.3 ผลการทดลอง	71
3.3.1 การวัดขนาดบุคคล	71
3.3.2 ผลการทดลองหาอัตราความเร็ว	82

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
4. การวิเคราะห์	88
4.1 การวิเคราะห์โดยการคำนวณเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	88
4.1.1 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางราบ	88
4.1.2 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวลงบันได	93
4.1.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวผ่านประตู	97
4.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับต่างประเทศ	97
4.2.1 การเปรียบเทียบอัตราความเร็ว	98
4.2.2 การเปรียบเทียบทางสรีระของคนไทยกับคนต่างประเทศ	100
5. การคำนวณเวลาการหนีภัยในอาคาร	102
5.1 สภาวะทางกายภาพ	102
5.1.1 ประเภทของอาคาร	102
5.1.2 ความกว้างของทางเดินระหว่างห้องพัก	102
5.1.3 ขนาดของประตูหนีไฟ	103
5.1.4 ขนาดของขั้นบันไดหนีไฟ	103
5.1.5 ความกว้างของบันไดหนีไฟ	103
5.2 ข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาในการอพยพคนออกจากอาคาร	107
5.2.1 ข้อจำกัดตามกฎหมาย	107
5.2.2 ข้อจำกัดเกี่ยวกับอัตราการขยายตัวหรือลุกลามของไฟ	107
5.2.3 ภาวะการขาดออกซิเจน	108
5.3 การประยุกต์ผลการวิเคราะห์กับอาคารทั่วไป	110
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	116
6.1 การทดลองอพยพคนออกจากอาคาร	116
6.1.1 สภาวะทางกายภาพด้านสรีระของกลุ่มตัวอย่าง	116
6.1.2 มิติทางกายภาพ ของทางราบ/บันได/ประตู	117
6.1.3 ค่าอัตราความเร็วจากผลการทดลอง	118
6.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วและความหนาแน่น	119
6.3 ค่าเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร	120
6.4 ปัจจัยหลักต่อการหนีไฟ	121

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

6.5 การเปรียบเทียบข้อกำหนดในกฎหมายไทยกับต่างประเทศ 122

6.6 ข้อเสนอแนะ 123

บรรณานุกรม 124

ภาคผนวก

ก. ตารางการคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 128

ข. วิธีการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 136

ข.1 การขนส่งฝูงชนหรือการอพยพคนผ่านทางหนีภัย 136

ข.1.1 สมการที่ใช้ประกอบการคำนวณ 136

ข.1.2 ตัวอย่างลักษณะการวิเคราะห์การอพยพผ่านทางหนีภัย 139

ข.1.3 หลักการที่ประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดอัตราการอพยพได้ 139

ข.2 การคำนวณเวลาในการอพยพคนจากอาคารสูง 141

ข.2.1 การคำนวณเวลาโดยประมาณ 142

ข.2.2 รายละเอียดเพิ่มเติมในการวิเคราะห์ 143

ประวัติผู้เขียน 147

รายการตาราง

ตาราง หน้า

1.1 สถิติอัคคีภัยในหลายปีที่ผ่านมา (เขตกรุงเทพมหานคร) 2

2.1 จุดวาบไฟและจุดชวาลของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ 7

2.2 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับคิดเป็นร้อยละของระยะพิกัดที่ระบุ 18

2.3 การแบ่งระดับอุณหภูมิของไฟ 22

2.4 อัตราการเคลื่อนตัวของคนที่ได้จากการสำรวจ 45

2.5 อัตราการอพยพคนบนบันไดโดยความเร็วเฉลี่ย 47

2.6 เวลาในการอพยพคนออกจากอาคาร 53

2.7 ดัชนีความปลอดภัยสำหรับอาคารแบบเปิดโล่ง 58

2.8 ดัชนีความปลอดภัยสำหรับแปลนแบบใยแมงมุม โดยมีผนังที่ติดไฟได้ง่าย 58

2.9 ดัชนีความปลอดภัยเพื่อกลยุทธ์การจัดการอาคาร 59

3.1 ขนาดของอาคารที่ทำการทดลอง 62

3.2 ความกว้างของนักศึกษาแผนกวิชาช่างก่อสร้าง ชั้น ปวส. 2/1 73

3.3 ความกว้างของนักศึกษาแผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม ชั้น ปวส. 1/1 74

3.4 ความกว้างของนักศึกษาแผนกวิชาช่างสำรวจ ชั้น ปวส. 2/1 75

3.5 ความสูงของนักศึกษาแผนกวิชาช่างสำรวจ ชั้น ปวส. 2/1 76

3.6 ความสูงของนักศึกษาแผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม ชั้น ปวส. 1/1 77

3.7 ความสูงของนักศึกษาแผนกวิชาช่างก่อสร้าง ชั้น ปวส. 2/1 78

3.8 ความยาวของเท้าของนักศึกษาแผนกวิชาช่างก่อสร้างชั้น ปวส. 2/1 79

3.9 ความยาวของเท้าของนักศึกษาแผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรมชั้น ปวส. 1/1 80

3.10 ความยาวของเท้าของนักศึกษาแผนกวิชาช่างสำรวจ ชั้น ปวส. 2/1 81

3.11 การทดลองหาอัตราการอพยพตามทางราบ 83

3.12 การทดลองหาอัตราการอพยพทางบันได 84

3.13 การทดลองหาอัตราการอพยพผ่านประตูทางออก 85

3.14 อัตราการเคลื่อนตัวของนักศึกษาที่ได้จากการทดลอง 20 ครั้ง 87

4.1 การคิดสมการเส้นตรงแทนการเคลื่อนตัวทางราบ 90

4.2 การคิดสมการเส้นตรงของการเคลื่อนตัวทางบันได 91

4.3 การเปรียบเทียบค่าอัตราความเร็วจากหลายแหล่ง 98

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

4.4 สถิติอัตราการวิ่ง 100 เมตร และ 200 เมตร 99

4.5 ความสูงของคน หน่วยเป็นเซนติเมตร 100

4.6 ความยาวของเท้าคน หน่วยเป็นเซนติเมตร 101

4.7 ความกว้างของคน หน่วยเป็นเซนติเมตร 101

5.1 จำนวนพื้นที่ที่ต้องการใช้ต่อจำนวนคนในอาคารแต่ละประเภท 104

5.2 จำนวนทางหนีภัยและทางออกอย่างน้อยที่ต้องการ 105

5.3 ความกว้างอย่างน้อยของบันไดหนีภัย 105

5.4 ความจุของบันไดหนีภัยในอาคาร 106

5.5 ขนาดพื้นที่ของอาคารที่จำเป็นต้องมีการแบ่งส่วนกันไฟ 106

5.6 แสดงปริมาณก๊าซในบรรยากาศที่เป็นอันตรายต่อชีวิตถึงตายได้ 108

5.7 เวลาที่เพิ่มขึ้นและก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เพิ่มขึ้นจนเป็นอันตรายต่อชีวิต 109

5.8 ตัวอย่างการประมาณเวลาอพยพออกจากอาคารชุมนุมคนจำนวน 3 หลัง 111

5.9 เวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารตัวอย่างที่ทดลอง 112

5.10 การคำนวณหาค่าไคสแควร์ (Chi-Square) 115

6.1 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสรีระนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง 116

6.2 มิติทางกายภาพของอาคารที่ทำการทดลอง 117

6.3 เวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารตัวอย่าง 121

ก.1 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากชั้นที่ 4 ของอาคาร 31 129

ก.2 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารคณะวิชาออกแบบ ตึกสี่ชั้นโดยใช้อัตราการอพยพที่ผู้วิจัยทดลองได้ 130

ก.3 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 52 ตึกสามชั้น แผนกวิชาช่างก่อสร้างโดยใช้อัตราการอพยพที่ผู้วิจัยทดลองได้ 131

ก.4 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 29 ตึกสองชั้น แผนกวิชาช่างโยธาโดยใช้อัตราการอพยพที่ผู้วิจัยทดลองได้ 131

ก.5 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารคณะวิชาออกแบบ ตึกสี่ชั้น โดยใช้สมการของ J.L. Pauls มาแทนค่า 132

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ก.6 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 52 ตึกสามชั้น แผนกวิชาช่างก่อสร้าง โดยใช้สมการของ J.L. Pauls มาแทนค่า 133

ก.7 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 29 ตึกสองชั้น แผนกวิชาช่างโยธา โดยใช้สมการของ J.L. Pauls มาแทนค่า 133

ก.8 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารคณะวิชาออกแบบ ตึกสี่ชั้น โดยใช้สมการของ S.J. Melinek มาแทนค่า 134

ก.9 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 52 ตึกสามชั้น แผนกวิชาช่างก่อสร้าง โดยใช้สมการของ S.J. Melinek มาแทนค่า 135

ก.10 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 29 ตึกสองชั้น แผนกวิชาช่างโยธา โดยใช้สมการของ S.J. Melinek มาแทนค่า 135

ข.1 ค่าคงที่สำหรับสมการอัตราความเร็วในการอพยพ 137

ข.2 ความกว้างเขตริมของทางออก 138

ข.3 ตัวคูณประกอบสำหรับบันได 138

ข.4 ความเร็วสูงสุดที่ทางออก 138

ข.5 อัตราการเคลื่อนตัวได้สูงสุด 139

รายการรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ความถี่ของเพลิงไหม้ในแต่ละปีทั่วประเทศไทย 1
2.1 ส่วนประกอบของระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย 26
2.2 ตัวอย่างการจัดวางบันไดหนีไฟภายในอาคารที่มีระบบอัดอากาศภายในบันได 34
2.3 มุมมองของแม่บันไดกับสัดส่วนของลูกตั้งลูกนอนขนาดต่าง ๆ 35
2.4 แบบขยายบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กพับผ้า 36
2.5 แบบขยายบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กท้องแบน 37
2.6 ช่วงเวลาต่าง ๆ ตั้งแต่เกิดไฟไหม้ในอาคาร 38
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ความเร็ว และความหนาแน่น 41
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ความหนาแน่น และอัตราการอพยพได้ 46
2.9 เงื่อนไขของการติดขัดขณะที่ลงบันได 52
2.10 ตัวอย่างการขยายตัวของไฟในอาคารพิพิธภัณฑ์ 57
3.1 อาคารที่ใช้ในการทดลอง 61
3.2 แปลนพื้นชั้นล่างของอาคารเรียน 52 ตึกสามชั้น 65
3.3 แปลนพื้นชั้น 2 ของอาคารเรียน 52 ตึกสามชั้น 66
3.4 แปลนพื้นชั้น 3 ของอาคารเรียน 52 ตึกสามชั้น 66
3.5 แปลนพื้นชั้นล่างของอาคารเรียน 31 ตึกสี่ชั้น 67
3.6 แปลนพื้นชั้น 2 ของอาคารเรียน 31 ตึกสี่ชั้น 68
3.7 แปลนพื้นชั้น 3 และ 4 ของอาคารเรียน 31 ตึกสี่ชั้น 68
3.8 แปลนพื้นชั้นล่าง และชั้น 2 ของอาคารเรียน 29 ตึกสองชั้น 69
3.9 การทดลองหาอัตราความเร็วในการเดินที่ทางเดินระหว่างห้อง 69
3.10 การทดลองหาอัตราการเดินลงบันได 70
3.11 การทดลองหาอัตราผ่านประตูทางออก 70
3.12 การวัดความสูงของคน 71
3.13 การวัดความกว้างของลำตัว 72
3.14 การวัดความกว้างของเท้า 72
4.1 กราฟแสดงสมการสำหรับการเคลื่อนตัวทางราบ 92
4.2 กราฟแสดงสมการสำหรับการเคลื่อนตัวทางบันได 94

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3 ค่าอัตราความเร็วและความหนาแน่นขณะที่เคลื่อนตัวตามทางราบ 95

4.4 ค่าอัตราความเร็วและความหนาแน่นขณะที่วิ่งลงทางบันได 96

ข.1 แปลนพื้นอาคาร 9 ชั้น 141

ตัวย่อและสัญลักษณ์

ASTME	=	American Standard Testing Material Electrical
b	=	ความกว้างของทางออก ความกว้างของบันได หน่วยเป็นเมตร
b_r	=	ความกว้างของบันไดหนีไฟชั้นที่ r
b_{r-1}	=	ความกว้างของบันไดหนีไฟชั้นที่ r-1
BRE	=	British Research Establishment
D	=	ความหนาแน่น (คน/หน่วยพื้นที่)
D_j	=	ความหนาแน่นแออัด
D_m	=	ความหนาแน่นที่เกิดขึ้นเมื่อการไหลสูงสุด
e	=	ประสิทธิภาพในการอพยพ
F_c	=	อัตราการเคลื่อนตัว
F.E.D.	=	Fractional Effective Dose
FRS	=	Fellow of Royal Safety
$F_{s(in)}$	=	ลักษณะของอัตราการอพยพมาถึงบริเวณจุดส่งผ่าน
$F_{s(out)}$	=	ลักษณะของอัตราการเคลื่อนตัวออกจากจุดส่งผ่าน
F_s	=	อัตราการเคลื่อนตัวจำเพาะ
F_{sm}	=	อัตราการเคลื่อนตัวได้สูงสุด
k	=	ความหนาแน่น มีหน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร
k_j	=	ความหนาแน่นสูงสุด มีหน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร
N, N'	=	อัตราการอพยพ หน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร
n	=	จำนวนชั้นของอาคารที่มีบันไดหนีไฟ
P	=	จำนวนคนที่ผ่านทาง
p	=	จำนวนคนที่จะใช้บันไดหนีไฟได้
PTE	=	Passenger Transport Executive
Q	=	จำนวนคน
Q_r	=	จำนวนคนบนอาคารชั้นที่ r
Q_i	=	จำนวนคนบนอาคารชั้นที่ i
r	=	ชั้นที่ r ของอาคาร
S	=	ความเร็วในการอพยพ

ตัวย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

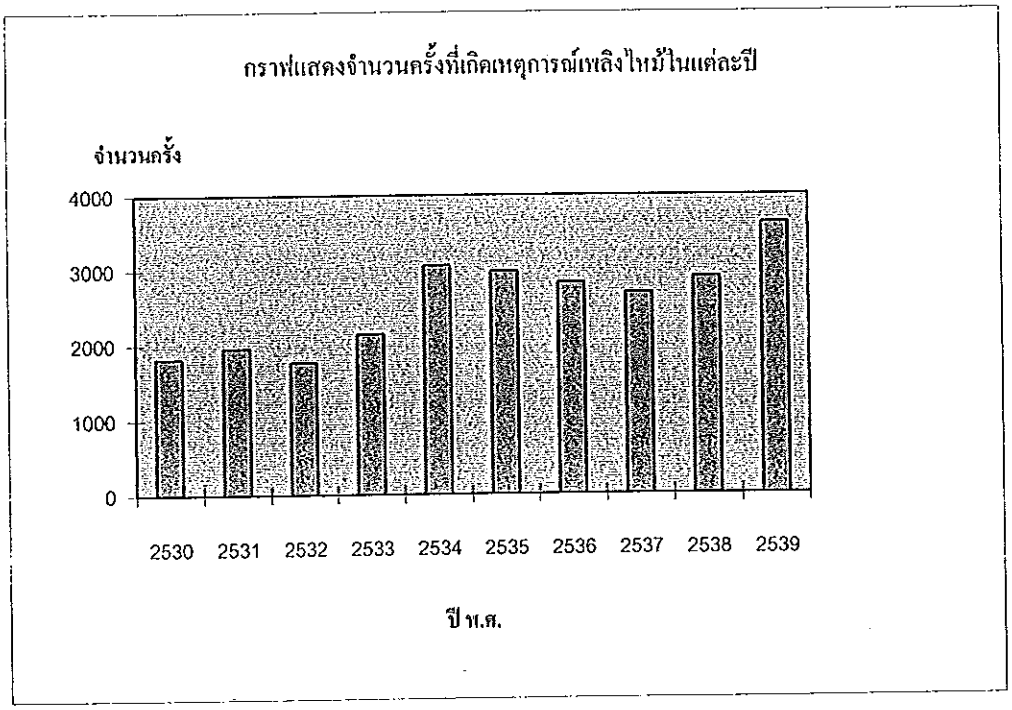
SI	=	ค่าดัชนีความปลอดภัย
SI_b	=	ดัชนีความปลอดภัยสำหรับการออกแบบอาคาร
SI_p	=	ดัชนีความปลอดภัยสำหรับการออกแบบต้นแบบ
T	=	เวลา
T_A	=	เวลาที่มีอยู่
T_a	=	เวลาตั้งแต่การยอมรับว่ามีไฟถึงการเริ่มปฏิบัติด้านความปลอดภัย
T_{ae}	=	เวลาที่ใช้ในการอพยพจริง
T_d	=	เวลาที่ช้าไปตั้งแต่เริ่มต้นการอพยพ
T_e	=	เวลาในการอพยพที่น้อยที่สุดสำหรับอาคารทั่วไป
T_f	=	เวลาระหว่างการจุดให้ลุกไหม้กับสภาวะที่บรรยากาศจะเอื้ออำนวยต่อการมีชีวิต
T_{me}	=	เวลาที่ใช้ในการอพยพตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
T_p	=	เวลาที่กลุ่มคนจะต้องใช้ในการผ่านจุดทางออก
T_r	=	เวลาอย่างน้อยสำหรับอพยพคนจากชั้น r และที่อยู่เหนือชั้นขึ้นไป
t_s	=	เวลาในการลงบันไดได้หนึ่งชั้น
U และ u	=	อัตราความเร็วเฉลี่ยตามทางเดินหรือบันได
U_f	=	ความเร็วที่การไหลอิสระ
U_m	=	ความเร็วที่การไหลสูงสุด
U_S	=	ความเร็วที่จุดใด ๆ
V'	=	ความเร็วเฉลี่ย
V	=	ความเร็วในการเดินของฝูงชน
V_m	=	อัตราการไหลสูงสุด
V_0	=	ค่าความเร็วคงที่ ที่ 1.3 เมตร/วินาที
W	=	ความกว้างของบันได
$W_{e(in)}$	=	ความกว้างประสิทธิผล ก่อนถึงจุดส่งผ่าน
$W_{e(out)}$	=	ความกว้างประสิทธิผล ของทางออกหลังจากจุดส่งผ่าน
ρ	=	ความหนาแน่นของกลุ่มคนต่อตารางพื้นที่
α	=	พารามิเตอร์ของอัตราการเติบโตของไฟ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย

จากสถิติย้อนหลังสิบปีของกองบังคับการตำรวจดับเพลิง กองบัญชาการตำรวจนครบาล กรมตำรวจพบว่าเหตุไฟไหม้เกิดขึ้นบ่อยครั้งทั้งในกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัด โดยเฉลี่ยไฟไหม้ในประเทศไทยวันละประมาณ 10 ครั้ง หรือเกือบสี่พันครั้งต่อปี (รูปที่ 1.1) มีผู้เสียชีวิตนับร้อยคนและบาดเจ็บหลายร้อยคนในแต่ละปี ถ้านับเฉพาะในกรุงเทพมหานครจะมีไฟไหม้ประมาณ 700 ครั้งต่อปี (ตาราง 1.1) โดยเกิดทั้งในอาคารขนาดเล็กและขนาดใหญ่ และทุกครั้งที่เกิดไฟไหม้จะก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินรวมไปถึงคุณภาพชีวิตและจิตใจของผู้ที่ประสบภัย และย่อมมีผลกระทบถึงเศรษฐกิจของประเทศอย่างหลีกเลี่ยงมิได้ (กองบังคับการตำรวจดับเพลิง. พ.ศ. 2534-2539)



รูปที่ 1.1 ความถี่ของเพลิงไหม้ในแต่ละปีทั่วประเทศไทย

ที่มา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. พ.ศ.2541.

ตาราง 1.1 สถิติอัคคีภัยในหลายปีที่ผ่านมา (เขตกรุงเทพมหานคร)

ปี พ.ศ.	เกิดเพลิงไหม้ (ราย)	เพลิงไหม้รายใหญ่ (ราย)	ความเสียหาย		
			คนตาย (คน)	บาดเจ็บสาหัส (คน)	ค่าเสียหาย (ล้านบาท)
2531	554	45	39	19	299
2532	637	50	34	53	196
2533	712	47	125	134	422
2534	762	55	33	38	248
2535	790	54	46	19	181
2536	779	61	41	48	400
2537	664	43	25	33	230
2538	565	51	26	20	406

ที่มา : กองบังคับการตำรวจดับเพลิง. พ.ศ. 2534-2539.

มีตัวอย่างความเสียหายที่แสดงให้เห็นชัดเจน เช่น กรณีไฟไหม้ที่โรงแรมรอยัลจอมเทียนรีสอร์ท ซึ่งตั้งอยู่ที่ถนนริมหาดจอมเทียน เมืองพัทยา อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี เมื่อวันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2540 เวลา 10.00 น. ทำให้มีผู้เสียชีวิตจำนวน 91 ราย (มั่น ศรีเรือนทอง. 2540.) และกรณีไฟไหม้โรงงานผลิตตุ๊กตาของบริษัท เดเดอร์ อินดัสเทรียล (ประเทศไทย) จำกัด ที่อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐมเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2536 เวลา 16.00น. ทำให้มีผู้เสียชีวิตจำนวน 188 ราย ได้รับบาดเจ็บจำนวน 469 ราย (สำนักงานจังหวัดนครปฐม. 2536.)

นอกจากนั้นในช่วงระยะเวลาที่ไม่นานมานี้ได้เกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่ขึ้นบ่อยครั้ง เช่น เมื่อวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2538 ไฟไหม้อาคารสายชลแมนชั่น ซึ่งเป็นคอนโดมิเนี่ยม สูง 42 ชั้น ตั้งอยู่ที่ถนนเจริญนคร เขตคลองสาน กรุงเทพมหานคร มีผู้เสียชีวิต 2 คน วันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 ไฟไหม้อาคารเพรสซิเดนท์ทาวเวอร์ มีผู้เสียชีวิต 4 คนบาดเจ็บ 70 คน วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2540 (ศูนย์ภาพเนชั่น. 2540) ไฟไหม้ดัมปายคาราโอเกะย่านสุทธิสาร มีผู้เสียชีวิต 2 คน วันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2540 ไฟไหม้ชุมชนหลังโรงเรียนศึกษานารี ถนนประชาธิปก มีผู้เสียชีวิต 2 คน (รุ่งอรุณ รังสิยะวงศ์. 2540.) หรือกรณีไฟไหม้ศูนย์การค้าใหญ่ ๆ เช่น ห้างแฟรี่พลาซ่าที่จังหวัดขอนแก่น ห้างคลังพลาซ่าที่จังหวัดนครราชสีมา ห้างเดอะมอลล์งามวงศ์วาน ห้างสยามเซ็นเตอร์ ห้างเซ็นทรัลชิดลม ห้างเมอร์รี่คิงส์สะพานควาย ห้างพาต้าปิ่น

เกล้า ห้างคาเธย์หลักสี่ ห้างเอทีเอ็มพาหุรัด เป็นต้น จึงเป็นเหตุให้เกิดความตื่นตระหนกต่อชุมชนและสังคมอย่างรุนแรง และในเหตุการณ์ส่วนใหญ่พบว่า ทางหนีไฟในอาคารที่เกิดไฟไหม้เหล่านั้นไม่ได้มาตรฐาน ทำให้คนที่อยู่หรืออาศัยอยู่ในอาคารนั้นไม่มีโอกาสได้ใช้ทางหนีไฟ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการอพยพคน

นอกจากเหตุการณ์ไฟไหม้ภายในประเทศที่กล่าวมาข้างต้น ปัญหาในการอพยพผู้คนออกจากอาคารเมื่อมีภัยพิบัติหรือมีเหตุฉุกเฉินยังคงเกิดบ่อยขึ้นในหลายประเทศ เช่น เมื่อวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2538 ไฟไหม้ที่โรงเรียนเอกชนระดับประถมที่เมืองดับวาลี เขตศรียะ เมืองฮารายานะ ประเทศอินเดีย มีผู้เสียชีวิตประมาณ 600 คน บาดเจ็บพันกว่าคน (มติชน. 26 ธันวาคม 2538.) วันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2540 ไฟไหม้โรงแรมอิมพีเรียลสูง 6 ชั้น เมืองโดตาบาโต ประเทศฟิลิปปินส์ มีผู้เสียชีวิต 26 คน บาดเจ็บ 20 คน (กรุงเทพธุรกิจ. 27 เมษายน 2540) ดังนั้นปัญหาการอพยพผู้คนออกจากอาคารขณะเกิดภัยพิบัติจึงเป็นปัญหาสากลที่สำคัญและจำเป็นที่จะต้องได้รับความร่วมมือด้วยการพิจารณาศึกษา และวิเคราะห์ถึงสาเหตุของการเกิดภัยพิบัติ ความสามารถในการป้องกันและบรรเทาหรือระงับภัย อำนาจหน้าที่ของเจ้าพนักงานในภาครัฐในการพิจารณาตรวจสอบ กำกับดูแลและบังคับใช้กฎหมาย ความรับผิดชอบและจริยธรรมของผู้ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคารไม่ว่าจะเป็นผู้ออกแบบก่อสร้างอาคาร ผู้รับเหมาก่อสร้าง เจ้าของอาคารผู้ควบคุมงานก่อสร้าง ผู้มีอำนาจหน้าที่กำกับดูแลหรือผู้ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ และรวมไปถึงการศึกษาวิเคราะห์ถึงระเบียบกฎหมาย ข้อกำหนด มาตรฐานและข้อบังคับต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการปลูกสร้างอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษ{นิยามของอาคารสูงตามกฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 33 คืออาคารที่มีความสูงเกินกว่า 23 เมตร นิยามของอาคารสูงตามกฎหมายดับเพลิงคืออาคารที่สูงเกินความสามารถของรถดับเพลิง (ศักดิ์ระพี ปรักกมะกุล พล.ต.ต., 2531)} เป็นจำนวนมาก เกินกว่าความสามารถหรือความพร้อมของเจ้าหน้าที่ภาครัฐและภาคเอกชนที่จะควบคุมดูแลและแก้ไขได้อย่างทั่วถึง จึงคาดว่าความเสียหายจากอัคคีภัยจะทวีความรุนแรงขึ้น

การแก้ไขที่ดีที่สุดสำหรับปัญหานี้คือการป้องกันมิให้เกิดเหตุการณ์ร้าย หรือในกรณีที่เกิดเหตุการณ์แล้วควรมีการแก้ไขอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อมิให้เกิดความเสียหายหรือเกิดความเสียหายน้อยที่สุด การวิจัยเรื่องเวลาที่ใช้ในการหนีไฟในอาคาร - กรณีประเทศไทยนี้คือการศึกษาถึงเวลาที่ต้องการใช้ในการเคลื่อนตัวหรืออพยพคนตามทางหนีภัยในอาคาร ทั้งทางราบผ่านประตู และขึ้นลงบันได เพื่อให้อพยพหรือระบายคนออกจากอาคารได้หมด

การวิจัยนี้ได้ประยุกต์หลักการออกแบบถนน โดยเปรียบเทียบการเดินหนีหรือวิ่งหนีของผู้คนที่อาศัยอยู่ในอาคารขณะเกิดภัยพิบัติหรือเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคารเสมือนกับการแล่นของยาน

พาหนะบนถนน เปรียบการระบายผู้คนต่อช่องทางหนีภัยหรือหนีไฟเสมือนกับการระบายยานพาหนะผ่านจุดหนึ่งบนถนนต่อช่องจราจร ข้อจำกัดในการระบายยานพาหนะบนถนน คือ ความกว้างของรถและถนน โครงข่ายเส้นทางของถนน และอัตราการเคลื่อนตัวของรถ ส่วนข้อจำกัดในการระบายคนในอาคาร คือความกว้างของเส้นทางหนีภัยภายในอาคาร ความกว้างของประตูหนีภัยและบันไดหนีไฟ รูปร่างของคน และอัตราการอพยพของคน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อหาอัตราการอพยพคนออกจากอาคารในหน่วยของจำนวนคนต่อเวลาต่อความกว้างของทางราบ บันได และประตู ของคนไทยโดยใช้นักศึกษาไทยกลุ่มตัวอย่าง
2. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็ว ความหนาแน่น และอัตราการอพยพของคนไทย จากข้อมูลนักศึกษาไทยตัวอย่าง
3. เพื่อคิดวิธีคำนวณหาค่าเวลาที่จะต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร
4. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบข้อกำหนดในกฎหมายไทยกับกฎหมายของต่างประเทศ เช่น อังกฤษ และสหรัฐอเมริกา ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับขนาดและจำนวนของทางหนีภัย, บันได และเสนอแนะแนวทางปรับปรุงกฎหมายไทย

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีขอบเขตและข้อจำกัดดังนี้

1. โมเดลทางคณิตศาสตร์แทนอัตราความเร็วและความหนาแน่นสำหรับการอพยพคนออกจากอาคารจะมีขอบข่ายจำกัดเฉพาะการเคลื่อนตัวตามทางราบ ทางบันได และทางประตูเท่านั้น
2. การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ ไม่ได้ใช้สภาพเหตุการณ์ในขณะที่เกิดเพลิงไหม้จริง ดังนั้นผลกระทบจากควัน ผลกระทบจากอุณหภูมิ และสภาวะการตกใจของกลุ่มตัวอย่างผู้ทำการทดลองจะไม่สมบูรณ์ตามเหตุการณ์
3. อาคารตัวอย่างสำหรับการทดลอง ใช้อาคารที่มีอยู่ในสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคใต้ซึ่งเป็นอาคารเรียนที่สูงไม่เกินสี่ชั้นเป็นอาคารตัวอย่างเพื่อการทดลองหาอัตราการอพยพ
4. ตัวอย่างบุคคลที่นำมาใช้ทดลองหาอัตราการอพยพครั้งนี้ ครอบคลุมบุคคลได้ไม่ทุกวัย

5. ศึกษาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับทางหนีไฟของไทยและทางหนีภัยของต่างประเทศ ได้แก่สหรัฐอเมริกา อังกฤษ และออสเตรเลีย เฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับขนาดของทางหนีไฟ

1.4 ขั้นตอนดำเนินการศึกษา

จากเอกสารข้อมูลที่ได้จากการอ่านและสัมภาษณ์พูดคุย นำมาศึกษาวิเคราะห์หาสาเหตุหาประเด็น หาวิธีแก้ไข สรุปแนวคิดในการดำเนินการวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

1. วัดขนาดทางกายภาพของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง เช่น ความกว้าง ความสูง ความยาวเท้า และขนาดทางกายภาพของอาคารตัวอย่าง เช่น ความกว้าง ความยาว ความสูงของประตูทางออก ความกว้างของบันได ความกว้างของลูกตั้งลูกนอน จับเวลาในขณะที่นักศึกษาทดลองวิ่งออกจากอาคาร เพื่อหารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของอัตราความเร็ว ความหนาแน่น ตลอดจนอัตราการอพยพหนีภัยได้ของคนไทย
2. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาอัตราความเร็วในการอพยพคนออกจากอาคาร โดยมีตัวแปร คือ จำนวนคน อัตราความเร็ว ความหนาแน่น
3. ทดลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยการทดสอบทางกายภาพสำหรับอาคารประเภทอาคารเรียน จำนวน 3 หลัง ที่มีขนาดความสูง 2, 3 และ 4 ชั้น ตามลำดับด้วยนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง จำนวน 120 คน
4. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอัตราความเร็วในการเคลื่อนตัวทางราบ ลงบันได และทางประตู ที่ทดลองได้กับผลการวิจัยของต่างประเทศ
5. สรุปเสนอแนะในแง่ของกฎหมายที่ยังไม่ได้บัญญัติรายละเอียดไว้ เช่น อัตราความเร็วในการอพยพได้ตามทางราบ ทางบันได และทางประตู

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา

ผลการวิจัยสามารถใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1. เข้าใจพฤติกรรมและรู้อัตราการหนีไฟออกจากอาคาร จากสมการแบบจำลองทั้งสามรูปแบบ คือในทางราบ ลงบันได และทางประตู เมื่อเกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้
2. สามารถคำนวณหาจำนวนและขนาดของทางหนีไฟในอาคารให้เกิดความปลอดภัยจากอัคคีภัย ตามอัตราการทนไฟในกฎหมายปัจจุบัน
3. เปรียบเทียบอัตราการหนีไฟ ควบคู่กับขนาดและจำนวนทางหนีไฟ เปรียบเทียบกับกฎหมายต่างประเทศ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Theoretical Approach)

การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องดำเนินการโดยการค้นคว้าจากเอกสารเท่าที่มีอยู่ในห้องสมุดคุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ห้องสมุดคณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ห้องสมุดของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ห้องสมุดกลางของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องสมุดของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (A.I.T.) ส่วนเอกสารจากต่างประเทศกระทำโดยขอสำเนาเอกสารผ่านทางศูนย์สารสนเทศ (T.I.A.C.) สำหรับการเข้าพบบุคคล ผู้วิจัยได้ติดต่อเข้าพูดคุยกับผู้ทรงคุณวุฒิหลาย ๆ ท่าน ได้แก่ รองผู้บังคับการตำรวจดับเพลิง {พ.ต.อ.(พิเศษ)วิริยะ วรวินิต} และรองผู้กำกับการตำรวจดับเพลิง (พ.ต.ท.โชคชัย ยิ้มพงษ์) ที่กองบังคับการตำรวจดับเพลิงกรุงเทพมหานคร ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โยธาธิการจังหวัดนครปฐม ที่ศาลากลางจังหวัดนครปฐม เจ้าหน้าที่ของกรมโยธาธิการที่สำนักงานเลขานุการคณะกรรมการควบคุมอาคาร ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่เกี่ยวกับการจัดทำร่างข้อกำหนดเพื่อออกเป็นกฎกระทรวงตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 และนายประชา ศรีคล้ำ หัวหน้างานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยเทศบาลนครหาดใหญ่

จากผลการศึกษาเอกสารทั้งจากหนังสือภาษาไทยและต่างประเทศ รวมทั้งบทความจำนวนหนึ่งร้อยกว่าบทความ และการเข้าพบผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้วิจัยสามารถสรุปเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ออกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

2.1 ลักษณะของไฟ

ข้อมูลที่สำคัญประการหนึ่งสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ คือ ทฤษฎีของการเกิดไฟตามหลักการสันดาปหรือการเผาไหม้ (Combustion)

การสันดาป หรือ การเผาไหม้คือปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งเชื้อเพลิงไปรวมตัวกับออกซิเจนจากอากาศแล้วปล่อยพลังความร้อนและแสงสว่างออกมา

2.1.1 องค์ประกอบของไฟ (พ.ต.ท.มนัส วรรณศรีเพชร. 2538.)

การที่จะเกิดไฟไหม้ขึ้นได้นั้น อย่างน้อยจะต้องมีองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ

- วัตถุเชื้อเพลิง (Fuel) ซึ่งจะอยู่ในสภาพของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ

- ออกซิเจน (O_2) ซึ่งอยู่ในอากาศประมาณ 21 % โดยปริมาตร
- ความร้อน (Heat) พอเพียงที่จะติดไฟได้

เมื่อมีองค์ประกอบทั้ง 3 อย่างนี้อยู่แล้ว ไฟก็จะเกิดลุกไหม้ขึ้น ฉะนั้นการที่จะดับไฟก็ทำได้โดยการเอาองค์ประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งออกไป ไฟก็จะดับ

เชื้อเพลิงไม่ว่าจะอยู่ในสถานะใด อาจเป็นวัตถุเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ (ภายใต้ความอัดดัน) ต้องเปลี่ยนจากสถานะเดิมเป็นไอหรือเป็นก๊าซก่อน ความร้อนที่จะทำให้เชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะเป็นไอหรือเป็นก๊าซแล้วเข้าผสมกับอากาศอย่างได้สัดส่วนและพร้อมที่จะลุกไหม้ได้ เรียกว่าความร้อนถึงจุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 จุดวาบไฟและจุดชวาลของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

ชนิดของเชื้อเพลิง	จุดวาบไฟ (^{o}F)	จุดชวาล (^{o}F)
เบนซิน	- 45	536 - 853
อีเทอร์	- 49	356
อัลกอฮอล์ (ที่มีความแรงร้อยละ 96)	62	793
น้ำมันก๊าด	100	444
น้ำมันหมู	379	833
น้ำมันมะพร้าว	420	650
น้ำมันตับปลา	412	650 - 740
แอสฟัลท์	400	905
พาราฟิน (ไข)	390	473

ที่มา : พ.ต.ท.มนัส วรรณศรีเพชร. พ.ศ. 2538.

จากตัวเลขที่ระบุไว้ในตาราง 2.1 ข้างบนนี้ เบนซินและอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงที่ไวไฟอย่างยิ่ง และอัลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงไวไฟ แต่น้ำมันก๊าด น้ำมันหมู น้ำมันมะพร้าว น้ำมันตับปลา แอสฟัลท์ และพาราฟิน เป็นเชื้อเพลิงที่ไม่น่ากลัวอันตราย เพราะไม่สามารถขับปล่อยไอระเหยออกมาได้ในอุณหภูมิปกติ

อย่างไรก็ดี ถึงแม้ว่าเชื้อเพลิงบางชนิดจะ "ไม่น่ากลัวอันตราย" ตามลักษณะการแบ่งแยกประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิงก็จริง แต่ก็อาจติดไฟได้ หรือเป็นสื่อแห่งการติดต่อลุกลามได้ เมื่อมันได้รับความร้อนจากการจุดเผา จนสามารถขับปล่อยไอระเหยออกมาได้

ความร้อนที่จะเป็นต้นเหตุแห่งการจุดติดต้องสูงพอที่จะยกระดับอุณหภูมิของสิ่งที่เป็นเชื้อเพลิงให้ถึงจุดติดไฟ หรือจุดชวาลของเชื้อเพลิงนั้น ๆ

ความร้อนถึงจุดไฟติด หรือจุดชวาลจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างเร็ว (Rapid Combustion) เกิดเป็นไฟและการเผาไหม้ขึ้น

จุดไฟติด หรือจุดชวาลของเชื้อเพลิงต่าง ๆ จะสูงกว่าจุดวาบไฟมากหรือน้อยแล้วแต่ลักษณะทางสารสมบัติของเชื้อเพลิงนั้นดังปรากฏตัวเลขในตารางที่ 2.1

หัวไม้ขีดไฟให้ความร้อนสูงประมาณ 2,000 องศาฟาเรนไฮท์ จึงสามารถจุดติดไอน้ำมันหรือก๊าซที่มีส่วนผสมกับอากาศอย่างได้สัดส่วนให้ลุกไหม้ขึ้นได้ เพราะฉะนั้นในที่ ๆ มีป้าย "ห้ามสูบบุหรี่" จึงควรระวังการจุดไม้ขีดไฟและการจุดติดใด ๆ

อากาศ ได้แก่ อากาศในบรรยากาศที่มีออกซิเจนอยู่ในอัตราประมาณร้อยละ 21 ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ช่วยให้ไฟติด อัตราส่วนของออกซิเจนถ้าลดต่ำกว่าร้อยละ 16 แล้วไฟจะไหม้ช้าลงหรือดับมอด เพราะฉะนั้นในบริเวณที่เกิดเหตุเพลิงไหม้จึงต้องไม่เปิดอาคารให้โล่งออกเพื่อรับออกซิเจนจากภายนอก หรือทำให้อากาศเข้าไปหมุนเวียนภายในอาคาร

2.1.2 ประเภทของไฟ (พ.ต.ท.มนัส วรรณศรีเพชร. 2538.)

ไฟแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามลักษณะของเชื้อเพลิงได้ดังนี้คือ
ไฟประเภท "A" คือไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้แล้วจะเป็นเถ้าถ่านในที่สุด
ไฟประเภท "B" คือ ไฟที่เกิดจากไอระเหยของเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ
ไฟประเภท "C" คือ ไฟที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า
ไฟประเภท "D" คือ ไฟที่เกิดจากสารเคมี

- ไฟประเภท "A"

เป็นไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง เช่น พวกไม้ กระดาษ เสื้อผ้า อาคารบ้านเรือน เป็นต้น ไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถดับได้ด้วยการให้ความเย็นโดยการใช้น้ำฉีดเป็นฝอยหรือฉีดพุ่งตรงไปยังฐานของเพลิงนั้น ๆ แล้วแต่กรณี ไฟประเภทนี้จะเหลือเถ้าถ่านทิ้งไว้

- ไฟประเภท "B"

ไฟประเภทนี้เกิดจากเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว พวกน้ำมันหรือแก๊สต่าง ๆ จารบี และสิ่งที่ใช้สำหรับล้างละลายทำความสะอาดต่าง ๆ ซึ่งจะดับได้ด้วยวิธีป้องกันมิให้อากาศเข้า

ไปรวมตัวกับเชื้อเพลิง โดยใช้โฟม, ผงเคมี, ฮาลอน (Halon), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไฟประเภทนี้จะไม่มีเถ้าถ่านเหลือทิ้งไว้

- ไฟประเภท "C"

ได้แก่ไฟที่ไหม้พวกอุปกรณ์เครื่องมือไฟฟ้าต่าง ๆ ก่อนอื่นต้องพยายามตัดวงจรไฟฟ้าก่อน เพื่อจะลดอันตรายลง การดับต้องใช้เครื่องมือที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า เช่น ฮาลอน (Halon), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือผงเคมีแห้ง

- ไฟประเภท "D"

เป็นไฟที่เกิดจากการลุกไหม้ของสารเคมีต่าง ๆ ไฟประเภทนี้ต้องใช้เครื่องมือชนิดพิเศษที่กำหนดขึ้นไว้ใช้โดยเฉพาะ

จะเห็นได้ว่าอัคคีภัยที่เกิดขึ้นในอาคาร ส่วนใหญ่แล้วจะเกี่ยวข้องกับวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงของแข็ง และจะเกิดขึ้นตามลำดับเป็น 4 ระยะ ด้วยกัน คือ

ก. ระยะเริ่มต้น

การสลายตัวเนื่องจากความร้อนของวัสดุที่ไหม้ไฟได้ จะเกิดอนุภาคเล็ก ๆ จำนวนมาก ซึ่งอนุภาคเหล่านี้มีทั้งอนุภาคของแข็งและอนุภาคของเหลว ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนที่ยังไม่ไหม้ไฟ ไอน้ำ และก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นด้วยการสลายตัวเนื่องจากความร้อน อนุภาคที่ไหม้ไฟเหล่านี้ ในระยะเริ่มต้นจะมีขนาดเล็กมาก น้อยกว่า 1 ไมครอน (หนึ่งในล้านของเมตร) ซึ่งตาของมนุษย์โดยทั่วไปแล้วไม่อาจมองเห็นอนุภาคที่เล็กกว่า 5 ไมครอนได้ ดังนั้นการเกิดการเผาไหม้ในระยะเริ่มต้นนี้จึงยังมองไม่เห็น

ข. ระยะเกิดเป็นควัน

ถ้าเพลิงที่เกิดขึ้นในเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งยังดำเนินต่อไป มันจะถึงระยะที่เกิดเป็นควัน การเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดซึ่งทั้งปริมาณและมวลสารของอนุภาครวมตัวกันเพิ่มขึ้นจนเกิดเป็นควันที่มองเห็นได้ ความร้อนที่ออกมาจะเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่เพียงพอที่จะช่วยให้การลุกไหม้ได้ดำเนินติดต่อไปได้เอง

ค. ระยะเกิดเปลวไฟ

ระยะนี้เมื่อปริมาณความร้อนมากพอที่จะจุดก๊าซ และอนุภาคที่ยังไม่ไหม้ให้ลุกไหม้ขึ้น เมื่อไฟเข้ามาถึงระยะเกิดเปลวแล้ว มันจะเกิดพลังงานพอเพียงที่จะทำให้เกิดการลุกไหม้ต่อไปได้ด้วยตัวของมันเอง และความร้อนจะสูงขึ้นตราบใดที่ยังมีเชื้อเพลิง, ออกซิเจน และอุณหภูมิสูงเกินกว่าจะจุดติดไฟของเชื้อเพลิงนั้นอยู่

ง. ระยะเกิดความร้อนสูง

ระยะนี้เป็นระยะสุดท้ายของเพลิงเป็นช่วงที่เกิดความร้อนสูงตามมาอย่างรวดเร็ว ถ้าเพลิงลุกลามขึ้นมาถึงขั้นนี้ จะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากมายและยากที่จะดับลงได้

การที่จะเลือกใช้อุปกรณ์ชนิดใดในการป้องกันและระงับอัคคีภัยขึ้นอยู่กับว่าขณะนั้นเกิดอัคคีภัยขึ้นในระยะใดในอาคาร หากเป็นระยะเริ่มต้น จำเป็นต้องใช้สัญญาณเตือนภัย หากยังไม่เกิดเหตุต้องใช้สัญญาณตรวจคุม อุปกรณ์ตรวจจับควัน อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน เป็นต้น

2.1.3 การดับไฟ (พ.ต.ท.มนัส วรรณศรีเพชร. 2538.)

การดับไฟจะทำได้สำเร็จและมีประสิทธิภาพดีเยี่ยมนั้น จะต้องมีแผนการที่วางไว้ล่วงหน้า และปฏิบัติได้ตามแผนนั้น เมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้น แต่ความตระหนกตกใจมักจะทำให้ไม่ได้ทำหรือทำไม่ได้ตามแผน และบางครั้งก็อาจจะทำให้สถานการณ์กลับร้ายแรงขึ้น ดังนั้นการที่จะดับไฟให้มีประสิทธิภาพดีนั้น จะต้องมีการฝึกฝนอย่างสม่ำเสมอ และจะต้องเข้าใจลักษณะและองค์ประกอบของไฟเสียก่อนรวมทั้งมาตรฐานการทนไฟหรือต้านไฟของวัสดุต่าง ๆ ตามภาคผนวก ค. ตลอดจนต้องเข้าใจถึงพฤติกรรมของคนด้วย

2.2 พฤติกรรมของคนในเหตุการณ์ไฟไหม้ (Human Behavior in Fire)

พฤติกรรมของคนในเหตุการณ์เกิดไฟไหม้ มีความสำคัญต่อการออกแบบทางหนีไฟให้มีความปลอดภัยและประหยัด การศึกษาด้านนี้ยังมีน้อย เนื้อหานี้เป็นการสรุปข้อมูลโดยทั่วไปซึ่งเป็นงานวิจัยของ BRE ซึ่งเห็นว่ามีความสำคัญหรือเป็นความเห็นระดับนานาชาติ (BRE Digest 388. 1993.)

2.2.1 ข้อสังเกตพฤติกรรมของคน (BRE Digest 388. 1993.)

ในช่วงต้นทศวรรษ 1980 มหาวิทยาลัย Surrey ประเทศอังกฤษ ได้จำลองรูปแบบ (Model) ของพฤติกรรมคน ซึ่งแตกต่างจากความเข้าใจของคนทั่วไปที่ว่า คนมักจะตื่นตกใจและปฏิบัติตนอย่างไม่มีเหตุผลในสถานการณ์ไฟไหม้ที่ควบคุมไม่ได้ สิ่งที่จะนำเสนอตั้งแต่หัวข้อ 2.2.2 ถึง 2.2.7 เป็นผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่แล้ว และเป็นพื้นฐานที่ใช้สำหรับการพัฒนาวิธีหนีไฟอย่างปลอดภัยที่มีการยอมรับ

2.2.2 พฤติกรรมการหนีไฟขึ้นกับความรับผิดชอบของบุคคลในองค์กร (BRE Digest 388. 1993.)

การศึกษาจากบุคคลหลายกลุ่มพบว่า ผู้ที่มาซื้อของในห้างสรรพสินค้าหรือแขกที่มาพักในโรงแรมคาดหวังที่จะให้เจ้าหน้าที่แห่งนั้นเป็นผู้นำในการหนีไฟ และเจ้าหน้าที่เองก็ยอมรับว่าเป็นสิ่งที่ตนต้องรับผิดชอบ โดยเฉพาะในโรงพยาบาล พยาบาลเป็นผู้ที่คนไข้พึ่งมาก สิ่งที่ไม่คาดคิดอย่างหนึ่งคือสมาชิกในครอบครัวมีแนวโน้มที่จะสร้างความมั่นใจก่อนว่าทุกคนได้อยู่รวมกันครบแล้วจึงหนีไฟ ทำให้เกิดความชักช้าในการหนีไฟ คนชอบที่จะใช้ทางเดิมที่เคยชิน การสร้างทางหนีไฟที่พิเศษอาจจะไม่ได้รับความปลอดภัยคุ้มค่าดังความคาดหวังของผู้สร้าง นอกเสียจากเป็นทางที่ถูกนำไปใช้ร่วมกับทางที่ใช้เป็นประจำทุกวัน เพราะโดยมากคนปกติมักไม่ได้ใส่ใจกับความเลวร้ายเมื่อเกิดไฟไหม้ จึงไม่ได้สนใจทางหนีพิเศษเหล่านี้ไว้ก่อน ดังนั้นจึงไม่สามารถหาทางหนีไฟที่สร้างไว้ให้ในสภาพที่เกิดความเครียดเมื่อมีเหตุการณ์ไฟไหม้ เมื่อทางเลือกแรกที่เคยชินใช้ในการหนีไฟไม่ได้

กริ่งและเสียงของสัญญาณเตือนไฟต้องมีการทดสอบอยู่เป็นประจำ เพื่อป้องกันความผิดปกติของสัญญาณที่อาจเกิดจากสภาพแวดล้อม การดูแลรักษา และปัจจัยเกี่ยวกับคน นอกจากนี้เสียงสัญญาณอาจจะสับสนกับเสียงจากแหล่งอื่น ๆ และสัญญาณเตือนอาจทำได้ดีที่สุดเพียงสื่อบอกว่ามีไฟไหม้เกิดขึ้นเพื่อให้รู้ว่าจะทำอะไรต่อไป จากการสัมภาษณ์เหยื่อไฟไหม้ สิ่งที่บอกเหตุว่ามีไฟไหม้เริ่มแรก คือ กระจกแตก เสียงผิดปกติ และผู้คนแสดงอาการแปลก ๆ มากกว่าที่จะได้กลิ่นควันไฟ หรือเห็นเปลวไฟ ดังนั้นการสืบสวนขั้นต่อไปจึงควรมีการวิจัยวิธีหาต้นเพลิงและหาความรุนแรงของไฟที่ไหม้ นอกจากนี้การหวังว่าคนที่ไม่เคยฝึกหนีไฟจะประพฤติตัวได้อย่างเหมาะสมเมื่อได้ยินสัญญาณเตือนภัยค่อนข้างเป็นความคิดที่ไม่สมหวัง แม้เมื่อคนเห็นว่าไฟไหม้ คนยังค่อนข้างจะประเมินต่ำการลุกลามของไฟเพราะเข้าใจว่าไฟถูกครอบคลุมด้วยหลังคาหรือเพดาน ตามประสบการณ์จากไฟที่ควบคุมได้อย่างไฟที่ใช้ทำอาหาร หรือบาร์บิคิวนอกบ้าน คนจึงมีแนวโน้มที่จะยืนดูอยู่เฉย ๆ ระยะหนึ่งแทนที่จะรีบเร่งหนีไป ปฏิกิริยาเริ่มต้นที่รวดเร็วเมื่อเห็นไฟจะเป็นตัวตัดสินความปลอดภัยของเหยื่อ ความชักช้าจากการมัวแต่หาข้อมูลเพิ่มเติมมีผลเสียอย่างมากต่อความปลอดภัย ในเหตุการณ์ไฟไหม้คนประพฤติตนที่ไม่ค่อยถูกต้องเข้าข่ายตื่นตระหนกแต่ถ้าพิจารณาถึงปริมาณข้อมูลที่มีให้ พฤติกรรมเช่นนี้ดูเหมือนจะเป็นสิ่งที่มีเหตุผลสำหรับผู้ที่อยู่ในเหตุการณ์

ดังนั้นการฝึกหนีไฟและความเข้าใจอันตรายจากไฟจึงเป็นสิ่งที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการป้องกันอุบัติภัยจากไฟไหม้ แต่ในเหตุการณ์ไฟไหม้ที่รุนแรงที่ผ่านมา สิ่งเหล่านี้ไม่ค่อยมีการปฏิบัติกันก่อน

2.2.3 เวลาในการอพยพสำหรับคนที่แข็งแรงและคนพิการ (BRE Digest 388. 1993.)

คู่มือการป้องกันไฟไหม้ของสมาคมวิศวกรป้องกันไฟของสหรัฐอเมริกาจะประกอบด้วยค่าคงที่ ที่วิศวกรใช้คำนวณได้ผลอย่างแม่นยำ เวลาสำหรับคนแข็งแรงออกจากอาคารพร้อมกันกับคำแนะนำต่าง ๆ ในปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น

การวิจัยในประเทศอังกฤษพยายามที่จะพัฒนาค่าทำนองนี้สำหรับคนพิการ จึงได้มีการประมวลความลำบากต่าง ๆ ที่ผู้พิการประสบและหนทางที่จะมาแก้ไข จึงมีการเสนอว่าการอพยพคนพิการต้องใช้เวลาเป็นสองเท่าของการอพยพผู้ที่แข็งแรง เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการใช้พิจารณาของผู้ออกแบบ และจุดอื่น ๆ ที่พบก็คือรถเข็นที่ใช้มือไม่ปิดกั้นการเคลื่อนที่บนระเบียงราบ แต่การใช้โครงโลหะช่วยเดินพร้อมกับรถเข็นบนระเบียงแคบอาจมีผลต่อการหนีไฟของผู้มีร่างกายสมบูรณ์อย่างรุนแรง หากไม่สามารถวิ่งแซงได้ นอกจากนั้นเก้าอี้เข็นที่บังคับด้วยเครื่องยนต์ไม่ควรมีการใช้ เพราะมันสามารถปิดทางหนีของผู้อื่น

2.2.4 ควรมีการหยุดใช้ลิฟท์หรือไม่ (BRE Digest 388. 1993.)

จากผลงานวิจัยอย่างกว้างขวางในประเทศสหรัฐอเมริกาแสดงให้เห็นว่ามีความจำเป็นมากในการปรับปรุงวิธีใช้ลิฟท์แทนการหยุดหรือหลีกลิฟท์เมื่อได้ยินสัญญาณเตือนไฟไหม้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ระบบคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ในการตรวจจับสัญญาณการเกิดไฟไหม้ (Modern Computer-Based Fire Detection System) ซึ่งสามารถบอกตำแหน่งไฟอย่างแม่นยำและยังอยู่ไกลที่จะมีผลร้ายต่อการใช้ลิฟท์ นอกจากนี้รายงานยังพบข้อสังเกตเกี่ยวกับคนพิการว่าคนเหล่านี้มีความกังวลอยู่ในที่กำบังจึงควรมีการติดต่อและให้ข้อมูลเกี่ยวกับไฟไหม้ เพื่อคนพวกนี้ไม่เสี่ยงที่จะออกจากแหล่งที่กำบังก่อนเวลาอันควร

2.2.5 โอกาสที่จะเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเพื่อความปลอดภัยของชีวิต (BRE Digest 388. 1993.)

ปัจจุบันการจัดการเกี่ยวกับการควบคุมไฟหรือทางหนีไฟเป็นกฎหมายที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง โดยพบว่าอุบัติเหตุที่ร้ายแรงจากไฟไหม้ในอาคารสาธารณะในแต่ละปีเกิดขึ้นน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากกฎหมายไฟไหม้เป็นกฎหมายที่มีโทษปรับรุนแรงที่สุด

ในช่วงทศวรรษล่าสุด เทคโนโลยีด้านอีเลคโทรนิคมีราคาถูกลงและความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น ได้มีการผลิตและวางจำหน่ายเครื่องตรวจหาไฟอัตโนมัติและสัญญาณเตือนภัยทั่วไป โดยมีความสามารถตรวจจับเปลวเพลิงได้แน่นอนกว่าเครื่องแบบโบราณ รวมทั้งศักยภาพของอุตสาหกรรมที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติเหล่านี้ได้อีก เครื่องมือเหล่านี้สามารถบอกแหล่งไฟไหม้ให้แก่ห้องข้างเคียง บันทึกการแพร่กระจายของไฟและยังสามารถรายงานรายการที่ละเอียดพอเพื่อซ่อม เป็นการนำทางแก่วิศวกรในการซ่อมบำรุงอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมี Software ที่ใช้ควบคุมระบบการทำงานแบบ Real Time ที่ใช้แพร่หลายใยหลายสิบปี ในหลายสาขา เช่น วิศวกรรมเคมี กระทั่งถึงในปัจจุบัน สิ่งเหล่านี้มีราคาถูกพอที่จะนำเข้ามาใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยจากไฟไหม้

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 1980 FRS ได้ตรวจสอบเทคโนโลยีและปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเพื่อให้แจ้งข้อมูลสถานที่เกิดไฟไหม้ได้ทราบทั่วกันตลอดทั้งตึก โดย FRS คิดว่าข้อมูลเหล่านี้สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของสัญญาณเตือนภัย แม้ว่ามันจะไม่ใช่การซื้อ Software เพื่อเพิ่มระยะเวลาหนีไฟให้นานขึ้นแต่มันให้ข้อมูลที่ชัดเจน ตัวอย่างคือการแสดงภาพเส้นทางการหนีไฟที่ชัดเจนในโรงพยาบาลซึ่งมีผลให้การอพยพคนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

ในปี 1985 ได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพในการใช้สื่อต่าง ๆ ในการให้ข้อมูลไฟไหม้แก่ผู้อยู่อาศัยในตึก ในการทดลองถามกับการตอบสนองต่อสิ่งที่แสดงว่ามีไฟไหม้แก่ผู้อยู่อาศัยในตึกพบว่า มากกว่า 70% เลือกที่จะหนีทันทีทันใดเมื่อมีการเตือนภัยโดยเสียงหรือภาพจากคอมพิวเตอร์, 54-55% จะตอบสนองต่อการส่งข่าวโดยใช้ตัวหนังสือ, และ 13% จากเสียงเครื่องเตือนภัย และพบว่าเวลาในการตัดสินใจอยู่ในช่วง 35 ถึง 55 วินาที

การทดลองเกี่ยวกับการอพยพ 5 ครั้ง ในสภาพสถานที่ที่ซับซ้อนโดยให้ข้อมูลที่แตกต่างกัน 5 อย่าง คือ

ก. กริ่งเตือนภัย

ข. กริ่งเตือนภัยและเจ้าหน้าที่ 2 คน

ค. กริ่งเตือนภัยและการประกาศสาธารณะทั่วไปประปราย

ง. กริ่งเตือนภัยและเจ้าหน้าที่ 2 คน และประกาศสาธารณะโดยตรง

จ. กริ่งเตือนภัย และเพิ่มการประกาศสาธารณะโดยตรง

ประเมินผลกระทำที่ 3 ข้อ คือ

ก. เวลาที่เริ่มอพยพ

ข. เวลาในการจัดการสถานที่

ค. พฤติกรรมที่เหมาะสมในเหตุการณ์

ผลการทดลองพบว่าการอพยพโดยการรับข้อมูลตามวิธีที่ ง. และ จ. สามารถอพยพได้รวดเร็วและปลอดภัย การศึกษาชี้ให้เห็นถึงความสำคัญในการชี้แนะอย่างรวดเร็วให้แก่สาธารณชน อธิบายว่าเกิดอะไรขึ้น ทำอย่างไรและทำไมต้องทำแบบนี้จึงจะประสบผลสำเร็จในการอพยพคน

เป็นสิ่งถูกต้องถ้าจะกล่าวว่าการตรวจสอบไฟโดยอะไรก็ตามต้องกระทำก่อนสิ่งอื่นในการรักษาชีวิตและทรัพย์สิน การพัฒนาการออกแบบทางหนีไฟ วิศวกรผู้ออกแบบต้องแน่ใจว่าผู้คนสามารถออกจากอาคารได้ก่อนที่ไฟจะมาถึงตัว ซึ่งจากข้อมูลที่เสนอ ณ ที่นี้ จะเห็นได้ว่าความมั่นใจจะเกิดขึ้นได้จากการได้จัดการให้ข้อมูลไฟไหม้แก่ผู้อยู่อาศัย ในเวลาที่สัมพันธ์กับเวลาจุดติดไฟ เช่นเดียวกับการควบคุมไฟที่เลยระยะเบื้องต้นในหน้าที่ของหน่วยรักษาความปลอดภัยประจำอาคารจะมีประสิทธิภาพและประหยัดขึ้นได้ ต้องขึ้นอยู่กับความมั่นใจต่อการคาดคะเนว่าเมื่อไรที่สัญญาณเตือนไฟจะส่งมาที่หน่วยสู้ไฟ ความปลอดภัยของนักต่อสู้ไฟจะเพิ่มขึ้นถ้ารู้ว่าไฟเริ่มจากที่ไหนและมันจะกระจายไปอย่างไร

นอกจากนี้ การแจ้งข้อมูลไฟไหม้ที่รวดเร็วและถูกต้องจะเป็นประโยชน์ต่อคนพิการมากกว่าผู้ที่มีสุขภาพสมบูรณ์

2.2.6 ข้อจำกัดในการกระตุ้นการหนี (BRE Digest 388. 1993.)

การวิจัยเพื่อหาแนวทาง และวิธีการที่มีประสิทธิภาพเพื่อกระตุ้นให้มีการหนีไฟโดยมีพื้นฐานที่ว่า ผู้คนไม่สามารถมองเห็นไฟไหม้ ดังนั้นการเตือนว่าเกิดไฟไหม้อย่างมีประสิทธิภาพจะเพาะนิสัยการหนีอย่างรวดเร็วในตอนแรกเริ่ม อย่างไรก็ตามการศึกษาพบว่าคนมีความคิดผิดว่าไฟไหม้ไม่ร้ายแรงเมื่อมองเห็นไฟลุกลาม นี่เป็นเหตุให้เกิดเหตุการณ์ที่ร้ายแรงในปี 1985 ที่สมาคมฟุตบอลเมือง Bradford ประเทศอังกฤษ ในปี 1985 ผู้ดูมีความมั่นใจว่าไฟไม่ร้ายแรง ซึ่งความคิดนี้จะถูกลบล้างได้ด้วยการประกาศ หรือการจัดการ การศึกษายังชี้ให้เห็นว่าคนไม่สามารถตอบสนองต่อนัยที่ไม่แน่นอนว่าเกิดไฟไหม้ ถ้าเขากำลังทำอย่างอื่นอยู่ เช่น กินข้าว ซื้อของ หรือดูการแสดง ดังนั้นจึงต้องจัดการหยุดกิจกรรมที่ทำอยู่เพื่อสามารถมองเห็นอันตรายของไฟที่ลุกไหม้

มีการแนะนำให้จำกัดการเดินผ่านควันไฟเมื่อมองไม่ชัดน้อยกว่า 10 เมตร แต่ข้อแนะนำนี้ยากที่จะทดลองพิสูจน์ เพราะอันตรายต่อผู้ทดลอง และปัจจัยการตั้งข้อจำกัด ความรู้

เส้นทาง และปัจจัยกระตุ้นอื่น ๆ ของคน ซึ่งเอกสารอ้างอิงได้กล่าวว่าคนพยายามที่จะเดินทางผ่านควันไฟ ทั้งที่ความสามารถในการหายใจเมื่ออยู่ในควันไฟที่หนา ทำให้ประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ลดลงภายใน 1-2 นาที แม้แต่ผู้ที่มีความชำนาญ เช่นพนักงานดับเพลิงที่มีเครื่องช่วยหายใจก็ไม่สามารถจะทนได้ แต่คนก็จะพยายามที่จะไปให้พ้นควันที่หนาให้ได้ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยความกลัวตายและความหวังที่จะรอดเมื่อพ้นควันไฟ

2.2.7 ข้อพิจารณาด้านกายภาพของคนและความเป็นพิษ (BRE Digest 388. 1993.)

มีสารที่เป็นพิษมากมายเกิดขึ้นเมื่อเกิดไฟไหม้ แต่แก๊ส 3 ชนิด ที่สามารถทำให้ตายได้ คือก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และไซยาไนด์ เมื่อออกซิเจนถูกใช้ไปในสภาพปิด หากอากาศใหม่ไม่มาถ่ายเทสัดส่วนคาร์บอนมอนนอกไซด์จะเพิ่มขึ้น คาร์บอนไดออกไซด์ที่มีจำนวนเล็กน้อยจะทำให้เกิดอาการขาดอากาศ แต่ถ้ามีมากจะเป็นพิษ

คาร์บอนมอนออกไซด์เป็นพิษในทุกความเข้มข้น ทำให้ร่างกายไม่สามารถใช้ออกซิเจนที่มีเพื่อการคิดและการเคลื่อนไหว มีบันทึกหลายกรณีที่คนตื่นเมื่อไฟไหม้แต่ไม่สามารถออกสืบสวนหรือหนีได้เพราะมีออกซิเจนไม่เพียงพอเนื่องจากมีคาร์บอนมอนออกไซด์ที่เป็นพิษ โดยเกือบจะทันทีที่ผู้นั้นตื่นจะหมดความรู้สึกหรือตายอยู่ใกล้เตียงนอนนั่นเอง

ก๊าซไซยาไนด์ที่เกิดจะขึ้นอยู่กับปริมาณของไนโตรเจนในสารเชื้อเพลิง ถ้ามีปริมาณน้อยจะทำให้รู้สึกหมดแรงแล้วหมดความรู้สึกไปอย่างทันทีทันใด นอกจากนี้การตรวจวัดขนาดเดิม ๆ ของไฮโดรเจนไซยาไนด์ในร่างกายไม่ค่อยได้ เพราะเกิดการกลายตัวของสารนี้อย่างรวดเร็วหลังจากตายแล้ว

การระคายเคืองเนื่องจากสารที่เกิดการเผาไหม้เป็นปัจจัยหลักในการวิ่งผ่านควัน สารระคายในควันมีทั้งพวกสารอินทรีย์จากวัตถุทั่วไป และก๊าซกรดอนินทรีย์ เช่น ไฮโดรเจนคลอไรด์ จากสารเชื้อเพลิงพวก พี วี ซี สารทั้งหมดนี้ทำลายตาและปอด ทำให้เกิดการเจ็บปวดทันทีทันใดและหายใจลำบาก ทำให้ลดความสามารถในการหนีไฟ หรืออาจถึงทำให้หมดความรู้สึก ตามด้วยปอดถูกทำลายซึ่งมีผลต่อสุขภาพในระยะยาวหรือการรอดตาย

การเจอกับความร้อนเป็นสิ่งหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถหนีออกจากไฟได้ การวิ่งหนีไฟอาจถูกจำกัดจากความเจ็บปวดเพราะผิวหนังเจอความร้อนหรือสารพิษ เมื่ออุณหภูมิที่สูงร่วมกับเวลาที่อยู่ในไฟจะทำให้เนื้อเยื่อถูกไฟไหม้ ไอร้อนจากไฟก็เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่าง

หนึ่งในการจำกัดการหนีออกจากไฟ ความเจ็บปวดเกิดขึ้นได้เมื่อพลังรังสีความร้อนถึง 2500 W/m^2 พลังรังสีอาจมีมากเป็น 20 เท่าในระยะห่างไกลพอสมควร

การได้รับความร้อนหรือถูกสารพิษจากไฟไหม้ส่วนใหญ่จะอันตรายถึงตาย ดังนั้น วิศวกรทางด้านป้องกันไฟต้องจัดการไม่ให้คนมาสัมผัสกับสารพิษที่เกิดจากไฟไหม้ อย่างไรก็ตามในบางกรณีการสัมผัสไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ ซึ่งการได้รับสารพิษเพียงเล็กน้อยอาจมีผลอย่างมากในการตัดสินใจหนีไฟ เมื่อการหนีรอดขึ้นกับการเลือกทางหนีที่ถูกต้อง การลดประสิทธิภาพในการนึกคิดเพราะต้องสารพิษจึงกระทบต่อความสามารถในการรอดชีวิต ในส่วนนี้ยังไม่มีการวิจัยอย่างแพร่หลาย

2.3 อุปกรณ์เกี่ยวกับการตรวจจับเพลิงไหม้โดยอัตโนมัติ

เพลิงไหม้เป็นปรากฏการณ์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อสสารมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิวิกฤติจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น เมื่อถูกกับออกซิเจนจะเกิดความร้อน เปลวเพลิง และแสงสว่าง ควัน คาร์บอนมอนนอกไซด์ หรือผลต่อเนื่องอื่น ๆ อุปกรณ์ที่มีความสามารถทำงานแจ้งสัญญาณเตือนเหตุการณ์เพลิงไหม้โดยอัตโนมัติได้ทันเวลา เมื่อเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเหล่านั้น เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน เช่น อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน อุปกรณ์ตรวจจับควัน อุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซที่เกิดจากเพลิงไหม้

2.3.1 อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (มาตรฐาน ว.ส.ท. 0001–29. พ.ศ. 2535.)

ความร้อนเป็นพลังงาน ทำให้สสารมีอุณหภูมิสูงขึ้น และโดยนัยเดียวกันพลังงานความร้อนจะเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของสสาร

2.3.1.1 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

ก. อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิตายตัว (Fixed Temperature Detector) อุปกรณ์ตรวจจับชนิดนี้จะทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับที่ตั้งไว้

ข. อุปกรณ์ตรวจจับอัตราการชดเชย (Rate Compensation Detector) เป็นอุปกรณ์ซึ่งทำงานเมื่ออุณหภูมิของบรรยากาศโดยรอบสูงถึงจุดที่ตั้งไว้ โดยไม่ขึ้นกับอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ

2.3.1.2 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

ก. อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนชนิดจุด ให้ติดตั้งที่เพดาน ห่างจากฝาผนังไม่น้อยกว่า 100 มม. หรือติดบนฝาผนังในช่วงต่ำจากเพดาน 100 มม. ถึง 300 มม.

ข้อยกเว้น 1. สำหรับเพดานที่มีตง ให้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับใต้ตง

ข้อยกเว้น 2. สำหรับเพดานที่มีคานลึกไม่เกิน 300 มม. และระยะช่วงคานไม่เกิน 2.4 เมตร อาจจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับใต้คาน

ข. อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนชนิดเส้น ให้ติดตั้งที่เพดาน หรือบนฝาผนังในระยะต่ำกว่าเพดานไม่เกิน 500 มม.

2.3.1.3 ระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

- เพดานเรียบ

  ก. การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับบนเพดาน จะต้องให้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ ตรวจจับไม่เกินกว่าที่ระบุโดยผู้ผลิต และการติดตั้งที่อยู่ใกล้ฝาผนังทุก ๆ ด้าน หรือฝากั้นห้องทุกด้านที่ต่ำกว่าเพดานน้อยกว่า 500 มม. ต้องมีอุปกรณ์ตรวจจับติดตั้งห่างจากฝาผนัง หรือฝากั้นห้องดังกล่าวด้วย โดยมีระยะห่างจากฝาผนังหรือฝากั้นห้องไม่เกินครึ่งหนึ่งของระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับที่ผู้ผลิตกำหนด

  ข. ทุกจุดบนเพดาน ห่างจากอุปกรณ์ตรวจจับไม่เกิน 0.7 เท่า ของระยะห่างที่ระบุโดยผู้ผลิต ข้อนี้เป็นประโยชน์ในการคำนวณหาตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับในช่องทางเดิน (Corridors) หรือบริเวณพื้นที่ที่มีรูปทรงไม่เป็นระเบียบ (Irregular Area)

- บริเวณพื้นที่ที่มีรูปทรงไม่เป็นระเบียบ (Irregular Area) ระยะระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับอาจยอมให้เกินกว่าที่ระบุไว้โดยผู้ผลิต โดยที่ระยะระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับกับฝาผนังหรือมุมห้อง (Zone of Protection) ต้องไม่เกิน 0.7 เท่าของระยะที่ระบุโดยผู้ผลิต

- เพดานสูง สำหรับเพดานที่สูง 3 เมตร ถึง 9.0 เมตร จะต้องลดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับลงด้วยตัวคูณเลขคิดเป็นร้อยละของระยะพิกัดที่ระบุตามตาราง 2.2

2.3.2 อุปกรณ์ตรวจจับควัน (มาตรฐาน ว.ส.ท. 0001–29. พ.ศ. 2535.)

ควัน คือ อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ของสสารรวมตัวกันในบรรยากาศทั้งที่มองเห็นได้ และมองไม่เห็น

ตาราง 2.2 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับคิดเป็นร้อยละของระยะพิกัดที่ระบุ

ความสูงเพดาน เมตร (ฟุต)	ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับ คิดเป็นร้อยละของระยะพิกัดที่ระบุ
0-3 (0-10)	100
3-3.5 (10-12)	91
3.5-4.3 (12-14)	84
4.3-5 (14-16)	77
5-5.4 (16-18)	71
5.4-6 (18-20)	64
6-6.7 (20-22)	58
6.7-7.3 (22-24)	52
7.3-8 (24-26)	46
8-8.5 (26-28)	40
8.5-9 (28-30)	34

ที่มา : มาตรฐาน ว.ส.ท. 0001–29. พ.ศ. 2535.

2.3.2.1 หลักการทำงาน

ก. อุปกรณ์ตรวจจับควันโดยอาศัยหลักการเกิดไอออน (Ionization Smoke Detection Principle) ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ชนิดจุด ประกอบด้วยสารกัมมันตภาพรังสี บรรจุอยู่ในกล่องตรวจจับ (Sensing Chamber) เป็นผลให้อากาศภายในกล่องเกิดไอออนมีสภาพเป็นตัวนำ และทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ระหว่างขั้วอีเล็คโทรด เมื่ออนุภาคควันผ่านเข้าในกล่องอนุภาคควันจะจับตัวรวมกับไอออนทำให้การเคลื่อนที่ช้าลงและค่าความนำไฟฟ้าลดลง อุปกรณ์ตรวจจับจะเริ่มสัญญาณเมื่อค่าความนำลดลงถึงจุดพิกัดที่กำหนดไว้

ข.อุปกรณ์ตรวจจับควันโดยอาศัยหลักการบดบังไฟฟ้าพลังแสง (Photoelectric Light Obscuration Smoke Detection Principle) ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ฉายลำแสงตรงไปยังอุปกรณ์ไวแสง (Photo Sensitive Device) อุปกรณ์ตรวจจับและเริ่มสัญญาณ เมื่ออนุภาคควันที่อยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับอุปกรณ์ไวแสงบดบังและลดปริมาณแสงถึงจุดพิกัดที่กำหนด

ค.อุปกรณ์ตรวจจับควันโดยอาศัยหลักการกระจายไฟฟ้าพลังแสง (Photoelectric Light Scattering Smoke Detection Principle) เป็นอุปกรณ์ชนิดจุดประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง และอุปกรณ์ไวแสง โดยแสงจากแหล่งกำเนิดมิได้ส่องตรงไปยังอุปกรณ์ไวแสงเมื่อมีอนุภาคควันเกิดขึ้นในบริเวณนั้น แสงจะกระทบอนุภาคควันแล้วสะท้อนไปยังอุปกรณ์ไวแสง ทำให้อุปกรณ์ตรวจจับควันเริ่มสัญญาณ

ง. อุปกรณ์ตรวจจับควันโดยอาศัยหลักบริดจ์ความต้านทาน (Resistance Bridge Smoke Detection Principle) เป็นอุปกรณ์ชนิดจุด เมื่อมีอนุภาคควันและความชื้นจากเพลิงไหม้ตกกระทบตาข่ายบริดจ์ไฟฟ้า ค่าความนำไฟฟ้าของวงจรตาข่ายจะเพิ่มขึ้นถึงจุดพิกัด ทำให้อุปกรณ์ตรวจจับเริ่มสัญญาณ

จ. อุปกรณ์ตรวจจับควันโดยอาศัยหลักกล่องหมอกควัน (Cloud Chamber Smoke Detection Principle) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับโดยการชักตัวอย่างอากาศโดยปั๊มอากาศจะดูดอากาศตัวอย่างภายนอกเข้าไปในกล่องที่มีความชื้นสูงภายในชุดตรวจจับ เมื่ออากาศเข้าสู่กล่องที่มีความชื้น ความกดดันของอากาศจะลดลง ถ้าหากมีอนุภาคควันปนอยู่ความชื้นในอากาศจะกลั่นตัวเป็นหมอกคลุมอนุภาคควัน ความหนาแน่นของหมอกควันจะถูกตรวจวัดโดยหลักการของไฟฟ้าพลังแสงเมื่อความหนาแน่นของหมอกควันสูงถึงจุดพิกัด จะทำให้อุปกรณ์ตรวจจับควันเริ่มสัญญาณ

2.3.2.2 ตำแหน่งและระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับควัน

การกำหนดตำแหน่งและระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน อาศัยดุลยพินิจและการประเมินผลทางวิศวกรรม ร่วมกับรายละเอียดที่ให้ไว้เป็นแนวทางในมาตรฐานนี้รวมทั้งจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ร่วมด้วย อาทิ ลักษณะพื้น

Central Library
Prince of Songkla University

ผิวความสูงของฝ้าเพดาน คุณสมบัติของการเผาไหม้ของวัสดุในอาคารและระบบระบายอากาศ

ก. ในสถานที่ที่ต้องการป้องกันอัคคีภัยเป็นกรณีพิเศษ อาจจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับให้ใกล้กับตำแหน่งที่จะเกิดอันตราย เพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับสามารถตรวจจับควันจากบริเวณนั้นได้โดยฉับพลัน

ข. การรวมตัวเป็นชั้น (Stratification) ผลกระทบเนื่องจากการรวมตัวของควันเป็นชั้น ในระดับต่ำกว่าเพดาน ควรจะนำมาพิจารณา ประกอบด้วย

ค. อุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดจุด ให้ติดตั้งบนเพดานห่างจากฝาผนังไม่น้อยกว่า 100 มม. หรือติดบนฝาผนังในช่วง 100 มม. ถึง 300 มม. จากเพดาน

ข้อยกเว้น 1 ดูข้อ 2.3.2.2 ข.

ข้อยกเว้น 2 ในกรณีเพดานตงเปิด ให้ติดอุปกรณ์ตรวจจับใต้ท้องตง

ข้อยกเว้น 3 ในกรณีเพดานเปิดที่มีคานลึกไม่เกิน 300 มม. และช่วงคานไม่เกิน 2.4 เมตร อาจติดอุปกรณ์ตรวจจับใต้ท้องคานได้

ง. อุปกรณ์ตรวจจับควันโดยการฉายลำแสง ให้ติดตั้งในลักษณะที่ให้ลำแสงฉายขนานกับฝ้าเพดานในระดับต่ำกว่าเพดานไม่เกิน 500 มม.

ข้อยกเว้น 1 ดูข้อ 2.3.2.2 ข.

ข้อยกเว้น 2 การป้องกันในกรณีพิเศษ อาจจะติดตั้งลำแสงฉายในทิศทางใด ๆ ก็ได้ เช่น ในช่องบันได อาจติดตั้งลำแสงฉายให้ผ่านช่องว่างตามแนวดิ่งนั้น

จ. ความยาวของลำแสงจะต้องไม่ยาวเกินกว่าพิกัดที่กำหนด

- เมื่อใช้กระจกเงาช่วยสะท้อนลำแสง ระยะทางรวมของลำแสงจะเท่ากับระยะพิกัดของลำแสงที่กำหนดไว้ลดลงโดยตัวคูณลดลงต่อเนื่อง 33.33% ต่อกระจกเงาแต่ละบาน
- การติดตั้งควรให้ปริมาณลำแสง ที่ลดลงทั้งหมดอยู่ในช่วง 5-40% ในสภาพที่เป็นไปได้ ควรใช้ค่าตัวคูณลดลงไม่เกิน 1.65% ต่อระยะทาง 1 เมตร (0.5% ต่อฟุต)

ตัวคูณลดเปอร์เซ็นต์ต่อเมตร (Percent Cut-off per Meter) ให้ใช้คำนวณกับลำแสงระยะทางไม่เกิน 18.0 เมตร แม้ว่าตัวคูณลดนี้จะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง (Linear) กับระยะทาง เพราะแต่ละช่วงของลำแสง (Each

Increment of Beam Length) จะมีผลกระทบต่อลำแสงช่วงถัดไป มาตรฐานนี้ยอมให้ถือเป็นสัดส่วนโดยตรงเพื่อการคำนวณดังกล่าว

ฉ. การกำหนดตำแหน่งและระยะห่าง ของกล่องชักตัวอย่างแต่ละอันของอุปกรณ์ตรวจจับควันชนิดชักตัวอย่างให้ใช้เช่นเดียวกับอุปกรณ์ตรวจจับชนิดจุด

ช. ระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับที่ติดตั้งบนเพดานเรียบ

- อุปกรณ์ตรวจจับชนิดจุดติดตั้งบนเพดานเรียบ ให้ใช้ระยะห่างไม่เกิน 9.0 เมตรเป็นเกณฑ์ อาจใช้ระยะอื่นนอกจากนี้ได้โดยคำนึงถึงความสูงของเพดาน สภาพแตกต่าง หรือวัตถุประสงค์ของการป้องกัน
- อุปกรณ์ตรวจจับโดยการฉายลำแสง ให้ติดตั้งตามตำแหน่งและระยะห่างที่ผู้ผลิตแนะนำ

2.3.2.3 ข้อควรพิจารณาพิเศษ

การพิจารณาเลือกชนิดและการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์ตรวจจับ และพื้นที่ที่ต้องการป้องกัน เพื่อป้องกันมิให้อุปกรณ์เกิดทำงานผิดพลาดหรือไม่ทำงาน ดังเช่นกรณี ดังต่อไปนี้

ก. อุปกรณ์ตรวจจับควันโดยการฉายลำแสงและใช้กระจกเงา จะต้องติดตั้งบนพื้นผิวที่มั่นคงแข็งแรงเพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดเนื่องจากการเคลื่อนไหว และควรออกแบบป้องกันมิให้เกิดการทำงานผิดพลาดหากเกิดการเบี่ยงเบนของลำแสงเพียงเล็กน้อย (ตามปกติไม่ให้เกิน ¼ องศา รวมทั้งสองข้างเป็น ½ องศา)

ข. เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจจับชนิดฉายลำแสงจะไม่เริ่มสัญญาณเตือนอัคคีภัยหากมีสิ่งหนึ่งสิ่งใดปิดกั้นขวางทางลำแสงอยู่ แต่จะส่งสัญญาณขัดข้อง ฉะนั้นต้องมิให้วัสดุทึบแสงขวางทางเดินของลำแสงได้

ค. อุปกรณ์ตรวจจับควันที่มีส่วนประกอบชนิดอุณหภูมิตายตัวรวมอยู่ด้วย จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับอุณหภูมิสูงสุดของฝ้าเพดาน ตามตาราง 2.3

ง. ห้ามมิให้นำอุปกรณ์ตรวจจับควันไปติดตั้งในสถานที่ที่มีอุณหภูมิโดยรอบสูงเกิน 38 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ยกเว้นอุปกรณ์นั้นได้รับการรับรองให้ใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าหรือต่ำกว่านั้น

จ. ในสภาวะการทำงานตามปกติในบางพื้นที่อาจจะมีควันอยู่เสมอ ดังนั้น ต้องพิจารณาสถานที่ที่จะติดตั้งให้เหมาะสม เพื่อมิให้เกิดการส่งสัญญาณผิดพลาดได้

ตาราง 2.3 การแบ่งระดับอุณหภูมิของไฟ

ระดับอุณหภูมิ	ช่วงพิกัดอุณหภูมิ องศา °C (°F)	อุณหภูมิสูงสุดของฝาเพดาน องศา °C (°F)	รหัสสี
ธรรมดา (Ordinary)	57.2-79.0 (135-174)	37.7 (100)	ไม่มีสี
ปานกลาง (Intermediate)	79.5-120.5 (175-249)	65.5 (150)	สีขาว
สูง (High)	121.0-162.0 (250-324)	107.0 (225)	สีน้ำเงิน
สูงมาก (Extra High)	162.5-204.0 (325-399)	149.0 (300)	สีแดง
สูงมากพิเศษ(Very Extra High)	204.5-259.5 (400-499)	190.5 (375)	สีเขียว
สูงมากที่สุด (Ultra High)	260.0-302.0 (500-575)	246.0 (475)	สีส้ม

หมายเหตุ : $^{0}C = \frac{5}{9}\left(^{0}F - 32\right)$

ที่มา : มาตรฐาน ว.ส.ท. 0001-29. พ.ศ. 2535.

2.3.3 อุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง (มาตรฐาน ว.ส.ท. 0001–29. พ.ศ. 2535.)

เปลวเพลิง คือ แสงที่เปล่งจากกลุ่มก๊าซเมื่อร้อนจัดเนื่องจากการเผาไหม้ของวัสดุ เปลวที่เกิดจากการเผาไหม้ของสารบางชนิด เช่น ก๊าซไฮโดรเจนจะไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

2.3.3.1 หลักการทำงาน

อุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง (Flame Detection) คือ อุปกรณ์ที่ทำงานเนื่องจากพลังงานของการแผ่รังสีในช่วงที่มองเห็นได้ (ประมาณ 4000 ถึง 7700 อังสตรอม) และที่มองไม่เห็น

ก. อุปกรณ์ตรวจจับการกระพริบของเปลวเพลิง (Flame Flicker Detector) คืออุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิงแบบไฟฟ้าพลังแสงซึ่งประกอบด้วยกรรมวิธีที่ป้องกันมิให้มีปฏิกิริยาตอบสนองต่อแสงที่มองเห็น จนกว่าแสงนั้นจะถูกผสมคลื่น (Modulated) ให้เกิดความถี่ที่มีคุณลักษณะเหมือนการกระพริบของเปลวเพลิง

ข. อุปกรณ์ตรวจจับรังสีอินฟราเรด (Infrared Detector) คือ อุปกรณ์ที่ทำงานเนื่องจากพลังงานของการแผ่รังสีในช่วงที่มองไม่เห็น (สูงกว่า 7700 อังสตรอม)

ค. อุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิงโดยไฟฟ้าพลังแสง (Photoelectric Flame Detector) คือ อุปกรณ์ที่ประกอบด้วย เซลล์พลังแสง (Photo Cell) ซึ่งเมื่อได้รับพลังงานของการแผ่รังสีจะแปรค่าความนำไฟฟ้าหรือเกิดศักย์ไฟฟ้า

ง. อุปกรณ์ตรวจจับรังสีอุลตร้าไวโอเล็ต (Ultraviolet Detector) คือ อุปกรณ์ที่ทำงาน เนื่องจากพลังงานของการแผ่รังสีในช่วงที่มองไม่เห็น (ต่ำกว่า 4000 อังสตรอม)

2.3.3.2 ลักษณะของเพลิง

ก. อุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง จะไวต่อแสงสว่างที่เปล่งออกจากถ่านไฟ หรือจากเปลวไฟ และจะทำงานเมื่อพลังงานของการแผ่รังสีมีความเข้มเพียงพอในช่วงความถี่คลื่นแสงที่ต้องการตรวจจับ

ข. อุปกรณ์ตรวจจับจะมีปฏิกิริยาตอบสนองจากการแผ่รังสีในพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้และต้องการตรวจจับทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมของผู้ชำนาญการ ช่วงเวลาการตรวจจับและพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้ หรือความเข้มของเปลวเพลิงเหล่านี้อาจจะมีความสัมพันธ์กับสมรรถภาพของบริภัณฑ์และสิ่งประกอบในการดับเพลิง

2.3.3.3 ระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง

ก. ระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง จะต้องไม่เกินระยะพิกัดที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตนอกจากมีข้อยกเว้นที่ให้ไว้ในมาตรฐานนี้ ในกรณีที่โครงสร้างหรือลักษณะอื่น ๆ ของอาคารที่ต้องการป้องกัน มีส่วนทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับลดลง ควรจะลดระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับลงด้วย

ข. การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง ต้องให้รัศมีของการตรวจจับครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการป้องกัน

ค. ในบริเวณที่มีการลำเลียงวัสดุผ่านอุปกรณ์ตรวจจับ โดยระบบปล่อง สายพาน ท่อส่งหรืออื่น ๆ ระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับดังกล่าวไม่สามารถ

ยึดถือตามเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นการติดตั้งจะต้องคำนึงถึงระยะห่างที่เหมาะสมของอุปกรณ์ เพื่อให้การป้องกันได้ผลเต็มที่

2.3.3.4 การพิจารณาพิสัยการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง

ก. เนื่องจากหลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิง ขึ้นอยู่กับแสงจากเปลวเพลิงที่ส่องมากระทบอุปกรณ์ ฉะนั้น ข้อควรระวังในการติดตั้งคือ ต้องคำนึงถึงลักษณะโครงสร้างของอาคาร และวัสดุทึบแสงอื่น ๆ ในพื้นที่ที่จะเป็นอุปสรรคกีดขวางทางเดินของแสงจากเปลวเพลิงที่ส่องไปยังอุปกรณ์ตรวจจับ

ข. ภายหลังจากการติดตั้ง จะต้องหมั่นตรวจดูสภาพการใช้พื้นที่ และส่วนเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมของโครงสร้างอยู่เสมอ เพื่อจะได้ทำการแก้ไข หากมีสิ่งใดที่อาจเกิดเป็นอุปสรรคต่อพิสัยการทำงานของอุปกรณ์

2.3.3.5 ข้อควรพิจารณาประกอบอื่น ๆ

ก. อุปกรณ์ตรวจจับเปลวเพลิงจะต้องมีคุณสมบัติเฉพาะ และเหมาะสมที่จะรับช่วงความยาวคลื่นและแสงจากเปลวเพลิง ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

ข. อุปกรณ์ตรวจจับจะต้องได้รับการออกแบบ การป้องกันและการดูและรักษาอย่างถูกต้องเพื่อมิให้เกิดอุปสรรคขัดขวางการทำงานของระบบ

ค. ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องทำที่กำบังแสง หรือจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจจับเสียใหม่ เพื่อป้องกันการทำงานที่เกิดจากการแผ่รังสีที่ไม่ต้องการตรวจจับ

ง. การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับภายนอกอาคาร ต้องคำนึงถึงฝน ซึ่งจะเป็นส่วนทำให้ความไวต่อการทำงานของอุปกรณ์ลดลง ดังนั้นควรมีที่กันฝนที่เหมาะสม แต่ทั้งนี้ต้องมิให้พิสัยของการป้องกันพื้นที่ลดลงไปด้วย

2.3.4 อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซที่เกิดจากเพลิงไหม้ (มาตรฐาน ว.ส.ท. 0001–29. พ.ศ. 2535.)

ก๊าซซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของสสาร คือ โมเลกุลที่ไม่รวมตัวกันและอาจจะผสมกับอ๊อกซิเจน หรือไฮโดรเจนได้

2.3.4.1 หลักการทำงาน

ก. สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) อุปกรณ์ชนิดใช้สารกึ่งตัวนำจะมีปฏิกิริยาตอบสนองโดยอาศัยหลักการที่ว่า คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำเมื่อกระทบกับก๊าซผสมออกซิเจน หรือไฮโดรเจน (Oxidizing or Reducing Gases) จะเปลี่ยนค่าความนำไฟฟ้า

ข. สารเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Element) อุปกรณ์ชนิดนี้ประกอบด้วยสารคงสภาพ ซึ่งช่วยเร่งอัตราการผสมออกซิเจน (Oxidation) ของก๊าซเผาไหม้ เป็นผลให้สารนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงพิกัดทำงาน

2.3.4.2 ตำแหน่งและระยะห่างของอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซที่เกิดจากเพลิงไหม้

การกำหนดตำแหน่งและระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซเพลิงไหม้อาศัยดุลยพินิจและการประเมินผลทางวิศวกรรม ร่วมกับรายละเอียดที่ให้ไว้เป็นแนวทางในมาตรฐานนี้ รวมทั้งต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ร่วมด้วย อาทิ ลักษณะพื้นผิว ความสูงของฝ้าเพดาน คุณสมบัติของการเผาไหม้ของวัสดุในอาคาร และระบบระบายอากาศ

ก. ในสถานที่ที่ต้องการป้องกันกรณีพิเศษ อาจจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับให้ใกล้กับตำแหน่งที่จะเกิดอันตราย เพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับสามารถจับก๊าซเพลิงไหม้จากบริเวณนั้นโดยฉับพลัน

ข. การรวมตัวเป็นชั้น (Stratification) ผลกระทบที่เกิดจากการรวมตัวเป็นชั้นของก๊าซในระดับต่ำกว่าเพดาน ควรจะนำมาพิจารณาประกอบด้วย

2.3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตือนให้หนีไฟ (มาตรฐาน ว.ส.ท. 0001–29. พ.ศ. 2535.)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตือนไฟหรือป้องกันไฟมีหลายชนิด เช่น

"สัญญาณเตือนภัย" (Alarm Signal) หมายถึงสัญญาณแสดงสภาวะฉุกเฉินที่ต้องการปฏิบัติการตอบสนองทันที ในที่นี้สัญญาณเตือนภัยหมายถึงสัญญาณเตือนอัคคีภัย

"อุปกรณ์เตือนภัยเดี่ยว" (Single Station Alarm Device) ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์ส่งสัญญาณ รวมเข้าอยู่ด้วยกันเป็นชุดเดียว โดยทำงานจากแหล่งจ่ายไฟซึ่งอาจอยู่ในตัวของมันเอง หรือจากภายนอก

"อุปกรณ์เตือนภัยชุด" (Multiple Station Alarm Device) ประกอบด้วยอุปกรณ์เตือนภัยเดี่ยวตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป และต่อถึงกัน เมื่อชุดใดชุดหนึ่งทำงาน ทุกชุดจะส่งสัญญาณเตือน

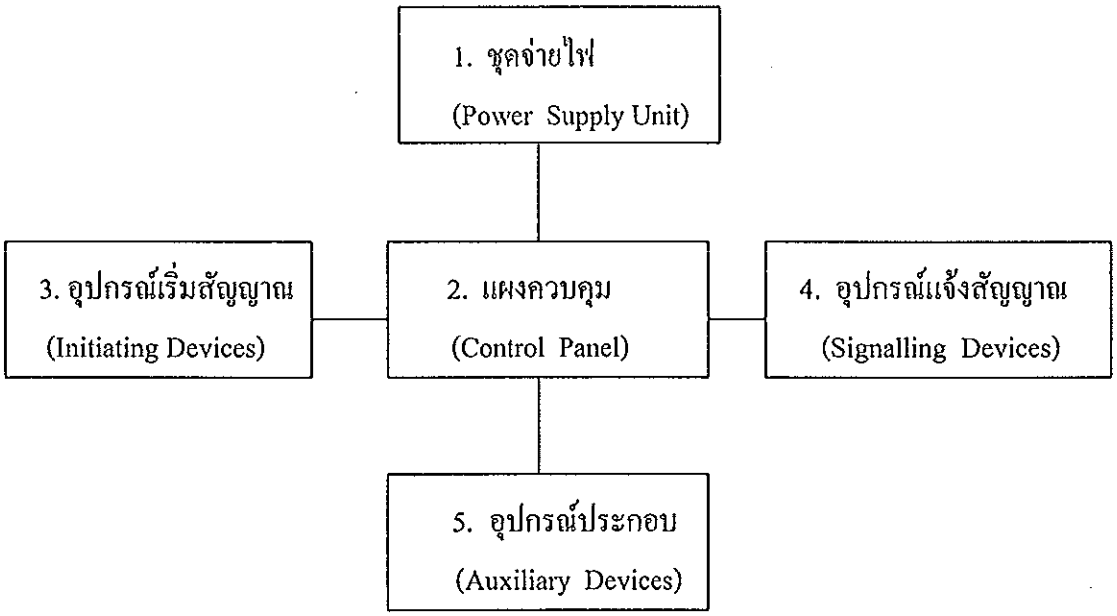
ภัยหรืออาจจะประกอบด้วยอุปกรณ์เตือนภัยเดี่ยวต่อกับอุปกรณ์ตรวจจับหลายชุด หรืออุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไหม้อื่น ๆ

"ระบบสัญญาณป้องกัน" (Protective Signalling System) หมายถึง วงจร เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยไฟฟ้าเพื่อส่งสัญญาณเตือนภัย สัญญาณตรวจคุมและสัญญาณขัดข้อง เพื่อผลในการป้องกันชีวิตและทรัพย์สิน

"การบำรุงรักษา" (Maintenance) ได้แก่ การตรวจสอบ ทดสอบและซ่อมระบบเป็นครั้งคราวเพื่อให้ระบบสัญญาณเตือนภัยพร้อมที่จะทำงานได้ตลอดเวลา รวมถึงการเปลี่ยนแปลงระบบหรือการเปลี่ยนชิ้นส่วนบางอย่างเมื่อระบบเกิดขัดข้อง

2.3.5.1 ส่วนประกอบของระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย 5 ส่วนใหญ่ ๆ ซึ่งทำงานเชื่อมโยงกัน ดังแสดงในแผนภาพ (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย

ที่มา : มาตรฐาน ว.ส.ท. 0001-29. พ.ศ. 2535.

ก. ชุดจ่ายไฟ (Power Supply Unit)

ชุดจ่ายไฟ เป็นอุปกรณ์แปลงกำลังไฟฟ้ากระแสสลับของแหล่งจ่ายไฟมาเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้ปฏิบัติงานของระบบ

ข. แผงควบคุม (Control Panel)

เป็นส่วนควบคุมและตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์และส่วนต่าง ๆ ของระบบทั้งหมด จะประกอบด้วยวงจรตรวจคุม วงจรทดสอบการทำงาน วงจรป้องกันระบบ วงจรสัญญาณแจ้งการทำงานในวาวะปกติ และภาวะขัดข้องของส่วนต่าง ๆ ของระบบ

ค. อุปกรณ์เริ่มสัญญาณ (Initiating Devices)

เป็นอุปกรณ์ต้นกำเนิดของสัญญาณเตือนอัคคีภัย ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด

- อุปกรณ์เริ่มสัญญาณจากบุคคล (Manual Station) ได้แก่ สถานีแจ้งสัญญาณเตือนอัคคีภัย แบบใช้มือดึง หรือกด (Manual-Pull or Push Station) หรือแบบทุบกระจก (Breakglass Station)
- อุปกรณ์เริ่มสัญญาณโดยอัตโนมัติ เป็นอุปกรณ์อัตโนมัติที่มีปฏิกิริยาไวต่อสภาวะ ตามระยะต่าง ๆ ของการเกิดเพลิงไหม้ ได้แก่ อุปกรณ์ตรวจจับควัน (Smoke Detector) อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector) อุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ (Flame Detector) สวิตซ์น้ำไหล (Water Flow Switch) ในท่อระบบพ่นน้ำ (Sprinkler) หรือท่อระบบดับเพลิง (Fire Hydrant) เป็นต้น

สัญญาณจากอุปกรณ์เริ่มสัญญาณมี 2 ประเภท คือสัญญาณธรรมดา (Non-Coded Signal) และสัญญาณรหัส (Coded Signal)

ง. อุปกรณ์แจ้งสัญญาณด้วยเสียงและแสง (Audible & Visual Signaling Devices)

เป็นอุปกรณ์แจ้งสัญญาณให้ผู้อยู่อาศัย ผู้รับผิดชอบ หรือเจ้าหน้าที่ดับเพลิงได้ทราบว่า มีเหตุเพลิงไหม้เกิดขึ้น ได้แก่ กระดิ่ง หวูด ไซเรน ไฟสัญญาณ เป็นต้น เสียงสัญญาณแจ้งเหตุอาจจะเป็นรหัส (Code) แจ้งตำแหน่งเกิดเหตุ หรือเป็นสัญญาณธรรมดาก็ได้

2.3.5.2 ประเภทของระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย

แบ่งเป็น 5 ประเภท คือ

ก. ระบบศูนย์เตือนอัคคีภัย (Central Station Fire Alarm System)

ระบบศูนย์เตือนอัคคีภัย เป็นระบบเดี่ยวหรือหลายระบบรวมกัน โดยสัญญาณจะถูกส่งเข้ามายังศูนย์และบันทึกเอาไว้ ตลอดจนการดูแลรักษา

และควบคุมจากศูนย์ โดยที่ศูนย์นี้จะมีผู้ควบคุม และมีผู้มีคุณสมบัติปฏิบัติงานอยู่ตลอดเวลา และมีหน้าที่รับสัญญาณที่ส่งเข้ามาเพื่อปฏิบัติการโดยฉับพลันภายใต้กฎที่ได้วางไว้ ระบบนี้ควบคุมและปฏิบัติการอย่างอิสระโดยบุคคลหรือบริษัท ซึ่งมีกิจการหลักในการให้บริการ ด้านบำรุงรักษาเกี่ยวกับระบบสัญญาณเตือนภัย และเป็นผู้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับทรัพย์สินที่ได้รับการป้องกันเหล่านั้นด้วย

ข. ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัยส่วนบุคคล (Proprietary Fire Alarm System) เป็นระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย ดำเนินงานโดยผู้เป็นเจ้าของทรัพย์สิน ซึ่งปฏิบัติงาน ณ ศูนย์ที่ตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกันกับทรัพย์สินที่ได้รับการคุ้มครองดูแลอยู่

ค. ระบบพ่วงสัญญาณเตือนอัคคีภัย (Auxiliary Fire Alarm System)

ระบบพ่วงสัญญาณเตือนอัคคีภัย เป็นระบบซึ่งจัดทำโดยบุคคลหรือบริษัท เป็นผู้ดูแลและบำรุงรักษา โดยติดตั้งอุปกรณ์เริ่มสัญญาณ (Alarm Initiating Device) ในสถานที่ที่จะได้รับการป้องกันอันตรายจากอัคคีภัย เมื่ออุปกรณ์เริ่มสัญญาณทำงานจะถ่ายทอดสัญญาณไปยังระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัยของเทศบาล เพื่อส่งต่อไปยังสถานีดับเพลิงหรือศูนย์ดับเพลิง

ง. ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัยภายใน (Local Fire Alarm System)

ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัยภายใน เป็นระบบส่งสัญญาณไปตามที่ต่าง ๆ ภายในอาคารหรือเคหะสถานที่ซึ่งได้รับการป้องกันเพื่อเตือนภัยแก่ผู้อยู่อาศัย

จ. ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย แบบสถานีทางไกล (Remote Station Fire Alarm System)

ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัยแบบสถานีทางไกล เป็นระบบที่ต่อโดยตรงระหว่างอุปกรณ์เริ่มสัญญาณ หรือตู้ควบคุมซึ่งติดตั้งอยู่ในสถานที่ป้องกันอัคคีภัย กับอุปกรณ์แจ้งสัญญาณ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่สถานีดับเพลิง สถานีตำรวจ หรือสถานที่อื่นที่ได้รับการเห็นชอบ

ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย อาจมีระบบแจ้งตำแหน่งกำเนิดสัญญาณโดยการใช้สัญญาณแจ้งเหตุแบบมีรหัส หรือแสดงด้วยชุดแจ้ง

เหตุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการใช้งานอุปกรณ์หรือระบบที่ใช้วัสดุหรือรูปแบบซึ่งแตกต่างไปจากที่กล่าวนี้ หากได้รับการตรวจสอบและทดสอบตามมาตรฐานแล้วว่ามีคุณสมบัติเทียบเท่า ก็อาจจะได้รับการเห็นชอบให้ใช้ได้

2.4 โครงสร้างของอาคารที่เกี่ยวข้องกับการหนีไฟ

โครงสร้างของอาคารที่เกี่ยวข้องกับการหนีไฟ เช่นประตู ทางเดิน บันได (รูปที่ 2.5) เป็นโครงสร้างที่ต้องมีเพื่อให้ระบบการติดต่อกันภายในอาคารเป็นไปโดยสะดวก ระบบการติดต่อ (Circulation) ของอาคารโดยทั่วไป จะสามารถแบ่งการติดต่อระหว่างกันได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.4.1 การติดต่อในทางพื้นราบ (ต่อพงศ์ ยมนาค. 2523.)

เป็นการติดต่อในทางราบหรือห้องต่อห้อง ในพื้นที่มีระดับเดียวกัน การติดต่อนี้กระทำได้โดยทางเชื่อม (Passage Way หรือ Corridor) การติดต่อในทางพื้นที่มีระดับเดียวกันนี้ ไม่ค่อยมีส่วนเกี่ยวกับอัตราการเดินของหัวใจมากนัก เพราะเป็นการเดินในทางราบเหมือนเดินในส่วนของอาคารทั่วไป ยกเว้นทางเดินต่างระดับ

2.4.2 การติดต่อระหว่างชั้น (ต่อพงศ์ ยมนาค. 2523.)

เมื่อมีการเปลี่ยนระดับของพื้นระหว่างชั้น หรือเปลี่ยนระดับภายในชั้น สิ่งก่อสร้างที่มาช่วยให้เกิดการติดต่อกันได้มีหลายอย่าง เช่น บันได และทางลาด ประเภทต่าง ๆ ของบันได คือ

2.4.2.1 บันได (Stairs) ประกอบด้วยลูกตั้ง (Riser) และลูกนอน (ขั้นเหยียบ) (Tread) เปลี่ยนระดับการเดินโดยความสูงของลูกตั้ง บันไดโดยทั่วไปจะมีความเอียงลาดชัน ตั้งแต่ 20 องศา จนถึง 45 องศา

2.4.2.2 บันไดลิง (Ladders) บันไดชนิดนี้ไม่ค่อยนิยมใช้กันมากนัก เนื่องจากขึ้นลงลำบาก เพราะชัน ส่วนมากใช้กับการติดต่อซึ่งต้องการให้มีบันไดแต่ไม่ต้องการใช้เนื้อที่มากนัก เช่น ภายในโรงงาน เรือ บันไดหนีไฟ บันไดชนิดนี้ไม่ควรทำช่วงยาวมากเกิน 4 เมตร หากสูงกว่านี้ จำเป็นต้องมีสิ่งก่อสร้างป้องกันการตก และควรมีราวบันไดทั้ง 2 ข้าง ความชันของบันไดชนิดนี้เริ่มตั้งแต่ 75 องศาขึ้นไป ถึง 90 องศา

2.4.2.3 ลิฟท์ (Elevators) เป็นการติดต่อขึ้นลงในทางดิ่ง เป็นห้องที่ใช้เคลื่อนที่ได้โดยระบบอิเล็กทรอนิก บังคับให้ขึ้นลง และหยุด ปล่องลิฟท์นี้จำเป็นต้องมีโครงสร้างป้องกันไฟและแข็งแรง

2.4.2.4 บันไดเลื่อน (Escalators) ลักษณะเหมือนบันได แต่ทั้งลูกตั้งและลูกนอนสามารถเลื่อนไปเองได้ด้วยระบบรอกและมอเตอร์ไฟฟ้าบังคับ

2.4.2.5 ทางลาด (Ramps) เป็นทางติดต่อระหว่างพื้นถึงพื้นผิวที่มีระดับความแตกต่างเพียงเล็กน้อย ใช้แทนการขึ้นบันได ระบบทางลาดนี้ออกกำลังน้อยในการเดิน แต่กินเนื้อที่มากกว่าบันไดธรรมดาทั่วไป

2.4.3 ขนาดความกว้างของบันไดและความสูงเหนือศีรษะ (ต่อพงศ์ ยมนาค. 2523.)

ความกว้างของบันไดสำหรับการขึ้นลงและใช้สำหรับอาคารนั้นตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ได้กำหนดความกว้างของบันไดสำหรับอาคารที่พักอาศัย ต้องมีขนาดกว้างไม่น้อยกว่า 90 เซนติเมตร และสำหรับอาคารสาธารณะ อาคารพาณิชย์ต้องกว้างไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร ความสูงเหนือศีรษะในขณะเดินขึ้นลง วัดตั้งแต่ลูกตั้งถึงสิ่งก่อสร้างที่อยู่ข้างศีรษะจะเป็นฝ้าเพดานหรือฝ้าเพดานบันได หรือ แนวคาน ให้มีความสูงอย่างน้อยระหว่าง 1.95 ถึง 2.10 เมตร

2.4.4 ขนาดและส่วนต่าง ๆ ของบันได (ต่อพงศ์ ยมนาค. 2523.)

ขนาดและส่วนต่าง ๆ ของบันได มีดังต่อไปนี้

2.4.4.1 ลูกนอน (Tread) หรือขั้นเหยียบ ลูกนอนบันไดทำจากวัสดุต่าง ๆ ได้หลายชนิด เช่น ไม้ คอนกรีต และปูวัสดุทับ เช่นกระเบื้องยาง กระเบื้องเซรามิก หรือพรม สำหรับลูกนอนที่เป็นไม้ และความกว้างของบันไดขนาดธรรมดาสำหรับบ้านพักอาศัย ความหนาของไม้จะต้องไม่น้อยกว่า 2 นิ้ว ความกว้างขึ้นอยู่กับสัดส่วนของบันได ลูกนอนบันไดที่เป็นไม้จะเป็นไม้พิเศษ เลื่อยเฉพาะทำบันได ไม่มีวางขายตามท้องตลาดทั่วไป ส่วนของลูกนอนบันไดที่ยื่นเลยออกมาจากลูกตั้ง (Riser) เรียกว่าจมูกบันได (Nosing) ความยาวที่ยื่นออกมานี้ประมาณ 1 นิ้ว ส่วนของจมูกบันได หากเป็นจมูกบันไดไม้ควรบากตรงปลายจมูกบันไดออกให้เป็นลักษณะเฉียง 45 องศา หรือทำเป็นรูปมนเพื่อให้เวลาดูจะได้เกิดความรู้สึกไม่หนักเทอะทะ สำหรับจมูกบันไดที่เป็นบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น จำเป็นจะต้องมีวัสดุกันลื่นติดอยู่ตรงจมูกบันไดด้วย เช่น จมูกบันไดยางสำเร็จรูป อลูมิเนียม หรือจมูกบันได

กระเบื้องเซรามิก เป็นต้น ความยาวของลูกนอนทั้งหมดหักความยาวของจมูกบันไดออก ในส่วนที่เหลือเรียกว่า Run ความกว้างของลูกนอนควรมีขนาดกว้างพอให้เหยียบได้สบาย และเต็มเท้า มิฉะนั้นหากลูกนอนแคบเวลาเดินขึ้นจะสามารถเดินขึ้นได้ไม่ค่อยสะดวกนัก ถึงเวลาตอนเดินลงปลายเท้าจะเลยขั้น ส่วนที่สัมผัสกับลูกนอนคือส้นเท้า ซึ่งผิดธรรมชาติ การเดินลงของคนจะทำให้ตกบันไดได้ง่ายไม่น่าทำอย่างยิ่ง ลูกนอนควรเป็นจำนวนคี่เสมอ

2.4.4.2 ลูกตั้ง (Riser) หรือฝังขั้น เปลี่ยนระดับความสูง ระยะความสูงของลูกตั้งจะต้องมีระยะเท่ากับสม่ำเสมอ เท่ากันทุกก้าวตลอดบันไดทั้งช่วง หรือช่วงบันไดที่ติดต่อกันทั้งหมด จำนวนขั้นแต่ละช่วงไม่จำเป็นต้องเท่ากันเสมอ ตามปกติแล้วหากเป็นลักษณะของบันไดพับกลับ (Dog-Leg) ช่วงแรกควรมีน้อยกว่าช่วงหลังจากมีชานพักบันไดแล้ว หรืออย่างมากที่สุดควรมีเท่ากัน ไม่นิยมทำช่วงแรกมากกว่าช่วงหลัง บันไดบางชนิดไม่มีลูกตั้งเรียกว่าบันไดโปร่ง (Open-Riser Stair) โดยลูกตั้งวางอยู่บนแม่บันได (String) โดยการเจาะร่องและเดือย หรือมีฟูกมารับลูกนอนอีกทีหนึ่ง ขนาดของไม้ลูกตั้งเล็กกว่าไม้ลูกนอนเท่าที่ใช้กันมากคือ ตั้งแต่ 1 นิ้วจนถึง 1.5 นิ้ว แล้วแต่ความกว้างของบันได ลูกตั้งนี้ทำหน้าที่รับน้ำหนักจากลูกนอนด้วย ตั้งแต่เลยแม่บันไดไป การทำบันไดที่ดีควรมีการเข้าลิ้นร่องอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดรอยต่อเห็นชัด ไม้ที่มาอุดร่องรอยต่อของลูกนอนกับลูกตั้งตรงจมูกบันได เรียกว่าบัวไม้ปิดรอยต่อลูกตั้ง (Scotia) ในลักษณะของบันไดทึบธรรมดา มักจะมีไม้สามเหลี่ยมเป็นแบบสำหรับวางลูกตั้งลูกนอนเป็นแบบตั้งบนแม่บันได เป็นไม้จัดมุมบันได ก่อนการวางลูกตั้งลูกนอนเรียกว่า พุกไม้รับขั้นบันได

2.4.4.3 ราวบันได (Hand Rail or Grab Rail) ราวบันไดทำหน้าที่สำหรับจับหรือยึดเมื่อเวลาเดินขึ้นหรือลง ปกติราวบันไดจะมีความสูงตั้งแต่ 80 ซม. ถึง 90 ซม. ราวบันไดสำหรับบันไดที่ใหญ่และการขึ้นลงของคนจำนวนมาก ควรมีราวบันไดทั้ง 2 ข้าง ราวบันไดยังแบ่งได้เป็นชนิดดังต่อไปนี้

ก. ราวบันไดไม้ ตามที่กล่าวแล้วว่าราวบันไดทำหน้าที่สำหรับจับหรือยึดเมื่อเวลาขึ้นหรือลงบันได ราวบันไดไม้จึงมีได้หลายลักษณะแตกต่างกันออกไปแล้วแต่การออกแบบ เช่น ใช้ไม้ตั้ง ไม้นอน หรือกลม ขนาดของราวในส่วนที่จับต้องมีขนาดจับได้มั่นคงไม่ใหญ่เกินไป และเล็กเกินไป

จนรู้สึกว่าไม่แข็งแรง ส่วนมากมักจะเป็นรูปมนเพื่อให้จับสบายมือ ราวบันไดจะติดตั้งอยู่กับลูกกรงบันไดที่เป็นไม้ หรือเหล็กแล้วแต่การออกแบบ หากเป็นการใช้ตั้งทำเป็นราวบันได จะได้ความแข็งแรงดี ลูกกรงไม่ต้องมาก แต่หากใช้ช่วงของลูกกรงห่างมาก ราวชนิดนี้อาจบิดโก่งได้ จึงจำเป็นต้องมีเหล็กแผ่นดาม หรือยึดไว้ใต้ราวบันได ตลอดความยาวของราว เจาะรูเหล็ก ยึดตาปูเกลียวเป็นระยะสำหรับยึดไม้ราวบันไดกับลูกกรงไว้ให้แข็งแรงไม่สั่นคลอน การออกแบบราวบันไดชนิดนี้ลูกกรงไม่มากนักและดูเบาสวยงามดี

ขนาดของราวบันไดไม้ตั้ง ใช้ขนาดตั้งแต่ 1.5 นิ้ว ถึง 2 นิ้ว ความลึกแล้วแต่ความเหมาะสมและขนาดของบันไดอาจใช้ตั้งแต่ไม้ 4 นิ้ว ถึง 8 นิ้วก็ได้ การออกแบบบันไดหรือการก่อสร้างบันไดนั้น ปัญหาที่เกิดส่วนใหญ่ในการก่อสร้างก็คือขั้นแรกมักจะมีความสูงไม่เท่ากับขั้นอื่น ๆ ซึ่งมีความสูงเท่ากันทุกขั้น เป็นเพราะการแบ่งที่ไม่ลงตัว หรือการผิดพลาดประการอื่น พบได้เสมอกับอาคารทั่วไป การเดินขึ้นจะไม่ค่อยรู้สึกแตกต่างในเรื่องของความสูงเท่าใดนัก แต่ในตอนขาลงเมื่อถึงขั้นสุดท้ายความสูงมักจะน้อยกว่าหรือมากกว่าปกติ ทำให้เกิดความรู้สึกเรื่องความสูงไม่เท่ากัน เกิดสะดุดและชะงัก ซึ่งไม่น่าจะเป็นอย่างนั้นอย่างยิ่ง ความสูงของลูกตั้งควรเท่ากันตลอดและสม่ำเสมอ ไม่ว่าจะติดต่อกันไปกี่ขั้นก็ควรสม่ำเสมอไม่มีการทำแบบสูงบ้างต่ำบ้างไม่เท่ากันแต่ละขั้น

ปัญหาที่เกิดขึ้นอีกประการหนึ่งก็คือ ความสูงของพื้นเหนือศีรษะตรงบันไดทางขึ้นมักจะต่ำเฉียดศีรษะ หรือเวลาขึ้นลงต้องคอยก้มศีรษะหลบ การออกแบบเช่นนี้ถือเป็นการผิดพลาดอย่างมาก ต้องเว้นความสูงไว้อย่างน้อย 1.90 ซม. ทั้งการเดินทางราบหรือขณะขึ้นลงบันได

ช. ลูกกรงราวบันได (Balasters) คือ ส่วนที่รับราวบันไดที่เป็นส่วนรับราวบันไดทั้งหมด คือราวบันได ลูกกรง แม่บันได หรือลูกนอน เรียกว่า Balustrade ลูกกรงราวบันไดสามารถทำได้จากวัตถุหลายชนิด เช่นไม้ อลูมิเนียม เหล็กโปร่งหรือตัน ฯลฯ เพื่อทำหน้าที่รับราวบันไดให้แข็งแรงแน่นหนา ลูกกรงราวบันไดซึ่งติดตั้งอยู่ลอยโดยไม่มีผนัง มักจะติดตั้งลูกกรงที่ลูกนอนบันได หรือแม่บันได หากมีผนังอยู่ด้านข้างสามารถจะฝังหรือยึดลูกกรงเข้ากับผนังนั้นได้ ก็ไม่ จำเป็นต้องลงถึงพื้นทำการฝังกับ

ผนังนั้นเสียเลย โดยการฝังพุกหรือเสียบเหล็กหางปลาลงในพุก ค.ส.ล. แล้วยื่นเหล็กออกมาเพื่อรับราวลูกกรงนั้น แต่จะต้องระวังให้มีเมื่อติดตั้งเหล็กที่ยื่นออกมาจากผนังเพื่อรับราวบันไดแล้ว ไม่ต้องเกะกะหรือถูกมือเมื่อคนจับเดินขึ้นลง

2.4.5 ลักษณะและชนิดต่าง ๆ ของบันได (ต่อพงศ์ ยมนาค. 2523.)

2.4.5.1 บันไดช่วงเดียว(Straight Flight) เป็นบันไดตรงช่วงเดียวที่ไม่มีชานพักบันได บันไดประเภทนี้ตามข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร กำหนดให้มีความสูงของช่วงได้ไม่เกิน 3 เมตร และ 4 เมตร สำหรับอาคารสาธารณะ

2.4.5.2 บันไดลอย (Open Tread) เป็นบันไดที่ไม่มีลูกตั้ง มีเฉพาะแม่บันไดและลูกนอน ลูกกรง และราวบันได สามารถทำได้ทั้งบันไดไม้ และคอนกรีตเสริมเหล็ก ลักษณะการนำมาใช้ได้ผลในด้านความรู้สึกว่าเบาและไม่เกะกะเนื้อที่ไม่มีห้องใต้บันได ไม่กั้นลม

2.4.5.3 บันไดพับกลับ (Dog Leg) เป็นบันไดที่มีชานพัก ทิศทางของการขึ้นเมื่อถึงชานพักแล้วจะกลับขึ้นอีกสวนกับการขึ้นก่อนถึงชานพัก

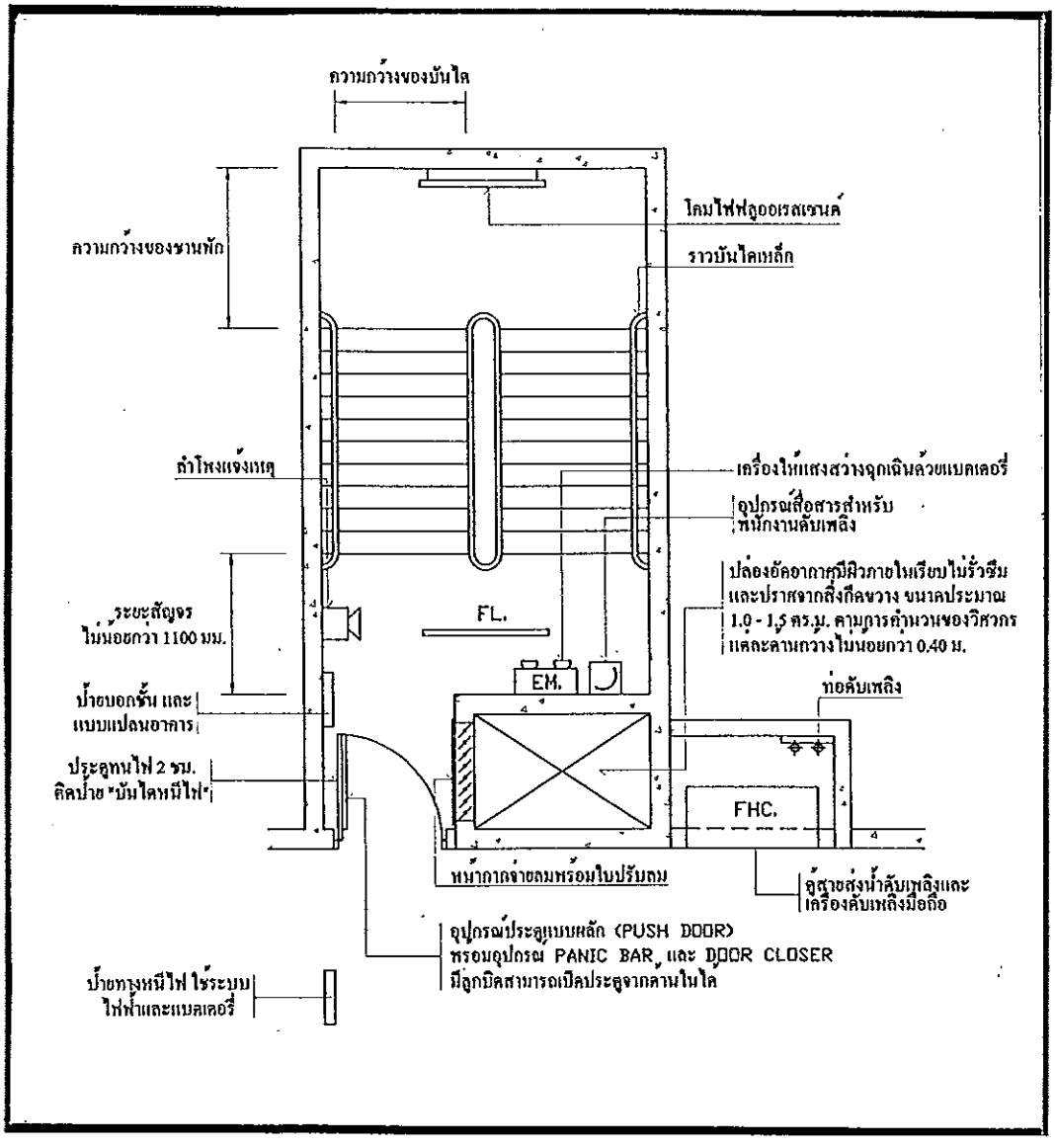
2.4.5.4 บันไดช่องแสง (Open Well) ลักษณะของบันไดชนิดนี้มีลักษณะคล้ายบันไดพับกลับมาก คือมีชานพัก แต่ตรงชานพักของบันไดช่องแสงนี้ ยาวกว่าช่องว่างตรงกลางมาก เพื่อเป็นช่องให้แสงสว่างลงมาตรงกลาง ให้ความสว่างกับบันได บันไดชนิดนี้ส่วนมากมักจะเจาะช่องให้แสงจากส่วนบนสุดของหลังคาให้ลงมาตรงช่องกลางนี้ ในกรณีที่ไม่สามารถให้แสงจากทางอื่นได้ หรือเป็นได้ซึ่งมีความสูงมาก เมื่อเดินขึ้นช่วงหนึ่งแล้ว สามารถเดินพักเป็นระยะทางยาวที่ชานพักให้บรรเทาอาการเหนื่อยแล้วจึงขึ้นไปอีกช่วงหนึ่ง ช่วยทำให้ไม่เบื่อและไม่เหนื่อยมาก

2.4.5.5 บันไดโค้ง (Geometric) ส่วนมากเป็นบันไดใหญ่ มีความสวยงามและใช้เนื้อที่มาก เป็นบันไดโค้งและในบางโอกาสไม่มีชานพักเลยก็ได้

2.4.5.6 บันไดเวียน (Spiral Stair) สามารถทำได้ทั้งบันไดคอนกรีตหล่อกับที่หรือหล่อสำเร็จ (Prefabrication) และเหล็ก บันไดเวียนนี้นิยมใช้มากกับสถานที่แคบ ๆ และมีเนื้อที่ทำบันไดน้อย ขนาดของบันไดเวียนไม่ควรจะใหญ่มากนัก ไม่ควรมีรัศมีเกิน 1.50 เมตร เนื่องจากยิ่งกว้างมาก ความกว้างลูกนอนจะต้องมากขึ้นไป หาสิ่งที่จะมาทำลูกนอนยาก การขึ้นลงในส่วนที่กว้างนั้นไม่

สบาย หากกว้างมากจะต้องย่ำเท้าอยู่ที่ลูกนอนถึง 2 ครั้ง แล้วจึงก้าวขึ้นครั้งที่หนึ่ง ไม่สะดวกและฝืนความรู้สึกของการขึ้นบันได ส่วนมากผู้ขึ้นบันไดมักจะเดินชิดริมเสา ซึ่งความกว้างของลูกนอนสะดวกสบายในการขึ้นลง

2.4.5.7 บันไดหนีภายในอาคาร ที่มีระบบอัดอากาศภายในบันได สำหรับอาคารสูงที่มีบันไดหนีไฟเป็นบันไดหนีไฟชนิดอยู่ภายในอาคาร ตามรูปที่ 2.2



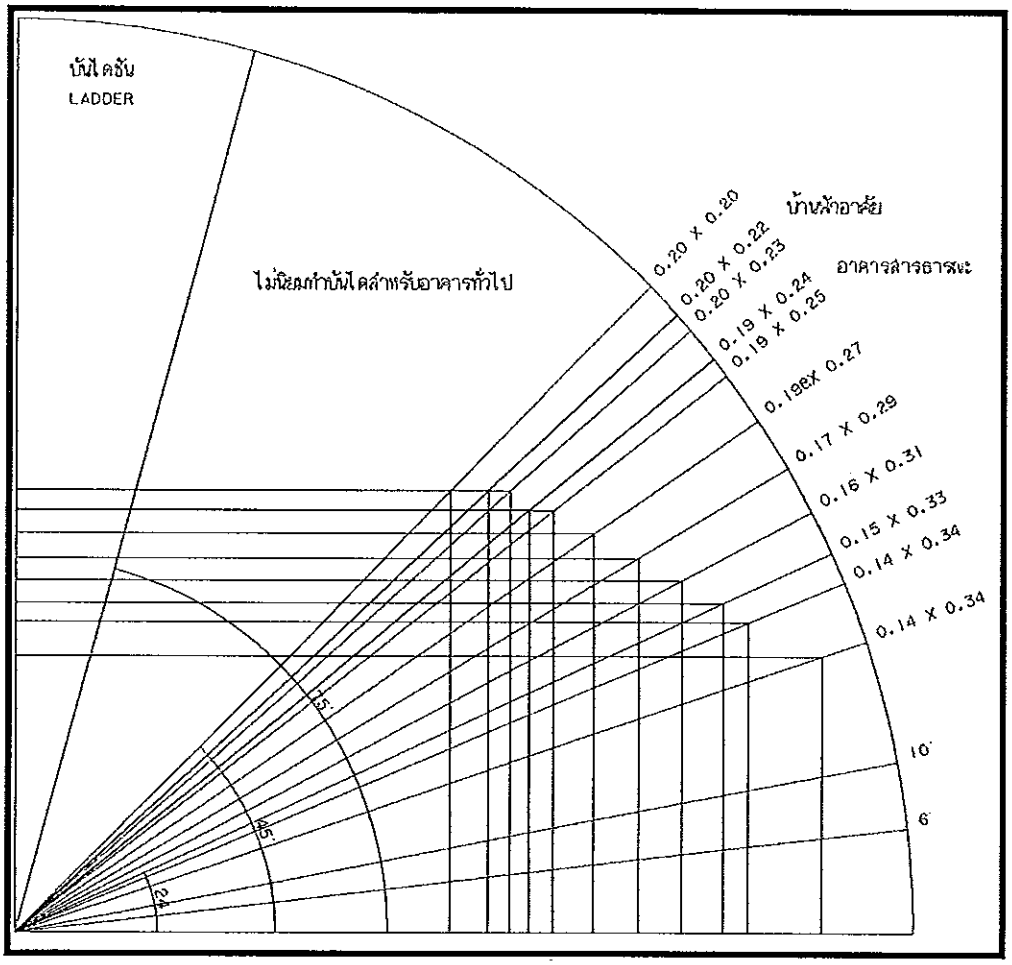
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการจัดวางบันไดหนีไฟภายในอาคารที่มีระบบอัดอากาศภายในบันได

ที่มา : มาตรฐาน ว.ส.ท.3002-40. พ.ศ. 2540.

2.4.6 สัดส่วนของลูกตั้งลูกนอนบันได (ต่อพงศ์ ยมนาค. 2523.)

สัดส่วนของลูกตั้งลูกนอนจะต้องมีสัดส่วนกันอย่างดี บันไดบางแห่งเมื่อเวลาเดินขึ้นลงแล้วมีความรู้สึกสบาย บางแห่งเกิดความรู้สึกเมื่อยและเหนื่อย สิ่งเหล่านี้เกิดจากการออกแบบและกำหนดสัดส่วนของลูกตั้งลูกนอนที่เหมาะสมหรือผิดพลาด สัดส่วนความกว้างของลูกนอนกับความสูงของลูกตั้ง จะเกิดเป็นมุมองศาต่าง ๆ เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า องศาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากสัดส่วนดังกล่าวได้แบ่งไว้ดังต่อไปนี้

ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 20 องศา เหมาะสำหรับทำทางลาด (Ramps) ซึ่งแบ่งออกเป็นทางลาดซึ่งลาดมาก คือ จาก 0 องศา ถึง 6 องศา จาก 6 องศา ถึง 10 องศา เป็นทางลาดชันปานกลาง และจาก 10 องศา ถึง 20 องศา เป็นทางลาดซึ่งชันมาก



รูปที่ 2.3 มุมของแม่บันไดกับสัดส่วนของลูกตั้งลูกนอนขนาดต่าง ๆ

ที่มา : ต่อพงศ์ ยมนาค. พ.ศ. 2523.

จาก 20 องศา ถึง 24 องศา เหมาะสำหรับทำบันไดนอกอาคารหรือบันไดเฉลียง

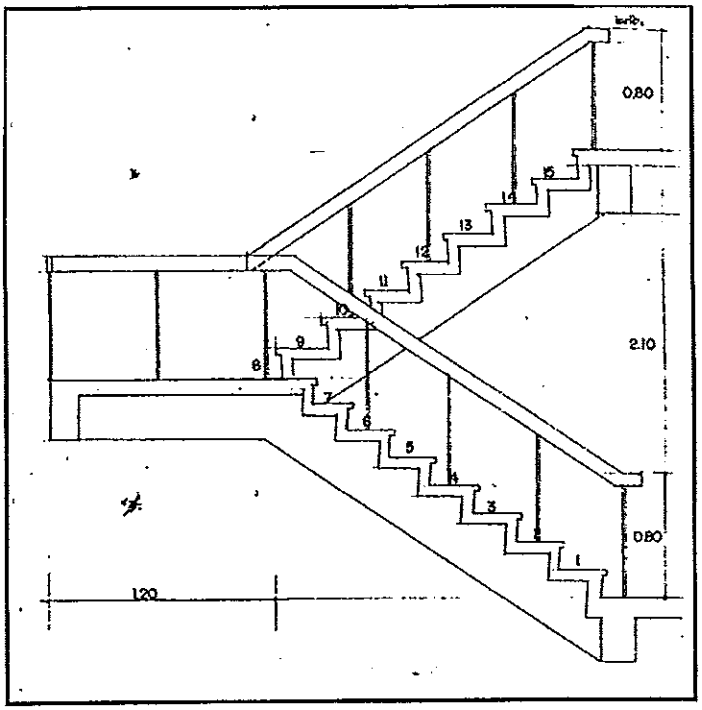
จาก 20 องศา ถึง 45 องศา สำหรับบันไดอาคารที่พักอาศัยหรืออาคารพาณิชย์และถือว่าบันไดซึ่งมีลูกตั้ง 20 เซนติเมตร และลูกนอน 23 เซนติเมตร เป็นบันไดซึ่งมีความชันมากและไม่น่าใช้

จาก 45 องศา ถึง 75 องศา ไม่นิยมนำมาทำบันไดอาจจะเป็นบันไดลิงแต่ก็ไม่นิยมใช้กันมากนัก

จาก 75 องศา ถึง 90 องศา นิยมทำบันไดลิงกันมาก เป็นองศาที่ชันมาก

หรืออีกกรณีหนึ่ง นำสัดส่วนของลูกตั้ง ลูกนอนมาพิจารณาสัดส่วน จะเห็นได้ว่าบันไดที่ดีนั้น ลูกนอนจะต้องใหญ่และยาวกว่าลูกตั้งเสมอ เมื่อลูกนอนกว้างมากขึ้น ลูกตั้งจะต้องมีขนาดลดลงเสมอ ตามหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

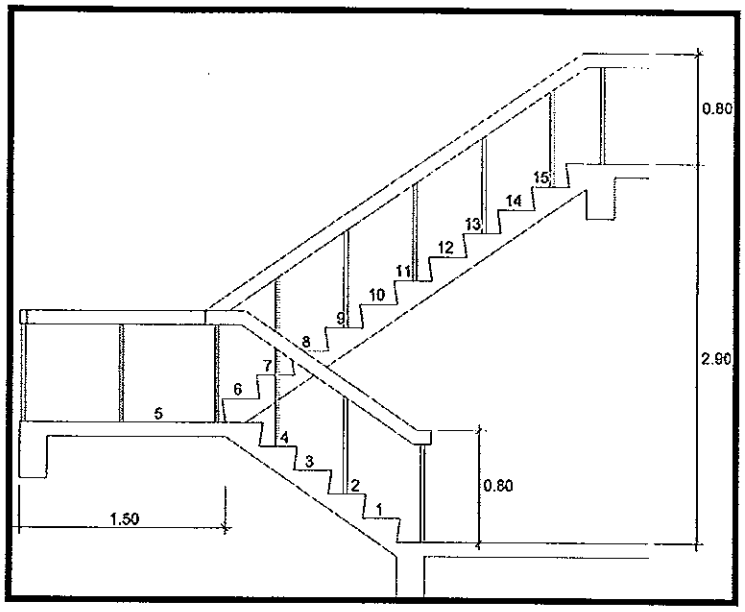
2.4.6.1 ผลบวกของลูกตั้งและลูกนอนไม่รวมจมูกบันได (รูปที่ 2.4) จะต้องไม่น้อยกว่า 17 นิ้ว หรือ 42.5 ซม. และไม่มากกว่า 18 นิ้ว หรือ 45 ซม.



รูปที่ 2.4 แบบขยายบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กพับผ้า

ที่มา : ต่อพงศ์ ยมนาค. พ.ศ. 2523.

2.4.6.2 สองเท่าของลูกตั้งและลูกนอน (Tread) จะต้องไม่น้อยกว่า 24 นิ้ว หรือ 60 ซม. และไม่มากกว่า 25 นิ้วหรือ 62.5 ซม. (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 แบบขยายบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กห้องแบน

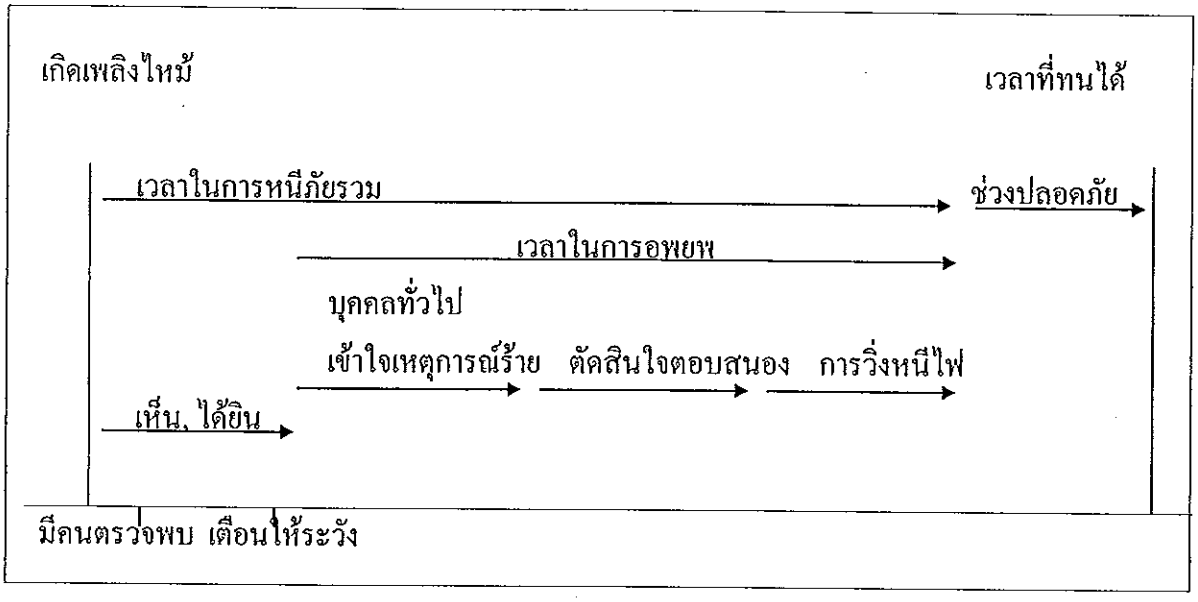
ที่มา : ต่อพงศ์ ยมนาค. พ.ศ. 2523.

2.5 เวลาที่ใช้ในการอพยพคน

การคำนวณหรือออกแบบเวลารวมที่ใช้ในการอพยพคนเพื่อหนีภัย เช่น หนีไฟออกจากอาคารว่าจำเป็นจะต้องใช้เวลาเท่าใดในการหนีไฟนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อัตราความเร็วของการเดินหรือวิ่งของคน ความหนาแน่นของคน พื้นที่อาคาร จำนวนคน จำนวนชั้น เวลาตั้งแต่เกิดเหตุเพลิงไหม้ เวลาที่ตรวจพบ เวลาที่มีการแจ้งข่าวให้ทราบ เวลาที่ใช้ในการตัดสินใจ และเวลาในการวิ่งหนีไฟ ดังรูปที่ 2.6 ในกรณีการศึกษาครั้งนี้ ศึกษาเฉพาะช่วงเวลาที่ใช้ในการวิ่งหนีไฟออกจากอาคารในสภาวะการณ์ที่ยังควบคุมสติสัมปชัญญะได้คือยู่เท่านั้น สำหรับสภาวะการณ์ที่เป็นช่วงสับสนควบคุมสติไม่ได้ยังไม่ได้ทำการวิจัย (S. J. Melinek, and S. Booth. 1975.)

การศึกษาวิจัยเรื่องเวลาที่ใช้ในการหนีไฟในอาคาร-กรณีประเทศไทยนี้ เป็นการศึกษา ถึงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนตัวหรืออพยพคนตามทางหนีภัยในอาคาร ทั้งทางราบ ทางประตู และทางบันไดที่สามารถอพยพหรือระบายคนออกจากอาคารได้หมด

การวิจัยนี้จะทำการวิจัยโดยใช้หลักการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับหลักการออกแบบการจราจรบนถนน โดยเปรียบเทียบการเดินหรือวิ่งของผู้คนที่อาศัยอยู่ในอาคารเสมือนกับการแล่นของยานพาหนะบนถนน เปรียบเทียบการระบายผู้คนต่อช่องทางหนีภัยเสมือนกับการระบายยานพาหนะบนถนนต่อช่องจราจร ดังนั้นหัวข้อที่จะต้องคำนึงถึงต่อไปคือหลักการจราจร



รูปที่ 2.6 ช่วงเวลาต่าง ๆ ตั้งแต่เกิดไฟไหม้ในอาคาร

ที่มา : James A. Milke. 1998.

2.6 ทฤษฎีการไหลของการจราจร

เมื่อพิจารณาพาหนะทุกชนิดพร้อม ๆ กันแล้ว จะมีลักษณะคล้ายกับการไหลของของเหลว โดยถนนทำหน้าที่คล้ายท่อเพื่อระบายพาหนะ เนื่องจากท่อขนาดหนึ่งมีความสามารถจำกัดในการขนถ่ายของเหลว ถนนสายหนึ่ง ๆ ก็มีขีดจำกัดในการระบายจำนวนพาหนะ เช่นกัน ขีดจำกัดนี้เรียกว่า ความจุของถนน ส่วนการไหลของการจราจรบนถนนนั้น จะมีลักษณะโดยเฉพาะสำหรับกระแสการจราจรแต่ละสาย ตัวแปรที่บอกลักษณะต่าง ๆ นี้ที่สำคัญมีอยู่สามตัว คือ ความเร็ว ปริมาณการไหล และความหนาแน่น ตัวแปรบอกลักษณะที่สำคัญอีกตัวคือ ช่วงห่างระหว่างรถ การไหลของการจราจร จะมีทิศทางของการไหลตามความยาวของถนน เพราะฉะนั้นกระแสการจราจรจึงไหลหรือเคลื่อนตัวในลักษณะคล้ายเส้นตรง และแบ่งแยกออกได้หลาย ๆ เส้นตามจำนวนช่องจราจรบนถนนสายนั้น ๆ (จักรกริศน์ ถนกกันฑพงษ์. 2523.)

ตัวแปรทั้งสามของกระแสจราจรคือปริมาณ (Volume) ความเร็ว (Speed) และความหนาแน่น (Density) ต่างก็เป็นตัวแปรที่วิศวกรได้พยายามทำการศึกษาค้นคว้าที่จะพัฒนาหาความสัมพันธ์เชิงทฤษฎี เพื่อนำมากำหนดลักษณะต่าง ๆ ของกระแสการจราจรและเพื่อคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้น ตัวแปรเหล่านี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจในทฤษฎีกระแสจราจร เนื่องจากปริมาณซึ่งบางครั้งก็เรียกว่าการไหล (Flow) เป็นตัวที่ใช้อธิบายจำนวนยวดยานที่เคลื่อนที่ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกับความหนาแน่นแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งบางครั้งก็เรียกกันว่า แผนภาพมูลฐานของการจราจรบน

ถนน เมื่อปริมาณหรือการไหลเพิ่มขึ้นความหนาแน่นก็จะเพิ่มขึ้นด้วยจนกระทั่งถึงจุดความหนาแน่นวิกฤติ หรือการไหลสูงสุด หลังจากจุดนี้ไปแล้วปริมาณหรือการไหลจะลดลงแม้ว่าความหนาแน่นจะยังคงเพิ่มขึ้นต่อไปอีก (วัชรินทร์ วิทยกุล. 2539.)

กรีนชิลด์ (Greenshield) ได้ตั้งสมมุติฐานแบบจำลองเชิงเส้นสำหรับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่นในปี ค.ศ.1935 โดยจัดข้อมูลเชิงประสบการณ์ให้เหมาะสมด้วยการใช้วิธีค่ายกกำลังสองน้อยที่สุด(Least-Squares Method) ได้แบบจำลองเชิงเส้นที่เหมาะสมคือ

$$U_s = U_f - \frac{U_f D}{D_j} \quad \text{.....(2.6.1)}$$

เมื่อ U_s คือความเร็วที่จุดใด ๆ

U_f คือความเร็วที่การไหลอิสระ

D และ D_j คือความหนาแน่นและความหนาแน่นแออัดตามลำดับ

เนื่องจากปริมาณการไหล คือ $V = U_s D$ จะได้ว่า

ดังนั้น $$\frac{dV}{dD} = U_f(1 - 2\frac{D}{D_j})$$

ค่าความหนาแน่นที่เกิดขึ้นเมื่อการไหลสูงสุด เรียกว่า D_m หาได้จากตั้งสมการข้างต้นเท่ากับศูนย์แล้วแก้สมการดังนี้ $$0 = U_f(1 - 2\frac{D_m}{D_j})$$

เนื่องจาก U_f ไม่เท่ากับศูนย์ จะได้ว่า $2\frac{D_m}{D_j} = 1$ นั่นคือ $D_m = \frac{D_j}{2}$ .....(2.6.2)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความหนาแน่นที่ปริมาณมีค่าสูงสุดจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนาแน่นแออัดนั่นเอง

ในทำนองเดียวกันแทนค่า $D = \frac{V}{U_s}$ ในแบบจำลองของกรีนชิลด์ จะได้ว่า

$$U_s = U_f - \frac{U_f V}{D_j U_s}$$

$$U_s^2 = U_f(U_s - \frac{V}{D_j})$$

$$\frac{V}{D_j} = U_s - \frac{U_s^2}{U_f}$$

$$V = D_j(U_s - \frac{U_s^2}{U_f})$$

$$\frac{dV}{dU_s} = D_j(1-\frac{2U_s}{U_f})$$

ความเร็วที่ปริมาณมีค่าสูงสุดเรียกว่า U_m จะเกิดขึ้นเมื่อตั้งสมการเท่ากับศูนย์

ดังนั้น $$0 = D_j(1-\frac{2U_m}{U_f})$$

เนื่องจาก D_j ไม่เท่ากับศูนย์ จะได้ว่า

$$\frac{2U_m}{U_f} = 1$$

ดังนั้น $$U_m = \frac{U_f}{2} \quad \text{.....(2.6.3)}$$

นั่นคือสรุปได้ว่าความเร็วที่การไหลสูงสุดจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความเร็วภายใต้สภาพการไหลอิสระ ดังนั้นอัตราการไหลสูงสุด (V_m) สามารถคำนวณจากความสัมพันธ์ขั้นพื้นฐาน

$V = U_s D$ แทนค่าได้ $V_m = U_m D_m$

หรือใช้ค่าจากสมการ (2.6.2) และสมการ (2.6.3) มาแทนค่าได้

$$V_m = \left(\frac{U_f}{2}\right)\left(\frac{D_j}{2}\right)$$

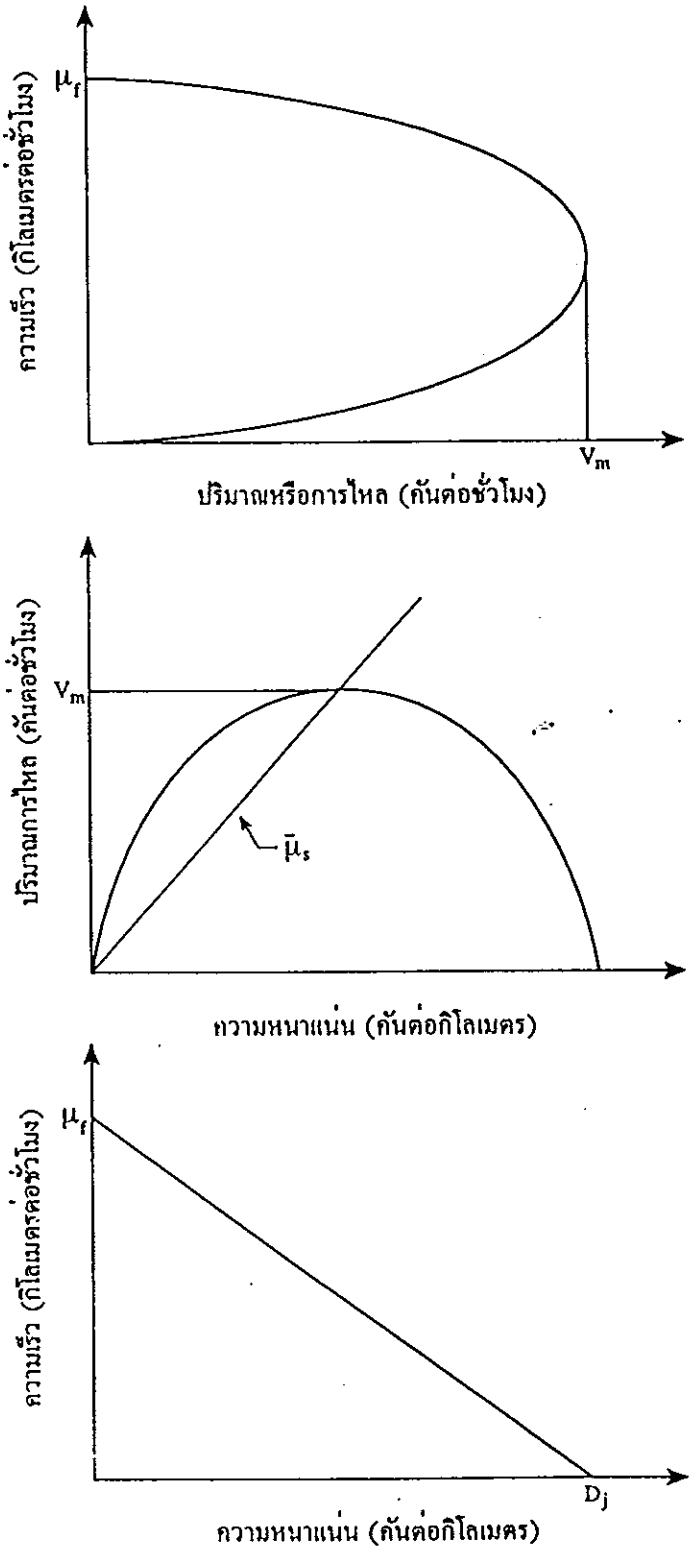
นั่นคือ $$V_m = \frac{U_f D_j}{4} \quad \text{.....(2.6.4)}$$

เมื่อนำหลักการของกรีนชิลด์มาประยุกต์ใช้กับการคำนวณหาอัตราการเคลื่อนตัวได้สูงสุดของคน จะได้ว่า $$Q_m = \frac{u_f k_j}{4} \quad \text{.....(2.6.5)}$$

ในที่นี้ Q_m คืออัตราการเคลื่อนตัวได้สูงสุดของคน หน่วยเป็นคนต่อนาทีต่อหน่วยความกว้าง

u_f คืออัตราความเร็วในการเคลื่อนตัวได้สูงสุดของคน หน่วยเป็นเมตรต่อนาที

k_j คือค่าความหนาแน่นสูงสุดของคน หน่วยเป็นจำนวนคนต่อตารางเมตร



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ความเร็ว และความหนาแน่น

ที่มา : วัชรินทร์ วิทยกุล. พ.ศ. 2539.

2.7 ข้อมูลที่นักวิชาการต่างชาติได้ศึกษาวิเคราะห์ไว้

2.7.1 การวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร (S. J. Melinek, and S. Booth. 1975.)

อาคารที่มีขนาดใหญ่ หรือขนาดใหญ่พิเศษ ย่อมจะต้องมีบุคคลเข้าใช้สอย หรืออยู่อาศัยเป็นจำนวนมาก อาจจะนับร้อย นับพัน หรือหลายพันคน ถ้าเกิดเพลิงไหม้ขึ้นในอาคารดังกล่าว มีโอกาสหรือความเป็นไปได้สูงมาก ที่จะมีผู้ได้รับบาดเจ็บ หรือเสียชีวิตเป็นจำนวนมากตามมา ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา มีเหตุการณ์ต่าง ๆ มากมาย ที่เกิดความเสียหายขึ้นแล้วทั้งชีวิต ทรัพย์สิน ทรัพยากรต่าง ๆ ทั้งในแง่เศรษฐกิจและคุณค่าทางจิตใจ ฉะนั้นการออกแบบและการวางแผนเรื่องระบบทางหนีภัยในอาคาร จึงเป็นเรื่องที่จะต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษ ทั้งนี้เพื่อหามาตรการที่ดีที่สุดในการอพยพผู้งชนที่กำลังอยู่ในอาคารออกจากตัวอาคาร หรือออกจากส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารโดยเร็ว ให้มีความปลอดภัย และเกิดความเสียหายน้อยที่สุด

องค์ประกอบสำคัญในการอพยพคนคือเวลาและความสามารถของเครื่องกลหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ตลอดจนความสามารถของบุคคลที่เกี่ยวข้องว่ามีมากน้อยเพียงใด เวลาที่ใช้ในการอพยพผู้งชนขึ้นอยู่กับว่าความเสียหายนั้นได้เกิดขึ้นแล้วมากหรือน้อยเพียงใด ในจุดที่ล่อแหลมเพียงใด ความสามารถของเครื่องกล หรืออุปกรณ์ช่วยเหลือต่าง ๆ อยู่ในสภาพที่สามารถจะใช้งานได้ทันทีเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินหรือไม่ หรือบุคคลที่เกี่ยวข้องเป็นผู้ใช้หรือผู้ที่อาศัยอยู่ในอาคารและพนักงานเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง เช่น เจ้าหน้าที่ประจำอาคาร หรือผู้รักษาความปลอดภัย เจ้าหน้าที่หน่วยป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยรวมถึงประชาชนทั่วไป เป็นผู้มีความสามารถในการป้องกันตนเองมากน้อยเพียงใด มีความพร้อมในการเผชิญและแก้ไขสถานการณ์ได้มากน้อยเพียงใด เช่น เคยได้รับการฝึกซ้อมให้ช่วยตนเองหรือให้ทราบวิธีปฏิบัติในการเคลื่อนย้ายตนเองและผู้อื่นหรือไม่ และสามารถควบคุมสภาวะทางอารมณ์จากสถานการณ์ได้มากน้อยเพียงใด กลุ่มควัน หมอก ความร้อน หรือแก๊ซซึ่งอาจรั่วไหลออกมา ความตกใจในเสียงสัญญาณเตือนภัย และการควบคุมอารมณ์ของบุคคลทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องย่อมมีผลกระทบต่อเวลาในการอพยพ

กฎหมายต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันกำหนดให้เคลื่อนย้ายอพยพคนออกตามทางหนีภัยที่ไม่ถูกกระทบจากอัคคีภัย เวลาในการอพยพสามารถคำนวณจากสมการเรื่องการอพยพคน

รายละเอียดต่าง ๆ ที่กล่าวถึงในหัวข้อนี้ แบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ

ตอน 1 การเคลื่อนตัวของฝูงชน

ตอน 2 มาตรฐานของทางหนีภัยที่มีอยู่และสูตรปัจจุบันที่ใช้ได้ผลในการประมาณเวลาการอพยพคนไปอยู่ในสถานที่ที่ปลอดภัย

ตอน 3 สูตรหาเวลา ที่ใช้ในการอพยพคนทั้งหมดออกจากอาคารสูง

"เวลา" ในการอพยพคน คำนวณจากสูตรที่กล่าวถึงมีดังที่สังเกตุได้ในเหตุการณ์จริง อัตราการอพยพ และเวลาในการอพยพคนในที่นี้ เป็นการอพยพด้วยความเป็นระเบียบและปราศจากอารมณ์ตกใจกลัว ความตกใจกลัวเป็นพฤติกรรมมนุษย์ไม่สามารถแก้ไขได้โดยง่าย ความตกใจกลัวนี้จึงเป็นอุปสรรคที่ทำให้การอพยพหนีภัยเป็นไปโดยไม่ราบรื่น ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายจนถึงขั้นบาดเจ็บ และล้มตายได้ อย่างไรก็ตามอารมณ์ตกใจกลัวที่เกิดขึ้นน้อยและสามารถที่จะลดความรู้สึกนี้ได้โดยมาตรการดังต่อไปนี้ เช่น

ก. การอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับทางหนีภัย โดยจัดหาทางหนีที่ง่ายต่อการเดินหลีกเลี่ยงทางที่มีลักษณะเป็นคอขวด

ข. การจัดหาสถานที่ที่ปลอดภัย เช่นโถงหน้าบันไดหนีไฟ ที่ผู้อพยพสามารถได้รับความคุ้มครองไม่ให้ได้รับอันตราย อาคารที่มีผู้คนอยู่ควรจะมีทางหนีไฟที่สามารถอพยพคนออกจากอาคาร หรือไปยังพื้นที่ที่ปลอดภัยเมื่อมีเหตุการณ์ไฟไหม้ หรือเกิดภัยอื่น ได้โดยรวดเร็ว

ค. การบำรุงรักษาเครื่องมือสื่อสารระหว่างหน่วยงานทางราชการได้แก่หน่วยงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยหน่วยกู้ภัยหรืออาสาสมัครป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กับผู้ที่อาศัยอยู่ในอาคาร ให้มีสภาพดี ใช้งานได้ทันทีทุกเวลา

ง. การจัดหาไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน ในกรณีที่ทางหนีภัยอาจมีกลุ่มควันที่ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการมองเห็นทางหนี การจัดหาไฟฟ้าสำรองไว้ที่ทางหนีไฟสามารถทำให้การอพยพได้ผลเต็มที่ อัตราความเร็วของการอพยพสามารถทำได้ดีมีประสิทธิภาพขึ้น

2.7.1.1. การเคลื่อนตัวของฝูงชน

จากกรณีการศึกษาวิจัยในประเทศญี่ปุ่น อังกฤษ และประเทศแคนาดา โดยเฉพาะการวิจัยที่ละเอียดมากของศาสตราจารย์โตกาว่าแห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว เป็นระยะเวลากว่า 10 ปี โดยรายงานนี้สามารถใช้กับสภาพของประเทศอังกฤษ เกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของฝูงชนในอาคารอันประกอบด้วยการเคลื่อนที่ใหญ่ ๆ สามประการ คือ

ก. การเคลื่อนตัวไปตามความยาวของทางเดิน

ข. การเคลื่อนตัวโดยขึ้นหรือลงบันได

ค. การเคลื่อนตัวผ่านทางออกหรือประตู

โดยพิจารณาสำหรับฝูงชนที่กำลังเคลื่อนตัวไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นโอกาสที่เกิดขึ้นมากกว่าโอกาสอื่น

ตารางต่าง ๆ ในหัวข้อนี้มีสมมุติฐานประยุกต์ใช้กับฝูงชนทั่วไป โดยไม่มีการแบ่งแยกระหว่างกลุ่มบุคคลเช่นเรื่องเพศและอายุ และไม่มีการเผื่อค่าสำหรับบุคคลที่ไร้ความสามารถ ทั้งนี้ยกเว้นอาคารพิเศษบางประเภท เช่น ในโรงพยาบาลจะมีบุคคลผู้ซึ่งช่วยเหลือตัวเองไม่ได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งในประเทศสหรัฐอเมริกาเองจะมีบุคคลประเภทนี้ประมาณร้อยละ 6 ของประชากรที่ต้องทนกับความวิตกเนื่องจากไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ รวมทั้งหญิงมีครรภ์ อายุและเพศของบุคคลเป็นข้อแตกต่างเพียงเล็กน้อยต่ออัตราความเร็วรวมของฝูงชน ดังนั้นการคำนวณจึงไม่พิจารณาเพศและอายุของกลุ่มคน ตัวอย่างเช่น ผู้ชายที่อายุไม่เกิน 30 ปี โดยเฉลี่ยแล้วย่อมจะขึ้นลงบันไดได้เร็วกว่าผู้หญิงที่อายุเกิน 50 ปี ถึงร้อยละ 40 แต่มีผลต่างเพียงเล็กน้อยในด้านความเร็วสำหรับการขึ้นหรือลงบันได ตารางที่แสดงไว้ในที่นี้ใช้สำหรับผู้ใหญ่ ส่วนอัตราการเคลื่อนตัวสำหรับนักเรียนในโรงเรียนปรากฏว่ามีการเคลื่อนตัวช้ากว่าผู้ใหญ่แต่ไม่มากนัก นอกจากนี้ยังพบว่าถุงและกระเป๋ามีผลกระทบน้อยมากต่อการหนีภัย

สมมุติฐานทั่วไปที่ว่าอัตราสูงสุดในการอพยพคนผ่านทางหนีภัยเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความกว้างของทางหนีภัย มีการค้นพบว่ากฎข้อนี้จะถูกต้องเมื่อบันไดมีความกว้างประมาณ 1 ถึง 3 เมตรซึ่งทางหนีภัยส่วนใหญ่ก็มีความกว้างประมาณนี้ สำหรับความกว้างที่แคบที่สุดที่แนะนำให้ใช้คือความกว้างไม่น้อยกว่า 76 เซนติเมตร

- การเคลื่อนไหวไปตามความยาวของทางเดิน

ความจุโดยทั่ว ๆ ไปของทางเดิน คือ 1.5 คนต่อเมตรต่อวินาที ดังค่าเฉลี่ยที่แสดงในตาราง 2.4 ค่านี้อาจจะมากกว่านี้ได้ถ้าจำนวนคนเพิ่มมากขึ้น รูปที่ 2.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว อัตราการไหล ตามค่าความหนาแน่นสำหรับทางเดินที่กว้าง 1.1 ถึง 3 เมตร จะเห็นได้ว่ามี 3 สถานะ ซึ่งขึ้นกับความหนาแน่นอย่างเดียว ที่ความหนาแน่นน้อย (ไม่ถึง 1 คนต่อ 1 ตารางเมตร) ความเร็วของการเคลื่อนไหวของแต่ละบุคคลเท่ากับความเร็วอิสระ ซึ่งอัตราการเคลื่อนตัวของคนจะเคลื่อนตัวได้สูงสุดเมื่อจำนวนคนอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5

คน ต่อตารางเมตร สำหรับกลุ่มคนหรือฝูงชนถ้าหนาแน่นมากกว่า 5 คนต่อตารางเมตรจะแออัดยัดเยียดกันมากจนอัตราการเคลื่อนตัวช้าลงไปอีก

สูตรต่อไปนี้ได้มาจากการทดลองของ ศาสตราจารย์ โตกาว่า คือ

$$V = V_0 \rho^{-0.8} \quad \text{..... (2.7.1)}$$

โดยที่ V คือความเร็วในการเดินของฝูงชน

V_0 ค่าคงที่ (1.3 เมตร/ วินาที)

ρ ความหนาแน่นของกลุ่มคนต่อตารางเมตร

ตาราง 2.4 อัตราการเคลื่อนตัวของคนที่ได้จากการสำรวจ

แหล่ง	อัตราการเคลื่อนตัว (คน/วินาที/เมตร)		
	ระดับการเดินผ่าน	บันไดขึ้น	บันไดลง
อังกฤษ	0.80 - 1.40	1.00	0.90
ฝรั่งเศส	1.10 - 2.70	1.40	0.90 - 1.60
อเมริกา	1.40	0.90 – 1.70	1.00 - 1.50
โรงภาพยนต์	0.90 - 2.10	-	-
อเมริกาเหนือ	1.50	0.90	1.10
ปารีส	1.70	1.00	1.30
ขนส่งมวลชน รถไฟใต้ดิน ขนส่งมวลชนกรุงลอนดอน	1.50	1.00	1.10
ค่าเฉลี่ย	1.50	1.10	1.15

ที่มา : S.J. Melinek and S. Booth. 1975.

อัตราการเคลื่อนตัว N สามารถที่จะหาได้จาก N = เฉพาะ.....(2.7.2)

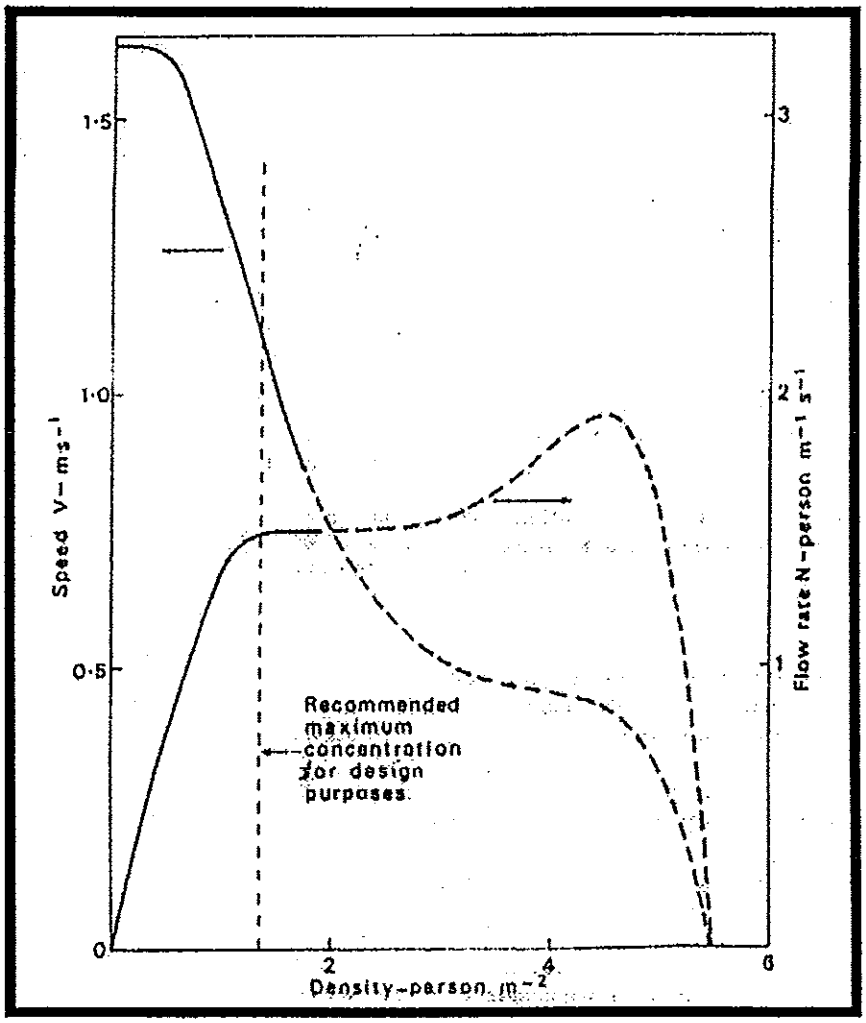
ดังนั้น $N = V_0 \rho^{0.2}$ .....(2.7.3)

สูตรนี้ให้ค่าของ N ระหว่าง 1.3 ถึง 1.7 คน/ เมตร / วินาที

สำหรับทางเดินสองทิศทางและปริมาณคนไม่มากเกินไป อัตราการเคลื่อนตัวรวมจะน้อยลงกว่าอัตราการเคลื่อนตัวทางเดียวเพียงเล็กน้อย

ส่วนยื่นหรือนูนออกเล็กน้อยด้านข้างของทางเดินมีผลกระทบเล็กน้อยต่ออัตราการเคลื่อนตัว แต่ทางที่เป็นมุมหรือทางโค้งซึ่งอัตราความเร็วมีทั้งลดลงและเพิ่มขึ้นตามที่อยู่ในวงในหรือวงนอก เช่น อยู่วงนอกความเร็วจะเพิ่มขึ้นโดยที่ความหนาแน่นลดลง

สำหรับทางลาดเอียง "ศาสตราจารย์ โตกาว่า" พบว่าในหลาย ๆ กรณี เช่น ทางลาดขึ้น อัตราความเร็วเฉลี่ยจะลดลง อัตราความเร็วที่ลดลงนี้ประมาณ 2% ต่อหนึ่งองศาที่ยกให้ลาดชันขึ้น สำหรับทางลาดเอียงลง อัตราความเร็วโดยเฉลี่ยแล้วจะเพิ่มขึ้นสำหรับทางลาดลง อัตราการเดินจะมีค่าสูงสุดที่ความลาดมีความเอียงประมาณ 7 องศา ถ้าลาดลงมากกว่านี้การเดินจะช้าลง



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ความหนาแน่น และอัตราการอพยพได้

ที่มา : S. J. Melinek and S. Booth. 1975.

ในสภาวะฉุกเฉินอัตราการเคลื่อนตัวของกลุ่มคนในทางราบจะเพิ่มขึ้นเมื่อเกาะไหล่ของคนอยู่ข้างหน้า และอัตราการเคลื่อนตัวนี้อาจเพิ่มได้มากกว่า 4 คน/เมตร/วินาที

- การเคลื่อนตัวบนบันได

กรณีของการเคลื่อนตัวบนบันไดนี้คล้ายกับการเคลื่อนตัวบนทางเดินธรรมดามาก ความหนาแน่นของฝูงชนจะเพิ่มอัตราอพยพได้ค่าสูงสุดตามด้วยอัตราลด และไม่มีการลดอัตราการเคลื่อนตัวสำหรับชานพักและความโค้งของบันได อัตราการเคลื่อนตัวนี้แสดงไว้แล้วในตาราง 2.5

ตาราง 2.5 อัตราการอพยพคนบนบันไดโดยความเร็วเฉลี่ย

แหล่ง	ทิศทางการเคลื่อนตัว	ความหนาแน่น ρ (คนต่อตารางเมตร)	ความเร็วเฉลี่ย V' (เมตรต่อวินาที)	อัตราการอพยพ N' (คนต่อเมตรต่อวินาที)
Galbreath	ขึ้น	1.10	0.80	0.90
		1.80	0.70	1.25
		2.20	0.60	1.30
		2.60	0.50	1.30
		3.40	0.40	1.35
		4.40	0.25	1.10
Togawa	ขึ้น	2.60	0.50	1.30
London Transport Board	ขึ้น	2.05	0.51	1.05
	ลง	1.90	0.59	1.15

ที่มา : S.J. Melinek and S. Booth. 1975.

ความจุในการระบายคนของบันไดจะลดลงทันทีที่ใช้บันไดเป็นทางขึ้นและลงพร้อมกัน คนที่เคลื่อนตัวสวนทางกับฝูงชนเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้อัตราการเคลื่อนตัวของกลุ่มคนลดลงครึ่งหนึ่งได้ทันที คนต้องการความกว้างอย่างต่ำที่สุด 0.50 เมตร ซึ่งดูเหมือนว่าผลกระทบของการขึ้นบันไดย้อนศรจะเป็นตัวลดประสิทธิภาพความกว้างของบันไดโดยส่วนรวมในทันที ฉะนั้นบันไดหนีภัยควรหลีกเลี่ยงเหตุการณ์การวิ่งสวนขึ้นมาให้มากแม้สำหรับเจ้าหน้าที่ดับเพลิง

ประสิทธิภาพในการระบายคนของบันไดลดลงถ้าบันไดมีความยาวมาก มีการศึกษาแล้วพบว่าประสิทธิภาพจะลดลง 8% ต่อทุก ๆ 6 เมตร ของระยะทางในแนวดิ่ง การคิดนี้มี

ข้อยกเว้นสำหรับขาลง 12 เมตรแรก ข้อมูลในตาราง 2.5 ความเร็วเฉลี่ยระหว่างทางเดินลาดเอียงคือ 0.5 เมตร/วินาที นอกจากนี้ J.L. Pauls พบว่าความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 0.80 เมตร/วินาที ถ้าใช้ค่าความเร็วระหว่างทางเดินลาดเอียงที่ 0.50 เมตรต่อวินาที จะได้ค่าเวลาอพยพมากสุดสำหรับบันไดที่ไม่มีสิ่งกีดขวางกั้นหรือหน่วงเหนี่ยวผู้งชนเลย อย่างไรก็ตามอัตราความเร็วนี้อาจจะลดลงถ้าต้องเดินระยะไกล

- การเคลื่อนตัวผ่านทางออก

สำหรับทางออกกว้าง b (หน่วยเป็นเมตร), เวลา T สำหรับจำนวนคน Q ประชาชนที่ผ่านตลอดถูกกำหนดโดย

$$T = \frac{Q}{Nb} \quad \text{.....} \quad \text{.....} \quad (2.7.4)$$

ในขณะที่ N คืออัตราการเคลื่อนตัวได้ของคนมีหน่วยเป็น คน/เมตร/วินาที สูตรนี้ใช้กับการเคลื่อนตัวอิสระโดยค่าเฉลี่ยจะอยู่ที่ N = 1.7 คน/เมตร/วินาที และค่า N สูงสุดเท่ากับ 2 คน/เมตร/วินาที

ชนิดของทางออกที่เจอบ่อยจะติดกับบันไดชั้นบนสุดนำลงสู่ชั้นล่างหรือพื้นที่ว่างในสถานการณ์ทั่วไปจะมีกลุ่มคนจำนวนมากอยู่บนที่สูงบนชั้นบนสุดของบันไดมากกว่ากลุ่มคนที่อยู่ที่ชั้นล่าง การเคลื่อนตัวลงมาโดยสม่ำเสมอเรียบร้อยจะเกิดหลังชั้นที่ 1-2 ของบันได การชักช้าใน 1-2 ชั้นแรกอาจจะเนื่องมาจากความยุ่งยากสับสนที่ชั้นบนสุดของบันได ในขณะที่ตรงกลางบันไดคนเริ่มอยู่ห่างออกจากกันจึงเพิ่มความเร็วลงมาสู่ชั้นล่างได้ ถ้าต้องการการไหลอิสระที่จุดเริ่มต้นของบันไดต้องออกแบบระบบกีดกั้นที่เหมาะสม

2.7.1.2 เวลาการอพยพคนไปอยู่ในสถานที่ที่ปกป้อง

มาตรฐานการหนีไฟกำหนดให้ผู้อยู่ในอาคารที่คนสามารถเข้าถึงที่ปกป้องได้โดยมีข้อกำหนดดังนี้

ก. ระยะห่างจากบันไดสูงสุดที่ยอมให้

ข. ความกว้างของทางเดิน, บันได , ทางออกขั้นต่ำสุดที่ยอมให้

ทางหนีควรกระทำได้บนทางออกปกติ และเผื่อบนทางเพื่อเตรียมไว้เพื่อกิจการอย่างอื่นเช่น ทางสำหรับเดินเพื่อซ่อมท่อ ควรหลีกเลี่ยงให้มีทางหนีที่คดหรือวกวน หรือทางตันและหลีกเลี่ยงการติดกระจกในตำแหน่งที่จะนำผิดทางหรือเข้าใจผิดเกี่ยวกับทางเดินหรือทางออก การช่วยอพยพทำได้ง่ายขึ้นด้วยระบบสื่อสารที่บอกตำแหน่งคนที่ได้ช่วยแล้ว และต้องบอกบริเวณใดยังต้องช่วยเหลือด่วน ระบบแบบนี้จะรวมพลเข้าช่วยกลุ่มคนที่ต้องการความช่วยเหลือให้ได้ผลภายในระยะเวลาที่น้อยที่สุดและมีความเสี่ยงที่น้อยที่สุด

ระยะทางหนีสูงสุดขึ้นอยู่กับอัตราความเสี่ยง และประเภทอาคารโดยไม่ต้องคำนึงถึงสิ่งกีดขวาง เช่นผนังหรือทางแคบ ระยะทางวิ่งหนีสูงสุดสำหรับร้านค้าหรือสำนักงานคือ 12 หรือ 18 เมตร สำหรับทางออกหนึ่งแห่งและ 30 เมตร สำหรับทางออกสองแห่ง เนื่องจากการติดตั้งผนังภายในดังนั้นระยะการวิ่งหนีภัยจริงอาจเพิ่มขึ้น ฉะนั้นระยะการเดินทางที่จริงต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของระยะทางตรง

ความกว้างของบันได ต้องออกแบบให้สามารถลำเลียงบุคคลออกจากอาคารได้โดยปลอดภัยในช่วงระยะเวลาที่ปลอดภัย เวลาที่ยอมรับได้คือ 2.5 นาที โดยสมมุติว่าคนสามารถเคลื่อนผ่านได้ 40 คนต่อนาทีต่อหน่วยความกว้างของบันได มาตรฐานอังกฤษกำหนดให้ระยะ 0.53 เมตร เป็นหนึ่งหน่วยความกว้าง ประมวลกฎหมายของฝรั่งเศสก็กำหนดไว้สูงกว่าเล็กน้อยเพื่อประยุกต์ใช้ทั้งกับทางเดินและทางออก ซึ่งจะให้ค่าอัตราการเคลื่อนตัว N ประมาณไว้ 80 คนต่อนาทีต่อเมตร สำหรับอาคารซึ่งมีสองบันได สมมุติว่าบันไดหนึ่งใช้การไม่ได้

ระยะเวลาที่มีไม่น้อยกว่า 2.5 นาที เพื่อให้คนสามารถอพยพไปอยู่ในที่ที่มีความปลอดภัยจะไม่ทำให้เกิดการตกใจกลัวในกรณีไฟไหม้ร้ายแรง เวลา 2 ถึง 4 นาทียังไม่เพียงพอที่จะป้องกันอันตรายต่อคน นอกจากนี้เวลาที่มีให้สำหรับการหนีจะขึ้นอยู่กับขนาดของกองเพลิงที่พบ

สำหรับบันไดหนีไฟที่กว้าง b เพื่อรองรับคนจำนวน n ชั้น จำนวนคนสูง สุด M ผู้สามารถที่จะหนีลงทางบันไดหนีภัยนี้ได้ในระยะเวลา t ต่อหนึ่งชั้นมีค่าดังนี้

$$M = N'bt + (n-1)s \quad \text{.....(2.7.5)}$$

โดยที่ภาคผนวกได้กำหนดค่าโดยประมาณไว้ว่า

$$s = 18b + 14b^2 \quad \text{.....(2.7.6)}$$

ในขณะที่ b คือความกว้างของบันไดหน่วยเป็นเมตร

โดยการแทนค่าในสมการ และกำหนดให้ $N' = 80$ คน/เมตร/นาที, $t = 2.5$ นาที จะได้ค่าจำนวนคนสูงสุดที่เคลื่อนตัวเข้าสู่บันไดได้ทันภายในเวลาที่ยอมรับได้คือ

$$M = 200b + (18b + 14b^2)(n-1) \quad \text{.....(2.7.7)}$$

หรือเขียนใหม่ได้เป็น

$$M = 200b + 50(b - 0.3)(n-1) \quad \text{.....(2.7.8)}$$

สูตรนี้กฎหมายกำหนดไว้สำหรับอาคารที่สูงไม่เกิน 30 เมตร และสำหรับบันไดที่กว้างไม่เกิน 2 เมตร สมการที่ (2.7.7) และ (2.7.8) จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

การตัดค่า b^2 ออกในสมการ (2.7.8) หมายความว่าบันไดกว้างไม่เพิ่มการระบายของชานพัก สำหรับอาคารที่ไม่มีการกั้นระหว่างชั้น มาตรฐานกำหนดให้จำนวนคนที่สามารถเข้าใช้บันไดได้คือ $M = 222b$ ..... (2.7.9)

สำหรับอาคารที่มีการกั้นระหว่างชั้นโดยตลอดขึ้นไปทุกชั้น จำนวนคนที่สามารถเข้าใช้บันไดได้คือ $M = 111bn$ .....(2.7.10)

สำหรับอาคารสำนักงาน เทศบาลนครลอนดอนยอมให้คนเข้าได้ดังแสดงในตารางที่ 2.6 คือ

$$M = (100b + 10)n \text{ .....} (2.7.11)$$

สมการ (2.7.10) และ (2.7.11) ใช้สมมุติฐานที่ต้องมีการอพยพคนของสองชั้นที่เกี่ยวข้อง

จำนวนคนที่สามารถจะใช้บันไดได้ปกติอาจจะประมาณการได้จากความหนาแน่นของประชาชน เช่น ในศูนย์การค้าเท่ากับ 0.14 ถึง 0.5 คนต่อตารางเมตร ในอาคารสำนักงานและโรงงานเท่ากับ 0.1 คนต่อตารางเมตร ผลการศึกษาวิจัยแสดงว่าความหนาแน่นของคนในศูนย์การค้าโดยปกติแล้วน้อยกว่าค่าที่นำมาใช้ในการออกแบบ ค่าความกว้างของบันไดคำนวณโดยอาศัยสมมุติฐานที่ความหนาแน่นของคนในห้างสรรพสินค้าคือ 0.14 ถึง 0.5 คนต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นค่าที่เพียงพอสำหรับการใช้งานโดยปกติวิสัย

2.7.1.3 สูตรหาเวลา ที่ใช้ในการอพยพคนทั้งหมดออกจากอาคารสูง

ในหลายกรณีที่ประมาณเวลาที่ใช้ในการอพยพออกมาแล้วเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ก็จำเป็นต้องจัดหาที่ปลอดภัยในอาคารไว้ให้ผู้อพยพ ตัวอย่างเช่น เวลาในการอพยพที่ยอมให้ได้เท่ากับ 2.5 นาที และสมมุติว่าผู้อพยพใช้เวลาลงบันไดเท่ากับ 16 วินาทีต่อหนึ่งชั้น ดังนั้นถ้าจำนวนชั้นของอาคารมากกว่า 10 ชั้นเหนือระดับดิน เวลาในการอพยพก็จะเกิน 2.5 นาที ซึ่งจะต้องมีที่ปลอดภัยไว้ให้ผู้อพยพหลบภัย เวลาในการอพยพสำหรับอาคารสามารถคำนวณแยกเป็นส่วน ๆ โดยสูตรที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.7.1.1 แล้วมารวมเวลาทั้งหมด

หากกำหนดสัญลักษณ์ไว้ดังต่อไปนี้

Q_r = คนบนชั้นที่ r

b_r = ความกว้างของบันไดหนีภัยระหว่างชั้น r-1 กับชั้น r

N' = อัตราการอพยพต่อหน่วยความกว้างของบันได

t_s = เวลาในการลงบันไดได้หนึ่งชั้น

คนที่อยู่ในชั้น r และที่อยู่เหนือขึ้นไป $= \sum_{i=r}^{n} Q_i$ .....(2.7.12)

เวลาอย่างน้อยสำหรับผู้คนที่ใช้ในการเข้าสู่บันไดจากชั้น $r = \frac{\sum_{i=r}^{n} Q_i}{N' b_{r-1}}$.(2.7.13)

เวลาที่คนท้ายสุดลงถึงชั้นล่าง $= rt_s$ .....(2.7.14)

ตามผลการทดสอบ กำหนดให้ t_s = 16 วินาที ดังนั้นจากสมการที่ (2.7.13) และ

(2.7.14) ได้ $T_r = \frac{\sum_{i=r}^{n} Q_i}{N' b_{r-1}} + r t_s$ .....(2.7.15)

ในขณะที่ T_r คือเวลาอย่างน้อยสำหรับอพยพคนจากชั้น r และที่อยู่เหนือขึ้นไป สมการที่ (2.7.15) จะให้ค่าT_r จำนวน n ค่า (r = 1 ถึง n) เวลาในการอพยพที่น้อยที่สุด T_e สำหรับอาคารทั้งหลังคือค่าสูงสุดของ T_r

ความกว้างของบันไดที่พิจารณา คือ b_r ถ้ามีบันไดสำหรับหนีไฟมากกว่าสองบันได อาจสมมุติให้มีบันไดหนึ่งที่ไม่สามารถใช้งานได้ ค่า b_r ก็ยังคงเดิม

ถ้าความกว้างของช่องบันไดหรือจำนวนบันไดเพิ่มขึ้นในขณะคนกำลังหนีลงแล้ว เวลาในการอพยพลงบันไดจะขึ้นอยู่กับความเป็นระเบียบในการอพยพ ตัวอย่างเช่นถ้า $b_{r-1} > b_r$ แล้วในขณะที่มีผู้คนกำลังคอยอยู่บนบันไดชั้น r อัตราการเคลื่อนตัวของผู้คนบนบันไดชั้นล่างจากชั้น r คือ $N' b_{r-1}$ เท่านั้น ขณะที่ผู้คนสามารถลงบันไดมาจากชั้นบนที่อยู่เหนือขึ้นไปจะใช้ค่า $N' b_r$ ซึ่งเป็นอัตราสูงสุด เวลาที่ใช้ในการอพยพมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ถ้าผู้คนจากชั้นใด ๆ เข้าสู่ช่องบันไดและเคลื่อนตัวในอัตราสูงสุดของบันไดชั้นล่าง ๆ เท่าที่บันไดนั้นสามารถระบายคนได้ ซึ่งผู้คนเหล่านี้ทำได้โดยไม่ไปลดอัตราการเคลื่อนตัวจากชั้นต่าง ๆ ที่อยู่เหนือขึ้นไป ในสภาพจริงการอพยพใดจะเป็นไปตามลักษณะนี้เพราะผู้คนที่กำลังลงบันไดจะไม่ปรารถนาให้ถูกรั้งเอาไว้

ถ้าจำนวนผู้คนและความกว้างช่องบันไดเท่ากันทุกชั้นแล้ว Q_r จะเท่ากับ Q และ $b_r = b$ สำหรับทุกค่า r สมการที่ (2.7.15) จะแปลงรูปใหม่ได้ดังนี้

$$T_r = \frac{(n-r+1)Q}{N'b} + r t_s \quad \text{.....(2.7.16)}$$

ถ้า $\frac{Q}{N'b} \geq t_s$ แล้ว T_r มีค่าสูงสุด เมื่อ r = 1 ในกรณีนี้

$$T_e = \frac{nQ}{N'b} + t_s \quad \text{.....(2.7.17)}$$

ถ้า $\frac{Q}{N'b} < t_s$ แล้ว T_r มีค่าสูงสุด เมื่อ $r = n$ ในกรณีนี้

$$T_e = \frac{Q}{N'b} + n t_s \quad \text{.....(2.7.18)}$$

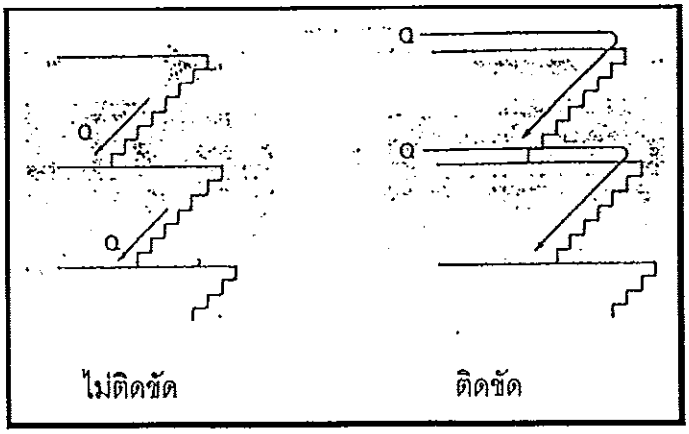
T_e คือ เวลาในการอพยพต่ำสุด

t_s คือ เวลาสำหรับฝูงชนจากชั้นเหนือขึ้นไปลงบันไดถึงชั้นต่ำลงมา

$\frac{Q}{N'b}$ คือ เวลาสำหรับฝูงชนจากชั้นต่ำกว่าไปช่องบันไดโดยคิดว่าไม่มีการติดขัดในชั้นล่างที่ต่ำลงไป โดยมีสมมุติฐานว่า $t_s = 16$ วินาที

เมื่อ Q คือ จำนวนประชาชนของชั้นที่ต่ำกว่า

N' คือ อัตราการไหลหรืออัตราการเคลื่อนที่ในการลงบันไดต่อหน่วยความกว้างบันได และ b คือ ความกว้างของช่องบันไดที่ใช้ลงไปชั้นต่ำกว่า จะมีการติดขัดใน 2 ชั้นใด ๆ การติดขัดจะเกิดขึ้นทันทีเมื่อคลื่นประชาชนจากชั้นสูงกว่าซึ่งกำลังลงบันไดมาแล้วไปพบกับฝูงชนที่กำลังจะเข้าสู่ช่องบันไดจากพื้นชั้นล่างถัดลงไปตามที่อธิบายในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เงื่อนไขของการติดขัดขณะที่ลงบันได

ที่มา : S. J. Melinek and S. Booth. 1975.

ถ้า $\frac{Q}{N'b} > t_s$ .....(2.7.19)

สมการที่ 2.7.17 สอดคล้องในกรณีที่มีการติดขัด และสมการที่ 2.7.18 สอดคล้องในกรณีที่ไม่มีการติดขัด โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 2.9 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อมีการติดขัด เวลาต่ำสุดในการอพยพจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตามจำนวนคนที่อยู่ในอาคาร

ค่าเวลาในการอพยพคนที่สำรวจได้ของอาคารสำนักงาน 11 แห่ง แสดงไว้ในตาราง 2.6 พร้อมด้วยเวลาที่ได้จากการคำนวณ ตามสมการที่ 2.7.17 และ 2.7.18 โดยใช้ค่า N' เท่ากับ 1.1 คน/เมตร/วินาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าเกือบทุกกรณีค่าเวลาในการอพยพที่ได้จากการสำรวจจะมีค่ามากกว่าที่คำนวณได้ประมาณ 2 นาที ดังนั้นค่าเวลาจริงในการอพยพคนออกจากอาคารต่าง ๆ จึงควรกำหนดให้มากกว่าที่คำนวณประมาณ 2 นาที

อาคารหมายเลข 11 ในตาราง 2.6 เป็นอาคารพาณิชย์ในกรุงลอนดอน ค่าเวลาที่ใช้ในการอพยพเป็นค่าเฉลี่ยของการอพยพ 4 ครั้ง โดยการอพยพหนึ่งครั้งมีการจำลองการช่วย

ชีวิตพร้อมไปด้วย และคิดว่ามีจำนวนคนใน 25 ชั้น เหนือระดับชั้นลอยเท่ากับ 2400 คน นอกจากนี้ค่าเวลาที่ใช้ในการอพยพที่คำนวณได้ในตาราง 2.6 ถูกเพิ่ม .5 นาที เพื่อสำหรับที่ต้องการเดินลงไปสองชั้นจากชั้นเวทีถึงชั้นพื้นดิน

ตาราง 2.6 เวลาในการอพยพคนออกจากอาคาร

อาคาร หมายเลข	จำนวนชั้น "n"	จำนวน บันได	ความกว้าง ของทางหนี รวม "b" (เมตร)	เฉลี่ยจำนวน (คนต่อชั้น) "Q'	$\frac{Q}{N'b}$ วินาที (N'=1.1 คน/ เมตร/วินาที)	เวลาที่ใช้ในการอพยพ(นาที)	
						สังเกต และทดลอง	คำนวณได้
1	6	2	5	61	11	4.5	1.8
2	6	2	4	108	25	5.0	2.8
3	8	3	4	133	30	4.5	4.3
4	8	2	2	111	50	5.5	6.9
5	10	2	2	110	50	6.5	8.6
6	10	2	2	100	45	7.5	7.8
7	11	2	2	67	30	9.0	5.8
8	12	4	3	38	12	4.0	3.4
9	17	4	2	50	23	7.5	6.8
10	21	2	2	45	20	12.0	7.3
11	25	2	4	96	22	12.2	9.9

ที่มา : S.J. Melinek and S. Booth. 1975.

ค่าเวลาที่แตกต่างกันระหว่างค่าสำรวจและค่าที่คำนวณได้จะเป็นเวลาล่าช้าที่ประชาชนใช้ตอบสนองต่อสัญญาณเตือนไฟและเดินทางไปถึงช่องบันได ประชาชนมักจะไม่ใคร่ตอบสนองในช่วงเริ่มแรกของสัญญาณฉุกเฉิน จึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องให้ประชาชนตอบสนองต่อสัญญาณฉุกเฉิน โดยอาจใช้ลำโพงกระจายเสียงในการเพิ่มความเชื่อถือของการเตือนภัย และจะเป็นการดีถ้ามีคนควบคุมไฟรวมในแต่ละชั้นของอาคาร เพื่อดูว่าประชาชนทุกคนได้ออกจากอาคารแล้ว

2.7.2 วิธีการหาค่าดัชนีความปลอดภัยสำหรับการหนีภัย (T. J. Shields, G. W. Silcock & K. E. Dunlop. 1992.)

ศักยภาพของการหนีภัยของ ผู้อยู่ในอาคาร และประสิทธิภาพของกลยุทธ์ต่าง ๆ ในการหนีภัยที่มีอยู่ สามารถอธิบายเป็นฟังก์ชั่นของเวลาที่ผู้หนีภัยต้องการ และเวลาที่ผู้หนีภัยมีอยู่

เวลาทั้งสองหลักการนี้สามารถจัดรูปแบบโดยใช้แบบจำลองในการจำลองเพลิงไหม้ (ASET) และแบบจำลองการอพยพประชาชน (EVACNET) ในการประเมินค่าความปลอดภัย สำหรับใช้ในอาคารสาธารณะในแต่ละตัวอย่างที่เลือกมา ค่าดัชนีความปลอดภัยได้มาเพื่อออกแบบเพื่อเทียบเคียงความพอใจ และใช้เป็นบรรทัดฐานเปรียบเทียบกับการออกแบบต้นแบบอื่น ๆ สำหรับการกำหนดค่าความปลอดภัย

หลักการของ "เวลาที่มีอยู่" กับ "เวลาที่ต้องการ" เพื่อการหนีภัย ถึงเป็นการวัดศักยภาพการหนีภัยของผู้ที่อยู่ในอาคารไม่ใช่เป็นของใหม่ โดยสามารถเริ่มต้นอธิบายด้วยอสมการ

$$\frac{T_e}{T_f} < 1 \quad \text{.....(2.7.20)}$$

เมื่อ T_e คือ เวลาที่ต้องการสำหรับผู้หนีภัย

T_f คือ เวลาระหว่างการจุดให้ลุกไหม้ กับ เวลาที่สภาวะบรรยากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการมีชีวิตของคน

$$\frac{T_p + T_a + T_{rs} + T_s}{T_f} \leq 1 \quad \text{.....(2.7.21)}$$

เมื่อ T_p คือ เวลาตั้งแต่การจุดให้ลุกไหม้ถึงการยอมรับว่ามีไฟเกิดขึ้น

T_a คือ เวลาตั้งแต่การยอมรับว่ามีไฟถึงการเริ่มปฏิบัติด้านความปลอดภัย

T_{rs} คือ เวลาตั้งแต่เริ่มต้นการกระทำสู่ความปลอดภัยถึงการเข้าที่ความปกป้อง

T_s คือ เวลาตั้งแต่จากสถานที่ปกป้อง ถึงการเข้าถึงที่หลบซ่อนหรือพื้นที่เปิดโล่ง

T_f คือ เวลาตั้งแต่การจุดให้ลุกไหม้ถึงเวลาไฟมากจนทนอยู่ไม่ได้

หลักการของเวลาที่ต้องการกับเวลาที่มีอยู่ในรายละเอียด ซึ่งเป็นการเน้นส่วนประกอบต่าง ๆ ของการหนีภัย "t(avail)" นิยามเป็นเวลาที่มีอยู่ระหว่างการจุดให้ลุกไหม้กับเวลาเมื่อสิ่งแวดล้อมในที่นั้นอยู่ในสภาพที่คนทนไม่ไหว และ "t(req)" เป็นเวลาที่ต้องการนับจากการตรวจพบเพลิงถึงการอพยพคนให้ถึงจุดที่ปลอดภัย เวลาที่ต้องการ คือ ข้อกำหนดการก่อสร้างอาคาร และขึ้นอยู่กับ

- คุณภาพของการแจ้งข่าวสาร ที่ส่งและรับโดยผู้หนีภัย

- ความสามารถทั้งทางร่างกายและจิตใจของผู้หนีภัยที่อยู่ในอาคาร
- ตำแหน่งหรือสถานที่ของผู้ที่อยู่ในอาคารสัมพันธ์กับตำแหน่งอันตรายของเพลิงไหม้
- รูปร่างทางเรขาคณิตของอาคาร
- ปริมาณ และ คุณภาพ ของการช่วยเหลือที่ให้ได้กับผู้หนีภัย

สำหรับการเปรียบเทียบที่มีเหตุผลของเวลาที่มีอยู่ และเวลาที่ต้องการสำหรับการหนีภัย จำเป็นต้องมีบรรทัดฐานร่วมกัน โดยเวลาทั้งสองอย่างควรนิยมจากการจุดให้ลุกเป็นไฟหรือไม่ก็การตรวจจับพบการเกิดไฟ

เวลาที่มีอยู่สำหรับการหนีภัย ตามที่ได้นิยามไว้ข้างต้น ได้ถูกเสนอแนะว่าสามารถแปลงไปเป็นเวลาที่ใช้ออกแบบทางหนีภัยได้โดยการพิจารณาการเคลื่อนที่ของผู้ที่อยู่ในอาคาร การมีหรือไม่มีอุปกรณ์เตือนเพลิงไหม้

แนวทางเชิงเวลาถูกเสนอแนะให้เป็นพื้นฐานสำหรับการควบคุมเพลิงไหม้ในอาคารต่าง ๆ แนวทางดังกล่าวจะจำเป็นในการหาค่าล่าช้า ไม่เฉพาะในเรื่องการอพยพผู้คน การเติบโตและการกระจายของไฟ แต่จะต้องคำนึงถึงการเริ่มต้นของกลยุทธ์ต่าง ๆ ที่แทรกมาด้วย อย่างไรก็ตามต้องจำไว้ว่าเป็นความลำบากในการพิจารณาแบบอย่างสำหรับเวลาที่หลากหลาย โดยอาจต้องพิจารณาเป็นข้อกำหนดแยกตามประเภทอาคาร อย่างไรก็ตามความก้าวหน้าในความสามารถจำลองการเกิดไฟ และการจำลองการอพยพประชาชนประกอบกับการพัฒนางานฐานข้อมูลของพฤติกรรมการอพยพผู้คน ทำให้ทำการเปลี่ยนระบบต่าง ๆ ที่ใช้ในปัจจุบัน แบบจำลองเพลิงไหม้ที่มีอยู่ สามารถใช้ในการประมาณหาเวลาที่มีอยู่ในการหนีภัย ตามสภาพแวดล้อมของอันตรายจากไฟที่แตกต่างกัน

การหาค่าสัมบูรณ์ สำหรับเวลาที่ต้องการในการอพยพคนในอาคารภายใต้สภาพแวดล้อมที่เลวลงนั้นกระทำได้ยาก เพราะความไม่แน่นอนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของคน อย่างไรก็ตาม แบบจำลองที่มีอยู่สามารถใช้ในการประมาณหาเวลาที่ต้องการสำหรับผู้ที่อยู่ในอาคาร โดยการกำหนดจากจุดเริ่มของการช่วยเหลือเบื้องต้น เพื่ออพยพคนในอาคารหรือส่วนของอาคารในสภาพที่ยังไม่เป็นอันตราย

2.7.2.1 การใช้ประโยชน์ของเวลาที่มีอยู่กับเวลาที่ต้องการ

จากการนิยามคำว่า เวลาที่มีอยู่ (t_A) เป็นเวลาจากการตรวจพบและการบอกข่าวของไฟที่เกิดขึ้น ถึงเวลาเมื่อสภาพสิ่งแวดล้อมเลวร้ายจนคนทนอยู่ไม่ได้ และเวลาที่ต้องการ (t_R) ว่าเป็นเวลาที่จำเป็นเมื่อกำหนดความจุสูงสุดของคนในอาคารเพื่อไปสู่ที่รอดชีวิต ทำให้สามารถใช้หลักการของเวลาที่มีอยู่กับเวลาที่ต้องการ ด้วย

การใช้ฐานอ้างอิงร่วมกัน ซึ่งได้แก่ เวลาขณะซึ่งตรวจพบเหตุที่เกิดขึ้น เพื่อครอบคลุมทุกสถานการณ์ที่เป็นไปได้ ($t_R < t_A, t_R = t_A$ และ $t_R > t_A$) ค่าดัชนีความปลอดภัย (SI) สามารถหาได้จาก

$$SI = \frac{t_A - t_R}{t_R} \quad \text{.....(2.7.22)}$$

เมื่อการเพิ่มค่าของดัชนีความปลอดภัย จะเป็นการเพิ่มระดับความปลอดภัย และการลดค่าดัชนีความปลอดภัย จะเป็นการเพิ่มระดับความเสี่ยง

ดังนั้น ถ้าสามารถกำหนดเงื่อนไขของจุดอ้างอิงได้ การออกแบบต้นแบบก็สามารถเปรียบเทียบกับสภาพอ้างอิงที่ใช้ดัชนีความปลอดภัยได้ โดยสภาพที่พอเพียงคือ

$$SI_P \not< SI_B \text{ .....(2.7.23)}$$

เมื่อ SI_P คือ ดัชนีความปลอดภัยสำหรับการออกแบบต้นแบบ และ

SI_B คือ ดัชนีความปลอดภัยมาตรฐานของอาคาร

ในบทความนี้ กล่าวถึงสภาพมาตรฐานคือการออกแบบ ให้ได้รับความพอใจ คือต้องถูกต้องตามกฎระเบียบหลักการ ดัชนีความปลอดภัย ไม่เพียงนำมาใช้ในการออกแบบอาคารใหม่เท่านั้น แต่ยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินศักยภาพในการหนีภัยของผู้อยู่ในอาคารที่มีการเปลี่ยนแปลงการตกแต่งบ่อย

<u>การประยุกต์ของเวลาที่มีอยู่ กับเวลาที่ต้องการ</u>

เพื่อการใช้แนวทางของเวลาที่มีอยู่กับเวลาที่ต้องการ สามารถใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 2 แบบ คือ ASET และ EVACNET

EVACNET ใช้ Algorithm แบบโครงข่าย เพื่อคำนวณหาเวลาที่น้อยที่สุดในการอพยพผู้คนสำหรับอาคารที่เฉพาะเจาะจง ได้แก่ เวลาที่น้อยที่สุดที่ต้องการสำหรับจำนวนผู้อพยพสูงสุด ASET ใช้คำนวณหาเวลาออกที่ปลอดภัย ได้แก่ เวลาที่มีอยู่นับจากการตรวจพบไฟจนกระทั่งถึงภายในห้องมีสภาพที่ไม่สามารถทนอยู่ได้แล้ว

2.7.2.2. การประยุกต์ใช้กับอาคารพิพิธภัณฑ์

การประยุกต์หลักการข้างต้นกับอาคารพิพิธภัณฑ์ 3 ชั้น โดยอาคารนี้มีการแสดงศิลปกรรมบ่อยซึ่งต้องมีการตกแต่งพื้นที่บ่อย ในการกำหนดดัชนีความปลอดภัยที่อิงการออกแบบอาคารพิพิธภัณฑ์ที่เปิดโล่ง (ดูรูปที่ 2.10) จะต้องมีข้อมูลจุด

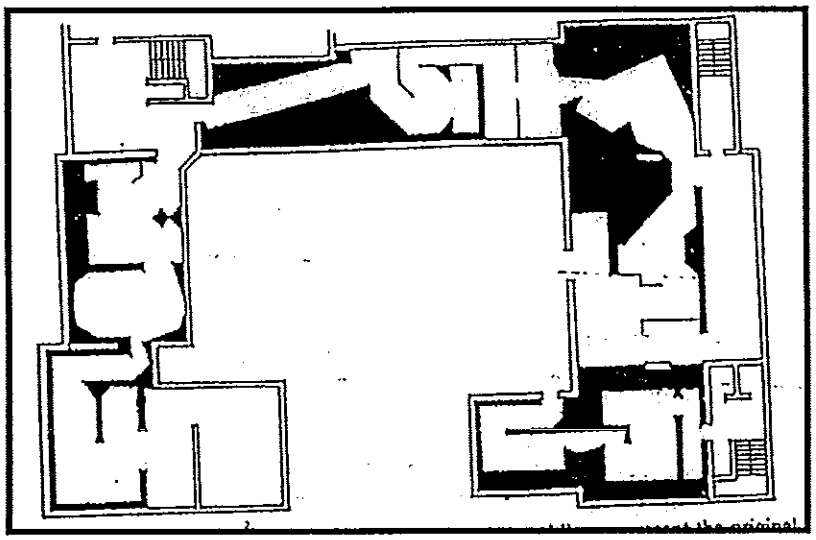
กำหนดที่เป็นไปได้ของไฟในอาคารที่มีอยู่, ในบางสถานการณ์อาจถือว่าเพลิงไหม้สิ่งของเพียงอย่างเดียว เช่น เฟอร์นิเจอร์หนึ่งชิ้น เราสามารถทำฐานข้อมูลของอัตราการปล่อยความร้อนออกของเฟอร์นิเจอร์โดยใช้เครื่องวัดพลังงาน สถานะการเพลิงไหม้ที่เลือกอาจแสดงในรูปเส้นโค้งแสดงการเติบโตของไฟของ t^2 มีสมการ ดังนี้

$$Q = \alpha t^2 \quad \text{.....(2.7.24)}$$

เมื่อ Q คือ อัตราการ การปล่อยความร้อนของไฟ (kW)

α คือ พารามิเตอร์ของอัตราการเติบโตของไฟ (kW/s^2)

t คือ เวลานับจากการจุดเป็นไฟ (s)



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการขยายตัวของไฟในอาคารพิพิธภัณฑ์

ที่มา : T. J. Shields, G.W. Silcock and K.E. Dunlop. 1992.

สำหรับกรณีอ้างอิงนี้ ใช้ค่าพารามิเตอร์ α = 0.003 kW/s^2 เพื่อใช้เป็นตัวแทนการพัฒนาของไฟจำนวนมากอย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นลักษณะของอาคารพิพิธภัณฑ์ตัวอาคารไม่ได้ติดตั้งระบบดับเพลิงแบบโปรยน้ำ (sprinkler) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ α = 0.1876 kW/s^2 สำหรับการพัฒนาไฟอย่างรวดเร็วในการคำนวณค่า SI_p จากการใช้แบบจำลอง ASET และ EVACNET จะได้เวลาที่มีอยู่ และเวลาที่ต้องการ ส่วนดัชนีความปลอดภัยสำหรับกรณีอ้างอิง ได้ผลตามตาราง 2.7

ตาราง 2.7 ดัชนีความปลอดภัยสำหรับอาคารแบบเปิดโล่ง

ประเภทของไฟ	การตกแต่ง / น้ำหนักบรรทุกภายใน	เวลาที่มีอยู่ (วินาที)	เวลาที่ต้องการ (วินาที)	ค่าดัชนีความปลอดภัย
ช้า	อาคารแบบเปิดโล่ง มีบันได 2 แห่ง มีผู้ใช้อาคาร 815 คน	670	260	1.58

ที่มา : T. J. Shields, G.W. Silcock and K.E. Dunlop. 1992.

เมื่อกำหนดค่าอ้างอิงแล้ว หากมีการตกแต่งภายในเป็นผู้ใช้แปลนแบบใยแมงมุม (Cellular) ได้ ค่าดัชนีความปลอดภัยสำหรับอาคารชั้นบนจะมีรายละเอียดใหม่ตามที่แสดงในตาราง 2.7 ซึ่งจะเห็นความแตกต่างของดัชนีความปลอดภัย ปรากฏชัดเจน และผู้บริหารสามารถหาค่าดัชนีให้เหมาะสมกับการตกแต่งแบบต่าง ๆ ได้ดังแสดงในตาราง 2.8

ตาราง 2.8 ดัชนีความปลอดภัยสำหรับแปลนแบบใยแมงมุม โดยมีผนังที่ติดไฟได้ง่าย

ประเภทการจัดอาคารภายใน	การตกแต่ง / น้ำหนักบรรทุกภายใน	เวลาที่มีอยู่ (วินาที)	เวลาที่ต้องการ (วินาที)	ค่าดัชนีความปลอดภัย
ไม้อัดปิดทับด้วยใย ไฟเบอร์ (ไม่ใช่วัตถุทนไฟ)	แปลนแบบใยแมงมุม มีบันได 2 แห่ง มีคนใช้อาคาร 1,300 คน	198	400	- 0.5

ที่มา : T.J. Shields, G.W. Silcock, and K.E. Dunlop. 1992.

จะเห็นว่าการพิจารณาจะมุ่งตรงไปที่การควบคุมการเติบโตของไฟ, การลดความจุของผู้อยู่ในอาคาร และเพิ่มจำนวนทางหนีภัยที่มีอยู่ รูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของดัชนีความปลอดภัยเทียบกับฐานอ้างอิงขณะที่ใช้กลยุทธ์แตกต่างกัน ส่วนตาราง 2.9 แสดงให้เห็นเพียงตัวอย่าง ที่เป็นไปได้ของกลยุทธ์รวมซึ่งใช้ร่วมกัน ส่วนกลยุทธ์อื่นอาจจะได้รับการพิจารณาโดยต้องพิจารณาประสิทธิผลของค่าใช้จ่าย

ตาราง 2.9 ดัชนีความปลอดภัยเพื่อกลยุทธ์การจัดการอาคาร

ประเภทการจัดอาคารภายใน	การตกแต่ง / น้ำหนักบรรทุกภายใน	เวลาที่มีอยู่ (วินาที)	เวลาที่ต้องการ (วินาที)	ค่าดัชนีความปลอดภัย
ไม้อัดทับหน้าด้วยวัสดุทนไฟ	แปลนแบบใยแมงมุม บันได 2 แห่ง มีผู้คนใช้อาคาร 1,300 คน	322	400	- 0.20
ไฟเบอร์กลาส	แปลนแบบใยแมงมุม บันได 2 แห่ง มีผู้คนใช้อาคาร 1,300 คน	485	400	0.20
ไฟเบอร์กลาส	แปลนแบบใยแมงมุม บันได 3 แห่ง มีผู้ใช้อาคาร 1,300 คน	485	370	0.31
ไฟเบอร์กลาส	แปลนแบบใยแมงมุม บันได 3 แห่ง มีผู้ใช้อาคาร 480 คน	485	180	1.69

ที่มา : T. J. Shields, G.W. Silcock, and K.E. Dunlop. 1992.

บทที่ 3

การทดลอง

การศึกษาระบบทางหนีภัยในอาคารนั้นมีตัวแปรที่สำคัญที่สุดสำหรับงานวิจัยคือ เวลาที่จะต้องใช้ในการอพยพหนีภัย ฉะนั้นการทดลองเพื่อการวิจัยประการหนึ่งคือการทดลองหรือการวิเคราะห์วิจัยหาเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร (Evacuation Time from Buildings) ในส่วนแรกนี้จึงเกี่ยวข้องกับสถานที่ที่ทำการทดลองและบุคคลที่ใช้เป็นตัวอย่าง

3.1 สถานที่และบุคคลในการทดลอง

สถานที่ที่ทำการทดลอง ทำการทดลองหาเวลาที่จะต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร ที่อาคารเรียนของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ฯ เป็นสถาบันอุดมศึกษา จัดตั้งขึ้นโดยพระราชบัญญัติวิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา ต่อมาได้รับพระมหากรุณาธิคุณจากพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานชื่อใหม่เป็น "สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล" สถาบันฯ เป็นนิติบุคคลมีฐานะเป็นกรมสังกัดกระทรวงศึกษาธิการ มีหน้าที่จัดการศึกษาในสายวิชาชีพ การวิจัย และการบริการวิชาการแก่สังคม ปัจจุบันสถาบันฯจัดการศึกษาในระดับปริญญาตรีและประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงใน 15 คณะ 40 วิทยาเขตฯ การบริหารสถาบันฯ มีอธิการบดีเป็นผู้บริหาร ปัจจุบันคือ รองศาสตราจารย์ ดร. วินิจ โชติสว่าง (กรกฎาคม 2542)

วิสัยทัศน์ราชมงคล 2550 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลจะเป็นผู้นำด้านการจัดการศึกษา สหวิทยาการตามมาตรฐานสากล ผลิตและยกระดับขีดความสามารถของบุคลากรที่เป็นกำลังแรงงานของประเทศ ให้มีความชำนาญด้านวิชาชีพและเทคโนโลยีที่ทันสมัย มุ่งมั่นสู่ความเป็นเลิศและสร้างคุณค่าที่ดีแก่สังคม โดยมีเป้าหมายที่สำคัญ คือ ผลิตนักศึกษาระดับปริญญาตรี : ระดับต่ำกว่าปริญญาตรี ในสัดส่วน 50:50 โดยมีสัดส่วนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี : สังคมศาสตร์ 70:30 เพิ่มการผลิตผลงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ พัฒนาบุคลากร จัดกิจกรรมส่งเสริมด้านศาสนาศิลปวัฒนธรรม

3.1.1 สถานที่ที่ทำการทดลอง (สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้)

เดิมชื่อ วิทยาลัยเทคนิคภาคใต้ สังกัดกรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ได้มีการประกาศตั้งสถานศึกษาแห่งนี้ขึ้นเมื่อวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2498 เป็นวิทยาลัยแห่งแรกในส่วนภูมิภาค เปิดเรียนครั้งแรกเมื่อวันที่ 5 มิถุนายน พ.ศ. 2498 เมื่อมีการประกาศใช้พระราช

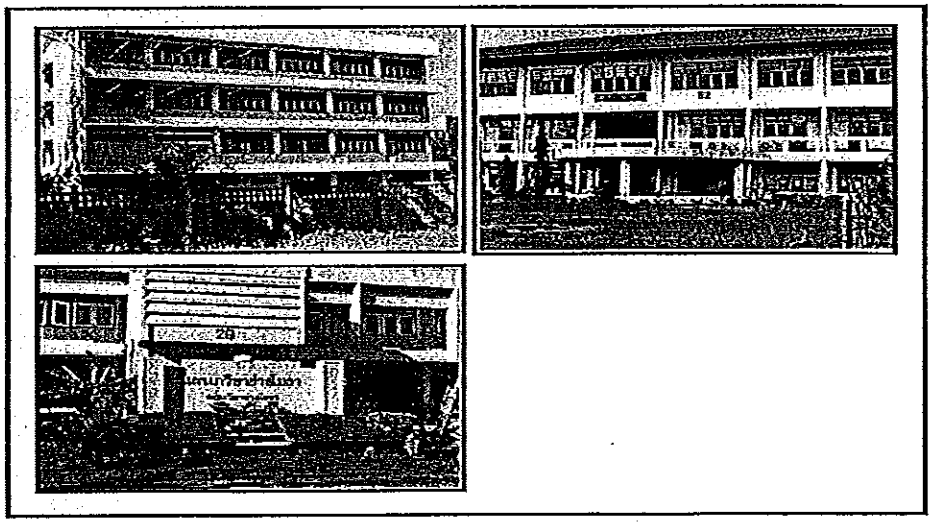
บัญญัติวิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตฯ ได้เข้าสังกัดและมีชื่อเป็น วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตภาคใต้ และเมื่อสถาบันฯได้รับพระราชทานชื่อใหม่ วิทยาเขตฯ จึงมีชื่อเป็น สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ มาจนถึงปัจจุบัน

การบริหาร วิทยาเขตฯ บริหารจัดการโดยแบ่งหน่วยงานออกเป็นฝ่าย คณะวิชา แผนกวิชา สาขา แผนกงานและศูนย์ เช่น ศูนย์พัฒนาบุคลากร ศูนย์คอมพิวเตอร์ ศูนย์เครื่องจักรกลอัตโนมัติ เพื่อดำเนินการจัดการศึกษาในหลักสูตรต่าง ๆ โดยมีผู้อำนวยการวิทยาเขตเป็นผู้บริหาร ปัจจุบันคือ นายชาญดำรง ณ นคร (กรกฎาคม 2542)

การจัดการศึกษา วิทยาเขตฯ จัดการศึกษาใน 3 ระดับ คือ ระดับ ปวช. ปวส. และปริญญาตรี กับมีหลักสูตรฝึกอบรมตามโครงการต่าง ๆ อีกจำนวนหนึ่ง และจัดให้มีกิจกรรมเสริมสร้างความรู้ ทักษะ พลานามัย เสริมสร้างด้านศาสนา คุณธรรมจริยธรรม อนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรมและสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันวิทยาเขตฯ มีนักศึกษาประมาณ 6,000 คน จัดการศึกษาประมาณ 50 หลักสูตรวิชา

ที่ตั้งวิทยาเขต วิทยาเขตฯ ตั้งอยู่ริมทะเลในเมืองสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 250 ไร่ และที่อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลาอีกประมาณ 150 ไร่

อาคารเรียนจำนวนสามหลังของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคใต้ที่ผู้วิจัยใช้สำหรับทำการทดลองคือ อาคารเรียนหมายเลข 29 ตึกสองชั้นของแผนกวิชาช่างโยธา อาคารเรียนหมายเลข 52 ตึกสามชั้นของแผนกวิชาช่างก่อสร้าง และอาคารเรียนหมายเลข 31 ตึกสี่ชั้นของแผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม (ตามรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 อาคารที่ใช้ในการทดลอง

ตาราง 3.1 ขนาดของอาคารที่ทำการทดลอง

อาคารที่ทำการทดลอง	อาคาร 29 แผนกช่างโยธา (ตึก 2 ชั้น)	อาคาร 31 แผนกสถาปัตยกรรม (ตึก 4 ชั้น)	อาคาร 52 แผนกช่างก่อสร้าง (ตึก 3 ชั้น)
พื้นที่อาคาร รวมทั้งหมด	648 ตารางเมตร	1608 ตารางเมตร	1440
พื้นที่อาคาร ต่อชั้น	324 ตารางเมตร	402 ตารางเมตร	480
ความสูงของพื้นที่ทดลองถึงชั้นล่าง	3.73 เมตร	10.94 เมตร	6.82
ความสูงระหว่างชั้น	3.73 เมตร	3.65 เมตร	3.41
ทางหนีไฟกว้าง	1.50 เมตร	1.90 เมตร	1.73
ประตูหนีไฟกว้าง	1.20 เมตร	0.90 เมตร	0.90
บันไดหนีไฟกว้าง	1.35 เมตร	1.75 เมตร	2.03
ขนาดความสูงของลูกตั้งบันไดหนีไฟ	0.175 เมตร	0.175 เมตร	0.20
จำนวนขั้นบันไดต่อชั้น	20 ขั้น/ชั้น	19 ขั้น/ชั้น	18 ขั้น/ชั้น
ความกว้างของลูกนอนของบันไดหนีไฟ	0.25 เมตร	0.295 เมตร	0.30 เมตร
ความยาวของทางหนีไฟจากจุดไกลสุดถึงบันได	27 เมตร	23 เมตร	26 เมตร
จำนวนราวบันได	2 ด้าน	2 ด้าน	1 ด้าน
ขนาดราวบันได	6.6 เซนติเมตร	6.5 เซนติเมตร	6.5 เซนติเมตร
เวลาในการวิ่งลงบันไดต่อชั้น	16 วินาที	15 วินาที	14 วินาที

3.1.2 บุคคลที่ทำการทดลอง

กำหนดให้นักศึกษาคณะวิชาโยธา สามแผนกวิชา คือ แผนกวิชาช่างโยธา แผนกวิชาช่างก่อสร้าง แผนกวิชาช่างสำรวจ กับนักศึกษาคณะวิชาออกแบบ แผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรมของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคใต้ เป็นผู้ทดลองวิ่งออกจากห้องเรียนผ่านประตูห้อง, ทางเดินระหว่างห้อง และลงบันไดไปจนถึงชั้นล่างสุด การทดลองทำเฉพาะในเวลากลางวัน ก่อนพระอาทิตย์ตกดิน จำนวน 20 ครั้ง นักศึกษาที่ทำการทดลองส่วนใหญ่เป็นเพศชาย 90 % เพศหญิง 10 % อายุของนักศึกษาอยู่ระหว่าง 19 ถึง 25 ปี ความสูงระหว่าง 1.47 เมตร ถึง 1.90 เมตร ความสูงเฉลี่ย 1.69 เมตร ความกว้างเฉลี่ย 0.50 เมตร (ดังแสดงในตารางที่ 5.4) สภาพความแข็งแรงของร่างกายของนักศึกษาทุกคนอยู่ในสภาพปกติสมบูรณ์

จำนวนนักศึกษาที่ใช้ให้ทำการทดลองต่อครั้ง ใช้นักศึกษาทั้งห้อง หรือรวมทั้งสองห้องเป็นบางครั้ง จำนวนนักศึกษาเฉลี่ยห้องละ 30 คน

3.2 รูปแบบการทดลอง

อาคารที่ทำการทดลองเป็นอาคารเรียนจำนวน 3 หลังคือ อาคารเรียนหมายเลข 29 เป็นอาคารเรียนของนักศึกษาแผนกวิชาช่างโยธา อาคารหมายเลข 52 เป็นอาคารเรียนของนักศึกษาแผนกวิชาช่างก่อสร้าง และอาคาร 31 เป็นอาคารเรียนของนักศึกษาแผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม ลักษณะเป็นตึกสองชั้น สามชั้น และสี่ชั้นตามลำดับ บันไดหนีไฟในอาคารทุกหลังคือบันไดหลักซึ่งได้ใช้เป็นบันไดหนีไฟด้วย ลักษณะทางออกของอาคารแต่ละหลังเป็นประตูบานใหญ่กว้าง 2.00 เมตร ตำแหน่งของทางออกอยู่ทางด้านหน้าของอาคาร เนื่องจากอาคารเรียนเป็นอาคารประเภทอาคารสาธารณะ ฉะนั้นประตูทางออกจึงมีความกว้างมากกว่าอาคารพักอาศัยทั่ว ๆ ไป ตำแหน่งที่ตั้งของทางออกทุกอาคารมีบันไดหลักและทางออกอยู่ตรงกลางอาคาร ระยะทางการวิ่งที่ไกลที่สุดคือจากหลังห้องเรียน ฉะนั้นเมื่อได้รับสัญญาณเตือนภัยหรือสัญญาณให้เริ่มวิ่งหนีภัย นักศึกษาผู้ที่อยู่หน้าห้องเรียนจะมีระยะทางวิ่งน้อยกว่าผู้ที่อยู่หลังห้องเรียน ค่าเฉลี่ยของระยะทางวิ่งตามแนวราบจากกลางห้องเรียนมาจนถึงห้องโถงหน้าบันไดหนีไฟมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20 เมตร (ระยะทางวิ่งตามแนวราบนี้วัดระยะตามแนวราบ โดยถือว่าพื้นที่ทั้งหมดสม่ำเสมอ ไม่มีระดับที่สูงหรือต่ำกว่ากันและไม่มีสิ่งกีดขวาง) เมื่อทุกคนวิ่งออกจากห้องเรียนมาจนถึงบันไดหรือห้องโถงหน้าบันไดซึ่งเป็นจุดรวมคนเพื่อรอคิวทยอยกันลงบันได ค่าอัตราการเคลื่อนตัวที่วัดได้ในช่วงนี้ถือเป็นอัตราการเคลื่อนตัวของกลุ่มคนตามทางราบภายในอาคาร

3.2.1 การทดลองหาอัตราความเร็ว

การทดลองครั้งนี้ต้องการที่จะหาอัตราความเร็วสูงสุดในการลงบันได อัตราความเร็วเฉลี่ยในการลงบันได อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งในทางราบตามแนวทางเดินระหว่างห้อง อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งในทางราบตามทางเดินระหว่างห้อง และอัตราความเร็วเฉลี่ยในการผ่านประตูทางออก

การทดลองหาอัตราความเร็วสูงสุดในการลงบันได คือ เอาเวลาที่คนแรกลงมาถึงหารด้วยจำนวนชั้นของอาคาร ได้เป็นอัตราความเร็วในการลงบันไดต่อชั้น

การทดลองหาอัตราความเร็วเฉลี่ยในการลงบันได คือ เอาเวลาที่ทุกคนลงบันไดได้ทั้งหมดมาหารด้วยจำนวนชั้นของอาคารและหารด้วยขนาดความกว้างประสิทธิผลของบันได คิดเฉพาะช่วงที่มีความกว้างของบันไดสม่ำเสมอเท่านั้น หน่วยจะออกมาเป็น คน/เมตร/นาที ความกว้างประสิทธิผลจะไม่ตรงกับความกว้างของบันไดตามแบบแปลนเนื่องจากฝีมือในการก่อสร้าง และความกว้างประสิทธิผลของบันไดจะลดลงเนื่องจากต้องติดตั้งราวบันไดและลูกกรงบันได และขนาดความกว้างของเสาที่นูนออกมา

การทดลองหาอัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งทางราบ คือ เอาเวลาที่คนแรกสามารถวิ่งจากประตูห้องเรียนมาถึงห้องโถงหน้าบันไดหารด้วยระยะทางจากประตูห้องซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นถึงห้องโถงหน้าบันได และหารด้วยความกว้างประสิทธิผลของทางวิ่งในขณะที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง หน่วยเป็น คน/นาที/เมตร

การทดลองหาอัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทางราบ คือ เอาเวลาที่ทุกคนสามารถวิ่งจากประตูห้องเรียนมาถึงห้องโถงหน้าบันไดหารด้วยระยะทางจากประตูห้องเรียนซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นถึงห้องโถงหน้าบันได และหารด้วยความกว้างของทางวิ่ง หน่วยเป็น คน/นาที/เมตร

การทดลองหาอัตราความเร็วเฉลี่ยในการออกจากห้องผ่านประตู หาโดยการจับระยะเวลาที่ทุกคนสามารถออกไปหมด เอาไปหารจำนวนคนแล้วหารด้วยความกว้างของประตู หน่วยเป็น คน/นาที/เมตร

การเริ่มต้นการทดลองด้วยการนัดให้นักศึกษานั่งอยู่ที่เก้าอี้ที่นั่งเรียนประจำตามปกติภายในห้องเรียน การให้สัญญาณใช้วิธีส่งเสียงประกาศว่าเริ่มวิ่งออกจากห้องเรียนได้ โดยมีผู้จับเวลาจำนวน 4 จุด คือ

- จับเวลาที่ประตูห้องเรียน
- จับเวลาที่โถงหน้าบันได
- จับเวลาที่บันไดชั้นล่างถัดลงไปจากชั้นที่ทำการทดลอง

- จับเวลาที่บันไดชั้นล่างสุดรวมกับที่ประตูทางออก

ผู้ที่จับเวลาที่ประตูห้องเรียน จะจับเวลาที่นักศึกษาคนแรกวิ่งมาถึงประตู และเวลาที่คนสุดท้ายสามารถวิ่งออกผ่านประตูไป เวลาที่มาถึงประตูถือเป็นเวลาที่เริ่มออกจากประตูไปยังโถงบันไดด้วย ผู้ที่จับเวลาที่โถงหน้าบันไดก็เช่นเดียวกันคือ จับเวลาที่นักศึกษาคนแรกวิ่งมาถึงและเวลาที่นักศึกษาคนสุดท้ายมาถึง เวลาที่มาถึงโถงหน้าบันไดถือเป็นเวลาที่เริ่มต้นลงบันไดด้วย ผู้ที่จับเวลาที่บันไดชั้นล่างจับเวลาที่คนแรกลงมาถึงและเวลาที่คนสุดท้ายวิ่งผ่าน

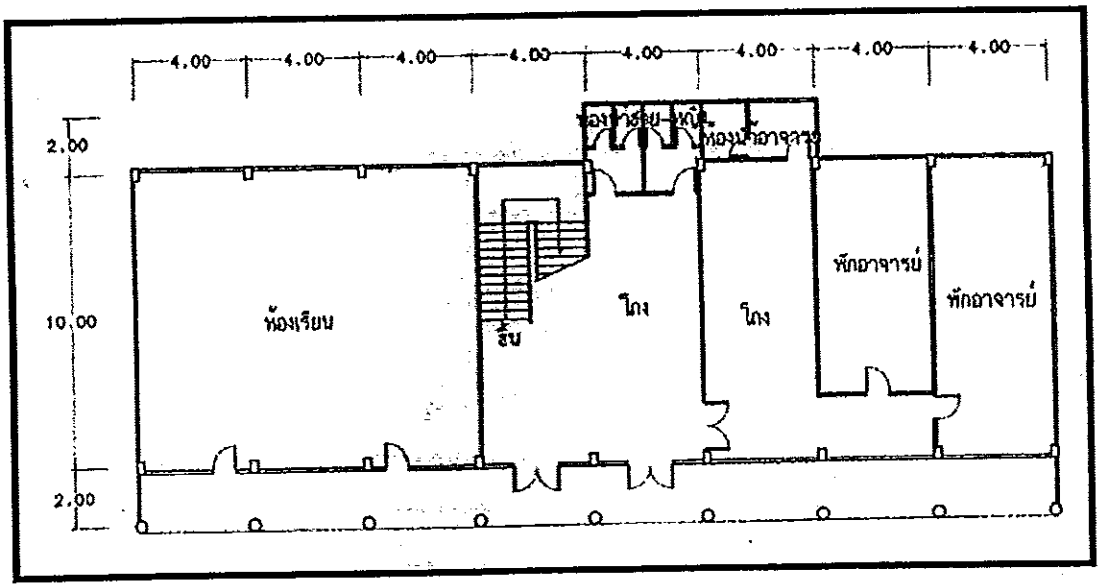
การวัดระยะทางเพื่อหาความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเคลื่อนตัวทางราบ จะแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ D_1, D_2 และ D_3

โดย ที่ D_1 คือ ระยะทางจากศูนย์กลางห้องเรียนถึงประตู

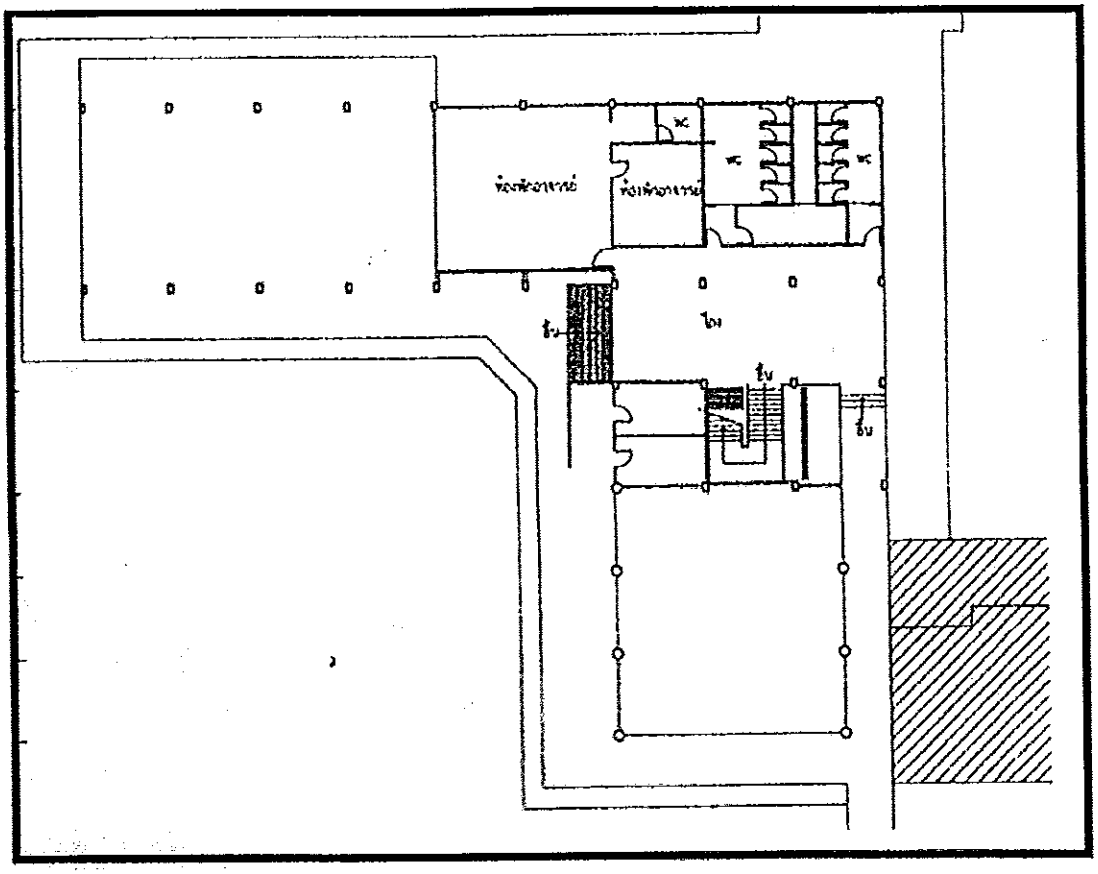
D_2 คือ ระยะทางจากประตูถึงห้องโถงหน้าบันได

D_3 คือ ระยะทางจากศูนย์กลางโถงหน้าบันไดถึงบันไดขั้นแรก

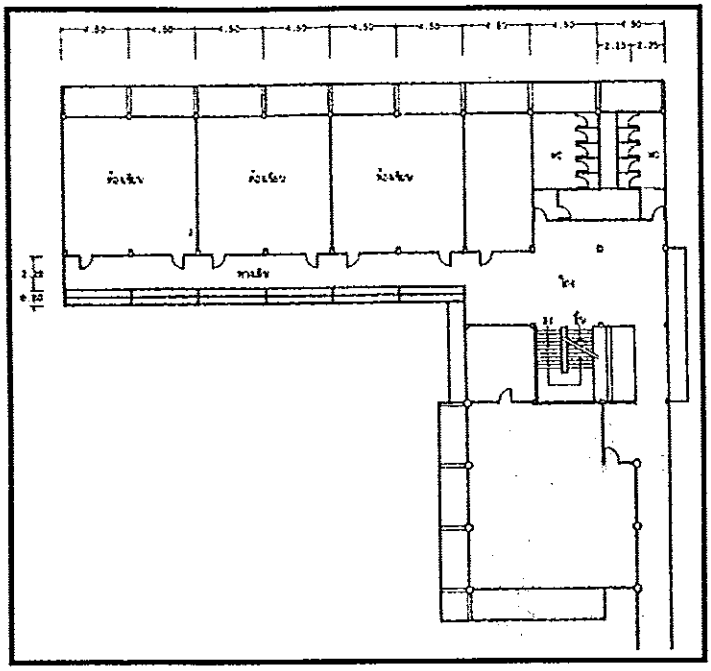
ข้อมูลรายละเอียดที่จะต้องบันทึกไว้คือ วัดความกว้างประสิทธิผลของทางวิ่ง วัดความกว้างประสิทธิผลของบันได วัดขนาดของราวบันได วัดขนาดของลูกตั้ง ลูกนอนบันได นับจำนวนขั้นบันได วัดความสูงระหว่างชั้น ซึ่งค่าที่วัดได้แสดงในตาราง 4.10 ถึง 4.12 อาคารที่ใช้ทำการทดลองได้จำลองแปลนอาคารแต่ละชั้นไว้แล้ว ดังรูปที่ 3.2 ถึง 3.8 สำหรับรูปที่ 3.9 ถึง 3.11 เป็นภาพถ่ายขณะที่ทำการทดลองวิ่งตามทางราบ เดินลงบันได และออกจากประตูห้องตามลำดับ



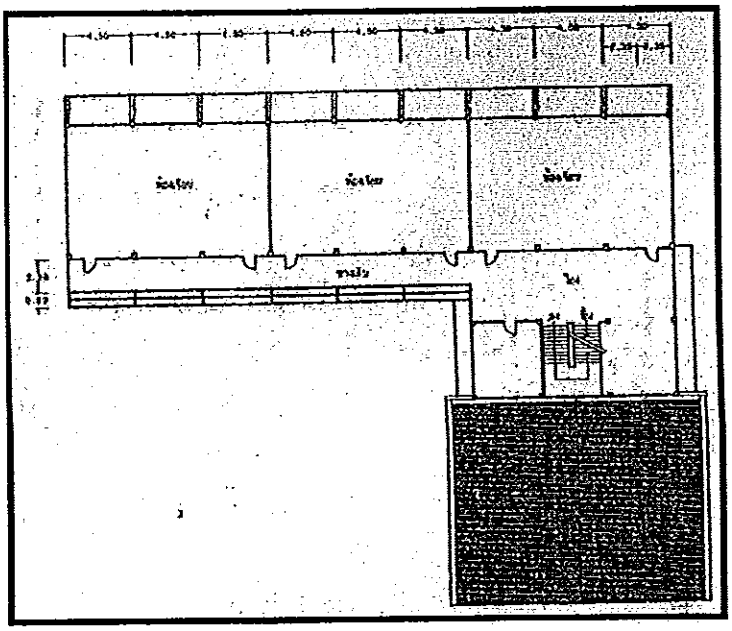
รูปที่ 3.2 แปลนพื้นชั้นล่างของอาคารเรียน 52 ตึกสามชั้น



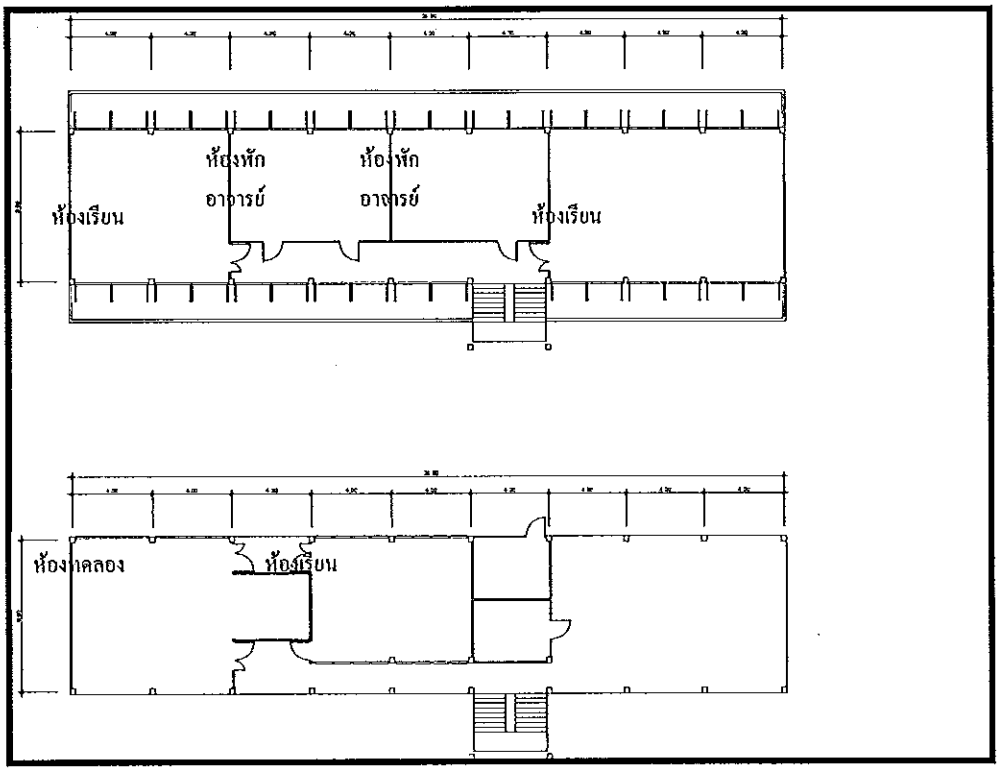
รูปที่ 3.5 แปลนพื้นชั้นล่างของอาคารเรียน 31 ตึกสี่ชั้น



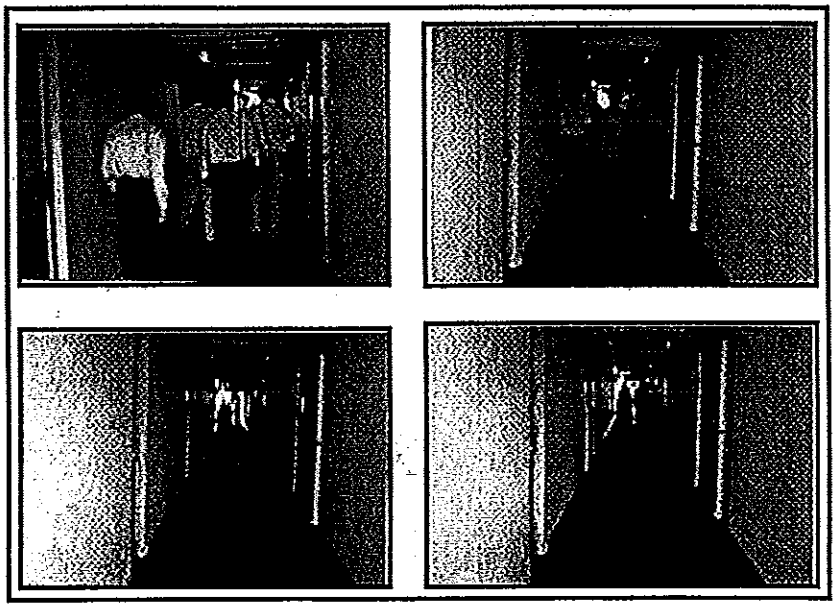
รูปที่ 3.6 แปลนพื้นชั้น 2 ของอาคารเรียน 31 ตึกสี่ชั้น



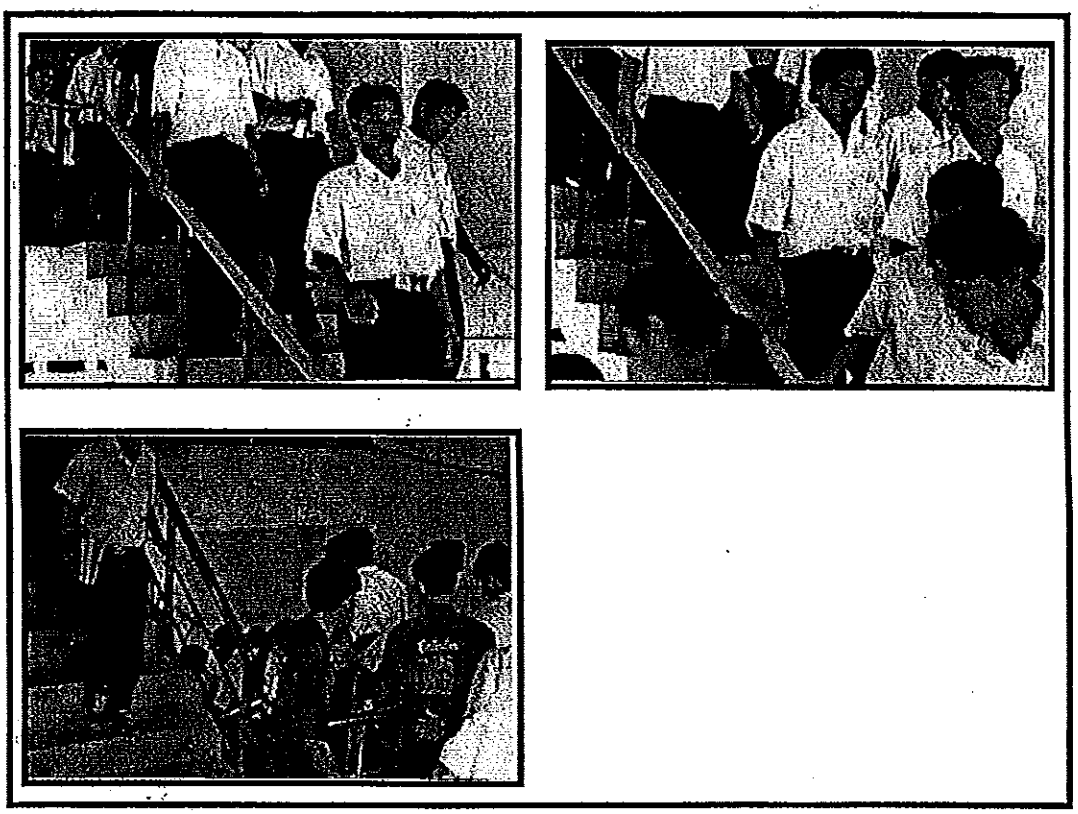
รูปที่ 3.7 แปลนพื้นชั้น 3 และ 4 ของอาคารเรียน 31 ตึกสี่ชั้น



รูปที่ 3.8 แปลนพื้นชั้นล่าง และชั้น 2 ของอาคารเรียน 29 ตึกสองชั้น



รูปที่ 3.9 การทดลองหาอัตราความเร็วในการเดินที่ทางเดินระหว่างห้อง



รูปที่ 3.10 การทดลองหาอัตราการเดินลงบันได

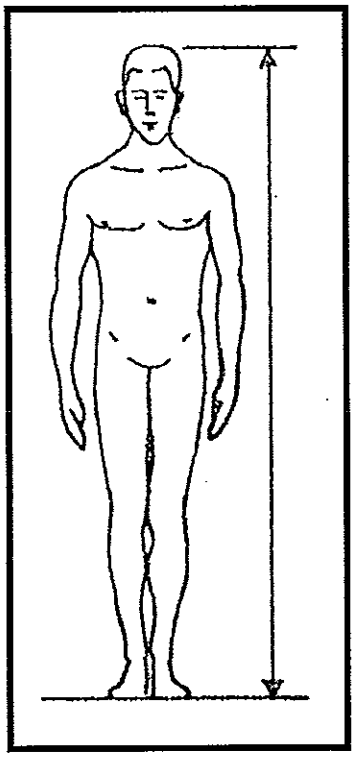
รูปที่ 3.11 การทดลองหาอัตราการผ่านประตูทางออก

3.3 ผลการทดลอง

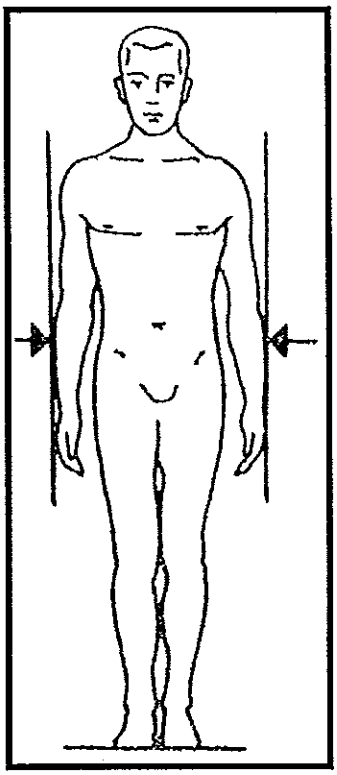
การทดลองเริ่มต้นด้วยการทดลองหาค่าความสูง ความกว้าง และความยาวเท้า ของนักศึกษาตัวอย่าง จำนวนทั้งสิ้น 102 คน เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย อัตราความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบกับค่าความสูง ความกว้าง และความยาวเท้าตามมาตรฐานของต่างประเทศ แล้วจึงทดลองหาระยะเวลาในการเคลื่อนตัวในอาคาร ผลการศึกษาจากนักศึกษาตัวอย่าง ได้ดำเนินการดังนี้

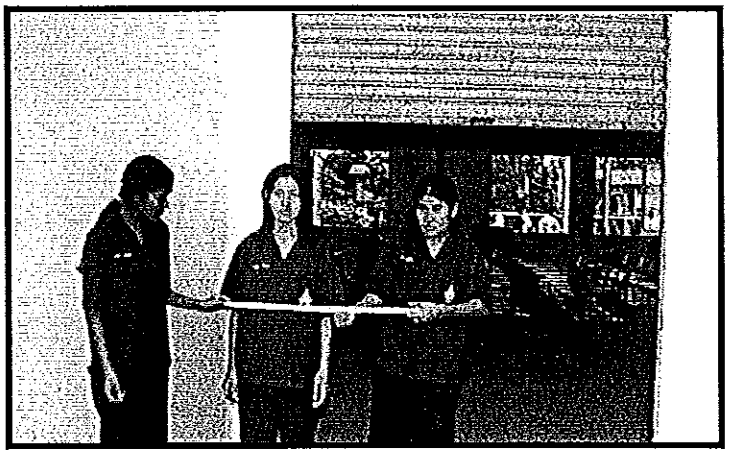
3.3.1 การวัดขนาดบุคคล (สรีระของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง)

การวัดความสูง ความกว้าง ความยาวเท้าของนักศึกษาได้กระทำตามรูปที่ 3.12 – 3.14

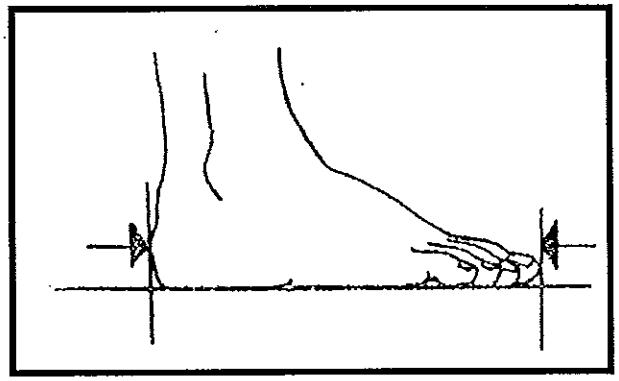


รูปที่ 3.12 การวัดความสูงของคน





รูปที่ 3.13 การวัดความกว้างของลำตัว



รูปที่ 3.14 การวัดความกว้างของเท้า

ในการทดสอบหาขนาด ความกว้าง ความสูง และขนาดของความยาวของเท้าของนักศึกษาตัวอย่าง ได้ผลตามตารางที่ 3.2 ถึง 3.10 สำหรับตารางที่ 5.3 ถึง 5.5 เป็นค่าความสูง ความกว้าง และความยาวเท้าของชาวต่างชาติจากหนังสือ Human Factors Design Handbook ของ Wesley E. Woodson. 1981. โดยได้ข้อสรุปตามหลักการพื้นฐานของความเป็นจริงว่าขนาดความกว้างของทางหนีไฟต้องกว้างกว่าความกว้างเฉลี่ยของคนบวกกับความกว้างของระยะริม ความสูงของทางหนีไฟต้องสูงกว่าความสูงของคนบวกกับความสูงของระยะขอบ และความกว้างของลูกนอนต้องกว้างเท่ากับความยาวเท้าเพื่อให้สามารถเหยียบได้เต็มฝ่าเท้า ขนาดความกว้าง ความสูง และความยาวของเท้าของนักศึกษาตัวอย่างที่ทำการวัด ถือเป็นผู้ใหญ่ที่ไม่เจริญเติบโตอีกแล้ว

ตาราง 3.2 ความกว้างของนักศึกษาแผนกวิชาช่างก่อสร้าง ชั้น ปวส. 2/1

ความกว้าง (ซม.)	จำนวนคน (คน)			ความกว้างเฉลี่ย (ซม.)		พิสัย (ซม.)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม.)
X	Y	XY	X^2	X_e	$(X - X_e)^2$		
45.00	2	90.00	2025.00	50.75	33.06	11	1.65
47.00	2	94.00	2209.00	50.75	14.06		
48.00	2	96.00	2304.00	50.75	7.56		
49.00	7	343.00	2401.00	50.75	3.06		
50.00	4	200.00	2500.00	50.75	0.56		
51.00	5	255.00	2601.00	50.75	0.06		
51.50	1	51.00	2652.00	50.75	0.56		
52.00	3	156.00	2704.00	50.75	1.56		
53.00	7	371.00	2809.00	50.75	5.06		
54.00	4	216.00	2916.00	50.75	10.56		
56.00	1	56.00	3136.00	50.75	27.56		
$\sum$	38	1928.50	28257.25	558.25	103.69		
	$\frac{\sum XY}{\sum Y}$	50.75					

ตาราง 3.3 ความกว้างของนักศึกษาแผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม ชั้น ปวส.1/1

ความกว้าง (ซม.) X	จำนวนคน (คน) Y	XY	X^2	ความกว้างเฉลี่ย (ซม.) X_e	$(X - X_e)^2$	พิสัย (ซม.)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม.)
43.00	2	86.00	1849.00	49.08	36.97	13	2.68
44.00	1	44.00	1936.00	49.08	25.81		
45.00	1	45.00	2025.00	49.08	16.65		
46.00	2	92.00	2116.00	49.08	9.49		
47.00	2	94.00	2209.00	49.08	4.33		
48.00	3	144.00	2304.00	49.08	1.17		
48.50	3	145.50	2352.25	49.08	0.34		
49.00	3	147.00	2401.00	49.08	0.01		
50.00	5	250.00	2500.00	49.08	0.85		
51.00	2	102.00	2601.00	49.08	3.69		
52.00	2	104.00	2704.00	49.08	8.53		
54.00	2	108.00	2916.00	49.08	24.21		
55.00	1	55.00	3025.00	49.08	35.05		
56.00	1	56.00	3136.00	49.08	47.89		
Σ	30	1472.50	34074.25		214.94		
	$\frac{\sum XY}{\sum Y}$	49.08					

ตาราง 3.4 ความกว้างของนักศึกษาแผนกวิชาช่างสำรวจ ชั้น ปวส.2/1

ความกว้าง (ซม.)	จำนวนคน (คน)			ความกว้างเฉลี่ย (ซม.)		พิสัย (ซม.)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม.)
X	Y	XY	X^2	X_e	$(X - X_e)^2$		
44.00	2	88.00	1936.00	50.47	41.86	12	1.83
47.00	3	141.00	2209.00	50.47	12.04		
48.00	3	144.00	2304.00	50.47	6.10		
49.00	4	196.00	2401.00	50.47	2.16		
50.00	4	200.00	2500.00	50.47	0.22		
50.50	2	101.00	2550.25	50.47	0.00		
51.00	5	255.00	2601.00	50.47	0.28		
52.00	4	208.00	2704.00	50.47	2.34		
53.00	2	106.00	2809.00	50.47	6.40		
54.00	4	216.00	2916.00	50.47	12.46		
56.00	1	56.00	3136.00	50.47	30.58		
$\sum$	34	1711.00	28066.25	555.17	114.45		
	$\frac{\sum XY}{\sum Y}$	50.47					

ตาราง 3.5 ความสูงของนักศึกษาแผนกวิชาช่างสำรวจ ชั้น ปวส.2/1

ความกว้าง (ซม.)	จำนวนคน (คน)			ความกว้างเฉลี่ย (ซม.)		พิสัย (ซม.)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม.)
X	Y	XY	X^2	X_e	$(X - X_e)^2$		
154	1	154.00	23716	169.19	230.74	33	6.08
157	1	157.00	24649	169.19	148.60		
159	2	318.00	25281	169.19	103.84		
163	1	163.00	26569	169.19	38.32		
165	3	495.00	27225	169.19	17.56		
166	2	332.00	27556	169.19	10.18		
167	3	501.00	27889	169.19	4.80		
168	4	672.00	28224	169.19	1.42		
170	3	510.00	28900	169.19	0.66		
171	1	171.00	29241	169.19	3.28		
172	1	172.00	29584	169.19	7.90		
173	3	519.00	29929	169.19	14.52		
174	1	174.00	30276	169.19	23.14		
175	1	175.00	30625	169.19	33.76		
176	2	352.00	30976	169.19	46.38		
177	2	354.00	31329	169.19	61.00		
178	1	178.00	31684	169.19	77.62		
180	1	180.00	32400	169.19	116.86		
187	1	187.00	34969	169.19	317.20		
$\sum$	34	5764.00	551022		1257.71		
	$\frac{\sum XY}{\sum Y}$	169.19					

ตาราง 3.6 ความสูงของนักศึกษาแผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม ชั้น ปวส.1/1

ความสูง (ซม.)	จำนวนคน (คน)			ความกว้างเฉลี่ย (ซม.)		พิสัย (ซม.)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม.)
X	Y	XY	X^2	X_e	$(X - X_e)^2$		
154	1	154.00	23716	169.03	225.90	30	6.45
156	1	156.00	24336	169.03	169.78		
158	2	316.00	24964	169.03	121.66		
164	2	328.00	26896	169.03	25.30		
165	2	330.00	27225	169.03	16.24		
166	3	498.00	27556	169.03	9.18		
167	2	334.00	27889	169.03	4.12		
168	3	504.00	28224	169.03	1.06		
170	2	340.00	28900	169.03	0.94		
171	1	171.00	29241	169.03	3.88		
172	1	172.00	29584	169.03	8.82		
173	2	346.00	29929	169.03	15.76		
174	1	174.00	30276	169.03	24.70		
175	1	175.00	30625	169.03	35.64		
176	2	352.00	30976	169.03	48.58		
177	1	177.00	31329	169.03	63.52		
178	1	178.00	31684	169.03	80.46		
182	1	182.00	33124	169.03	168.22		
184	1	184.00	33856	169.03	224.10		
Σ	30	5071.00	550330		1247.88		
	$\frac{\sum XY}{\sum Y}$	169.03					

ตาราง 3.7 ความสูงของนักศึกษาแผนกวิชาช่างก่อสร้าง ชั้น ปวส.2/1

ความสูง (ซม.)	จำนวนคน (คน)			ความกว้างเฉลี่ย (ซม.)		พิสัย (ซม.)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม.)
X	Y	XY	X^2	X_e	$(X - X_e)^2$		
155	1	155.00	24025	169.21	201.92	30	5.60
157	1	157.00	24649	169.21	149.08		
158	2	316.00	24964	169.21	125.66		
164	2	328.00	26896	169.21	27.14		
165	3	495.00	27225	169.21	17.72		
166	3	498.00	27556	169.21	10.30		
167	5	835.00	27889	169.21	4.88		
168	3	504.00	28224	169.21	1.46		
170	3	510.00	28900	169.21	0.62		
171	2	342.00	29241	169.21	3.20		
172	1	172.00	29584	169.21	7.78		
173	3	519.00	29929	169.21	14.36		
174	1	174.00	30276	169.21	22.94		
175	1	175.00	30625	169.21	33.52		
176	2	352.00	30976	169.21	46.10		
177	2	354.00	31329	169.21	60.68		
178	1	178.00	31684	169.21	77.26		
181	1	181.00	32761	169.21	139.00		
185	1	185.00	34225	169.21	249.32		
$\sum$	38	6430.00	550958		1193.02		
	$\frac{\sum XY}{\sum Y}$	169.21					

ตาราง 3.8 ความยาวของเท้าของนักศึกษาแผนกวิชาช่างก่อสร้างชั้น ปวส. 2/1

ความยาวของเท้า (ซม.)	จำนวนคน (คน)			ความยาวของเท้าเฉลี่ย (ซม.)		พิสัย (ซม.)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม.)
X	Y	XY	X^2	X_e	$(X - X_e)^2$		
17.00	1	17.00	289.00	23.72	45.16	10	1.58
20.00	2	40.00	400.00	23.72	13.84		
21.00	3	63.00	441.00	23.72	7.40		
22.00	1	22.00	484.00	23.72	2.96		
23.00	6	138.00	529.00	23.72	0.52		
23.50	3	70.50	552.25	23.72	0.05		
24.00	7	168.00	576.00	23.72	0.08		
25.00	10	250.00	625.00	23.72	1.64		
26.00	2	52.00	676.00	23.72	5.20		
26.50	1	26.50	702.25	23.72	7.73		
27.00	2	54.00	729.00	23.72	10.76		
$\sum$	38	901.00	6003.50		95.32		
	$\frac{\sum XY}{\sum Y}$	23.72					

ตาราง 3.9 ความยาวของเท้าของนักศึกษาแผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรมชั้น ปวส. 1/1

ความยาวของเท้า (ซม.)	จำนวน (คน)			ความยาวของเท้าเฉลี่ย (ซม.)		พิสัย (ซม.)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม.)
X	Y	XY	X^2	X_e	$(X - X_e)^2$		
19.50	1	19.50	380.25	23.37	14.98	7.5	1.40
20.00	2	40.00	400.00	23.37	11.36		
21.00	3	63.00	441.00	23.37	5.62		
22.00	4	88.00	484.00	23.37	1.88		
23.00	5	161.00	529.00	23.37	0.14		
24.00	6	144.00	576.00	23.37	0.40		
24.50	3	73.50	600.25	23.37	1.28		
25.00	4	100.00	625.00	23.37	2.66		
25.40	1	25.40	645.16	23.37	4.12		
26.00	1	26.00	676.00	23.37	6.92		
27.00	1	27.00	729.00	23.37	13.18		
Σ	30	747.90	6085.66		62.51		
	$\frac{\sum XY}{\sum Y}$	23.37					

ตาราง 3.10 ความยาวของเท้าของนักศึกษาแผนกวิชาช่างสำรวจชั้น ปวส. 2/1

ความยาวของเท้า (ซม.)	จำนวน (คน)			ความยาวของเท้าเฉลี่ย (ซม.)		พิสัย (ซม.)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ซม.)
X	Y	XY	X^2	X_e	$(X - X_e)^2$		
20.00	2	40.00	400.00	23.32	11.02	6.50	1.07
21.00	3	63.00	441.00	23.32	5.38		
22.00	5	110.00	484.00	23.32	1.74		
23.00	6	138.00	529.00	23.32	0.10		
23.50	4	94.00	552.25	23.32	0.03		
24.00	7	168.00	576.00	23.32	0.46		
25.00	3	75.00	625.00	23.32	2.82		
26.00	2	52.00	676.00	23.32	7.18		
26.50	2	53.00	702.25	23.32	10.11		
$\sum$	34	793.00	4985.5		38.86		
	$\frac{\sum XY}{\sum Y}$	23.32					

3.3.2 ผลการทดลองหาอัตราความเร็ว

การทดลองส่วนใหญ่ใช้นักศึกษาทั้งห้องเรียน จำนวน 5 ห้องเรียน เฉลี่ยห้องเรียนละ 30 คน ห้องเรียนขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 9 เมตร คิดเป็นพื้นที่ 72 ตารางเมตร ความหนาแน่นต่อพื้นที่ห้องเรียน เท่ากับ 2.4 ตารางเมตรต่อคน (ตามมาตรฐานการออกแบบใช้ค่าคำนวณพื้นที่ 2 ตารางเมตรต่อคน) อาคารที่ทำการทดลองเป็นอาคารเรียนจำนวน 3 หลัง คือ อาคารเรียนหมายเลข 29 หมายเลข 52 และอาคารสถาปัตยกรรม ลักษณะเป็นตึกสองชั้น สามชั้น และสี่ชั้นตามลำดับ

บันไดหนีไฟในอาคารทุกหลังคือบันไดหลักซึ่งได้ใช้เป็นบันไดหนีไฟด้วย ลักษณะทางออกของอาคารแต่ละหลังเป็นประตูบานใหญ่กว้าง 2.00 เมตร ตำแหน่งของทางออกอยู่ทางด้านหน้าของอาคาร

เนื่องจากอาคารเรียนเป็นอาคารประเภทอาคารสาธารณะ ฉะนั้นทางออกจึงมีความกว้างมากกว่าอาคารพักอาศัยทั่ว ๆ ไป ตำแหน่งที่ตั้งของทางออกส่วนใหญ่มีบันไดหลักและทางออกอยู่ตรงกลางอาคาร ระยะทางการวิ่งที่ไกลสุดคือจากหลังห้องเรียน ฉะนั้นเมื่อได้รับสัญญาณเตือนภัยหรือสัญญาณให้เริ่มวิ่งหนีภัย ผู้ที่อยู่หน้าห้องเรียนจะมีระยะทางวิ่งน้อยกว่าผู้ที่อยู่หลังห้องเรียน แต่ค่าเฉลี่ยของระยะทางวิ่งตามแนวราบจากกลางห้องเรียนมาจนถึงห้องโถงหน้าบันไดหนีไฟมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20 เมตร (ระยะทางวิ่งตามแนวราบนี้วัดระยะตามแนวราบ โดยถือว่าพื้นที่ทั้งหมดสม่ำเสมอ ไม่มีระดับที่สูงหรือต่ำกว่ากันและไม่มีสิ่งกีดขวาง)

เมื่อทุกคนวิ่งออกจากห้องเรียนมาจนถึงบันไดหรือห้องโถงหน้าบันไดซึ่งเป็นจุดรวมคนเพื่อรอคิวทยอยกันลงบันได ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนคน ระยะทาง และเวลาอยู่ในตารางที่ 3.11 ถึง 3.13 และสามารถสรุปย่อได้ค่าดังตารางที่ 3.14

แผนการวิ่งผู้วิจัยชี้แจงให้นักศึกษาทราบถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองจุดเริ่มต้นจุดสิ้นสุด การจับเวลา การวัดระยะทางประกอบกับนักศึกษาทุกคนรู้จักเส้นทางดี และไม่มีความตื่นตระหนก เมื่อจับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นให้สัญญาณจนถึงเวลาที่นักศึกษาได้วิ่งผ่านประตูทางออกที่ชั้นล่างสุดออกไปจากอาคารได้หมดแล้ว เทียบกับระยะทางที่วิ่งก็จะได้อัตราความเร็วเฉลี่ย ส่วนความกว้างของประตูซึ่งเป็นส่วนที่แคบที่สุดของทางวิ่ง จะเป็นตัวกำหนดศักยภาพของอัตราการเคลื่อนตัวของคนหรือของนักศึกษาที่ผ่านประตูได้คิดต่อหน่วยความกว้างของประตู

จากการทดลองจำนวน 20 ครั้ง ในอาคาร 3 หลัง มีข้อมูลเกี่ยวกับระยะทางที่วิ่ง เวลาที่ใช้และอัตราความเร็วต่าง ๆ ได้ตามตาราง 3.11 ถึง 3.13 ดังนี้

ตาราง 3.11 การทดลองหาอัตราการอพยพตามทางราบ

ทดลองครั้งที่	วัน/เดือน/ปีที่ทดลอง	นักศึกษาแผนกชั้นปีที่	จำนวนคน (คน)	อาคารที่ทดลอง	ระยะทางวิ่ง (เมตร)	ระยะทางวิ่งคิดค่า K (เมตร)	เวลาที่คนแรกวิ่งมาถึง (วินาที)	เวลาที่คนสุดท้ายวิ่งผ่าน (วินาที)	ความเร็วเฉลี่ยเมตร/นาที	ความกว้างของทาง(ม)	อัตราการอพยพได้คน/นาที/เมตร
1	1/6//41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	22.00	3.96	16.50	33.00	84.00	1.30	92.31
2	2/6/41	ก่อสร้าง 2/1	33	ก.ส.	20.50	3.69	15.00	30.00	94.00	1.73	76.30
3	2/6/41	โยธา 2/1	32	ข.ธ	12.00	2.16	8.00	26.00	54.00	1.30	82.05
4	2/6/41	ก่อสร้าง 2/2	33	ก.ส.	20.50	3.69	14.00	29.00	94.00	1.73	76.30
5	2/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	12.00	2.16	8.5.00	26.00	50.00	1.30	87.03
6	4/6/41	โยธา 2/1	32	ข.ธ	20.00	3.60	14.5.00	32.00	78.00	1.30	84.40
7	4/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	20.00	3.60	14.00	32.00	77.00	1.30	84.62
8	5/6/41	สถาปัตย์ 2/1	16	ส.ถ.	15.00	2.70	10.00	18.00	98.00	1.75	68.57
9	5/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	22.00	3.96	15.00	33.00	86.00	1.30	84.62
10	6/6/41	ค.อ.บ. โยธา 3/1	29	ก.ส.	31.00	5.58	22.00	33.00	96.00	1.73	91.43
11	8/6/41	โยธา 2/2	31	ข.ธ	22.00	3.96	16.00	32.00	76.00	1.30	89.42
12	9/6/41	ก่อสร้าง 2/1	33	ก.ส.	20.50	3.69	13.00	30.00	94.00	1.73	67.32
13	9/6/41	โยธา 2/1	33	ข.ธ	12.00	2.16	9.00	27.00	54.00	1.30	84.62
14	9/6/41	ก่อสร้าง 2/2	31	ก.ส.	20.50	3.69	15.00	30.00	92.00	1.73	71.68
15	9/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ.	12.00	2.16	8.5.00	27.00	53.00	1.30	82.33
16	11/6/41	โยธา 2/1	33	ข.ธ	20.00	3.60	13.00	31.00	78.00	1.30	84.62
17	11/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	20.00	3.60	14.00	31.00	79.00	1.30	89.59
18	12/6/41	สถาปัตย์ 2/1	16	ส.ถ.	15.00	2.70	10.00	17.00	94.00	1.75	78.37
19	12/6/41	โยธา 2/2	31	ข.ธ	22.00	3.96	15.00	31.00	83.00	1.30	89.42
20	13/6/41	ค.อ.บ. โยธา 3/1	28	ก.ส.	31.00	5.58	23.00	36.00	96.00	1.73	74.70
								รวม	1610.00		1639.70
								เฉลี่ยต่อนาที	85.00		81.99
								เฉลี่ยต่อวินาที	1.42		1.37

ตาราง 3.12 การทดลองหาอัตราการอพยพทางบันได

ทดลองครั้งที่	วัน/เดือน/ปีที่ทดลอง	นักศึกษาแผนกชั้นปีที่	จำนวนคน (คน)	อาคารที่ทดลอง	จำนวนชั้น (ชั้น)	ความสูง (เมตร)	จำนวนขั้นบันไดต่อชั้น	ความกว้างลูกนอน (เมตร)	ความสูงลูกตั้ง (เมตร)	เวลาที่คนแรกวิ่งมาถึงชั้นล่างสุด (วินาที)	เวลาที่คนสุดท้ายวิ่งผ่านได้ (วินาที)	ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	ความกว้างของบันได (เมตร)	อัตราการอพยพได้ (คน/นาที/เมตร)
1	15/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	2	3.73	20	0.25	0.17	15.00	42.00	32.00	1.35	54.32
2	16/6/41	ก่อสร้าง 2/1	33	ก.ส.	3	7.02	18	0.30	0.20	28.00	50.00	40.00	2.03	44.33
3	16/6/41	โยธา 2/1	32	ข.ธ	2	3.73	20	0.25	0.17	14.00	41.00	30.00	1.35	52.67
4	16/6/41	ก่อสร้าง 2/2	33	ก.ส.	3	7.02	18	0.30	0.20	29.00	51.00	42.00	2.03	44.33
5	17/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	2	3.73	20	0.25	0.17	13.00	39.00	31.00	1.35	56.41
6	17/6/41	โยธา 2/1	32	ข.ธ	2	3.73	20	0.25	0.17	14.00	40.00	32.00	1.35	54.70
7	18/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	2	3.73	20	0.25	0.17	15.00	41.00	29.00	1.35	56.41
8	19/6/41	สถาปัตย์ 2/1	16	ส.ถ.	4	10.9	20	0.29	0.17	39.00	49.00	620.00	1.75	54.86
9	19/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	2	3.73	20	0.25	0.17	14.00	42.00	30.00	1.35	52.38
10	20/6/41	ค.อ.บ. โยธา 3/1	29	ก.ส.	3	7.02	18	0.30	0.20	28.00	45.00	50.00	2.03	50.42
11	22/6/41	โยธา 2/2	31	ข.ธ	2	3.73	20	0.25	0.17	18.00	40.00	41.00	1.35	52.99
12	23/6/41	ก่อสร้าง 2/1	33	ก.ส.	3	7.02	18	0.30	0.20	27.00	45.00	45.00	2.03	54.19
13	23/6/41	โยธา 2/1	33	ข.ธ	2	3.73	20	0.25	0.17	14.50	40.00	28.00	1.35	57.52
14	23/6/41	ก่อสร้าง 2/2	31	ก.ส.	3	7.02	18	0.30	0.20	26.00	43.00	48.00	2.03	53.90
15	24/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ.	2	3.73	20	0.25	0.17	14.00	38.00	26.00	1.35	61.11
16	25/6/41	โยธา 2/1	33	ข.ธ	2	3.73	20	0.25	0.17	13.00	37.00	29.00	1.35	61.11
17	25/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	2	3.73	20	0.25	0.17	15.00	38.00	34.00	1.35	63.77
18	26/6/41	สถาปัตย์ 2/1	16	ส.ถ.	4	10.9	20	0.29	0.17	40.00	50.00	52.00	1.75	54.86
19	26/6/41	โยธา 2/2	31	ข.ธ	2	3.73	20	0.25	0.17	15.00	40.00	40.00	1.35	55.11
20	27/6/41	ค.อ.บ. โยธา 3/1	28	ก.ส.	3	7.02	18	0.30	0.20	27.00	42.00	44.00	2.03	55.17
											รวม	765.00		1090.57
											เฉลี่ย	38.25		54.53

ตาราง 3.13 การทดลองหาอัตราการอพยพผ่านประตูทางออก

ทดลองครั้งที่	วัน/เดือน/ปีที่ทดลอง	นักศึกษาแผนกชั้นปีที่	จำนวนคน (คน)	อาคารที่ทดลอง	เวลาที่คนแรกวิ่งมาถึง (วินาที)	เวลาที่คนสุดท้ายผ่านประตูได้ (วินาที)	ความกว้างของประตู (เมตร)	อัตราการอพยพผ่านประตูได้ คน/นาที/เมตร
1	1/6//41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	4	33	1.20	56.90
2	2/6/41	ก่อสร้าง 2/1	33	ก.ส.	4	43	0.90	56.41
3	2/6/41	โยธา 2/1	32	ข.ธ	3	33	1.20	50.00
4	2/6/41	ก่อสร้าง 2/2	33	ก.ส.	4	41	0.90	59.45
5	2/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	3	34	1.20	55.00
6	4/6/41	โยธา 2/1	32	ข.ธ	3	32	1.20	55.17
7	4/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	3	32	1.20	55.17
8	5/6/41	สถาปัตย์ 2/1	16	ส.ถ.	2	21	0.90	56.14
9	5/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	4	33	1.20	56.90
10	6/6/41	ค.อ.บ. โยธา 3/1	29	ก.ส.	2	35	0.90	58.59
11	8/6/41	โยธา 2/2	31	ข.ธ	3	32	1.20	53.45
12	9/6/41	ก่อสร้าง 2/1	33	ก.ส.	2	41	0.90	61.11
13	9/6/41	โยธา 2/1	33	ข.ธ	2	33	1.20	53.23
14	9/6/41	ก่อสร้าง 2/2	31	ก.ส.	3	41	0.90	54.39
15	9/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ.	2	33	1.20	53.23
16	11/6/41	โยธา 2/1	33	ข.ธ	3	33	1.20	55.00
17	11/6/41	โยธา 2/2	33	ข.ธ	4	35	1.20	53.22
18	12/6/41	สถาปัตย์ 2/1	16	ส.ถ.	2	25	0.90	53.33
19	12/6/41	โยธา 2/2	31	ข.ธ	2	31	1.20	53.45
20	13/6/41	ค.อ.บ. โยธา 3/1	28	ก.ส.	4	40	0.90	51.85
						รวม		1101.76
						เฉลี่ยต่อนาที		55.00
						เฉลี่ยต่อวินาที		0.92

ค่าของผลการทดลองจากตาราง 3.11 ถึง 3.13 สามารถสรุปอัตราความเร็วต่าง ๆ ได้ดังนี้

<u>อาคารตึกสี่ชั้น แผนกสถาปัตยกรรม</u>

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งทางราบ = 78 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทางราบ = 73 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งลงบันได = 55 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งลงบันได = 54 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการผ่านประตู = 55 คน/เมตร/นาที

<u>อาคารตึกสามชั้น แผนกช่างก่อสร้าง</u>

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งทางราบ = 91 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทางราบ = 76 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งลงบันได = 55 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งลงบันได = 50 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการผ่านประตู = 56 คน/เมตร/นาที

<u>อาคารตึกสองชั้น แผนกวิชาช่างโยธา</u>

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งทางราบ = 92 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทางราบ = 85 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งลงบันได = 63 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งลงบันได = 56 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการผ่านประตู = 54 คน/เมตร/นาที

<u>โดยภาพรวมทั้ง 3 อาคาร</u>

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งทางราบ = 92 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทางราบ = 78 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งลงบันได = 63 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งลงบันได = 54 คน/เมตร/นาที

อัตราความเร็วเฉลี่ยในการผ่านประตู = 55 คน/เมตร/นาที

ตาราง 3.14 อัตราการเคลื่อนตัวของนักศึกษาที่ได้จากการทดลอง 20 ครั้ง

อาคารที่ใช้ในการทดลอง	อัตราการเคลื่อนตัวเฉลี่ย (คน/นาที/เมตร)		
	ทางราบ	ผ่านประตู	ลงบันได
อาคาร 52 (ตึกแผนกก่อสร้าง)	76	56	50
อาคาร 29 (ตึกแผนกช่างโยธา)	85	54	56
อาคาร 31 (ตึกแผนกสถาปัตย์)	73	55	55
ค่าเฉลี่ย	78	55	54

บทที่ 4

การวิเคราะห์

การวิเคราะห์ประการแรกคือการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองในบทที่ 3

4.1 การวิเคราะห์โดยการคำนวณเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง คือ จำนวนคน ระยะทาง เวลาที่นักศึกษาคนแรกมาถึง เวลาที่นักศึกษาคนสุดท้ายผ่าน ความกว้าง ความเร็ว และอัตราการอพยพตามตารางที่ 3.11 ถึง 3.13 มาประยุกต์เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการขนส่งนั้น สามารถทำได้โดยใช้หลักความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วและความหนาแน่นตามหลักการของกรีนชิล (C.S. Papacostas. 1987.) ที่ได้กำหนดสมมติฐานการเคลื่อนตัวของกลุ่มคนว่า $Q = uk$ (Pauls H. Wright. 1996.)

ในที่นี้ Q คือ อัตราการเคลื่อนตัวของกลุ่มคน มีหน่วยเป็นคนต่อเมตรต่อนาที

u คือ อัตราความเร็วเฉลี่ยตามทางเดิน มีหน่วยเป็นเมตรต่อนาทีต่อความกว้างของทาง

k คือ อัตราความหนาแน่น มีหน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร

ตามสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า u และค่า k สามรูปแบบของ Greenshield คือ

Linear Model	$y_1 = a_1 + b_1 x_1$
Parabolic Model	$y_2 = a_2 + b_2 x_2$
Exponential Model	$y_3 = a_3 + b_3 x_3$ (Donald R. Drew. 1968.)

ในที่นี้ y_1, $y_2 = u$ คือค่าอัตราความเร็วเฉลี่ย และ $y_3 = \ln k$

a_1, $a_2 = uf$ คือค่าอัตราความเร็วที่การจราจรติดขัด และ $a_3 = \ln k_j$

$$b_1 = -\frac{uf}{k_j} \quad ; \quad b_2 = -\frac{uf}{\sqrt{k_j}} \quad ; \quad b_3 = \frac{1}{u_m}$$

u_m = คือค่าอัตราความเร็วสูงสุด และ k_j = คือค่าความหนาแน่นที่การจราจรติดขัด

4.1.1 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางราบ

การเคลื่อนตัวในลักษณะนี้ใช้สำหรับกลุ่มชนที่กำลังเคลื่อนตัวไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นกรณีที่มีโอกาสที่เกิดขึ้นมากกว่าโอกาสอื่น โดยสมมุติว่ากลุ่มชนทั่วไปไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องเพศ อายุ แต่ไม่ให้ใช้กับบุคคลที่ไร้ความสามารถ ซึ่งต้องมีการจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับบุคคลดังกล่าวโดยเฉพาะ เช่นในโรงพยาบาลซึ่งจะมีบุคคลผู้ที่ช่วยเหลือตัวเอง

ไม่ได้จำนวนมาก ในประเด็นอายุและเพศของบุคคลเป็นข้อแตกต่างเพียงเล็กน้อยต่ออัตราความเร็วรวมของฝูงชน เนื่องจากระยะทางที่วิ่งเป็นช่วงสั้น ทั้ง ๆ ที่เมื่อพิจารณาโดยเฉพาะเจาะจงจะพบว่าผู้ชายที่อายุไม่เกิน 30 ปี โดยเฉลี่ยแล้วย่อมจะขึ้นลงบันไดได้เร็วกว่าผู้หญิงที่อายุเกิน 50 ปี ถึงร้อยละ 40 สำหรับการขึ้นหรือลง (S.J. Melinek and S. Booth. 1975.)

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองการเคลื่อนตัวไปตามความยาวของทางเดิน จากตาราง 3.11 ถึง 3.13 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า u และค่า k สามารถจำลองอัตราความเร็วเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้หลายรูปแบบ เช่น

ในรูปของ Parabolic Model ได้สมการ $u = 197.61 - 100.01\sqrt{k}$

ในรูปของ Exponential Model ได้สมการ $u = 85.81 \ln \frac{3.9}{k}$

และในรูปของ Linear Model ได้สมการ $u = 115.92 - 29.69k$

โดยมีรายละเอียดการคิดตัวคูณประกอบของสมการเส้นตรง $u = 115.92 - 29.69k$ นี้ในตาราง 4.1 (ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2534.) ส่วนตาราง 4.2 คือรายละเอียดการคิดตัวคูณประกอบของสมการเส้นตรงสำหรับอัตราความเร็วในการลงบันได และเมื่อนำสมการอัตราความเร็วของการเคลื่อนตัวไปตามความยาวของทางเดินทั้งสามรูปแบบมาเขียนเป็นเส้นกราฟได้ดังรูป 4.1

สำหรับการคิดค่า k หรืออัตราความหนาแน่นนั้น คิดโดยใช้สูตร

$$k = \frac{Qf}{bL}$$ (Ezel Kendik. 1986.)

ในที่นี้ Q คือ จำนวนคนทั้งหมด

f คือ พื้นที่ที่คนหนึ่งคนต้องใช้

b คือ ความกว้างของเส้นทางการเคลื่อนตัว

L คือ ความยาวของพื้นที่ที่คิด

จากความสัมพันธ์ของค่า u และ k ที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาลงจุดบนกระดาษกราฟ (Plot Graph) ได้ดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 นั่นคืออัตราการเคลื่อนตัวได้ของกลุ่มคนจะเคลื่อนตัวได้มากหรือน้อยนั้นแปรผันโดยตรงกับอัตราความเร็วในการวิ่งหรือเดินและอัตราความหนาแน่น โดยค่าความหนาแน่นสูงสุดที่คนสามารถเคลื่อนตัวได้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 6 ระดับ แต่สำหรับกรณีฉุกเฉินพิจารณากรณีเดียวที่ความหนาแน่นสูงสุดที่คนสามารถจะเบียดกันออกมาได้ นั่นก็คือการคิดพื้นที่คนหนึ่งคนจะใช้ค่าความกว้างเฉลี่ยคูณค่าความหนาเฉลี่ยของคน ซึ่งค่าความหนาแน่นที่ผู้วิจัยมีความเชื่อมั่นว่าจะยังคงสามารถเคลื่อนตัวได้คือที่อัตราความหนาแน่น(k)จำนวนเท่ากับ 3.9 คนต่อตารางเมตร

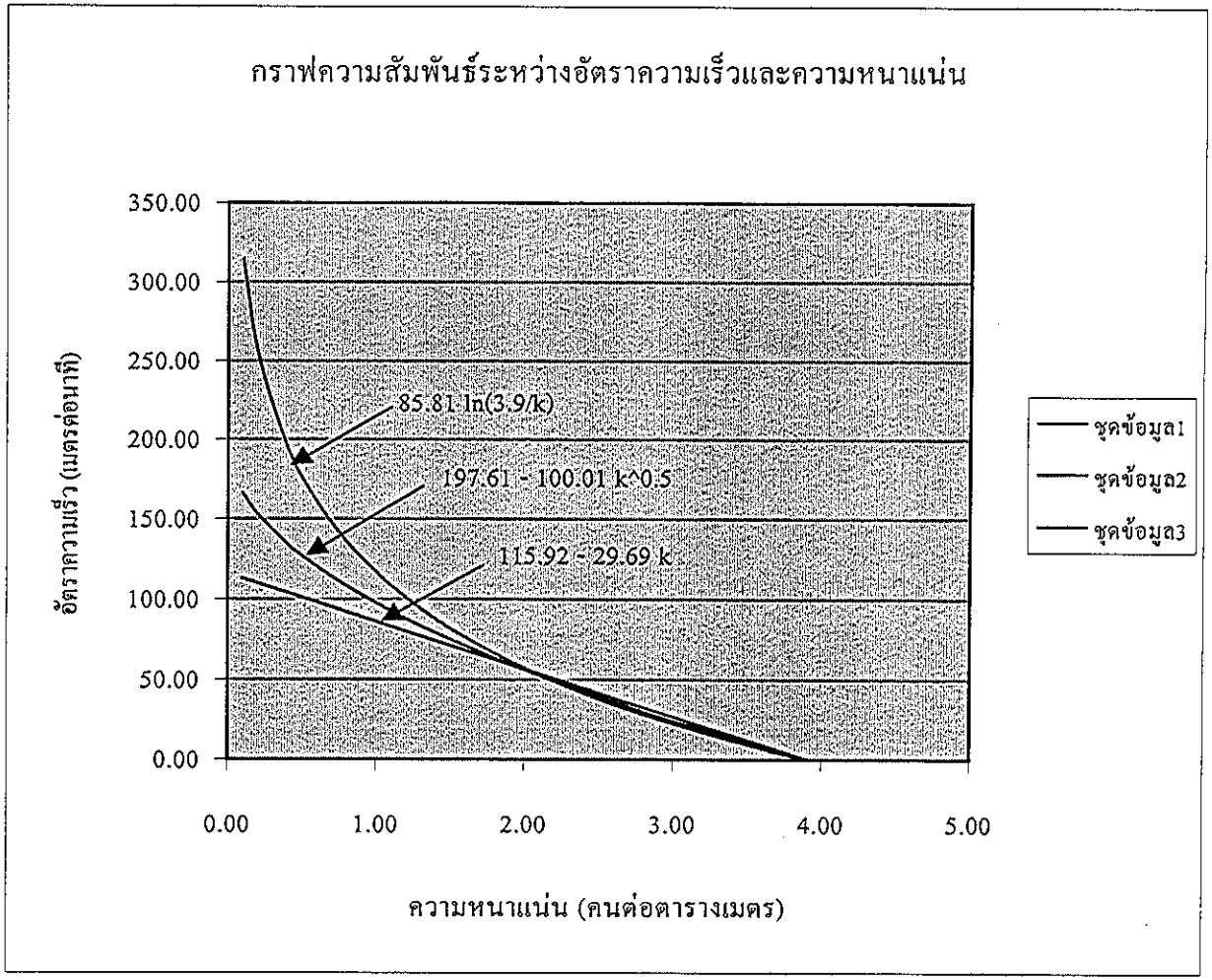
ตาราง 4.1 การคิดสมการเส้นตรงแทนการเคลื่อนตัวตามทางราบ

การทดลองครั้งที่	จำนวนคน (คน)	ระยะทางวิ่ง (เมตร)	ความกว้างของทาง (เมตร)	ความหนาแน่น (K) (คนต่อตารางเมตร)	ความเร็ว (U) (เมตรต่อนาที)	U.K	K^2	
1	33	22.00	1.30	1.15	84	96.92	1.33	
2	33	20.50	1.73	0.93	94	87.47	0.87	
3	32	12.00	1.30	2.05	54	110.77	4.21	
4	33	20.50	1.73	0.93	94	87.47	0.87	
5	33	12.00	1.30	2.11	50	105.77	4.47	
6	32	20.00	1.30	1.23	78	96.00	1.51	
7	33	20.00	1.30	1.27	77	97.73	1.61	
8	16	15.00	1.75	0.61	98	59.73	0.37	
9	33	22.00	1.30	1.15	86	99.23	1.33	
10	29	31.00	1.73	0.54	96	51.91	0.29	
11	31	22.00	1.30	1.08	76	82.38	1.17	
12	33	20.50	1.73	0.93	94	87.47	0.87	
13	33	12.00	1.30	2.11	54	114.23	4.47	
14	31	20.50	1.73	0.87	92	80.42	0.76	
15	33	12.00	1.30	2.11	53	112.11	4.47	
16	33	20.00	1.30	1.27	78	99.00	1.61	
17	33	20.00	1.30	1.27	79	100.27	1.61	
18	16	15.00	1.75	0.61	94	57.29	0.37	U = a + bK
19	31	22.00	1.30	1.08	83	89.97	1.175	U = 115.92 - 29.69K
20	28	31.00	1.73	0.52	96	50.12	0.273	b = -29.69 a = 115.92
				23.86	1610	1766.26	33.662	

ตาราง 4.2 การคิดสมการเส้นตรงแทนการเคลื่อนตัวทางบันได

การทดลองครั้งที่	คน	ความสูง (เมตร)	ความกว้าง (เมตร)	เวลาที่คนแรกวิ่งมาถึง (วินาที)	เวลาที่คนสุดท้ายวิ่งผ่าน (วินาที)	ความหนาแน่น (K) (คน/ตารางเมตร)	ความเร็ว (U) (เมตร/นาที)	U.K	K^2		
1	33	3.73	1.35	16.50	33	1.80	32	57.67	3.25		
2	33	7.02	2.03	15.00	30	1.16	40	46.31	1.34		
3	32	3.73	1.35	8.00	26	1.91	30	57.19	3.63		
4	33	7.02	2.03	14.00	29	1.16	42	48.63	1.34		
5	33	3.73	1.35	8.50	26	1.91	31	59.25	3.65		
6	32	3.73	1.35	14.50	32	1.85	32	59.31	3.43		
7	33	3.73	1.35	14.00	32	1.97	29	57.01	3.87		
8	16	10.90	1.75	10.00	18	0.34	62	20.80	0.11		
9	33	3.73	1.35	15.00	33	1.97	30	58.98	3.87		
10	29	7.02	2.03	22.00	33	0.75	50	37.31	0.56		
11	31	3.73	1.35	16.00	32	1.64	41	67.31	2.69		
12	33	7.02	2.03	13.00	30	1.31	45	59.05	1.72		
13	33	3.73	1.35	9.00	27	1.97	28	55.05	3.87		
14	31	7.02	2.03	15.00	30	1.09	48	52.21	1.18		
15	33	3.73	1.35	8.50	27	2.02	26	52.54	4.08		
16	33	3.73	1.35	13.00	31	1.97	29	57.01	3.87		
17	33	3.73	1.35	14.00	31	1.86	34	63.13	3.45		
18	16	10.90	1.75	10.00	17	0.29	52	15.27	0.09		
19	31	3.73	1.35	15.00	31	1.64	40	65.67	2.69	$U = a + bK$	
20	28	7.02	2.03	23.00	36	0.85	44	37.46	0.73	$U = 62.19 - 16.27K$	
					รวม	29.44	765	1027.18	49.42	$b = -16.27$	$a = 62.19$

k	parabola u = $197.61-100.01k^{1/2}$	linear u = 115.92 - 29.69k	ln u = 85.81 ln(3.9/k)
0.10	165.98	112.95	314.37
0.20	152.88	109.98	254.89
0.40	134.35	104.04	195.41
0.60	120.14	98.11	160.62
0.80	108.15	92.17	135.93
1.00	97.60	86.23	116.79
1.20	88.05	80.29	101.14
1.40	79.27	74.35	87.91
1.60	71.10	68.42	76.45
1.80	63.43	62.48	66.35
2.00	56.17	56.54	57.31
2.20	49.26	50.60	49.13
2.40	42.67	44.66	41.66
2.60	36.34	38.73	34.79
2.80	30.25	32.79	28.43
3.00	24.38	26.85	22.51
3.20	18.70	20.91	16.98
3.40	13.19	14.97	11.77
3.60	7.84	9.04	6.87
3.70	5.23	6.07	4.52
3.90	0.10	0.13	0.00



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงสมการสำหรับการเคลื่อนตัวตามทางราบ

จากสมการที่ได้พบว่าความเร็วของการเคลื่อนตัวของแต่ละบุคคล เท่ากับความเร็วของบุคคลนั้นบนทางราบ ซึ่งสามารถเคลื่อนตัวได้สูงสุดเมื่อค่าความหนาแน่นหรือจำนวนคนอยู่ระหว่าง 1 ถึง 3.9 คน ต่อตารางเมตร สำหรับกลุ่มคนหรือฝูงชนที่หนาแน่นมากกว่า 3.9 คนต่อตารางเมตร จะแออัดยัดเยียดกันมากจนอัตราการเคลื่อนตัวช้าลงไป จนไม่สามารถวัดอัตราความเร็วที่แน่นอนได้ ส่วนค่าอัตราความเร็วเฉลี่ยที่ให้ค่าอัตราการเคลื่อนตัวออกมาใกล้เคียงกันทั้งสามสมการ คือ ที่อัตราความหนาแน่น 2 คนต่อตารางเมตร (รูปที่ 5.1) จะได้ค่าอัตราการเคลื่อนตัวเฉลี่ย 56 คนต่อเมตรต่อนาที

4.1.2 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวลงบันได

การเคลื่อนตัวบนบันไดหรือการอพยพลงบันไดนั้น มีลักษณะคล้ายกับการเคลื่อนตัวบนทางเดินธรรมดามากโดยความหนาแน่นของฝูงชนจะเพิ่มขึ้น ไม่มีการลดอัตราการเคลื่อนตัวสำหรับบริเวณชานพักบันได

จากผลการทดลองลงบันไดในอาคารต่าง ๆ จำนวนสามหลัง สามารถจำลองอัตราความเร็วของการเคลื่อนตัวเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์รูปแบบต่าง ๆ ได้ ดังนี้

ในรูปแบบของ Parabolic Model ได้สมการ $u = 107.44 - 54.98\sqrt{k}$

ในรูปแบบของ Exponential Model ได้สมการ $u = 47.19 \ln \frac{3.82}{k}$

และในรูปแบบของ Linear Model ได้สมการ $u = 62.19 - 16.27k$

ในที่นี้ u คือ อัตราความเร็วเฉลี่ยบนบันได มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

k คือ อัตราความหนาแน่นมีหน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร

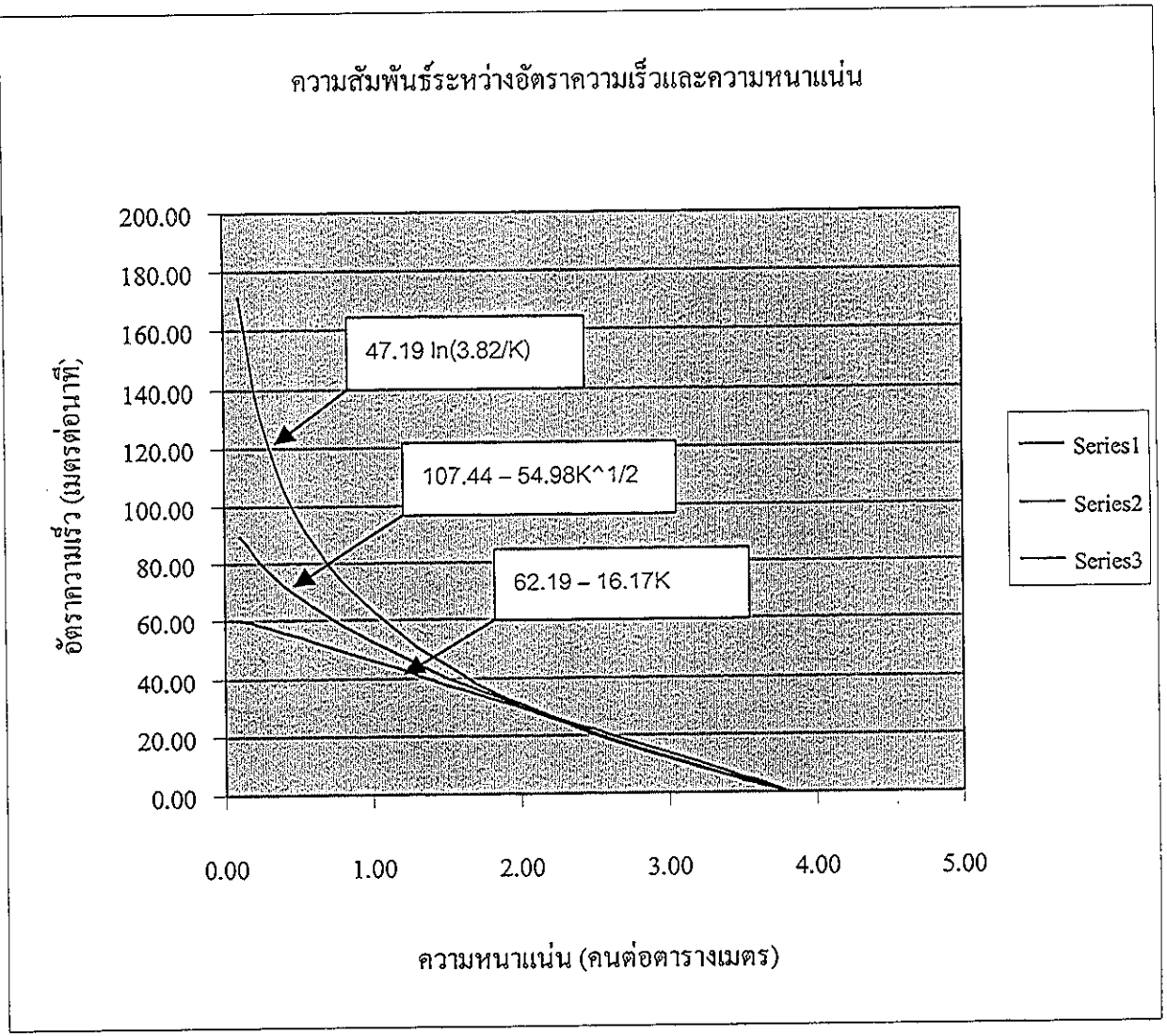
เมื่อนำสมการอัตราความเร็วของการเคลื่อนตัวไปลงบันไดทั้งสามรูปแบบมาเขียนเส้นกราฟได้ดังรูปที่ 4.2

ความจุในการระบายคนของบันไดจะลดลงทันทีที่ใช้บันไดเป็นทางขึ้นและลงพร้อมกัน ตัวอย่างเช่น คนที่เคลื่อนตัวสวนทางกับฝูงชนจะทำให้อัตราการเคลื่อนตัวของกลุ่มคนลดลงครึ่งหนึ่งได้ทันที

การนำค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วและความหนาแน่นขณะที่นักศึกษาเคลื่อนตัวตามทางราบมาลงจุดบนกระดาษกราฟได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3

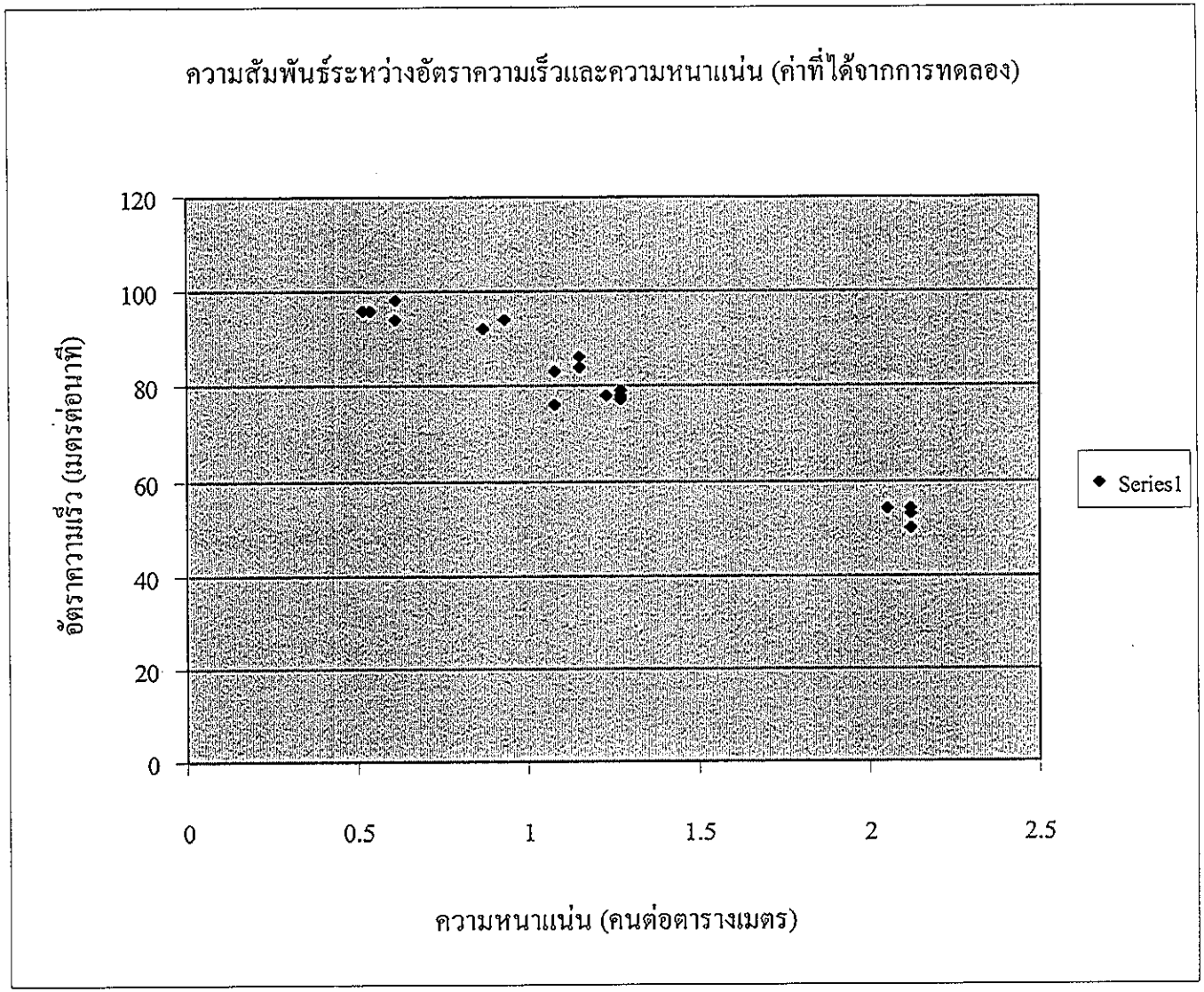
การนำค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วและความหนาแน่นขณะที่นักศึกษาเคลื่อนตัวลงบันไดมาลงจุดบนกระดาษกราฟได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4

k	parabola u = $107.44-54.98k^{1/2}$	linear u = 62.19 - 16.27k	ln u = 47.19 ln(3.82/k)
0.10	90.05	60.56	171.91
0.20	82.85	58.94	139.20
0.40	72.67	55.68	106.49
0.60	64.85	52.43	87.35
0.80	58.26	49.17	73.78
1.00	52.46	45.92	63.25
1.20	47.21	42.67	54.64
1.40	42.39	39.41	47.37
1.60	37.90	36.16	41.07
1.80	33.68	32.90	35.51
2.00	29.69	29.65	30.54
2.20	25.89	26.40	26.04
2.40	22.27	23.14	21.93
2.60	18.79	19.89	18.16
2.80	15.44	16.63	14.66
3.00	12.21	13.38	11.40
3.20	9.09	10.13	8.36
3.40	6.06	6.87	5.50
3.60	3.12	3.62	2.80
3.70	1.68	1.99	1.51
3.81	0.12	0.20	0.12



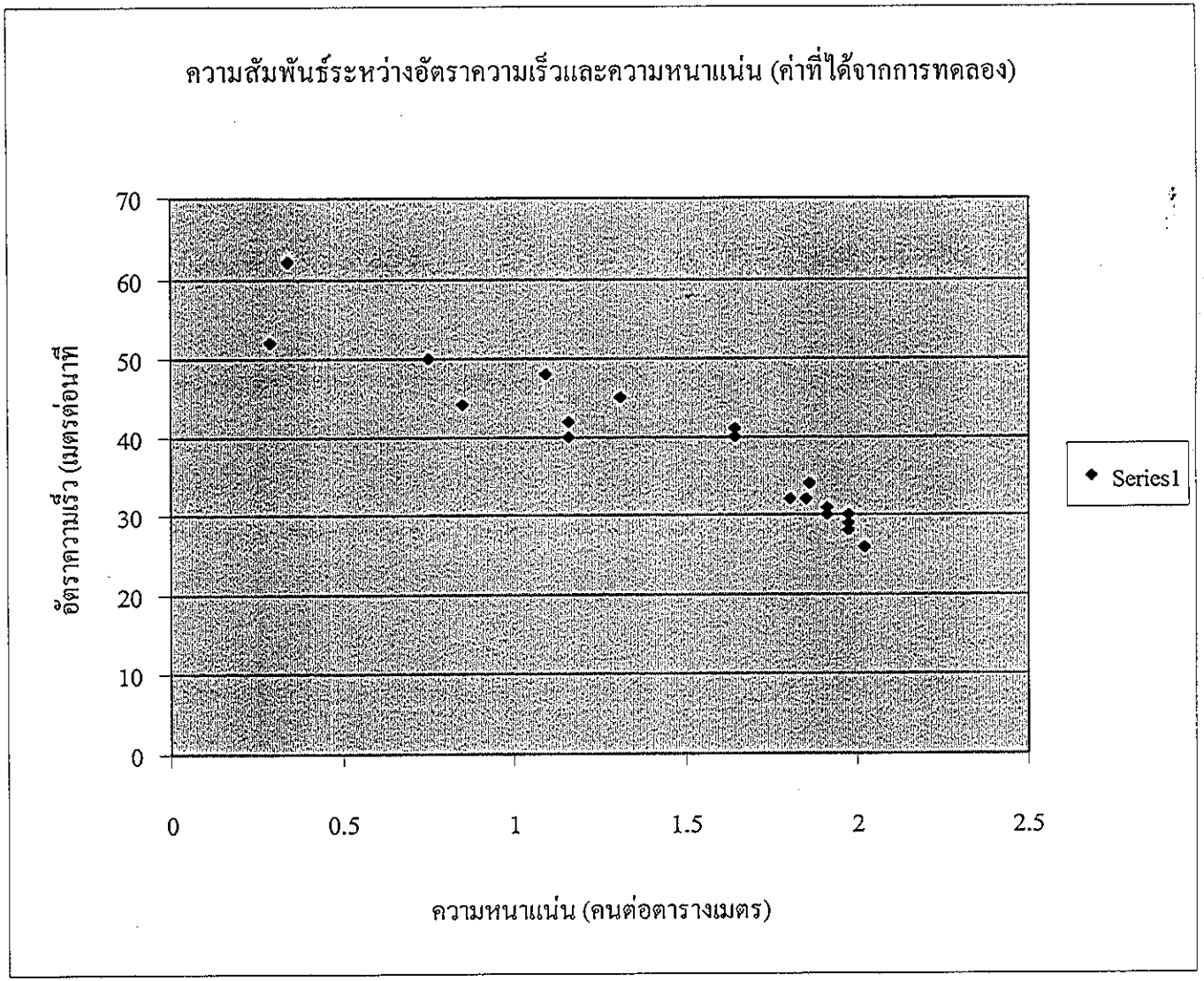
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสมการสำหรับการเคลื่อนตัวทางบันได

U and K Relation	
K	U
1.15	84
0.93	94
2.05	54
0.93	94
2.12	50
1.23	78
1.27	77
0.61	98
1.15	86
0.54	96
1.08	76
0.93	94
2.12	54
0.87	92
2.12	53
1.27	78
1.27	79
0.61	94
1.08	83
0.52	96



รูปที่ 4.3 ค่าอัตราความเร็วและความหนาแน่นขณะที่เคลื่อนตัวตามทางราบ

U and K Relation	
K	U
1.8	32
1.16	40
1.91	30
1.16	42
1.91	31
1.85	32
1.97	29
0.34	62
1.97	30
0.75	50
1.64	41
1.31	45
1.97	28
1.09	48
2.02	26
1.97	29
1.86	34
0.29	52
1.64	40
0.85	44



รูปที่ 4.4 ค่าอัตราความเร็วและความหนาแน่นขณะที่วิ่งลงบันได

4.1.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวผ่านประตู

สำหรับเวลาใช้ในการผ่านประตู หาได้จาก สมการ $T = \frac{Q}{Nb}$ (S.J. Melinek and S. Booth. 1975.)

ในที่นี้ T = เวลาใช้ในการผ่านประตู (วินาที)

Q = จำนวนคนที่ผ่านประตู (คน)

N = อัตราการเคลื่อนตัวต่อเมตร (คนต่อความกว้างหนึ่งเมตรของประตู)

b = ความกว้างของประตูทางออก (เมตร)

สูตรนี้สามารถใช้ได้จนกว่าทางออกเริ่มยุ่งที่อัตรา N = 1.7 คน/วินาที/เมตร เพราะคาดหวังไม่ได้ว่ากลุ่มคนที่ประตูทางออกติดกับบันไดชั้นบนสุดนำลงสู่ชั้นล่างจะเคลื่อนตัวลงมาโดยเรียบร้อยสม่ำเสมอ (S.J. Melinek and S. Booth. 1975.)

ถ้าไม่มีการทดลองให้ผู้พักอาศัยลงบันไดมาแล้วอย่างมั่นใจ ความชักช้าจึงเกิดขึ้น เนื่องมาจากความยุ่งยากสับสนที่จุดเข้าสู่บันไดของอาคาร และบริเวณที่ตรงกลางของกลุ่มคนที่ไม่สามารถเพิ่มความเร็วลงมาสู่ชั้นล่างกว่าได้

4.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับต่างประเทศ

การเปรียบเทียบค่าอัตราการเคลื่อนตัวที่ได้จากการทดลองกับผลการทดลองของนักวิจัยต่างชาติหลาย ๆ ท่าน สำหรับค่าอัตราการอพยพ, การเดิน, การวิ่งที่น่าสนใจมีดังนี้

อัตราการอพยพ คนในหนึ่งช่องทาง ที่ความเร็วเท่ากับ 61 เมตรต่อนาที จะได้อัตราการอพยพ 50 คนต่อนาที

ในทิศทางขาขึ้นบันไดจะมีขีดความสามารถในการอพยพคนใน 1 ช่องทาง ด้วยอัตรา 35 คนต่อนาที ที่ความเร็ว 15.24 เมตรต่อนาที

ประตูทางหนีต่าง ๆ จะต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 0.915 เมตร จะมีขีดความสามารถในการอพยพคนในหนึ่งช่องทางด้วยอัตรา 50 คนต่อนาที

ที่มา : NFPA 101: Life Safety Code. 1995.

อัตราความเร็วในการเดิน

ผู้ใหญ่ สูงอายุ เท่ากับ 84 เมตรต่อนาที

เด็กวัยรุ่น เท่ากับ 96 เมตรต่อนาที

ผู้หญิง เท่ากับ 66.6 เมตรต่อนาที โดยภาพรวมถ้าไม่แยกแยะ เท่ากับ 77.4 เมตรต่อนาที

ที่มา : Robert B. Sleight. 1972.

4.2.1 การเปรียบเทียบอัตราความเร็ว

อัตราความเร็วในการเดินทางราบตลอดจนขึ้นลงบันไดมีผู้สนใจค้นคว้าบันทึกไว้มีค่าตัวเลขที่น่าสนใจ เช่น ในตาราง 4.3 หรือ ที่ E. Kendik. 1983. บันทึกไว้ว่า
ผู้ใหญ่ อายุเกิน 30 ปีเดินเร็วเท่ากับ 109.5 เมตรต่อนาที ผู้ใหญ่ อายุ 15 - 30 ปีเดินเร็วเท่ากับ 100.98 เมตรต่อนาที เด็กวัยรุ่น 10 – 15 ปี เดินเร็วเท่ากับ 77.4 เมตรต่อนาที
เด็กอายุ 5 ปี เดินเร็วเท่ากับ 42.3 เมตรต่อนาที

ตาราง 4.3 การเปรียบเทียบค่าอัตราความเร็วจากหลายแหล่ง

แหล่งอ้างอิง	อัตราความเร็ว (เมตรต่อนาที)			
	ทางราบ	ขึ้นบันได	ลงบันได	ผ่านประตู
Urban Mass Transportation Administration, U.S.Department of Transportation. 1977.	80	27	37	-
H.E. Nelson and H.A. MacLennan. 1995.	78	-	-	-
Robert B. Sleight. 1972.	77.4	-	-	-
E. Kendik. 1983.	100.98	-	-	-
Michael A. Pawills. 1982. หน้า 689.	80	-	-	-
กฤษฎา บานชื่น. พ.ศ. 2527	100	-	-	-
นิวัฒน์ ศิริกุล	78	-	-	55
BOCA	61	35	-	50

อัตราความเร็วในการเดิน ด้วยความเร็วปานกลางเท่ากับ 100 เมตรต่อนาที (200-350 แคลอรีต่อชั่วโมง) อัตราความเร็วในการวิ่งเร็ว ด้วยความเร็วเท่ากับ 266 เมตรต่อนาที (มากกว่า 350 แคลอรีต่อชั่วโมง)
ที่มา : กฤษฎา บานชื่น. พ.ศ. 2527

ดังนั้นสัดส่วนของอัตราความเร็วที่น่าสนใจระหว่างค่าที่ระบุใน BOCA หรือค่าใน NFPA 101(พิชญะ จันทรานุวัฒน์. 2538), Life Safety Code. 1995 กับค่าที่ผู้วิจัยทำการทดลองได้ คือ

อัตราการการเดินในทางราบ = 61/78 = 0.78
อัตราการวิ่งขึ้นบันได = 35/54 = 0.65
อัตราการวิ่งผ่านช่องประตูทางออก = 50/55 = 0.90

กำลังของคน หรือความสามารถของคน โดยทั่วไปผู้หญิงมีกำลังเท่ากับสองในสามเท่าของผู้ชาย และกำลังกายของคนที่แข็งแรงที่สุดคือผู้ที่มีอายุระหว่าง 30 ถึง 40 ปี
กำลังกายจะพัฒนาเพิ่ม (แข็งแรง) ขึ้นรวดเร็วมากในช่วงอายุระหว่าง 13 ถึง 19 ปี
กำลังกายจะพัฒนาเพิ่ม (แข็งแรง) ขึ้นอีกแต่ช้าลงในช่วงอายุระหว่าง 20 ถึง 25 ปี
กำลังกายจะพัฒนาเพิ่มขึ้นอีกแต่ช้าลงมากในช่วงอายุระหว่าง 25 ถึง 30 ปี
หลังจากอายุเลย 40 ปีขึ้นไปแล้ว โดยปกติกำลังจะลดลง 10 %
หลังจากอายุเลย 50 ปีขึ้นไปแล้ว โดยปกติกำลังจะลดลง 15 %
หลังจากอายุเลย 60 ปีขึ้นไปแล้ว โดยปกติกำลังจะลดลง 20 %
หลังจากอายุเลย 65 ปีขึ้นไปแล้ว โดยปกติกำลังจะลดลง 25 %
แต่กำลังของคนจะเพิ่มขึ้น 30 ถึง 50% หลังจากการฝึกฝนหรือฝึกซ้อมประมาณ 12 สัปดาห์
สำหรับการเคลื่อนตัวไปในทิศทางการวิ่ง จะเริ่มวิ่งช้าลงเมื่อวิ่งไปได้ระยะทาง 50 ถึง 80 เมตร จากจุดเริ่มต้น
ที่มา : Wesley E. Woodson. 1981. หน้า 772.

ตาราง 4.4 สถิติอัตราการวิ่ง 100 เมตร และ 200 เมตร

ในการวิ่ง 100 เมตร	ในการวิ่ง 100 เมตร	อัตราความเร็วมากกว่าคนไทย
นักกีฬาไทยทำสถิติไว้ในการแข่งขันกรีฑาแห่งชาติ 10.54 วินาที	นักกีฬาสหรัฐทำสถิติโลกไว้ในการแข่งขันกรีฑาแห่งชาติ 9.93 วินาที	1.06 เท่า
นักกีฬาชายไทยทำสถิติไว้ในการแข่งขันกีฬาเยาวชน 11.8 วินาที		1.19 เท่า
นักกีฬาไทยทำสถิติไว้ในการแข่งขันกีฬาซีเกมส์ 10.40 วินาที	นักกีฬาสหรัฐทำสถิติโอลิมปิกไว้ในการแข่งขันกรีฑา 9.90 วินาที	1.05 เท่า
ในการวิ่ง 200 เมตร	ในการวิ่ง 200 เมตร	
นักกีฬาไทยทำสถิติไว้ในการแข่งขันกรีฑาแห่งชาติ 21.25 วินาที	นักกีฬาอิตาลีทำสถิติโลกไว้การแข่งขันกรีฑาระดับโลก 19.72 วินาที	1.07 เท่า
นักกีฬาไทยทำสถิติไว้ในการแข่งขันกีฬาซีเกมส์ 21.14 วินาที	นักกีฬาสหรัฐทำสถิติไว้ในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิก 19.80 วินาที	1.07 เท่า

ที่มา : สยามออลมาแนค พ.ศ.2529. หน้า 672 และสถิติการกีฬาแห่งประเทศไทย พ.ศ.2542.

4.2.2 การเปรียบเทียบทางสรีระของคนไทยกับคนต่างประเทศ

จากรายละเอียดเกี่ยวกับสรีระของนักศึกษาตัวอย่างที่ทดสอบวัดได้ค่าดังได้แสดงไว้ในหัวข้อ 3.3.1 (ตาราง 3.2 ถึง 3.10) คือนักศึกษากลุ่มตัวอย่างมีค่าความกว้างเฉลี่ย 50.05 เซนติเมตร มีค่าความสูงเฉลี่ย 169.26 เซนติเมตร มีค่าความยาวของเท้าเฉลี่ย 23.37 เซนติเมตร ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับสรีระของคนต่างประเทศในตาราง 4.5 ถึง 4.7 ได้ ดังนี้

สัดส่วนความสูงของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่างที่ทำการสุ่มวัดหาความสูงเปรียบเทียบกับความสูงของชาวต่างชาติที่ 95 เปอร์เซ็นไทล์ คือ 169.26 : 182 หรือ 1 : 1.08

สัดส่วนความกว้างของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่างที่ทำการสุ่มวัดหาความกว้างเปรียบเทียบกับความกว้างของชาวต่างชาติที่ 95 เปอร์เซ็นไทล์ คือ 50.05 : 57 หรือ 1 : 1.14

สัดส่วนความยาวเท้าของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่างที่ทำการสุ่มวัดหาความยาวเท้าเปรียบเทียบกับความยาวเท้าของชาวต่างชาติที่ 95 เปอร์เซ็นไทล์ คือ 23.37 : 28 หรือ 1 : 1.19

ตาราง 4.5 ความสูงของคน หน่วยเป็นเซนติเมตร

บุคคล		เปอร์เซ็นไทล์ (Percentile)		
		5th	50 th	95th
ผู้ใหญ่เพศชาย		159.00	170.75	182.00
ผู้ใหญ่เพศหญิง		147.50	157.25	167.75
เด็กชาย อายุ	17 ปี	162.75	173.50	181.50
	14 ปี	145.00	158.00	172.75
	12 ปี	136.00	145.00	158.75
	6 ปี	104.50	112.75	122.75
	2 ปี	79.25	83.00	89.50
เด็กหญิง อายุ	17 ปี	150.00	160.25	169.00
	14 ปี	144.50	155.75	166.25
	12 ปี	135.25	147.00	157.50
	6 ปี	103.25	112.50	119.75
	2 ปี	76.00	82.50	88.50
ผู้ชายอายุเกิน 70 ปี		153.25	165.50	173.75
คนขับรถบรรทุก		162.75	154.50	185.75
นักบิน		165.00	175.00	184.27
นักศึกษาตัวอย่าง				169.26

ที่มา : Wesley E. Woodson. 1981.

ตาราง 4.6 ความยาวของเท้าคน หน่วยเป็นเซนติเมตร

บุคคล		เปอร์เซ็นไทล์ (Percentile)		
		5th	50 th	95th
ผู้ใหญ่เพศชาย		24.25	26.00	28.00
ผู้ใหญ่เพศหญิง		21.75	23.50	25.50
เด็กชาย อายุ	17 ปี	23.75	26.50	27.75
	14 ปี	22.50	25.00	27.50
	12 ปี	21.00	23.00	25.25
	6 ปี	16.25	17.50	20.00
	2 ปี	11.25	12.75	14.25
เด็กหญิง อายุ	17 ปี	21.50	23.00	25.25
	14 ปี	21.25	23.00	25.50
	12 ปี	20.75	22.75	24.50
	6 ปี	15.75	17.50	19.00
	2 ปี	10.50	12.50	13.75
ผู้ชายอายุเกิน 70 ปี		24.25	25.50	27.25
คนขับรถบรรทุก		24.00	26.00	28.25
นักบิน		24.50	26.00	28.25
นักศึกษาตัวอย่าง				23.37

ที่มา : Wesley E. Woodson. 1981.

ตาราง 4.7 ความกว้างของคน หน่วยเป็นเซนติเมตร

บุคคล	เปอร์เซ็นไทล์ (Percentile)		
	5th	50 th	95th
ผู้ใหญ่เพศชาย	47.00	52.25	57.00
นักศึกษาตัวอย่าง			50.05

ที่มา : Wesley E. Woodson. 1981.

กล่าวโดยสรุปคือ นักศึกษาคนไทยกลุ่มตัวอย่างที่ทำการสำรวจ มีความสูงเฉลี่ยน้อยกว่าคน อเมริกัน 8% มีความกว้างเฉลี่ยน้อยกว่าคนอเมริกัน 14 % มีความยาวเท้าเฉลี่ยน้อยกว่าคนอเมริกัน 19% และวิ่งได้ช้ากว่าคนอเมริกัน 7%

บทที่ 5

การคำนวณเวลาการหนีภัยในอาคาร

สิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นเรื่องแรกในการคำนวณเวลาในการหนีภัยออกจากอาคารคือลักษณะทางกายภาพของอาคารนั้น ๆ

5.1 สภาวะทางกายภาพ

5.1.1 ตามประเภทของอาคาร (BOCA, Department of the Environment and the Welsh Office, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, สมาคม 2538. เล่ม 1-2)

ประเทศสหรัฐอเมริกา แบ่งอาคารออกเป็นประเภทต่าง ๆ คือ A อาคารที่ชุมนุม, B อาคารธุรกิจ, E อาคารสถานศึกษา, F โรงงาน, H อาคารเสี่ยงอันตราย, I อาคารสถาบัน, M อาคารในทางการค้า, R อาคารพักอาศัย, โรงแรม S อาคารโกดัง

ประเทศสหราชอาณาจักรอังกฤษ แบ่งอาคารออกเป็นประเภทต่าง ๆ คืออาคารที่จอดรถ โรงพลศึกษา โรงแรม โรงกีฬาในร่ม ห้องครัว ห้องสมุด สำนักงาน โรงพยาบาล โรงงาน ภัตตาคาร ร้านค้า ร้านโชว์รถยนต์ สถานีขนส่ง ที่พักอาศัย ที่เก็บเครื่องจักร

ประเทศไทย แบ่งอาคารออกเป็นประเภทต่าง ๆ คือ อาคารที่พักอาศัย ห้องแถว ตึกแถว อาคารพาณิชย์ โรงงานอุตสาหกรรม อาคารสาธารณะ อาคารเลี้ยงสัตว์ อาคารชั่วคราว อาคารพิเศษ อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ

5.1.2 ความกว้างของทางเดินระหว่างห้องพัก (BOCA, Department of the Environment and the Welsh Office, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, สมาคม 2538. เล่ม 1-2)

ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดให้ทางเดินระหว่างห้องพักของอาคารโรงแรม หอพัก กว้างอย่างน้อย 44 นิ้ว สูงอย่างน้อย 8 ฟุต

ประเทศอังกฤษ กำหนดให้ทางเดินสำหรับอาคารสาธารณะกว้างอย่างน้อย 1.80 เมตร

ประเทศไทย กำหนดให้กว้างอย่างน้อย 0.90 เมตร สำหรับอาคารพักอาศัยทั่วไปและกว้าง 1.50 เมตรสำหรับอาคารสาธารณะ

เพราะฉะนั้นสัดส่วน ความกว้างของทางเดินระหว่างห้องพักของ สหรัฐอเมริกา : อังกฤษ :ไทย คือ 1 : 1.61 : 1.34

5.1.3 ขนาดของประตูหนีไฟ (BOCA, Department of the Environment and the Welsh Office, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, สมาคม 2538. เล่ม 1-2)

ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดให้กว้างไม่น้อยกว่า 32 นิ้ว และไม่มากกว่า 48 นิ้ว ความสูงไม่น้อยกว่า 6 2/3 ฟุต สำหรับอาคารที่พักส่วนตัวความกว้างต่ำสุด 28 นิ้ว สูงไม่น้อยกว่า 6.5 ฟุต

ประเทศอังกฤษ กำหนดให้กว้างไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร สูงไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร ส่วนประตูโรงพยาบาลกว้างอย่างน้อย 1.80 เมตร สูงอย่างน้อย 2.20 เมตร

ประเทศไทย กำหนดให้กว้างไม่น้อยกว่า 0.80 เมตร สูงไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร

เทียบสัดส่วนความกว้างของประตูของ สหรัฐอเมริกา : อังกฤษ :ไทย คือ 1:1.23 : 0.98

5.1.4 ขนาดของขั้นบันไดหนีไฟ (BOCA, Department of the Environment and the Welsh Office, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, สมาคม 2538. เล่ม 1-2)

ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดให้ลูกตั้งสูงไม่เกิน 7 นิ้ว และไม่ต่ำกว่า 4 นิ้วลูกนอนกว้างไม่น้อยกว่า 11 นิ้ว ยกเว้นอาคารบ้านพักอาศัย ลูกตั้งสูงไม่เกิน 8.25 นิ้ว ลูกนอนกว้างไม่น้อยกว่า 9 นิ้ว ความสูงของแต่ละขั้นห้ามต่างกันเกิน 3/16 นิ้ว ความกว้างของลูกนอนห้ามต่างกันเกิน 3/8 นิ้ว

ประเทศอังกฤษ กำหนดให้ลูกตั้งสูงไม่เกิน 19 เซนติเมตร และไม่ต่ำกว่า 15.5 เซนติเมตร ลูกนอนกว้างไม่น้อยกว่า 32 เซนติเมตร และไม่เกิน 35.5 เซนติเมตร

ประเทศไทย กำหนดให้ลูกตั้งสูงไม่เกิน 0.20 เมตร ลูกนอนกว้างไม่น้อยกว่า 0.22 เมตร

เทียบสัดส่วนความกว้างของลูกนอนของบันไดของ สหรัฐอเมริกา : อังกฤษ : ไทย คือ 1 : 1.15 : 0.79

เทียบสัดส่วนความสูงของลูกตั้งของบันไดของ สหรัฐอเมริกา : อังกฤษ : ไทย คือ 1 : 1.07 : 1.12

5.1.5 ความกว้างของบันไดหนีไฟ (BOCA, Department of the Environment and the Welsh Office, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, สมาคม 2538. เล่ม 1-2)

ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดให้มีความกว้าง 36 นิ้ว

ประเทศอังกฤษ กำหนดให้มีความกว้างไม่น้อยกว่า 100 เซนติเมตร

ประเทศไทย กำหนดให้มีความกว้างไม่น้อยกว่า 90 เซนติเมตร

เทียบสัดส่วนความกว้างของประตูของ สหรัฐอเมริกา : อังกฤษ : ไทย คือ 1 : 1.09 : 0.98

พื้นที่อาคารที่จะต้องใช้ต่อจำนวนคนของ สหรัฐอเมริกา, อังกฤษและไทย แสดงไว้ในตาราง 5.1

ตาราง 5.1 จำนวนพื้นที่ที่ต้องการใช้ต่อจำนวนคนในอาคารแต่ละประเภท

ประเภทของอาคาร	ประเทศไทย (ตารางเมตรต่อคน)	ประเทศสหรัฐอเมริกา (ตารางฟุตต่อคน)/ (ตารางเมตรต่อคน)	ประเทศอังกฤษ (ตารางเมตรต่อคน)
ห้องที่ใช้เป็นที่ชุมนุม	0.60	7.00/0.65	0.30
สถานโบว์ลิ่ง (ในบริเวณที่ชุมนุม)	0.60	7.00/0.65	0.50
บริเวณห้องรับประทานอาหาร	1.25	7.00/0.65	1.00
สถานที่เต้นรำ	0.60	3.00/0.28	0.50
อาคารการศึกษา (ห้องเรียน)	2.00		
ห้องสมุด	1.25	20.00/1.85	1.00
บริเวณห้องรับประทานอาหาร	1.25	50.00/4.65	7.00
ห้องฝึกภาคปฏิบัติและอาชีพ	4.50	50.00/4.65	1.00
หอพัก	4.50	100.00/9.29	5.00
อาคารสถาบัน		120.00/11.15	8.00
ห้องอาหาร	1.25	40.00/3.72	5.00
สถานสงเคราะห์คนชรา	4.50	15.00/1.40	1.00
โรงพยาบาล สถานพักฟื้น	7.00	60.00/5.57	8.00
อาคารธุรกิจและการค้ากิจการ		200.00/18.58	10.00
พื้นชั้นพื้นดิน	2.50	30.00/2.79	0.75
พื้นชั้นถัดจากพื้นดิน	4.50	30.00/2.79	2.00
บริเวณที่ใช้เป็นที่ทำงาน	9.00	60.00/5.57	5.00
โรงเก็บหรือจอดรถ	18.00	30.00/2.79	30.00
ห้องเครื่อง	25.00	200.00/18.58	30.00
ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า	4.50	300.00/27.87	5.00
ครัว – ใช้งานการค้า	18.00	30.00/2.79	7.00
โรงแรมและอาคารชุดห้องแถว	18.00	15.00/1.40	10.00

ที่มา :วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, สมาคม. 2538., BuildingOffices & Code Administrators International, Inc. 1989. และDepartment of the Environment and the Welsh Office. 1992.

ข้อมูลในตาราง 5.1 ใช้ในการพยากรณ์จำนวนคนในอาคารตามประเภทการใช้สอยพื้นที่ จำนวนทางหนีภัยและทางออกที่ต้องการของ สหรัฐอเมริกา, อังกฤษและไทย แสดงในตาราง 5.2

ตาราง 5.2 จำนวนทางหนีภัยและทางออกอย่างน้อยที่ต้องการ

จำนวนคนในอาคาร (คน)	จำนวนทางออกของอังกฤษ	จำนวนทางออกของสหรัฐอเมริกา	จำนวนทางออกของไทย
500	2 (1)	2	2
1,000	3	3	2
2,000	4	4	2
4,000	5	4	2
7,000	6	4	2
11,000	7	4	2
16,000	8	4	2
มากกว่า 16,000	8 (2)	4	2

ที่มา : Department of the Environment and the Welsh Office. 1992. หน้า 31

ความกว้างอย่างน้อยของบันไดหนีภัยแสดงไว้ในตาราง 5.3

ตาราง 5.3 ความกว้างอย่างน้อยของบันไดหนีภัย

ตำแหน่งที่ตั้งของบันได	จำนวนคนสูงสุด (คน)	ความกว้างอย่างน้อยของบันได (มม.)
1. อาคารโรงงานอุตสาหกรรม	150	1,000
2. อาคารที่เป็นที่ชุมนุมของประชาชนที่มีพื้นที่มากกว่า 100 ตารางเมตร	220	1,100
3. อาคารอื่น ๆ ที่มีพื้นที่ใช้สอยมากกว่า 50 ตารางเมตร	220 ขึ้นไป	ความกว้างขึ้นกับจำนวนชั้นและจำนวนคน
4. อาคารอื่นใดที่ไม่ได้ระบุในตารางนี้	50	800

ที่มา : Department of the Environment and the Welsh Office. 1992. หน้า 36

ความจุของบันไดหนีภัยในอาคารแสดงไว้ในตาราง 5.4

ขนาดพื้นที่ของอาคารที่จำเป็นต้องมีการแบ่งส่วนกันไฟแสดงไว้ในตาราง 5.5

ตาราง 5.4 ความจุของบันไดหนีภัยในอาคาร

จำนวนชั้นของอาคาร	จำนวนคนอย่างน้อยที่สามารถลงบันไดต่อความกว้างของบันได (คน)								
	1000 มม.	1100 มม.	1200 มม.	1300 มม.	1400 มม.	1500 มม.	1600 มม.	1700 มม.	1800 มม.
1	150	220	240	260	280	300	320	340	360
2	190	260	285	310	335	360	385	410	435
3	230	300	330	360	390	420	450	480	510
4	270	340	375	410	445	480	515	550	585
5	310	380	420	460	500	540	580	620	660
6	350	420	465	510	555	600	645	690	735
7	390	460	510	560	610	660	710	760	810

ตาราง 5.5 ขนาดพื้นที่ของอาคารที่จำเป็นต้องมีการแบ่งส่วนกันไฟ

ประเภทของอาคารตามวัตถุประสงค์การใช้งาน	จำนวนชั้นที่อยู่สูงเหนือชั้นล่าง	พื้นที่อาคารต่อชั้นที่ต้องแบ่งส่วนกันไฟ (ตารางเมตร)
สำนักงาน	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด
อาคารชุมนุมในร้านค้าและการพาณิชย์:		
อาคารไม่มีระบบฉีดน้ำฝอย	ไม่จำกัด	2,000
อาคารที่มีระบบฉีดน้ำฝอย	ไม่จำกัด	4,000
โรงงาน	ไม่เกิน 20	7,000
อาคารไม่มีระบบฉีดน้ำฝอย	มากกว่า 20	2,000
อาคารที่มีระบบฉีดน้ำฝอย	ไม่เกิน 20	14,000
	มากกว่า 20	4,000
อาคารที่ไม่มีระบบฉีดน้ำฝอย	ไม่เกิน 20	20,000
	มากกว่า 20	4,000
อาคารอื่นที่มีระบบฉีดน้ำฝอย	ไม่เกิน 20	40,000
	มากกว่า 20	8,000

ที่มา ทั้งตาราง 5.4, 5.5 : Department of the Environment and the Welsh Office. 1992. หน้า 38, 56

5.2 ข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาในการอพยพคนออกจากอาคาร

5.2.1 ข้อจำกัดตามกฎหมาย

กฎหมายที่บัญญัติขึ้นเพื่อกำกับดูแลในเรื่องดังกล่าว คือ กฎกระทรวงฉบับที่ 33 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 ซึ่งกำหนดให้ใช้เวลาในการอพยพคนออกจากอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่ให้หมดภายในเวลาไม่เกินหนึ่งชั่วโมง

5.2.2 ข้อจำกัดเกี่ยวกับอัตราการขยายตัวหรือลุกลามของไฟ

เวลาที่คำนวณได้จากสูตรอัตราการขยายตัวของไฟหรือเวลาที่ไฟสามารถลุกลามขยายตัวได้เต็มพื้นที่ห้องต่อชั้น จะอยู่ภายในระยะเวลา 13 นาที เช่น สูตรที่ T. J. Shields, G.W. Silcock, and K.E. Dunlop. 1992.ใช้มีลักษณะดังนี้

$$Q = \alpha t^2 \quad \text{.....(5.2.2.1)}$$

ในที่นี้ Q คือ อัตราการกระจายของไฟ

t คือ เวลา

และ α คือ สัมประสิทธิ์การกระจายไฟขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ของเชื้อเพลิง

ในกรณีการกระจายของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากไฟไหม้ ระยะเวลาในการกระจายของก๊าซจนอันตรายกับคนภายในระยะเวลา 10 นาที ตามสมการ t = exp(6.16-0.519CO_2) (James A. Milke. 1998.)

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซพิษอย่างร้ายแรงตามตาราง 5.6 คือ เมื่อเข้าไปในระบบการไหล เวียนของโลหิตในร่างกายจะทำให้เม็ดเลือดแดง (Hemoglobin) กลายเป็น Carboxy Hemoglobin ไม่สามารถนำออกซิเจนไปเลี้ยงเซลล์สมองได้ตามปกติ ก๊าซชนิดนี้เกิดในภาวะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ในห้องที่อับอากาศ ก๊าซชนิดนี้ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและไม่มีรส สามารถติดไฟและลุกไหม้ในอุณหภูมิสูง (ประมาณ 1,204 องศาเซลเซียส) หรือร้อนจัด (พล.ต.ต.ศักดิ์ระพี ปรักกมะกุล. พ.ศ. 2538.)

ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) เกิดจากการเผาไหม้ของวัสดุที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนมาก ประกอบ เช่น ขนสัตว์ ไนล่อน หนังเทียม พรม Poly-Urethanes Z (พลาสติกบางชนิด) และ Urea Formaldehyde Polishers (พล.ต.ต.ศักดิ์ระพี ปรักกมะกุล. พ.ศ. 2538.)

ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) เป็นก๊าซพิษอย่างร้ายแรง มีพิษมากกว่าก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ตั้ง 10-40 เท่า กล่าวคือ เมื่อเข้าไปทางเส้นเลือดสู่เซลล์ส่วนสมอง จะทำให้เซลล์สมองตาย ไม่รับออกซิเจนได้อีกเลย (พล.ต.ต.ศักดิ์ระพี ปรักกมะกุล. พ.ศ. 2538.)

ตาราง 5.6 แสดงปริมาณก๊าซในบรรยากาศที่เป็นอันตรายต่อชีวิตถึงตายได้

% ของ Carboxy Hemoglobin	อาการ	
	ระยะสั้น	ระยะยาว
18	ทรงตัวไม่ได้	
10-20	หายใจติดขัด	
20-30	ปวดศีรษะ	
30-40	ง่วงเหงาหาวนอน	
40-50	เป็นลมล้ม	บางคนตาย
50-60	ชักสั่น	ตายเป็นส่วนมาก
มากกว่า 60	โคม่า	ตายทั้งสิ้น

ที่มา : พล.ต.ต.ศักดิ์ระพี ปรักกมะกุล. พ.ศ. 2538.

หมายเหตุ ปริมาณ CO 2% เท่ากับอัตรา 20,000 PPM. (หนึ่งต่อล้านส่วน)

5.2.3 ภาวะการขาดออกซิเจน

ตามธรรมดาของคนต้องการอ๊อกซิเจนในบรรยากาศประมาณ 21% สำหรับการหายใจในอัตรา 40 ลิตรต่อนาที แต่ถ้าออกซิเจนในอากาศลดลงไปเรื่อย ๆ เช่น เกิดเพลิงไหม้ในห้องที่มีการระบายอากาศไม่ดี จะเริ่มมีผลกับคนที่ขาดอ๊อกซิเจนจนถึงจุดอันตรายต่อไปนี้ เช่น

ถ้าอ๊อกซิเจนในอากาศลดลง เหลือ 15 % จะทำให้เกิดอาการมึนงง ตาลาย

ถ้าอ๊อกซิเจนลดลงเหลือในระดับ 7-10% จะทำให้สลบหรือถึงตายได้ (พล.ต.ต.ศักดิ์ระพี ปรักกมะกุล. พ.ศ. 2538.)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าคนน่าจะตายเนื่องจากสาเหตุเพราะควันเป็นสาเหตุแรกก่อนที่จะตายเพราะไฟ และส่วนใหญ่จะตายในเวลาหลับ

เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการผจญเพลิง เมื่อพนักงานดับเพลิงต้องการที่จะเข้าไปถึงจุดที่เกิดเหตุภายในอาคาร พนักงานดับเพลิงจำเป็นต้องเผชิญกับภาวะอันตรายเหล่านั้น ซึ่งนอกจากจะต้องใช้อุปกรณ์ช่วยการหายใจ เช่นหน้ากากหายใจแบบอากาศอัดแล้ว ยังจะต้องควบคุมสถานการณ์ในอาคารที่เกิดเหตุอันตรายให้เจือจางลงด้วย

ฉะนั้นเวลาในการอพยพคนให้ออกจากอาคารได้หมดตามที่กฎหมายกำหนดภายในหนึ่งชั่วโมงนั้น อาจจะยังไม่ปลอดภัยเพียงพอสำหรับอาคารที่มีเชื้อเพลิงหรือมีวัสดุไวไฟหรือมีวัสดุที่เกิดแก๊สพิษ หรืออาคารที่ไม่ได้มีการแบ่งส่วนกันไฟตามตาราง 5.5

นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยต่างชาติหลายคนได้ค้นคว้าเกี่ยวกับอัตราการกระจายของไฟ เช่น Dr. William Allen นักวิจัยชาวอังกฤษ ประธาน ห.จ.ก.บิคเกอร์ไดแอลเลน ได้เขียนบทความเรื่อง Annual Fire Research Lecture ลงใน Fire Safety Journal, 14 (1989) หน้า 204 วิเคราะห์ถึงผลการขยายตัวของไฟที่ไหม้อาคาร Har Mar เมือง Marieta รัฐ Ohio ว่าไฟและควันขยายตัวเต็มพื้นที่ต่อชั้นภายในเวลา 8 นาที

H.W. Emmons. เขียนบทความชื่อ Why Fire Model? เกี่ยวกับ The MGM Fire and Toxicity Testing ลงใน Fire Safety Journal, 13 (1988) หน้า 77-85 สรุปได้ว่า เมื่อคนได้รับแก๊สพิษเข้าร่างกาย เช่น CO, HCN ภายใน 700 วินาที จะตาย

ผลการวิเคราะห์ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง โดย David A. Purser. ได้เขียนบทความ Toxicity Assessment of Combustion Products สามารถสรุปได้ว่าเมื่อก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เข้าไปในร่างกายแล้วเกิดค่า F.E.D. (Fractional Effective Dose) สะสม ถึง 1 แล้วคนจะตายทันที ซึ่งดูตามตาราง 5.7 แล้ว พบว่าใช้ระยะเวลาเพียง 11 นาทีเท่านั้น

ตาราง 5.7 เวลาที่เพิ่มขึ้น และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เพิ่มขึ้นจนเป็นอันตรายต่อชีวิต

เวลา (นาที)	คาร์บอนมอนนอกไซด์ (ppm)	F_i	F.E.D.
1.0	120	0.002	0.003
1.5	240	0.004	0.007
2.0	400	0.007	0.014
2.5	600	0.011	0.025
3.0	840	0.015	0.040
3.5	1120	0.020	0.060
4.0	1440	0.027	0.087
5.0	2200	0.041	0.162
6.0	2500	0.047	0.252
7.0	3000	0.057	0.361
8.0	3500	0.067	0.490
9.0	4000	0.077	0.638
10.0	4480	0.087	0.807
11.0	5000	0.097	0.996
11.5	5300	0.103	1.099

ที่มา : James A. Milke. พ.ศ. 2541 หน้า 173.

5.3 การประยุกต์ผลการวิเคราะห์กับอาคารทั่วไป

จากผลการทดลอง เมื่อได้ค่าอัตราเฉลี่ยการอพยพหนีภัยได้ตามทางเดินทางราบเท่ากับ 78 คน/นาที/เมตร ค่าอัตราการอพยพตามบันไดเท่ากับ 54 คน/นาที/เมตร และค่าอัตราการผ่านประตูเท่ากับ 55 คน/นาที/เมตร แล้ว สามารถที่จะนำค่าเหล่านี้ไปประมาณเวลาสำหรับอพยพคนออกจากอาคารขนาดใหญ่ หรือสถานที่ที่มีคนอยู่จำนวนมากได้ เช่น

สมมติ มีผู้ชมภาพยนต์จำนวน 300 คน กำลังชมภาพยนต์อยู่ในโรงภาพยนต์ซึ่งตั้งอยู่ ณ ชั้นที่ 5 ของอาคารศูนย์การค้าแห่งหนึ่งโรงภาพยนต์ กว้าง 20 เมตร ยาว 30 เมตร มีประตูทางออกตามกฎหมายกำหนดให้ขั้นต่ำ คือมีประตูทางออกสองประตูกว้างประตูละ 1.50 เมตร บันไดหนีไฟมีสองทางกว้างทางละ 1.50 เมตร เช่นเดียวกันทางเดิน ถ้าอยากจะทราบว่าเมื่อคนที่กำลังชมภาพยนต์อยู่นั้น ได้รับสัญญาณเตือนว่าเกิดไฟไหม้ ให้รีบหนีออกจากอาคารโดยเร็ว จะประมาณเวลาที่ผู้ชมภาพยนตร์จะสามารถหนีออกมาพ้นจากประตูโรงภาพยนต์ได้หมดภายในเวลาเท่าใด

การคำนวณเวลาหนีไฟโดยประมาณสามารถแบ่งออกได้ คือ เวลาที่ผู้ชมสามารถหนีออกมาได้พ้นประตูโรงภาพยนต์จนหมด คิดได้จากเวลาที่ลุกจากที่นั่งมาถึงประตูเท่ากับ $\{15 \div (78 \times 1.5)\} = 0.13$ นาที เวลาที่ผ่านประตูเท่ากับ $\{300 \div (55 \times 3)\} = 1.82$ นาที เวลาในการเข้าสู่บันไดเท่ากับ $\{300 \div (54 \times 2 \times 1.5)\} = 1.85$ นาที และเวลาที่ใช้ในการลงบันไดจากชั้นที่ห้าถึงชั้นล่างสุด $(16 \times 4 \div 60) = 1.07$ นาที รวมเวลาโดยประมาณที่ผู้ชมสามารถลงบันไดมาถึงชั้นล่างของอาคารได้หมดภายในเวลา $0.13 + 1.82 + 1.85 + 1.07 = 4.87$ นาที กรณีนี้คิดเฉพาะในเหตุการณ์ปกติเท่านั้น คือ ไม่มีการแย่งหรือเหยียบกัน

อีกตัวอย่างสมมุติ มีคนจำนวน 1500 คน กำลังร่วมรับประทานอาหารกันอยู่ในห้องจัดเลี้ยงขนาดกว้าง 30 เมตร ยาว 60 เมตร ซึ่งตั้งอยู่บนชั้นที่สามของอาคารโรงแรม ที่มีทางออกสองทาง (สองประตู) แต่ละทางกว้าง 2 เมตร ทางเดินออกและบันไดก็มีความกว้างในขนาดเดียวกัน คือ กว้างรวม 4 เมตร

การคำนวณเวลาหนีไฟโดยประมาณสามารถแบ่งออกได้ คือ เวลาที่ผู้คนสามารถหนีออกมาได้พ้นประตูห้องจัดเลี้ยงจนหมด คิดได้จากเวลาที่ลุกจากที่นั่งมาถึงประตูเท่ากับ $\{30 \div 78 \times 4)\} = 0.10$ นาที เวลาที่ผ่านประตูเท่ากับ $\{1500 \div (55 \times 4)\} = 6.82$ นาที เวลาในการเข้าสู่บันไดเท่ากับ $\{1500 \div (54 \times 2 \times 2)\} = 6.94$ นาที และเวลาที่ใช้ในการลงบันไดจากชั้นที่สามถึงชั้นล่างสุด $(16 \times 2 \div 60) = 0.53$ นาที รวมเวลาโดยประมาณที่ผู้คนสามารถลงบันไดมาถึงชั้นล่างของอาคารได้หมดภายในเวลา 14.39 นาที กรณีนี้คิดเฉพาะในเหตุการณ์ปกติเท่านั้น คือ ไม่มีการแย่งหรือเหยียบกัน

หรืออีกตัวอย่างสมมุติ มีคนจำนวน 200 คน กำลังร่วมรับประทานอาหารกันอยู่ในห้องจัดเลี้ยง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เมตร ซึ่งตั้งอยู่บนชั้นที่สามสิบสองของอาคารโรงแรม ที่มีทาง

ออกสองทาง (สองประตู) แต่ละทางกว้าง 1.5 เมตร ทางเดินออกและบันไดก็มีความกว้างในขนาดเดียวกันคือกว้างรวม 3 เมตร

การคำนวณเวลาหนีไฟโดยประมาณสามารถแบ่งออกได้ คือ เวลาที่ผู้คนสามารถหนีออกมาได้พ้นประตูห้องอาหารจนหมด คิดได้จากเวลาที่ลุกจากที่นั่งมาถึงประตูเท่ากับ {15 ÷ (78 × 3)} = 0.06 นาที เวลาที่ผ่านประตูเท่ากับ {200 ÷ (55 × 3)} = 1.21 นาที เวลาในการเข้าสู่บันไดเท่ากับ {200 ÷(54 × 1.5 × 2)} = 1.23 นาที และเวลาที่ใช้ในการลงบันไดจากชั้นที่สามสิบสองถึงชั้นล่างสุด{16 × 31 ÷ 60) = 8.27 นาที รวมเวลาโดยประมาณที่ผู้คนสามารถลงบันไดมาถึงชั้นล่างของอาคารได้หมดภายในเวลา 10.76 นาที กรณีนี้คิดเฉพาะในเหตุการณ์ปกติเท่านั้น คือ ไม่มีการแย่งหรือเหยียบกันหรือมีคนวิ่งสวนทาง

การนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เรื่องเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนในอำเภอหาดใหญ่ จำนวน 3 หลัง สามารถสรุปผลได้ตามตาราง 5.8

ตาราง 5.8 ตัวอย่างการประมาณเวลาอพยพออกจากอาคารชุมนุมคน จำนวน 3 หลัง

สถานที่หรืออาคาร	เวลาที่หนีออกจากห้องจนถึงบันได (นาที)	เวลาที่ลงบันได (นาที)	เวลารวม (นาที)
- โรงภาพยนต์ที่อยู่บนชั้นที่ 5 ของอาคารศูนย์การค้า ขนาดจุโรงละ 300 ที่นั่ง	0.13 + 1.82	1.85 + 1.07	4.87
- ห้องจัดเลี้ยงขนาดจุ 1500 คนอยู่บนชั้น 3 มีประตูทางออกสองประตูกว้างประตูละ 2 ม.	0.10 + 6.82	6.94 + 0.53	14.39
- ห้องอาหาร ขนาดจุ 200 คน ที่อยู่บนชั้นที่ 32	0.06 + 1.21	1.23 + 8.27	10.76

การประยุกต์ผลการวิเคราะห์กับอาคารทั่วไป (เวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร)

เมื่อนำอัตราการเคลื่อนตัวหรืออัตราการอพยพแบบต่าง ๆ ที่ทดลองได้ (ผ่านตามทางเดินทางราบ ทางบันได และทางประตู) จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาค่าเวลาที่จะต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารต่าง ๆ ได้ หรือเวลารวมที่ใช้ในการอพยพต่ำสุด (T_e) สำหรับอาคารหลายชั้นได้โดยใช้สมการ

$$T_e = \frac{\sum_{i=r}^{n} Q_i}{Nb_{r-1}} + rt_s$$

ในที่นี้ T_e = เวลารวมที่ใช้ในการอพยพต่ำสุด

r = จำนวนชั้นของอาคาร (1 ถึง n) ซึ่งให้ค่า T_e สูงสุด

Q_i = จำนวนคนที่อยู่ในชั้น i

b_{r-1} = ความกว้างของช่องบันไดระหว่างชั้น r และชั้น r-1

N = อัตราการเคลื่อนตัวของคนต่อหน่วยความกว้างของบันได

t_s = เวลาสำหรับคนที่จะลงบันไดไปได้ 1 ชั้นของอาคาร

สำหรับการทดลองหาเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารทั้งหมด ไม่สามารถที่จะทำการทดลองโดยใช้คนจริงจนเต็มพื้นที่อาคารทุกชั้นได้เนื่องจากต้องใช้คนจำนวนมาก

การทดลองจึงทำได้โดยให้นักศึกษาขึ้นไปอยู่จนเต็มพื้นที่ชั้นบนสุดของอาคารที่ทำการทดลอง แล้วทดสอบหาเวลาที่นักศึกษาวิ่งลงมาจนออกจากอาคารได้ทั้งหมด

ทำการเปรียบเทียบเวลาจริงที่จับไว้ได้กับเวลาที่พยากรณ์ตามสูตรหรืออัตราการเคลื่อนตัวที่คำนวณตามสูตร ได้ค่าดังตาราง 5.9

ตาราง 5.9 เวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารตัวอย่างที่ทดลอง

อาคาร	จำนวนคนเฉลี่ยต่อชั้น	เวลาที่ใช้ในการอพยพที่คำนวณได้จากสูตร (นาที)			เวลาจริงที่วัดได้ (นาที)
		นิวัฒน์ ศิริกุล $T_e = \frac{\sum_{i=r}^{n} Q_i}{Nb_{r-1}} + rt_s$	J.L. Pauls $T = 0.68 + 0.081p^{0.73}$	S.J. Melinek & S. Booth $T = 2 + 0.0117p$	
แผนกก่อสร้าง	140	3.44	3.67	3.64	3.6
แผนกโยธา	80	2.01	2.66	2.94	2.4
แผนกสถาปัตย์	120	3.37	3.35	3.40	3.2
ทดสอบ Chi-Square แล้วได้		ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า $\chi^2 = 0.091$	ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า $\chi^2 = 0.033$	ที่ $\alpha = 0.05$ ค่า $\chi^2 = 0.111$	จากตารางได้ ค่า $\chi^2 = 1.344$

ค่า χ^2 ที่คำนวณได้ทุกสูตรในตาราง 5.10 มีค่าน้อยกว่าค่า χ^2 จากตารางสถิติโดยมีนัยสำคัญตามที่ระบุ ซึ่งแสดงว่าทุกสูตรผ่านทางสถิติ สำหรับค่าเวลาที่แตกต่างกันระหว่างค่าที่ได้จากการสำรวจ และค่าที่คำนวณได้ดังแสดงในตาราง 5.9 น่าจะเป็นเวลาที่คนใช้ตอบสนองสัญญาณเตือนไฟและเดินทางไปถึงช่องบันได ซึ่งโดยปกติคนทั่วไปมักจะไม่ใคร่ตอบสนองในช่วงเริ่มแรกที่รับทราบสัญญาณฉุกเฉิน สิ่งที่จะทำให้มั่นใจได้ว่าคนตอบสนองหรือรับทราบสัญญาณฉุกเฉินอาจใช้ลำโพงกระจายเสียงเพื่อเพิ่มความเชื่อถือของการเตือนภัย ในแต่ละชั้นของอาคาร

คำอธิบายตัวเลขเวลาที่ใช้ในการอพยพที่คำนวณได้จากสูตรที่ใส่ไว้ในตาราง 5.9 มีวิธีคิดหรือคำอธิบายโดยย่อดังนี้ เช่น

อาคารแรกที่พิจารณา คือ อาคารตึกสามชั้นแผนกช่างก่อสร้างที่มีนักศึกษาอยู่บนชั้นที่สาม จำนวน 140 คน

ตามการวิเคราะห์ของผู้วิจัย เวลาที่ใช้ = เวลาที่ต้องวิ่งตามทางราบ + เวลาที่ต้องผ่านประตู + เวลาที่ต้องลงบันได จึงจะได้ค่าเท่ากับเป็นค่าเวลารวม

เวลาที่ต้องใช้ในการวิ่งทางราบ = ระยะทางรวม ÷ 78 (ค่าตัวเลข 78 คือ ค่าตัวเลขที่ได้มาจากการทดลองอพยพตามทางราบจริงในอาคาร)

เวลาที่ต้องใช้ในการวิ่งผ่านประตู = จำนวนคน ÷ 54 (ค่าตัวเลข 54 คือ ค่าตัวเลขที่ได้มาจากการทดลองหาอัตราการผ่านประตูได้จริงในอาคาร)

เวลาที่ต้องใช้ในการลงบันได = จำนวนชั้น × 16 (ค่าตัวเลข 16 คือ เวลาที่ต้องใช้ในการลงบันไดได้เฉลี่ยต่อชั้นคือ 16 วินาที)

$\therefore$ แทนค่าได้ $T = (25 \div 78) + (140 \div 54) + (16 \times 2 \div 60)$

$= 0.32 + 2.59 + 0.53 = 3.44$ นาที

ตามสูตรของ J.L. Pauls เวลาที่ใช้ $T = T = 0.68 + 0.081p^{0.73}$

ในที่นี้ T = เวลาที่ต้องการใช้ในการอพยพ หน่วยเป็น นาที

P = จำนวนคนในอาคารทั้งหมดที่ต้องการอพยพ ในที่นี้ = 140 คน

$\therefore$ แทนค่าได้ $T = 0.68 + 0.081 \times 140^{0.73}$

$= 0.68 + 0.081 \times 36.87 = 0.68 + 2.99 = 3.67$ นาที

ตามสูตรของ S.J. Melinek เวลาที่ใช้ $T = T = 2 + 0.0117p$

ในที่นี้ T = เวลาที่ต้องการใช้ในการอพยพ หน่วยเป็น นาที

P = จำนวนคนในอาคารทั้งหมดที่ต้องการอพยพ ในที่นี้ = 140 คน

$\therefore$ แทนค่าได้ $T = 2 + 0.0117 \times 140$

$= 2 + 1.64 = 3.64$ นาที

อาคารหลังที่สองที่พิจารณา คือ อาคารตึกสองชั้นแผนกช่างโยธาที่มีนักศึกษาอยู่บนชั้นที่สอง จำนวน 80 คน

ตามการวิเคราะห์ของผู้วิจัย เวลาที่ใช้ = เวลาที่ต้องวิ่งตามทางราบ + เวลาที่ต้องผ่านประตู + เวลาที่ต้องลงบันได จึงจะได้ค่าเท่ากับเป็นค่าเวลารวม

เวลาที่ต้องใช้ในการวิ่งทางราบ = ระยะทางรวม ÷ 78 (ค่าตัวเลข 78 คือ ค่าตัวเลขที่ได้มาจากการทดลองอพยพตามทางราบจริงในอาคาร)

เวลาที่ต้องใช้ในการวิ่งผ่านประตู = จำนวนคน ÷ 54 (ค่าตัวเลข 54 คือ ค่าตัวเลขที่ได้มาจากการทดลองหาอัตราการผ่านประตูได้จริงในอาคาร)

เวลาที่ต้องใช้ในการลงบันได = จำนวนชั้น × 16 (ค่าตัวเลข 16 คือ เวลาที่ต้องใช้ในการลงบันไดได้เฉลี่ยต่อชั้น คือ 16 วินาที)

$\therefore$ แทนค่าได้ T $= (20 \div 78) + (80 \div 54) + (16 \times 1 \div 60)$

$= 0.26 + 1.48 + 0.27 = 2.01$ นาที

ตามสูตรของ J.L. Pauls เวลาที่ใช้ $T = T = 0.68 + 0.081p^{0.73}$

ในที่นี้ T = เวลาที่ต้องการใช้ในการอพยพ หน่วยเป็น นาที

P = จำนวนคนในอาคารทั้งหมดที่ต้องการอพยพ ในที่นี้ = 80 คน

$\therefore$ แทนค่าได้ $T = 0.68 + 0.081 \times 80^{0.73}$

$= 0.68 + 0.081 \times 24.51 = 0.68 + 1.98 = 2.66$ นาที

ตามสูตรของ S.J. Melinek เวลาที่ใช้ $T = T = 2 + 0.0117p$

ในที่นี้ T = เวลาที่ต้องการใช้ในการอพยพ หน่วยเป็น นาที

P = จำนวนคนในอาคารทั้งหมดที่ต้องการอพยพ ในที่นี้ = 80 คน

$\therefore$ แทนค่าได้ $T = 2 + 0.0117 \times 80$

$= 2 + 0.94 = 2.94$ นาที

อาคารหลังที่สามที่พิจารณา คือ อาคารตึกสี่ชั้นแผนกช่างเทคนิคสถาปัตยกรรมที่มีนักศึกษาอยู่บนชั้นที่สี่จำนวน 120 คน

ตามการวิเคราะห์ของผู้วิจัย เวลาที่ใช้ = เวลาที่ต้องวิ่งตามทางราบ + เวลาที่ต้องผ่านประตู + เวลาที่ต้องลงบันได จึงจะได้ค่าเท่ากับเป็นค่าเวลารวม

เวลาที่ต้องใช้ในการวิ่งทางราบ = ระยะทางรวม ÷ 78 (ค่าตัวเลข 78 คือ ค่าตัวเลขที่ได้มาจากการทดลองอพยพตามทางราบจริงในอาคาร)

เวลาที่ต้องใช้ในการวิ่งผ่านประตู = จำนวนคน ÷ 54 (ค่าตัวเลข 54 คือ ค่าตัวเลขที่ได้มาจากการทดลองหาอัตราการผ่านประตูได้จริงในอาคาร)

เวลาที่ต้องใช้ในการลงบันได = จำนวนชั้น × 16 (ค่าตัวเลข 16 คือ เวลาที่ต้องใช้ในการลงบันไดได้เฉลี่ยต่อชั้นคือ 16 วินาที)

$\therefore$ แทนค่าได้ T $= (27 \div 78) + (120 \div 54) + (16 \times 3 \div 60)$

$= 0.35 + 2.22 + 0.8 = 3.37$ นาที

ตามสูตรของ J.L. Pauls เวลาที่ใช้ $T = T = 0.68 + 0.081p^{0.73}$

ในที่นี้ T = เวลาที่ต้องการใช้ในการอพยพ หน่วยเป็น นาที

P = จำนวนคนในอาคารทั้งหมดที่ต้องการอพยพ ในที่นี้ = 120 คน

$\therefore$ แทนค่าได้ $T = 0.68 + 0.081 \times 120^{0.73}$

$= 0.68 + 0.081 \times 32.95 = 0.68 + 2.67 = 3.35$ นาที

ตามสูตรของ S.J. Melinek เวลาที่ใช้ $T = T = 2 + 0.0117p$

ในที่นี้ T = เวลาที่ต้องการใช้ในการอพยพ หน่วยเป็น นาที

P = จำนวนคนในอาคารทั้งหมดที่ต้องการอพยพ ในที่นี้ = 120 คน

$\therefore$ แทนค่าได้ $T = 2 + 0.0117 \times 120$

$= 2 + 1.40 = 2.40$ นาที

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเวลาจริงที่เก็บข้อมูลไว้ขณะที่ทำการทดลองทดสอบได้ ซึ่งได้ค่าเวลาจริงที่อพยพลงจากตึกสี่ชั้น สามชั้น และสองชั้น เท่ากับ 3.2 นาที 3.6 นาที และ 2.4 นาที ตามลำดับ

ตาราง 5.10 การคำนวณหาค่าไคสแควร์ (Chi-Square)

E	O	O - E	$(O - E)^2$	$((O-E)^2/E$	สูตรของ	ค่า Chi-Square
3.44	3.60	0.16	0.0256	0.00744186	นิวัฒน์	0.091689
2.01	2.40	0.39	0.1521	0.07567164	นิวัฒน์	
3.37	3.20	-0.17	0.0289	0.00857567	นิวัฒน์	
3.67	3.60	-0.07	0.0049	0.00133515	J.L. Pauls	0.033465
2.66	2.40	-0.26	0.0676	0.02541353	J.L. Pauls	
3.35	3.20	-0.15	0.0225	0.00671642	J.L. Pauls	
3.64	3.60	-0.04	0.0016	0.00043956	Melinek	0.111388
2.94	2.40	-0.54	0.2916	0.09918367	Melinek	
3.40	3.20	-0.20	0.0400	0.01176471	Melinek	
28.48	27.60			0.23654221		
ค่า Chi-Square ที่ได้จากการคำนวณคือ 0.2365 หาค่า Chi-Square จากตาราง = 1.344 (ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2534.)						

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาเวลาหนีภัยในอาคารครั้งนี้จะเน้นเวลาที่ใช้ในการหนีไฟออกจากอาคารเป็นสำคัญ โดยนับเวลาตั้งแต่เคลื่อนย้ายคนจากตำแหน่งที่อยู่ในอาคารขณะเกิดเพลิงไหม้ เคลื่อนไปตามทางเดิน ผ่านออกประตู ลงสู่บันไดจนออกจากอาคารได้โดยปลอดภัย โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองอพยพนักศึกษาระดับอนุปริญญาของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคใต้ จำนวน 120 คน ออกจากอาคาร 20 ครั้ง เป็นเวลา 20 วัน โดยใช้อาคารเรียนแผนกวิชาช่างโยธา, แผนกวิชาช่างก่อสร้าง และแผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรมของสถาบันเทคโนฯ ที่มีขนาดความสูง สอง, สาม และสี่ชั้นตามลำดับเป็นสถานที่ทดลอง ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

6.1 การทดลองอพยพคนออกจากอาคาร

การทดลองเริ่มด้วยการวัดสรีระของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทุกคนและนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พิสัย จากนั้นจึงวัดขนาดทางกายภาพของสถานที่ที่ทำการทดลอง แล้วจึงเริ่มทำการทดลองอพยพนักศึกษาออกจากห้องเรียน ผ่านประตู ลงบันได จนออกนอกอาคาร

6.1.1 สภาวะทางกายภาพด้านสรีระของกลุ่มตัวอย่าง

ตาราง 6.1 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสรีระนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง

สรีระของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง	แผนกวิชาช่างก่อสร้าง ชั้น ปวส. 2/1	แผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตย์ ชั้น ปวส.1/1	แผนกวิชาช่างสำรวจ ชั้น ปวส.2/1
ความกว้าง (ซ.ม.)	ค่าเฉลี่ย = 50.75 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.65	ค่าเฉลี่ย = 49.08 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 2.68	ค่าเฉลี่ย = 50.47 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.83
ความสูง (ซ.ม.)	ค่าเฉลี่ย = 169.21 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 5.60	ค่าเฉลี่ย = 169.03 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 6.45	ค่าเฉลี่ย = 169.19 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 6.08
ความยาวของเท้า (ซ.ม.)	ค่าเฉลี่ย = 23.72 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.58	ค่าเฉลี่ย = 23.37 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.40	ค่าเฉลี่ย = 23.32 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.07

ผลการวัดสรีระของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 แผนก ๆ วิชาละหนึ่งห้อง คือแผนกวิชาช่างก่อสร้าง มีนักศึกษา 38 คน แผนกวิชาช่างเทคนิคสถาปัตยกรรมมีนักศึกษา 30 คน แผนกวิชาช่างสำรวจ มีนักศึกษา 34 คน ผลการตรวจวัดสรีระได้ผลสรุปตามตารางที่ 6.1

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาสรีระของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างกับขนาดสรีระของคนอเมริกัน ปรากฏว่านักศึกษาตัวอย่างมีความสูงเฉลี่ยน้อยกว่าคนอเมริกัน 8% มีความกว้างเฉลี่ยน้อยกว่าคนอเมริกัน 14 % และมีความยาวเท้าเฉลี่ยน้อยกว้างคนอเมริกัน 19%

6.1.2 มิติทางกายภาพ ของทางราบ / บันได / ประตู

ทำการจำลองแบบแปลนแผนผังลักษณะทางกายภาพของทางเดินระหว่างห้อง บันได และประตูของอาคารเรียนทั้งสามหลังของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ ที่ทำการทดลองเพื่อหาอัตราความเร็วของการเคลื่อนตัวทางราบ ทางบันได ผ่านประตู สามารถสรุปย่อในลักษณะมิติทางกายภาพของอาคารได้ดังตาราง 6.2

ตาราง 6.2 มิติทางกายภาพของอาคารที่ทำการทดลอง

อาคารที่ทำการทดลอง	อาคาร 29 แผนกช่างโยธา (ตึก 2 ชั้น)	อาคาร 31 แผนกสถาปัตยกรรม (ตึก 4 ชั้น)	อาคาร 52 แผนกช่างก่อสร้าง (ตึก 3 ชั้น)
พื้นที่อาคาร รวมทั้งหมด	648 ตารางเมตร	1608 ตารางเมตร	1440 ตารางเมตร
ความสูงของพื้นชั้นที่ทดลอง	3.73 เมตร	10.94 เมตร	6.82 เมตร
ความสูงระหว่างชั้น	3.73 เมตร	3.65 เมตร	3.41 เมตร
ทางหนีไฟกว้าง	1.50 เมตร	1.90 เมตร	1.73 เมตร
ประตูหนีไฟกว้าง	1.20 เมตร	0.90 เมตร	0.90 เมตร
บันไดหนีไฟกว้าง	1.35 เมตร	1.75 เมตร	2.03 เมตร
ขนาดความสูงของลูกตั้งบันได	0.175 เมตร	0.175 เมตร	0.20 เมตร
จำนวนขั้นบันไดต่อชั้น	20 ขั้น/ชั้น	19 ขั้น/ชั้น	18 ขั้น/ชั้น
ความกว้างของลูกนอนบันได	0.25 เมตร	0.295 เมตร	0.30 เมตร
เวลาในการวิ่งลงบันไดต่อชั้น	16.00 วินาที	15.00 วินาที	14.00 วินาที
เวลาในการลงบันไดต่อเมตร	4.29 วินาที	4.10 วินาที	4.11 วินาที
เวลาในการลงบันไดต่อขั้น	0.80 วินาที	0.79 วินาที	0.78 วินาที

6.1.3 ค่าอัตราความเร็วจากผลการทดลอง

ค่าจากผลการทดลองสามารถสรุปผลอัตราความเร็วของการเคลื่อนตัวตามทางราบ, ทางบันได และทางประตู ได้ดังนี้

อาคารตึกสี่ชั้น แผนกสถาปัตยกรรม

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งทางราบ	=	78	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทางราบ	=	73	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งลงบันได	=	55	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งลงบันได	=	54	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการผ่านประตู	=	55	คน/เมตร/นาที

อาคารตึกสามชั้น แผนกช่างก่อสร้าง

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งทางราบ	=	91	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทางราบ	=	76	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งลงบันได	=	55	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งลงบันได	=	50	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการผ่านประตู	=	56	คน/เมตร/นาที

อาคารตึกสองชั้น แผนกวิชาช่างโยธา

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งทางราบ	=	92	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทางราบ	=	85	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งลงบันได	=	63	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งลงบันได	=	56	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการผ่านประตู	=	54	คน/เมตร/นาที

โดยภาพรวมทั้ง 3 อาคาร

อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งทางราบ	=	92	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทางราบ	=	78	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วสูงสุดในการวิ่งลงบันได	=	63	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งลงบันได	=	54	คน/เมตร/นาที
อัตราความเร็วเฉลี่ยในการผ่านประตู	=	55	คน/เมตร/นาที

6.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วและความหนาแน่น

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองการเคลื่อนตัวไปตามความยาวของทางเดินทางราบคือ จำนวนคน ระยะทาง เวลาที่นักศึกษาคนแรกมาถึง เวลาที่นักศึกษาคนสุดท้ายผ่าน ความกว้าง ความเร็ว และอัตราการอพยพ มาประยุกต์เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับทฤษฎีการไหลของจราจรโดยใช้หลักความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วและความหนาแน่นตามหลักการของกรีนชิล (Greenshield) และสามารถเขียนเป็นโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วและความหนาแน่นได้ ดังนี้ ในรูปของ Parabolic Model คือ $u = 197.61 - 100.01\sqrt{k}$

ในรูปของ Exponential Model คือ $u = 85.81 \ln \frac{3.9}{k}$

ในรูปของ Linear Model คือ $u = 115.92 - 29.69k$

สำหรับการเคลื่อนตัวลงบันได สามารถเขียนเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วและความหนาแน่นได้ เช่น

ในรูปของ Parabolic Model คือ $u = 107.44 - 54.98\sqrt{k}$

ในรูปของ Exponential Model คือ $u = 47.19 \ln \frac{3.82}{k}$

ในรูปของ Linear Model คือ $u = 62.19 - 16.27k$

ในที่นี้ u = อัตราความเร็วเฉลี่ยตามทางเดินและลงบันได มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

k = อัตราความหนาแน่น มีหน่วยเป็นคนต่อตารางเมตร

ค่าที่ได้จากการแทนค่าในตัวแปรสำหรับ 6 สมการดังกล่าวข้างต้นสามารถนำไปคำนวณหาอัตราความเร็วในการอพยพจากอาคาร และอัตราการเคลื่อนตัวของกลุ่มคนได้ โดยมีสมการสมมติฐานในการเคลื่อนตัวของกลุ่มคน คือ $F_c = uk$

ในที่นี้ F_c = จำนวนคนที่อพยพได้ มีหน่วยเป็นคนต่อเมตรต่อนาที

สำหรับการคิดค่า k หรืออัตราความหนาแน่นนั้น คิดโดยใช้สูตร $k = \frac{Qf}{bL}$

ในที่นี้ Q = จำนวนคนทั้งหมด

f = พื้นที่ที่คนหนึ่งคนต้องใช้

b = ความกว้างของเส้นทางการเคลื่อนตัว

L = ความยาวของพื้นที่ที่คิด

สำหรับการเคลื่อนตัวผ่านทางประตูนั้นสามารถหาเวลาที่ใช้ในการผ่านประตูได้จาก

สมการ $T = \frac{Q}{Nb}$

ในที่นี้ T = เวลาใช้ในการผ่านประตู (วินาที)

Q = จำนวนคนที่ผ่านประตู (คน)

N = อัตราการเคลื่อนตัวต่อเมตร (คนต่อความกว้างหนึ่งเมตรของประตู)

b = ความกว้างของประตูทางออก (เมตร)

6.3 ค่าเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร

เมื่อนำอัตราการเคลื่อนตัวหรืออัตราความเร็วของการอพยพแบบต่าง ๆ ที่ทดลองได้ (ผ่านตามทางเดินทางราบ ทางบันได และทางประตู) ไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาค่าเวลาที่จะต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารต่าง ๆ หรือหาเวลารวมที่ใช้ในการอพยพต่ำสุด (T_e) สำหรับอาคารหลายชั้นนั้นสามารถหาเวลารวมดังกล่าวได้โดยใช้สมการ

$$T_e = \frac{\sum_{i=r}^{n} Q_i}{N b_{r-1}} + r t_s$$

ในที่นี้ T_e = เวลารวมที่ใช้ในการอพยพต่ำสุด

r = จำนวนชั้นของอาคาร (1 ถึง n) ซึ่งให้ค่า T_e สูงสุด

Q_i = จำนวนคนที่อยู่ในชั้น i

b_{r-1} = ความกว้างของช่องบันไดระหว่างชั้น r และชั้น r-1

N = อัตราการเคลื่อนตัวของคนต่อหน่วยความกว้างของบันได

t_s = เวลาสำหรับคนที่จะลงบันไดไปได้ 1 ชั้นของอาคาร

ตัวอย่างจากผลการทดลอง เมื่อได้ค่าอัตราเฉลี่ยการอพยพหนีภัยได้ตามทางเดินทางราบเท่ากับ 78 คน/นาที/เมตร ค่าอัตราการอพยพตามบันไดเท่ากับ 54 คน/นาที/เมตร และค่าอัตราการผ่านประตูเท่ากับ 55 คน/นาที/เมตร แล้ว สามารถที่จะนำค่าตัวเลขเหล่านี้ไปใช้ในการประมาณเวลาสำหรับการอพยพคนออกจากอาคารขนาดใหญ่ หรือสถานที่ที่มีคนอยู่จำนวนมากได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่หนึ่ง สมมุติมีคนจำนวน 300 คน กำลังชมภาพยนต์อยู่ในโรงภาพยนต์ซึ่งตั้งอยู่ ณ ชั้นที่ 5 ของอาคารศูนย์การค้าแห่งหนึ่ง โรงภาพยนต์ กว้าง 20 เมตร ยาว 30 เมตร มีประตูทางออกสองประตู กว้างประตูละ 1.50 เมตร บันไดหนีไฟมีสองทาง กว้างทางละ 1.50 เมตร เช่นเดียวกับทางเดิน ถ้าต้องการทราบว่าคนที่กำลังชมภาพยนต์อยู่นั้น เมื่อได้รับสัญญาณแจ้งว่าเกิดไฟไหม้ ให้รีบหนีออกจากอาคารโดยเร็วจะใช้เวลาเท่าใดจึงจะออกจากอาคารได้หมด

โดยใช้อัตราที่ผู้วิจัยทดลองได้ จะประมาณเวลาที่ผู้ชมภาพยนตร์สามารถหนีออกมาพ้นจากประตูโรงภาพยนต์ลงสู่ชั้นล่างจนออกจากอาคารได้หมดภาย 4.87 นาที

โดยใช้อัตราของ Togawa, J.L. Pauls และ S. J. Melinek จะประมาณเวลาที่ผู้ชมภาพยนต์สามารถหนีออกมาพ้นจากประตูโรงภาพยนต์ลงสู่ชั้นล่างจนออกจากอาคารได้ตามตาราง 6.3

ตัวอย่างที่สองสมมุติ มีคนจำนวน 1,500 คน กำลังร่วมรับประทานอาหารกันอยู่ในห้องจัดเลี้ยง ขนาดกว้าง 30 เมตร ยาว 60 เมตร ซึ่งตั้งอยู่บนชั้นที่สามของอาคารโรงแรม ที่มีทางออกสองทาง (สองประตู) แต่ละทางกว้าง 2 เมตร ทางเดินออกและบันไดก็มีความกว้างในขนาดเดียวกัน คือ กว้างรวม 4 เมตร ถ้าต้องการทราบว่าคนที่อยู่ในห้องประชุมนั้น เมื่อได้รับสัญญาณแจ้งว่าเกิดไฟไหม้ ให้รีบหนีออกจากอาคารโดยเร็วจะใช้เวลาเท่าใดจึงจะออกจากอาคารได้หมด

โดยใช้อัตราที่ผู้วิจัยทดลองได้ จะประมาณเวลาที่ผู้คนสามารถลงบันไดมาถึงชั้นล่างของอาคารและออกจากอาคารได้หมดภายในเวลา 14.39 นาที กรณีนี้คิดเฉพาะในเหตุการณ์ปกติเท่านั้น คือ ไม่มีการแย่งหรือเหยียบกัน

โดยใช้อัตรา Togawa, J.L. Pauls และ S. J. Melinek จะประมาณเวลาที่ผู้คนในห้องประชุมสามารถลงบันไดมาถึงชั้นล่างของอาคารและออกจากอาคารได้ตามตารางที่ 6.3

ตาราง 6.3 เวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารตัวอย่าง

ชื่อสถานที่อาคารที่ชุมนุมคน	ใช้อัตราของ นิวัฒน์ ศิริกุล	ใช้สูตร ของ Togawa	ใช้สูตร ของ J.L. Pauls	ใช้สูตรของ S. J. Melinek
โรงภาพยนต์บนชั้น 5 ของศูนย์การค้า	4.87 นาที	4.85 นาที	5.89 นาที	5.51 นาที
ห้องประชุมบนชั้น 3 ของโรงแรม	14.39 นาที	14.37 นาที	17.54 นาที	19.55 นาที

เปรียบเทียบค่าเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารจากตารางพบว่าค่าผลลัพธ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกัน โดยผลลัพธ์จะใกล้เคียงกับชาวญี่ปุ่นมากกว่าชาวตะวันตก

6.4 ปัจจัยหลักต่อการหนีไฟ

เวลาที่ใช้ในการอพยพคนเพื่อหนีไฟจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าความเสียหายนั้นได้เกิดขึ้นแล้วมากหรือน้อยเพียงใด และเกิดในจุดที่ล่อแหลมหรือไม่ ความสามารถของเครื่องกลหรืออุปกรณ์ช่วยเหลือต่าง ๆ อยู่ในสภาพที่สามารถจะใช้งานได้ทันทีเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินหรือไม่ หรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้ใช้สอยหรือผู้ที่อาศัยอยู่ในอาคาร และพนักงานเจ้าหน้าที่ เช่น เจ้าหน้าที่ประจำอาคาร หรือผู้รักษาความปลอดภัย เจ้าหน้าที่หน่วยป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เป็นผู้มีความรู้ในเรื่องการหนีภัย มีความสามารถในการป้องกันตนเอง มีความพร้อมในการเผชิญและแก้ไขสถานการณ์ฉุกเฉินได้มากน้อยเพียงใด เช่น ได้เคยได้รับการฝึกซ้อมให้ช่วยเหลือตนเองหรือให้

ทราบวิธีปฏิบัติในการเคลื่อนย้ายตนเองและผู้อื่นหรือไม่ และสามารถควบคุมสภาวะทางอารมณ์จากสถานการณ์ได้มากน้อยเพียงใด ความตกใจในเสียงสัญญาณเตือนภัยและการควบคุมอารมณ์ของบุคคลทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องย่อมมีผลกระทบต่อเวลาในการอพยพทั้งสิ้น

จากผลการทดลองวิ่งในอาคารพบว่า จุดที่เกิดอุปสรรคต่อการอพยพ คือจุดที่มีความไม่เท่ากันของขั้นบันได เช่น ความสูงของลูกตั้งเมื่อลูกตั้งสูงไม่เท่ากันหรือลูกนอนกว้างไม่เท่ากัน ทำให้จังหวะการก้าววิ่งเสียจังหวะ การที่ลูกนอนไม่อยู่ในแนวระดับที่เสมอกันเช่นขั้นบันไดลาดเอียงลงจะทำให้การก้าววิ่งแล้วหน้าคว่ำ ความไม่สม่ำเสมอกันของพื้นจะทำให้สะดุดขณะวิ่ง และการมองไม่เห็นเส้นทางออกหรือป้ายบอกทางออกเมื่อไฟดับ เช่น ในกรณีอยู่ในศูนย์การค้าในบริเวณที่ไฟฉุกเฉินส่องสว่างไปไม่ทั่วถึงจะทำให้หลงทางไม่สามารถหาทางออกได้

นอกจากทำการทดลองการอพยพคนบนอาคารเรียนโดยกลุ่มนักศึกษาตัวอย่างของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคใต้แล้ว ผู้วิจัยยังได้ไปร่วมในการทดลองซ้อมการช่วยเหลือผู้ประสบอัคคีภัยซึ่งจัดโดยจังหวัดสงขลา เพื่อศึกษาโครงสร้างของอาคารที่เป็นส่วนประกอบหลักและเกี่ยวข้องกับการหนีไฟ เช่น ทางเดิน ความกว้างของทาง แสงสว่าง ป้ายบอกทาง ความสม่ำเสมอของทาง ประตู ขนาดของประตู น้ำหนักที่จะต้องใช้ในการดันเปิดประตู เหล็กดัด กุญแจไขช่องเปิดเหล็กดัด บันได และรวมทั้งบันไดลิง บันไดเลื่อน บันไดโค้ง บันไดเวียน บันไดช่วงเดียว บันไดพับกลับ มุมลาดชันของบันได ทางลาด ลิฟท์หนีไฟ และขนาดของลูกตั้ง ลูกนอน เป็นต้น

6.5 การเปรียบเทียบข้อกำหนดในกฎหมายไทยกับต่างประเทศ

กฎหมายไทยที่มีข้อบัญญัติเพื่อควบคุมการก่อสร้างทางหนีภัย (ทางหนีไฟ) ในอาคาร และผู้วิจัยได้ค้นคว้า เช่น พ.ร.บ.ป้องกันภยันตรายอันเกิดแต่การเล่นมหรสพ พ.ศ.2464 พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2535 กฎกระทรวง (พ.ศ.2498) ออกตามความใน พ.ร.บ.ควบคุมการก่อสร้างอาคาร พ.ศ.2479 กฎกระทรวงฉบับที่ 18(พ.ศ.2530), 33(พ.ศ.2535), 50(พ.ศ.2541) ออกตามความใน พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 กฎกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2535) ออกตามความใน พ.ร.บ.โรงงาน พ.ศ.2535 และประกาศกรุงเทพมหานคร เรื่อง ข้อกำหนดลักษณะแบบของบันไดหนีไฟและทางหนีไฟทางอากาศของอาคาร พ.ศ.2531

กฎหมายของต่างประเทศที่นำมาเปรียบเทียบ คือ ข้อกำหนดใน Building Officials & Code Administrators International, Inc.1989. Supplement to The National Fire Prevention Code. ของประเทศอเมริกา และข้อกำหนดใน Department of the Environment and the Welsh Office. 1992.

The Building Regulations Fire Safety, London. ของประเทศอังกฤษ สามารถสรุปเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับโครงสร้างส่วนทางเดิน, ประตู และบันไดหนีไฟของอาคารสาธารณะได้ดังนี้

ความกว้างของทางเดิน สัดส่วน ความกว้างของทางเดินระหว่างห้องพัก ของ สหรัฐอเมริกา : อังกฤษ :ไทย คือ 1.00 : 0.98 : 0.82 โดยความกว้างของสหรัฐอเมริกา เท่ากับ 72 นิ้ว

ขนาดของประตูหนีไฟ สัดส่วนความกว้างของประตูหนีไฟ ของสหรัฐอเมริกา : อังกฤษ : ไทย คือ 1.00:1.23 : 0.98 โดยความกว้างของสหรัฐอเมริกาเท่ากับ 36 นิ้ว

ขนาดของขั้นบันไดหนีไฟ สัดส่วนความกว้างของลูกนอนของบันไดของ สหรัฐอเมริกา : อังกฤษ :ไทย คือ 1.00 : 1.15 : 0.79 โดยความกว้างของสหรัฐอเมริกาไม่น้อยกว่า 9 นิ้ว

เทียบสัดส่วนความสูงของลูกตั้งของบันไดของ สหรัฐอเมริกา : อังกฤษ : ไทย คือ 1.00 : 1.07 : 1.12 โดยความสูงของสหรัฐอเมริกา สูงไม่เกิน 7 นิ้ว

ความกว้างของบันไดหนีไฟเทียบสัดส่วนความกว้างของประตูของ สหรัฐอเมริกา : อังกฤษ : ไทย คือ 1.00 :1.09 : 0.98 โดยความกว้างของสหรัฐอเมริกา กว้างไม่น้อยกว่า 44 นิ้ว

6.6 ข้อเสนอแนะ

ตามผลการวิจัยแม้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้จะไม่ครบทุกวัย และไม่สามารถสร้างเหตุการณ์ไฟไหม้จริงในอาคารขณะที่กำลังทดลองได้ แต่ผลการวิจัยของนักวิชาการต่างชาติ ระบุว่าอายุและเพศไม่ได้เป็นปัจจัยหลักในการเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วในการเคลื่อนตัวของกลุ่มชน (S. J. Melinek, and S. Booth. 1975.) ปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราความเร็วคือค่าความหนาแน่น ดังนั้นค่าอัตราความเร็วที่ทดสอบได้น่าจะเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง และควรจะได้กำหนดค่าอัตราเฉลี่ยการอพยพหนีภัยได้ ตามทางเดินทางราบเท่ากับ 78 คน/ นาที/เมตร ค่าอัตราการอพยพตามบันไดเท่ากับ 54 คน/นาที/เมตร และค่าอัตราการผ่านประตูเท่ากับ 55 คน/นาที/เมตร ไว้ในกฎกระทรวงมหาดไทยที่ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร เพื่อให้ สามารถที่จะนำค่าเหล่านี้ไปประมาณเวลาสำหรับอพยพคนออกจากอาคารขนาดใหญ่ หรือสถานที่ที่มีคนอยู่จำนวนมากได้

บรรณานุกรม

กฤษฎา บานชื่น. 2527. คู่มือวิ่งเพื่อสุขภาพ.

กองบัญชาการตำรวจนครบาล, กรมตำรวจ. 2534. สถิติผลการปฏิบัติงานประจำปี พ.ศ.2534-2539. กรุงเทพมหานคร : กองบังคับการตำรวจดับเพลิง.

การกีฬาแห่งประเทศไทย. 2541. ระเบียบการกีฬาแห่งประเทศไทย ว่าด้วยระเบียบและกติกาการแข่งขันกีฬาแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร : บริษัทนิวไทยมิตรการพิมพ์จำกัด.

คณะกรรมการป้องกันอุบัติภัยแห่งชาติ, สำนักงาน. 2538. คู่มือการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. กรุงเทพมหานคร : บริษัท เซเว่น พริ้นติ้ง กรุ๊ป จำกัด.

จักรกริศน์ กนกกันฑพงษ์. 2523. วิศวกรรมจราจรเบื้องต้น. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2534. เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ต่อพงศ์ ยมนาค. 2523. วัสดุและการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรม. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

"เผยยอดเหยื่อย่างสดพุ่ง 600 อนาถใจเครื่องมือไม่พอช่วย", 2538. มติชน. 26 ธันวาคม 2538, หน้า 1, 13.

พิชญะ จันทรานุวัฒน์. 2538. "แผนการป้องกันอัคคีภัยสำหรับโครงการ ระบบขนส่งมวลชนใต้ดิน", ในการประชุมใหญ่ทางวิชาการทางวิศวกรรมประจำปี 2538. หน้า 241-255. กรุงเทพมหานคร : สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

"ไฟไหม้โรงแรมในตากาล็อกตายเกลื่อน 26 ศพเจ็บระนาว", 2540. กรุงเทพธุรกิจ. 27 เมษายน 2540, หน้า 4.

มั่น ศรีเรือนทอง. 2540. "รายงานการสำรวจเพลิงไหม้โรงแรมรอยัลจอมเทียนรีสอร์ท", โยธาสาร. ปีที่ 9 ฉบับที่ 8 (สิงหาคม 2540), หน้า 28 - 34.

มนัส วรรณศรีเพชร พ.ต.ท., 2538. การป้องกันและระงับอัคคีภัย. ในคู่มือการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. โดยคณะกรรมการป้องกันอุบัติภัยแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร : บริษัท เซเว่น พริ้นติ้งกรุ๊ป จำกัด.

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2541. "การป้องกันและระงับอัคคีภัยในเขตเทศบาล", ในการสัมนาทางวิชาการ ณ ห้องประชุม 210 สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วันที่ 23 - 24 กรกฎาคม 2541. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

รุ่งอรุณ รังสิยะวงศ์. 2540. "ศักยภาพดับเพลิงกับความเจริญที่รออยู่", กรุงเทพธุรกิจ. 24 เมษายน 2540, หน้า 3.

วรศักดิ์ กนกนุกูลชัย. 2541. "มาตรการระยะยาวเพื่อป้องกันอัคคีภัยในอาคารสูง", โยธาสาร. ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (มีนาคม – มิถุนายน 2541), หน้า 51–62.

วัชรินทร์ วิทยกุล. 2539. หลักวิศวกรรมขนส่งเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, สมาคม. 2535. มาตรฐานการติดตั้งสัญญาณเตือนอัคคีภัย มาตรฐาน ว.ส.ท. 0001-29. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, สมาคม. 2538. รวมกฎมายการควบคุมอาคาร. เล่ม 1 - 2 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, สมาคม. 2540. มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย มาตรฐาน ว.ส.ท. 3002-40 . พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ส.เอเชียเพรส (1989) จำกัด.

ศักดิ์ระพี ปรักกมะกุล พล.ต.ต., 2531. "ปัญหาและการป้องกันอัคคีภัยในประเทศ", ในการประชุมทางวิชาการและนิทรรศการป้องกันภัยฝ่ายพลเรือน. หน้า 179-189. กรุงเทพมหานคร : สำนักเลขาธิการป้องกันภัยฝ่ายพลเรือน (กรมการปกครอง) กระทรวงมหาดไทย.

ศักดิ์ระพี ปรักกมะกุล พล.ต.ต., 2538. การป้องกันและระงับอัคคีภัย. ในคู่มือการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. โดยคณะกรรมการป้องกันอุบัติภัยแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร : บริษัท เซเว่น พริ้นติ้งกรุ๊ป จำกัด.

ศูนย์ภาพเนชั่น. 2540. "สลดซ้ำซาก", กรุงเทพธุรกิจ. 22 มีนาคม 2540, หน้า 1.

สมศักดิ์ เลิศบรรณพงษ์. 2541. "กฎหมายเกี่ยวกับการป้องกันอัคคีภัย" ในเอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ การป้องกันอัคคีภัย 9 - 11 พฤศจิกายน 2541. หน้า 63 – 118. กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สยามออลมาแนค 2529. 2530. สัมฤทธิ์ มีวงศ์อุโฆษ (บรรณาธิการ). กรุงเทพมหานคร : บริษัท สยามบรรณ จำกัด.

สำนักงานจังหวัดนครปฐม. 2536. บรรยายสรุปจังหวัดนครปฐม. นครปฐม, หน้า 29-45.

British Research Establishment. 1993. Human Behaviour in Fire. BRE Digest 388. November, pp.1-4.

Building Code of Australia 1990. Section C : Fire Resistance, Section D : Access and Egress. Second Edition. 1994, Australian Uniform Building Regulations Co-ordinating Council.

Building Officials & Code Administrators International, Inc. 1989. 1988 Supplement to The National Building Code, National Fire Prevention Code. Illinois : Country Club Hills.

C. S. Papacostas. 1987. Fundamentals of Transportation Engineerings. Singapore : Prentice-Hall International, Inc. pp.145-150.

David A. Purser. 1995. Toxicity Assessment of Combustion Products. SFPE Hand book of Fire Protection Engineering, 2nd Edition. P.J. DiNenno (Ed.), Quincy : NFPA, pp.2-99.

Department of the Environment and the Welsh Office. 1992. The Building Regulations 1991 Fire Safety, London : HMSO Publications Center.

Department of the Environment and the Welsh Office. 1992. Stairs Ramps and Guards, London : HMSO Publications Center.

Donald R. Drew. 1968. Traffic Flow Theory and Control, NewYork : McGraw-Hill Inc.

E. Kendile. 1983. "Determination of the Evacuation Time Pertinent to the Projected Area Factor in the Event of the Total Evacuation of High Rise Office Buildings vis Stair Cases", Fire Safety Journal, Vol.5, pp.233.

Ezel Kendik. 1986. "Designing Escape Routes in Buildings", Fire Technology. Vol. 22, November, pp.272-294.

G M B Webber, and P J Hallman. 1989. Photoluminescent markings for escape routes. BRE Information Paper 17/89. September, pp.1-2.

G. Ramachandran. 1990. "Probability - Based Fire Safety Code", Journal of Fire Protection Engineering. Vol.2, No.3, pp.75-91.

H.E. Nelson, and H.A. MacLennan. 1995. Emergency Movement. SFPE Handbook of Fire

Protection Engineering, 2nd Edition. P.J. Dinenno (Ed.), Quincy : NFPA, pp.3-286, 3-295.

H. W. Emmons. 1988. "Why Fire Model? The MGM Fire and Toxicity Testing", Fire Safety Journal. Vol.13, pp.77-85.

Jake L. Pauls. 1987. "Calculating Evacuation Times for Tall Buildings", Fire Safety Journal. Vol.12, pp.213-236.

Jake L. Pauls. 1995. "Movement of People". in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Edition, P. J. DiNenno (Ed.), Quincy : NFPA, pp.3-272.

James A. Milke. 1998. "Response of People to Fire", Proceedings of the Fire Protection Symposium, Kasertsart University, Bangkok. pp168 – 190.

John M. Watts, Jr. 1987. "Computer Models for Evacuation Analysis", Fire Safety Journal. Vol.12, pp.237-245.

Michael A. Pawills. 1982. "Circulation in Major Activity Centres", in Transportation and Traffic Engineering Handbook, Wolfgang S. Homburger, Louis E. Keefer, and William R. McGrath (ed.). New Jersey : Prentice-Hall.

Pauls H. Wright. 1996. Highway Engineering. NewYork : John Wiley & Sons, Inc., pp.140-145.

Robert B. Sleight. 1972. "The Pedestrians", in Human Factors in Highway Traffic Research, T.W. Forbes (ed.). New York : Wiley, pp.235.

S. J. Melinek and S. Booth. 1975. An Analysis of Evacuation Times and the Movement of Crowds in Buildings. British Research Establishment.

T. J. Shields, G. W. Silcock and K. E. Dunlop. 1992. "A Methodology for the Determination of Code Equivalency with Respect to the Provision of Means of Escape", Fire Safety Journal. Vol.19, pp.267-278.

Urban Mass Transportation Administration, U.S. Department of Transportation. 1977. Characteristics of Urban Transportation Systems : A Handbook for Transportation Planners. Washington, D.C.

Wesley E. Woodson. 1981. Human Factors Design Handbook. NewYork : McGraw-Hill.

ภาคผนวก ก.

ตารางการคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร

ในภาคผนวกนี้ ประกอบด้วยตารางข้อมูล ก.1 ถึง ก.10 ซึ่งเป็นตารางการคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร อาคารที่ใช้เป็นตัวอย่างคืออาคารเรียนที่สูงสี่ชั้น, สามชั้น และสองชั้นตามลำดับ จำนวนคนที่สมมุติขึ้นสำหรับใช้ในการคำนวณนั้นเป็นปริมาณคนหรือจำนวนนักศึกษาตามที่กฎหมายกำหนดเป็นจำนวนคนต่อพื้นที่ของอาคารประเภทสถาบันการศึกษาคือหนึ่งคนต่อพื้นที่สองตารางเมตร และใช้ค่าความเร็วของการเคลื่อนตัวที่ได้จากค่าเฉลี่ยของอัตราความเร็วที่ผู้วิจัยทดลองได้มาคำนวณหาเวลาในการอพยพ เปรียบเทียบกับค่าเวลาในการอพยพที่คำนวณโดยใช้สูตร, สมการหรืออัตราที่นักวิจัยชาวต่างชาติเช่น J.L. Pauls และ S.J. Melinek ได้ค้นคว้าไว้ การกำหนด Node แต่ละห้องแต่ละชั้นใช้ตามหลักการของ John M. Watts, Jr. 1987. จากเอกสาร Computer Models for Evacuation Analysis.

ตารางที่ ก.1 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากชั้นที่ 4 ของอาคาร 31

ชั้น	Node	พื้นที่ Node ($ม^2$)	จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/ $ม^2$)	จำนวนคนรวม (คน)	ทางกว้าง (เมตร)	ระยะทางวิ่ง (เมตร) D_1	D_2	D_3	ระยะทางที่จะต้องวิ่งทางราบ (ม.)	เวลาที่ใช้ในการวิ่งทางราบ (วินาที)	ความกว้างของประตู (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการวิ่งผ่านประตู (วินาที)	ความกว้างของบันได (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)	รวมเวลาที่ใช้ในการออกจากอาคาร (วินาที)
4	4101	121.50	0.50	30	1.75	7.50	24.00	4	35.50	12.74	0.90	42.42	1.75	19.05	77.38
	4102	121.50	0.50	30	1.75	7.50	10.50	4	22.00	7.89	0.90	42.42	1.75	19.05	72.53
	4103	121.50	0.50	30	1.75	7.50	0.00	9	16.50	5.92	0.90	42.42	1.75	19.05	70.56
	4104	59.40	0.50	30	1.75	0.00	20.25	4	24.25	8.70	0.90	42.42	1.75	19.05	73.74
	4105	67.50	0.50	20	1.75	0.00	0.00	4	4.00	1.44	0.90	24.24	1.75	12.70	38.38
	4106	15.00	0.50	-	1.75	3.00	4.00	0	7.00	-	0.90	-	1.75	-	-
	รวม	506.40		140											
3	3101	121.50	0.50												
	3102	121.50	0.50												
	3103	121.50	0.50												
	3104	59.40	0.50												
	3105	67.50	0.50												
	3106	15.00	0.50												
	รวม	506.40													
2	2101	81.00	0.50												
	2102	81.00	0.50												
	2103	81.00	0.50												
	2104	40.50	0.50												
	2105	25.00	0.50												
	2106	20.00	0.50												
	2107	59.40	0.50												
	2108	67.50	0.50												
	2109	135.00	0.50												
	รวม	590.40													
รวม		1603.20		140						21 วินาที		155.55 วินาที		48 วินาที	224.55 วินาที
															= 3.74 นาที

หมายเหตุ

ตัวเลขเวลาที่ใช้ในการวิ่งทางราบ 21 วินาที มาจากการที่คนจำนวน 140 คน ต้องวิ่งทางราบ 27 เมตร บนอาคาร ในอัตราความเร็ว 78 เมตรต่อนาที ($27 \times 60 \div 78 = 20.77 \approx 21$ วินาที)

ตัวเลขเวลาที่ใช้ในการผ่านประตู 155.55 วินาที มาจากการที่คนจำนวน 140 คนต้องผ่านประตูในอัตรา 54 คน ต่อนาที ($140 \times 60 \div 54 = 155.55$)

ตัวเลขเวลาที่ใช้ในการลงบันไดรวม 48 วินาที มาจากการที่คนต้องลงบันไดจำนวน 3 ชั้น เวลาที่ใช้ในการลงบันไดแต่ละชั้นคือ 16 วินาที

ตัวเลขรวมเวลาที่ใช้ในการออกจากอาคาร 224.55 วินาที มาจากการรวมเวลาที่ใช้ในการวิ่งทางราบ 21 วินาที เวลาที่ใช้ในการผ่านประตู 155.55 วินาทีและเวลาที่ใช้ในการลงบันได 48 วินาที

ตัวเลข 3.74 นาที มาจากการเปลี่ยนหน่วย 224.55 วินาทีเป็นนาที

ตารางที่ ก.2 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารคณะวิชาออกแบบตึกสี่ชั้นโดยใช้อัตราการอพยพที่ผู้วิจัยทดลองได้

ชั้น	Node	พื้นที่ Node ($ม^2$)	จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/$ม^2$)	จำนวนคนรวม (คน)	ทางกว้าง (เมตร)	ระยะทางวิ่ง (เมตร)			ระยะทางต้องวิ่งทางราบ (ม.)	เวลาที่ใช้ในการวิ่งทางราบ(วินาที)	ความกว้างของประตู (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการวิ่งผ่านประตู (วินาที)	ความกว้างของบันได (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)	รวมเวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)
						D_1	D_2	D_3							
4	4101	121.50	0.50	30	1.75	7.50	24.00	4	35.50	11.78	0.90	15.15	1.75	18.84	45.77
	4102	121.50	0.50	30	1.75	7.50	10.50	4	22.00	7.30	0.90	15.15	1.75	18.84	41.29
	4103	121.50	0.50	30	1.75	7.50	0.00	9	16.50	5.47	0.90	15.15	1.75	18.84	39.46
	4104	59.40	0.50	30	1.75	0.00	20.25	4	24.25	8.05	0.90	15.15	1.75	18.84	42.04
	4105	67.50	0.50	34	1.75	0.00	0.00	4	4.00	1.33	0.90	17.17	1.75	21.35	39.85
	4106	15.00	0.50	8	1.75	3.00	4.00	0	7.00	2.32	0.90	4.04	1.75	5.02	11.39
	รวม	506.40		162											
3	3101	121.50	0.50	61	1.75	7.50	24.00	4	35.50	11.78	0.90	30.81	1.75	18.84	80.89
	3102	121.50	0.50	30	1.75	7.50	10.50	4	22.00	7.30	0.90	15.15	1.75	18.84	41.29
	3103	121.50	0.50	30	1.75	7.50	0000	9	16.50	5.47	0.90	15.15	1.75	18.84	39.46
	3104	59.40	0.50	30	1.75	0.00	20.25	4	24.25	8.05	0.90	15.15	1.75	18.84	42.04
	3105	67.50	0.50	34	1.75	0.00	0.00	4	5.00	1.33	0.90	17.17	1.75	21.35	39.85
	3106	15.00	0.50	8	1.75	3.00	4.00	0	7.00	2.32	0.90	4.04	1.75	5.02	11.39
	รวม	506.40		193											
2	2101	81.00	0.50	30	1.75	6.00	24.75	4	34.75	11.53	0.90	15.15	1.75	18.84	45.52
	2102	81.00	0.50	30	1.75	6.00	15.75	4	25.75	8.54	0.90	15.15	1.75	18.81	42.53
	2103	81.00	0.50	30	1.75	6.00	6.75	4	16.75	5.56	0.90	15.15	1.75	18.84	39.55
	2104	40.50	0.50	20	1.75	4.50	0.00	6	10.50	3.48	0.90	10.23	1.75	12.72	26.43
	2105	25.00	0.50	13	1.75	3.00	2.00	6	11.00	3.65	0.90	6.31	1.75	7.85	17.81
	2106	20.00	0.50	10	1.75	3.00	2.00	8	13.00	4.31	0.90	5.05	1.75	6.28	15.64
	21.7	59.40	0.50	30	1.75	6.50	7.00	6	19.50	6.47	0.90	15.00	1.75	18.65	40.12
	2108	67.50	0.50	34	1.75	0.00	0.00	4	4.00	1.33	0.90	17.05	1.75	21.19	39.57
	2109	135.00	0.50	35	1.75	0.00	8.00	6	14.00	4.64	0.90	17.68	1.75	21.98	44.30
	รวม	590.40		231											
จำนวนคนที่ต้องใช้บันได 586 คน												296.06		368.10	6.14

ตารางที่ ก.3 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 52 ตึกสามชั้นแผนกวิชาช่างก่อสร้างโดยใช้อัตราการอพยพที่ผู้วิจัยทดลองได้

ชั้น	Node	พื้นที่ Node ($ม^2$)	จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/$ม^2$)	จำนวนคนรวม (คน)	ทางกว้าง (เมตร)	ระยะทางวิ่ง (เมตร)			ระยะทางที่วิ่งทางราบ (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการวิ่งทางราบ (วินาที)	ความกว้างของประตู (เมตร)	เวลาในการวิ่งผ่านประตู (วินาที)	ความกว้างของบันได (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)	รวมเวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)
						D_1	D_2	D_3							
3	3101	60	0.50	30	1.73	5	6	5	16	6.75	0.90	16	2.03	16.24	38.14
	3102	60	0.50	30	1.73	5	0	5	10	4.22	0.90	10	2.03	16.24	35.61
	3103	24	0.50	12	1.73	0	6	5	11	4.64	0.90	11	2.03	6.50	17.20
	3104	24	0.50	12	4.00	0	0	2	3	0.55	0.90	3	2.03	6.50	13.10
	3105	192	0.50	96	4.00	0	8	5	13	2.37	0.90	13	2.03	51.97	102.82
	Total	360		180											
2	2101	60	0.50	30	1.73	5	6	5	16	6.75	0.90	16	2.03	16.24	38.14
	2102	60	0.50	30	1.73	5	0	5	10	4.22	0.90	10	2.03	16.24	35.61
	2103	24	0.50	12	1.73	0	6	5	11	4.64	0.90	11	2.03	6.50	17.20
	2104	24	0.50	12	4.00	0	0	3	3	0.55	0.90	3	2.03	6.50	13.10
	2105	80	0.50	40	1.73	5	8	5	18	7.59	0.90	18	2.03	21.65	49.45
	2106	80	0.50	40	1.73	5	2	5	12	5.06	0.90	12	2.03	21.65	46.92
	2107	28	0.50	14	4.00	0	8	5	13	2.37	0.90	13	2.03	7.58	17.02
	Total	316		178								136		193.81	424.31
รวมจำนวนคนทั้งตึกที่จะต้องใช้บันได 358 คน												เวลาที่ต้องใช้ทั้งหมดในการอพยพคนลงจากอาคาร 2.63 นาที			

ตารางที่ ก.4 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 29 ตึกสองชั้นแผนกวิชาช่างโยธาโดยใช้อัตราการอพยพที่ผู้วิจัยทดลองได้

ชั้น	Node	พื้นที่ Node ($ม^2$)	จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/$ม^2$)	จำนวนคนรวม (คน)	ทางกว้าง (เมตร)	ระยะทางวิ่ง (เมตร)			ระยะทางต้องวิ่งทางราบ (เมตร)	เวลาในการวิ่งทางราบ (วินาที)	ความกว้างของประตู (เมตร)	เวลาในการวิ่งผ่านประตู (วินาที)	ความกว้างของบันได (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)	เวลาที่ใช้ในการอพยพรวม (วินาที)
						D_1	D_2	D_3							
2	2101	64	0.50	32	1.50	4	12	1	17	8.27	1.20	16.16	1.35	26.05	50.48
	2102	48	0.50	24	1.50	4	9	41	14	6.81	0.90	12.12	1.35	19.54	38.47
	2103	56	0.50	28	1.50	5	3	40	8	3.89	0.90	14.14	1.35	22.79	40.83
	2104	16	0.50	8	1.50	0	0	66	6	2.92	0.90	4.04	1.35	6.51	13.47
	2105	120	0.50	60	1.50	6	0	63	9	4.38	1.20	30.30	1.35	48.84	83.52
	Total	304		152								76.76		123.73	226.77
รวมจำนวนคนทั้งตึกที่จะต้องใช้บันได 152 คน											เวลาที่ต้องใช้ทั้งหมดในการอพยพคนลงจากอาคาร 1.46 นาที				

ตารางที่ ก.5 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารคณะวิชาออกแบบ ตึกสี่ชั้น โดยใช้สมการของ J.L.Pauls มาแทนค่า

ชั้น	Node	พื้นที่ Node ($ม^2$)	จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/$ม^2$)	จำนวนคนรวม (คน)	ทางกว้าง (เมตร)	ระยะทางวิ่ง (เมตร)			ระยะทางต้องวิ่งทางราบ (เมตร)	เวลาในการวิ่งทางราบ (วินาที)	ความกว้างของประตู (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการวิ่งผ่านประตู	ความกว้างของบันได (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)
						D_1	D_2	D_3						
4	4101	121.50	0.50	30	1.75	7.50	24.00	4	35.50		0.90		1.75	
	4102	121.50	0.50	30	1.75	7.50	10.50	4	22.00		0.90		1.75	
	4103	121.50	0.50	30	1.75	7.50	0.00	9	16.50		0.90		1.75	
	4104	59.40	0.50	30	1.75	0.00	20.25	4	24.25		0.90		1.75	
	4105	67.50	0.50	34	1.75	0.00	0.00	4	4.00		0.90		1.75	
	4106	15.00	0.50	8	1.75	3.00	4.00	0	7.00		0.90		1.75	
	รวม	506.40		162										
3	3101	121.50	0.50	61	1.75	7.50	24.00	4	35.50		0.90		1.75	
	3102	121.50	0.50	30	1.75	7.50	10.50	4	22.00		0.90		1.75	
	3103	121.50	0.50	30	1.75	7.50	0.00	9	16.50		0.90		1.75	
	3104	59.40	0.50	30	1.75	0.00	20.25	4	24.25		0.90		1.75	
	3105	67.50	0.50	34	1.75	0.00	0.00	4	4.00		0.90		1.75	
	3106	15.00	0.50	8	1.75	3.00	4.00	0	7.00		0.90		1.75	
	รวม	506.40		193										
2	2101	81.00	0.50	30	1.75	6.00	24.75	4	34.75		0.90		1.75	
	2102	81.00	0.50	30	1.75	6.00	15.75	4	25.75		0.90		1.75	
	2103	81.00	0.50	30	1.75	6.00	6.75	4	16.75		0.90		1.75	
	2104	40.50	0.50	20	1.75	4.50	0.00	6	10.50		0.90		1.75	
	2105	25.00	0.50	13	1.75	3.00	2.00	6	11.00		0.90		1.75	
	2106	20.00	0.50	10	1.75	3.00	2.00	8	13.00		0.90		1.75	
	21.7	59.40	0.50	30	1.75	6.50	7.00	6	19.50		0.90		1.75	
	2108	67.50	0.50	34	1.75	0.00	0.00	4	4.00		0.90		1.75	
	2109	135.00	0.50	35	1.75	0.00	8.00	6	14.00		0.90		1.75	
	รวม	590.40		231										
รวมจำนวนคนทั้งตึกที่จะต้องใช้บันได 586 คน						สมการคือ $T = 0.68 + 0.081p^{0.73}$				แทนค่าแล้วได้เวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนลงจากอาคาร 9.17 นาที				

ตารางที่ ก.6 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 52 ตึกสามชั้น แผนกวิชาช่างก่อสร้างโดยใช้สมการของ J.L.Pauls มาแทนค่า

ชั้น	Node	พื้นที่ Node ($ม^2$)	จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/$ม^2$)	จำนวนคนรวม (คน)	ทางกว้าง (เมตร)	ระยะทางวิ่ง (เมตร)			ระยะทางต้องวิ่งทางราบ (เมตร)	เวลาในการวิ่งทางราบ (วินาที)	ความกว้างของประตู (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการวิ่งผ่านประตู	ความกว้างของบันได (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)
						D_1	D_2	D_3						
3	3101	60	0.50	30	1.73	5	6	5	16		0.90		2.03	
	3102	60	0.50	30	1.73	5	0	5	10		0.90		2.03	
	3103	24	0.50	12	1.73	0	6	5	11		0.90		2.03	
	3104	24	0.50	12	4.00	0	0	2	3		0.90		2.03	
	3105	192	0.50	96	4.00	0	8	5	13		0.90		2.03	
	Total	360		180										
2	2101	60	0.50	30	1.73	5	6	5	16		0.90		2.03	
	2102	60	0.50	30	1.73	5	0	5	10		0.90		2.03	
	2103	24	0.50	12	1.73	0	6	5	11		0.90		2.03	
	2104	24	0.50	12	4.00	0	0	3	3		0.90		2.03	
	2105	80	0.50	40	1.73	5	8	5	18		0.90		2.03	
	2106	80	0.50	40	1.73	5	2	5	12		0.90		2.03	
	2107	28	0.50	14	4.00	0	8	5	13		0.90		2.03	
	Total	356		178										
รวมจำนวนคนทั้งตึกที่จะต้องใช้บันได 358 คน						สมการคือ $T = 0.68 + 0.081p^{0.73}$					แทนค่าแล้วได้เวลาที่ต้องใช้ทั้งหมดในการอพยพคนลงจากอาคาร 6.61 นาที			

ในที่นี้ T = เวลาที่จะต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร p = จำนวนคนในอาคาร

ตารางที่ ก.7 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 29 ตึกสองชั้นแผนกวิชาช่างโยธา โดยใช้สมการของ J.L.Pauls มาแทนค่า

ชั้น	Node	พื้นที่ Node ($ม^2$)	จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/$ม^2$)	จำนวนคนรวม (คน)	ทางกว้าง (เมตร)	ระยะทางวิ่ง (เมตร)			ระยะทางต้องวิ่งทางราบ (เมตร)	เวลาในการวิ่งทางราบ (วินาที)	ความกว้างของประตู (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการวิ่งผ่านประตู	ความกว้างของบันได (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)
						D_1	D_2	D_3						
2	2101	64	0.50	32	1.50	4	12	1	17		1.20		1.35	
	2102	48	0.50	24	1.50	4	9	1	14		0.90		1.35	
	2103	56	0.50	28	1.50	5	3	0	8		0.90		1.35	
	2104	16	0.50	8	1.50	0	0	6	6		0.90		1.35	
	2105	120	0.50	60	1.50	6	0	3	9		1.20		1.35	
	Total	304		152										
รวมจำนวนคนทั้งตึกที่จะต้องใช้บันได 152 คน						สมการคือ $T = 0.68 + 0.081p^{0.73}$					เวลาที่ต้องใช้ทั้งหมดในการอพยพคนลงจากอาคาร 3.85 นาที			

ในที่นี้ T = เวลาที่จะต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร p = จำนวนคนในอาคาร

ตารางที่ ก.8 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคารคณะวิชาออกแบบตึกสี่ชั้น โดยใช้สมการของ S.J.Melinek มาแทนค่า

ชั้น	Node	พื้นที่ Node ($ม^2$)	จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/$ม^2$)	จำนวนคนรวม (คน)	ทางกว้าง (เมตร)	ระยะทางวิ่ง (เมตร)			ระยะทางต้องวิ่งทางราบ (เมตร)	เวลาในการวิ่งทางราบ (วินาที)	ความกว้างของประตู (เมตร)	เวลาในการวิ่งผ่านประตู (วินาที)	ความกว้างของบันได (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)
						D_1	D_2	D_3						
	4101	121.50	0.50	30	1.75	7.50	24.00	4	35.50		0.90		1.75	
	4102	121.50	0.50	30	1.75	7.50	10.50	4	22.00		0.90		1.75	
	4103	121.50	0.50	30	1.75	7.50	0.00	9	16.50		0.90		1.75	
	4104	59.40	0.50	30	1.75	0.00	20.25	4	24.25		0.90		1.75	
	4105	67.50	0.50	34	1.75	0.00	0.00	4	4.00		0.90		1.75	
	4106	15.00	0.50	8	1.75	3.00	4.00	0	7.00		0.90		1.75	
	รวม	506.40		162										
	3101	121.50	0.50	61	1.75	7.50	24.00	4	35.50		0.90		1.75	
	3102	121.50	0.50	30	1.75	7.50	10.50	4	22.00		0.90		1.75	
	3103	121.50	0.50	30	1.75	7.50	0.00	9	16.50		0.90		1.75	
	3104	59.40	0.50	30	1.75	0.00	20.25	4	24.25		0.90		1.75	
	3105	67.50	0.50	34	1.75	0.00	0.00	4	4.00		0.90		1.75	
	3106	15.00	0.50	8	1.75	3.00	4.00	0	7.00		0.90		1.75	
	รวม	506.40		193										
	2101	81.00	0.50	30	1.75	6.00	24.75	4	34.75		0.90		1.75	
	2102	81.00	0.50	30	1.75	6.00	15.75	4	25.75		0.90		1.75	
	2103	81.00	0.50	30	1.75	6.00	6.75	4	16.75		0.90		1.75	
	2104	40.50	0.50	20	1.75	4.50	0.00	6	10.50		0.90		1.75	
	2105	25.00	0.50	13	1.75	3.00	2.00	6	11.00		0.90		1.75	
	2106	20.00	0.50	10	1.75	3.00	2.00	8	13.00		0.90		1.75	
	21.7	59.40	0.50	30	1.75	6.50	7.00	6	19.50		0.90		1.75	
	2108	67.50	0.50	34	1.75	0.00	0.00	4	4..00		0.90		1.75	
	2109	135.00	0.50	35	1.75	0.00	8.00	6	14.00		0.90		1.75	
	รวม	590.40		231					367.75					
รวมจำนวนคนทั้งตึกที่ต้องใช้บันได 586 คน					สมการคือ $T = 2 + 0.0117p$				เวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนลงจากอาคาร 8.86 นาที					

ตารางที่ ก.9 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 52 ตึกสามชั้น แผนกวิชาช่างก่อสร้าง โดยใช้สมการของ S.J.Melinek มาแทนค่า

ชั้น	Node	พื้นที่ Node ($ม^2$)	จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/$ม^2$)	จำนวนคนรวม (คน)	ทางกว้าง (เมตร)	ระยะทางวิ่ง (เมตร)			ระยะทางต้องวิ่งทางราบ (เมตร)	เวลาในการวิ่งทางราบ (วินาที)	ความกว้างของประตู (เมตร)	เวลาในการวิ่งผ่านประตู (วินาที)	ความกว้างของบันได (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)
						D_1	D_2	D_3						
3	3101	60	0.50	30	1.73	5	6	5	16		0.90		2.03	
	3102	60	0.50	30	1.73	5	0	5	10		0.90		2.03	
	3103	24	0.50	12	1.73	0	6	5	11		0.90		2.03	
	3104	24	0.50	12	4.00	0	0	2	3		0.90		2.03	
	3105	192	0.50	96	4.00	0	8	5	13		0.90		2.03	
	Total	360		180										
2	2101	60	0.50	30	1.73	5	6	5	16		0.90		2.03	
	2102	60	0.50	30	1.73	5	0	5	10		0.90		2.03	
	2103	24	0.50	12	1.73	0	6	5	11		0.90		2.03	
	2104	24	0.50	12	4.00	0	0	3	3		0.90		2.03	
	2105	80	0.50	40	1.73	5	8	5	18		0.90		2.03	
	2106	80	0.50	40	1.73	5	2	5	12		0.90		2.03	
	2107	28	0.50	14	4.00	0	8	5	13		0.90		2.03	
	Total	356		178										
รวมจำนวนคนทั้งตึกที่จะต้องใช้บันได 358 คน						สมการ คือ $T = 2 + 0.0117p$					เวลาที่ต้องใช้ทั้งหมดในการอพยพคนลงจากอาคาร 6.19 นาที			

ในที่นี้ T = เวลาที่จะต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร p = จำนวนคนในอาคาร

ตารางที่ ก.10 การคำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร 29 ตึกสองชั้น แผนกวิชาช่างโยธา โดยใช้สมการของ S.J. Melinek มาแทนค่า

ชั้น	Node	พื้นที่ Node ($ม^2$)	จำนวนคนต่อพื้นที่ (คน/$ม^2$)	จำนวนคนรวม (คน)	ทางกว้าง (เมตร)	ระยะทางวิ่ง (เมตร)			ระยะทางต้องวิ่งทางราบ (เมตร)	เวลาในการวิ่งทางราบ (วินาที)	ความกว้างของประตู (เมตร)	เวลาในการวิ่งผ่านประตู (วินาที)	ความกว้างของบันได (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการลงบันได (วินาที)
						D_1	D_2	D_3						
2	2101	64	0.50	32	1.50	4	12	1	17		1.20		1.35	
	2102	48	0.50	24	1.50	4	9	41	14		0.90		1.35	
	2103	56	0.50	28	1.50	5	3	40	8		0.90		1.35	
	2104	16	0.50	8	1.50	0	0	66	6		0.90		1.35	
	2105	120	0.50	60	1.50	6	0	63	9		1.20		1.35	
	Total	304		152										
รวมจำนวนคนทั้งตึกที่จะต้องใช้บันได 152 คน						สมการคือ $T = 2 + 0.0117p$					เวลาที่ต้องใช้ทั้งหมดในการอพยพคนลงจากอาคาร 3.78 นาที			

ในที่นี้ T = เวลาที่จะต้องใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร p = จำนวนคนในอาคาร

ภาคผนวก ข.

วิธีการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการอพยพคนออกจากอาคาร

ข.1 การขนส่งฝูงชนหรือการอพยพคนผ่านทางหนีภัย (Transition)

ทางหนีภัยเป็นจุดหลาย ๆ จุดของระบบทางออก (Exit System) ที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะหรือทิศทาง (Route) หรือเป็นการรวมทาง เช่น ห้องโถงหน้าบันได หรือห้องโถงทางเข้า ทางออก ในการคำนวณเวลาที่จะต้องใช้อพยพคนผ่านทางหนีภัย เพื่อความสะดวกจะใช้สมการ, ค่าคงที่สำหรับตัวคูณประกอบ และขั้นตอนตามลำดับดังต่อไปนี้

ข.1.1 สมการที่ใช้ประกอบการคำนวณ

$$T_{ae} = T_{me}e + T_d \quad \text{.....(ข.1.1)}$$

ในที่นี้ T_{ae} = เวลาที่ใช้ในการอพยพจริง (วินาที)

T_{me} = เวลาที่ใช้ในการอพยพตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (วินาที)

e = ประสิทธิภาพในการอพยพ

T_d = เวลาที่ช้าไปตั้งแต่เริ่มต้นการอพยพ (วินาที)

$$S = k - akD \quad \text{.....(ข.1.2)}$$

ในที่นี้ S = ความเร็วในการอพยพ

D = ความหนาแน่น (คน/หน่วยพื้นที่)

k = ค่าคงที่ ดังแสดงในตาราง ข.1

$k = k_1$; และ $a = 2.86$ สำหรับความเร็วเป็น ฟุต/นาที และความหนาแน่น คน/ตารางฟุต

$k = k_2$; และ $a = 0.266$ สำหรับความเร็วเป็นเมตร/วินาที ความหนาแน่น คน/ตารางเมตร

$$F_s = SD \quad \text{.....(ข.1.3)}$$

ในที่นี้ F_s = อัตราการเคลื่อนตัวจำเพาะ

S = ความเร็วในการอพยพ,

D = ความหนาแน่น

รวมสมการ (ข.1.2) และ (ข.1.3) ได้ $F_s = (1 - aD)kD$ ..... (ข.1.4)

$F_c = F_s W_e$ ..... (ข.1.5)

ในที่นี้ F_c = อัตราการอพยพที่คำนวณได้

F_s = อัตราการเคลื่อนตัวจำเพาะ

W_e = ความกว้างสุทธิ หรือความกว้างประสิทธิผล

$F_c = (1 - aD)kDW_e$ ..... (ข.1.6)

ในที่นี้ F_c = อัตราการอพยพที่คำนวณได้ คนต่อนาที เมื่อ $k = k_1$ จากตาราง ข.1

D = ความหนาแน่น คนต่อตารางฟุต และ ความกว้างสุทธิ หน่วยเป็นฟุต

F_c = อัตราการอพยพได้ คนต่อวินาที เมื่อ $k = k_2$ จากตาราง ข.1

D = ความหนาแน่น คนต่อตารางเมตร

W_e = ความกว้างของทางมีหน่วยเป็นเมตร

เวลาที่ใช้เดินทาง $T_p = \frac{P}{F_c}$ ....(ข.1.7)

ในที่นี้ T_p = เวลาที่กลุ่มคนจะต้องใช้ในการผ่านจุดทางออก

P = จำนวนคนที่ผ่านทางออก

รวมสมการ (ข.1.6) และ (ข.1.7) ได้

$$T_p = \frac{P}{(1 - aD)kDW_e} \quad \text{.....(ข.1.8)}$$

ตาราง ข.1 ค่าคงที่สำหรับสมการอัตราความเร็วในการอพยพ

ชนิดของทางออก		k_1	k_2
ช่องทางเดินระหว่างห้อง,ทางลาด		275	1.40
ลูกตั้งบันได (นิ้ว)	ลูกนอนบันได (นิ้ว)		
7.5	10	196	1.00
7	11	212	1.08
6.5	12	229	1.16
6.5	13	242	1.25

ที่มา : H. E. Nelson and H. A. MacLennan. 1995.

ตาราง ข.2 ความกว้างเขตริมของทางออก

ชนิดของทางออก	ขอบเขตริมที่ต้องหักออก	
	นิ้ว	เซนติเมตร
บันได	6.00	15.00
ราง, ราวบันได	3.50	9.00
ทางเดินระหว่างห้อง,ทางลาด	8.00	20.00
ทางบันไดที่มีสิ่งกีดขวาง	4.00	10.00
ทางเดินผ่าน	ไม่เกิน 18.00	46.00
ประตู, ทางโค้ง	6.00	15.00

ตาราง ข.3 ตัวคูณประกอบสำหรับบันได

ลูกตั้ง (นิ้ว)	ลูกนอน (นิ้ว)	ตัวคูณประกอบ
7.50	10	1.66
7.00	11	1.85
6.50	12	2.08
6.50	13	2.22

ตาราง ข.4 ความเร็วสูงสุดที่ทางออก

ชนิดของทางออก		ความเร็วระหว่างการเดินทาง	
		ฟุต/นาที	เมตร/วินาที
ช่องทางเดิน,ทางลาด,ประตู		235	1.19
บันได			
ลูกตั้ง (นิ้ว)	ลูกนอน (นิ้ว)		
7.50	10	167	0.85
7.00	11	187	0.95
6.50	12	196	1.00
6.50	13	207	1.05

ที่มาของตาราง ข.2, ข.3 และ ข.4 : H. E. Nelson and H. A. MacLennan. 1995.

ตาราง ข.5 อัตราการเคลื่อนตัวได้สูงสุด (F_{sm})

การเคลื่อนตัวผ่าน คน/นาที/ฟุต		อัตราการเคลื่อนตัวได้สูงสุด	
		คน/นาที/ฟุต	คน/วินาที/เมตร
ทางเดิน,ทางลาด,ประตู		24.00	1.30
บันได			
ลูกตั้ง (นิ้ว)	ลูกนอน (นิ้ว)		
7.50	10	17.10	0.94
7.00	11	18.50	1.01
6.50	12	20.00	1.09
6.50	13	21.20	1.16

ที่มา : H. E. Nelson and H. A. MacLennan. 1995.

ข.1.2 ตัวอย่างลักษณะการวิเคราะห์การอพยพผ่านทางหนีภัย

ข.1.2.1 อาจจะมีจุดที่ทางออกกว้างกว่าหรือแคบไป เช่น ทางเดินร่วมในอาคารระหว่างบันไดกับห้องต่าง ๆ (Corridor) อาจแคบเป็นระยะทางที่สั้นโดยการเพิ่มเครื่องนับการเข้า – ออก หรือส่วนที่เหมือนกัน การคำนวณความหนาแน่น (D) อัตราการเคลื่อนตัว (F_s) ก่อนที่จะเข้าไปถึงขณะที่กำลังผ่านและหลังจากผ่านไปแล้ว

ข.1.2.2 จุดที่ทางเดินร่วมจะเข้าสู่บันได จะมี 2 จุดส่งผ่าน อย่างแรกเป็นอัตราการอพยพเข้าตรงไปยังประตูทางเข้า และอย่างที่สองอัตราการอพยพออกจากประตูทางเข้าไปยังบันได

ข.1.2.3 จุดที่มีการรวมกระแสการอพยพ 2 กระแสหรือมากกว่า ตัวอย่างเช่น การพบกันของกระแสจากทางเดินแคบ ๆ ระหว่างแถวที่นั่ง ไปยังทางเดินหลักระหว่างกลุ่มแถว ซึ่งเป็นตัวรองรับจำนวนคนที่ออก (Exiting Population) และเป็นจุดทางเข้าไปยังบันได ซึ่งจะคอยรับกระแสจากชั้นอื่น ๆ ด้วย

ข.1.3 หลักการที่ประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดอัตราการอพยพได้

การประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดความหนาแน่น และอัตราการอพยพได้ ซึ่งอาศัยการเคลื่อนที่ผ่านจุดส่งผ่าน มีดังนี้

ข.1.3.1 ฟังก์ชั่นของกระแสอพยพ หลังจากจุดส่งผ่าน กำหนดโดยอัตราการเคลื่อนตัวเข้าไปยังจุดส่งผ่าน

ข.1.3.2 การคำนวณอัตราการเคลื่อนตัว (F_c) ไม่ควรเกินอัตราการเคลื่อนตัวได้สูงสุด (F_{sm}) สำหรับทางหนีภัย คูณกับความกว้างประสิทธิผล (W_e)

ข.1.3.3 ข้อจำกัดของข้อที่ 2 อัตราการเคลื่อนตัว(F_s) ของอัตราการอพยพที่ออกจากจุดส่งผ่าน กำหนดโดยสูตรดังนี้

ก. สำหรับกรณีที่เกี่ยวข้องกับอัตราการอพยพเข้า และอัตราการอพยพออกของจุดส่งผ่าน กำหนดโดยสูตรดังนี้

$$F_{s(out)} = \frac{F_{s(in)} W_{e(in)}}{W_{e(out)}} \quad \text{.....(ข.1.9)}$$

ในที่นี้ $F_{s(out)}$ = ลักษณะของอัตราการเคลื่อนตัวออกจากจุดส่งผ่าน

$F_{s(in)}$ = ลักษณะของอัตราการอพยพมาถึงบริเวณจุดส่งผ่าน

$W_{e(in)}$ = ความกว้างประสิทธิผลก่อนถึงจุดส่งผ่าน

$W_{e(out)}$ = ความกว้างประสิทธิผลของทางออกหลักจากจุดส่งผ่าน

ข. สำหรับกรณีเกี่ยวกับการที่มีการเคลื่อนตัวเข้าสองทิศทาง และมีการเคลื่อนตัวออกเพียงทางเดียวจากจุดส่งผ่าน เช่น ที่เกิดกับการรวมของการแย่งกันลงบันได และการแย่งกันเข้าบริเวณห้องโถงหนีไฟหน้าบันไดแต่ละชั้น

$$F_{c(out)} = \frac{\left(F_{c(in-1)} W_{e(in-1)} + F_{c(in-2)} W_{e(in-2)}\right)}{W_{e(out)}} \quad \text{.....(ข.1.10)}$$

ซึ่ง (in - 1) และ (in - 2) จะแสดงถึง ค่าของอัตราการเคลื่อนตัวเข้าสองทิศทาง

ค. สำหรับกรณีที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาการรวมกันแบบอื่น ๆ มีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$F_{c(in-1)} W_{e(in-1)} + \ldots + F_{c(in-n)} W_{e(in-n)} = F_{c(out-1)} W_{e(out-1)} + \ldots + F_{c(out-n)} W_{e(out-n)} \quad \text{.(ข.1.11)}$$

ซึ่ง n ใน (in - n) และ (out - n) เป็นจำนวนทั้งหมดของทางเข้า (in - n) หรือทางออก (out - n) ที่จุดส่งผ่าน

ข.1.3.4 การคำนวณ ลักษณะของอัตราการเคลื่อนตัว (F_s) สำหรับทางที่ออกจากจุดส่งผ่านที่ได้มาจากสมการที่ ข.1.3 กระแสการเคลื่อนตัวของฝูงชนที่มากเกินไป จะเกิดการรอคิวที่บริเวณทางเข้าของจุดส่งผ่าน จำนวนในคิวที่จะเพิ่มขึ้นตามอัตราของการอพยพ (F_c) ในเส้นทางการเข้ามา และอัตราการเคลื่อนตัวออกผ่านจุดส่งผ่าน

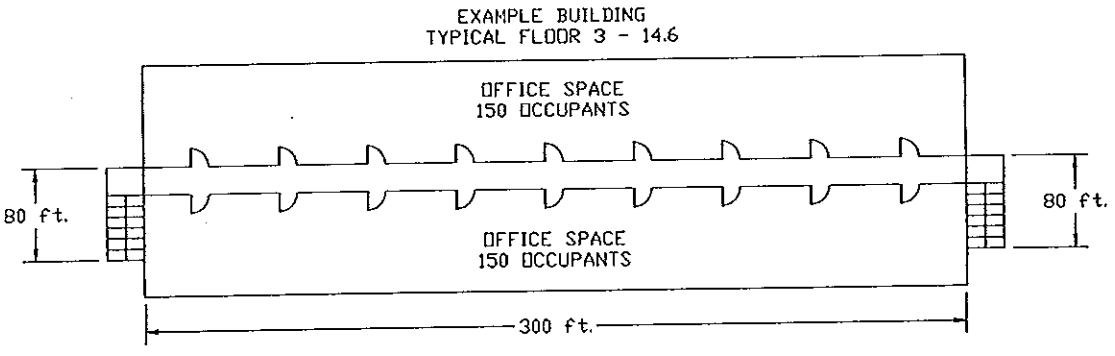
ข.1.3.5 การคำนวณอัตราการเคลื่อนตัวออก ($F_{s(out)}$) ที่น้อยกว่าอัตราการเคลื่อนตัวสูงสุด (F_{sm}) ไม่มีทางตัดสินใจได้ก่อนว่าอัตราการเคลื่อนตัวเข้าจะรวมกันอย่างไร เส้นทางอาจจะเข้าถึงจุดส่งผ่านร่วมกันโดยพร้อมกัน หรืออาจจะควบคุมหนึ่งเส้นทาง

ของทางที่มีอยู่ทั้งหมด เพื่อความรอบคอบ ควรระมัดระวังในการคำนวณ สมมติให้เส้นทางที่สนใจถูกครอบคลุมโดยเส้นทางอื่น ๆ ถ้าทางทั้งหมดเกี่ยวข้องกัน จำเป็นต้องดำเนินการตามลำดับของการคำนวณ เพื่อกำหนดขอบเขตของแต่ละทางภายใต้แต่ละสภาพที่คอยควบคุมความเป็นไปได้

ข.2 การคำนวณเวลาในการอพยพคนจากอาคารสูง

พิจารณาจากตัวอย่างอาคารสำนักงานหลังหนึ่งซึ่งมีลักษณะดังนี้

- อาคารสำนักงานสูง 9 ชั้น แต่ละชั้นมีพื้นที่ขนาด 300 × 80 ฟุต
- ความสูงระหว่างชั้น 12 ฟุต
- มีบันไดหนีไฟอยู่ 2 ข้างด้านปลายสุดของอาคาร ไม่มีทางตัน
- แต่ละบันไดหนีไฟมีขนาดกว้าง 44 นิ้ว มีราวบันไดขนาด 2.5 นิ้ว
- บันไดมีลูกตั้ง สูง 7 นิ้ว ลูกนอนกว้าง 11 นิ้ว
- มีชานพักขนาด 4 × 8 ฟุตทุกชั้นของบันไดหนีไฟ
- ประตูหนีไฟสำหรับทางออกจากอาคารเข้าสู่บันไดหนีไฟกว้าง 36 นิ้ว
- ชั้นล่างไม่มีทางผ่านเข้าสู่ทางหนีไฟ
- แต่ละชั้นมีทางเดินเดียว อยู่ระหว่างห้องทำงานหรือห้องพัก ออกสู่บันได
- มีคนอยู่จำนวน 300 คนต่อชั้น



รูปที่ ข.1 แปลนพื้นอาคาร 9 ชั้น

ที่มา : H.E. Nelson, and H.A. MacLennan. 1995.

ข.2.1 การคำนวณเวลาโดยประมาณ (วิเคราะห์แบบ A)

ข.2.1.1 สมมติฐาน

ปัจจัยหลักควบคุมบันไดหนีไฟแต่ละบันไดหรือการปล่อยฝูงชนออกมาจากประตู ทำให้เกิดคิว ดังนั้นอัตราการเคลื่อนตัวจะเป็นอัตราการเคลื่อนตัวได้สูงสุด จำนวนคนในชั้นทั้งหมดเริ่มคิดที่จะอพยพในเวลาเดียวกัน ผู้อพยพจะต้องใช้ทางที่สะดวกในระดับที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลมากที่สุด

ข.2.1.2 การประมาณอัตราการอพยพได้ทางบันได

จากตาราง ข.2 ค่าความกว้างประสิทธิผลของแต่ละบันได เท่ากับ 44 - 12 = 32 นิ้ว (2.66 ฟุต) และความกว้างประสิทธิผลของแต่ละประตู เท่ากับ 36 -12 = 24 นิ้ว (2 ฟุต) ค่าอัตราการอพยพได้สูงสุดสำหรับบันได (จากตาราง ข.5) เป็น 18.5 คน/นาที/ฟุต ของความกว้างประสิทธิผล ดังนั้นการหาอัตราการอพยพได้สูงสุด ใช้สมการ 7.2.5 คือ อัตราการเคลื่อนตัวจากแต่ละบันไดมีจำกัดเท่ากับ 18.5 × 2.66 = 49.2 คน/นาที

ข.2.1.3 การประมาณอัตราการอพยพได้ทางประตู

จากตาราง ข.5 อัตราการอพยพได้สูงสุดผ่านประตูเท่ากับ 24 คน/นาที/ฟุต ดังนั้นใช้สมการที่ ข.1.5 ได้อัตราการวิ่งผ่านแต่ละประตูจำกัดเท่ากับ 24 × 2 = 48 คน/นาที ความจุของประตูน้อยกว่าจำนวนกระแสของฝูงชนที่บันไดสามารถรองรับได้ อัตราการอพยพจึงถูกควบคุมโดยการอพยพออกทางประตู (48 คน/เมตร/นาที)

ข.2.1.4 การประมาณอัตราความเร็วของการเคลื่อนตัวทางบันได

จากสมการที่ 7.2.2 และค่าคงที่ในตาราง ข.1 คำนวณความเร็วของการเคลื่อนที่ลงบันได ได้คือ S = 212 - (2.86×212×0.175) = 105 ฟุต/นาที สำหรับระยะทางเดินระหว่างชั้น (โดยใช้ ตัวคูณประกอบสำหรับบันได จากตาราง ข.3) เท่ากับ 12 ×1.85 = 22.2 ฟุต ตามความชันของบันได รวมกับ 8 ฟุต ของความยาวชานพัก ดังนั้นระยะเดินทางทั้งหมดของอัตราการอพยพชั้นต่อชั้น เท่ากับ 22.2 + (2×8) =38.2 ฟุต นั่นคือ เวลาเดินทางของฝูงชนเท่ากับ 38.2/105 = 0.36 นาที/ชั้น

ข.2.1.5 ประมาณเวลาอพยพฝูงชนออกจากอาคารทั้งหมด

ถ้าทุกคนในอาคารเริ่มอพยพที่เวลาเดียวกัน แต่ละบันได สามารถขนถ่ายได้ 48 คน/นาที จำนวนประชากร 2400 คน ตั้งแต่ชั้นที่ 2 ขึ้นไป ต้องการเวลาประมาณ 25 นาที เพื่อผ่านประตูไปยังทางออก และเวลาเดินทาง 0.36 นาทีสำหรับเคลื่อนตัวจากชั้นที่ 2 ไปยังทางออก รวมเวลาอพยพทั้งหมดออกจากอาคารอย่างน้อย สำหรับ 2,400 คน จากชั้น 2-9 จนถึงชั้นล่างใช้เวลาประมาณ 25.4 นาที

ข.2.2 รายละเอียดเพิ่มเติมในการวิเคราะห์ (วิเคราะห์แบบ B)

ข.2.2.1 สมมติฐานในการวิเคราะห์

ประชากรจะใช้ทางออกที่สะดวกทั้งหมดเพื่อให้ได้ผลดีที่สุด และผู้คนในแต่ละชั้นเริ่มจะอพยพออกในเวลาเดียวกัน

ข.2.2.2 อัตราการอพยพ

ประมาณ อัตราความหนาแน่น ความเร็ว อัตราการเคลื่อนตัว ความกว้างประสิทธิผล และ เริ่มต้นคำนวณกระแสของฝูงชน ลักษณะของแต่ละชั้น

แบ่งครึ่งแต่ละชั้นเพื่อสร้าง 2 พื้นที่ การคำนวณทางออก จะได้แต่ละข้างยาว 150 ฟุต กำหนดความหนาแน่น และความเร็ว ถ้าผู้คนพยายามไปยังทางเดินในเวลาเดียวกัน นั่นคือ 150 คน เคลื่อนที่ผ่านทางเดินร่วมกว้าง 8 ฟุต ยาว 150 ฟุต

ความหนาแน่น = 150 คน/1200 ตารางฟุตของพื้นที่ทางเดินร่วม

= 0.125 คน/ตารางฟุต

จากสมการที่ ข.2.2 ความเร็ว = $k - akD$

จากตาราง ข.1 k = 275

ความเร็ว = 275 - (2.86×275×0.125) = 175 ฟุต/นาที

จากสมการที่ ข.2.4 อัตราการเคลื่อนตัว $F_s = (1 - aD)kD$

$$F_s = 1 - (2.86 \times 0.125) \times 275 \times 0.125$$

$$F_s = 22 \text{ คน/นาที/ฟุต}$$

จากตาราง ข.5 อัตราการเคลื่อนตัว (F_s) น้อยกว่าอัตราการเคลื่อนตัวสูงสุด(F_{sm}) ดังนั้น อัตราการเคลื่อนตัว (F_s) ถูกใช้สำหรับการคำนวณกระแสการอพยพของฝูงชน

จากตาราง ข.2 ความกว้างประสิทธิผลของทางเดินรวมเท่ากับ 8 - (2×0.5) = 7 ฟุต

จากสมการที่ ข.2.6 คำนวณกระแสของฝูงชน $F_c = (1 - aD)kDW_e$

$$F_c = [1 - (2.68 \times 0.125)] \times 275 \times 0.125 \times 7$$

$$F_c = 154 \text{ คน/นาที}$$

<u>หมายเหตุ</u> การคำนวณในขั้นนี้ หมายถึง การคำนวณกระแสของฝูงชน (F_c) เป็นการเริ่มต้นการคำนวณกระแสของฝูงชนสำหรับจุดเริ่มของทางเดินออกโดยการประมาณ

ข.2.2.3 การประมาณผลกระทบของอัตราการอพยพทางบันไดตรงประตูทางเข้า

แต่ละประตูมีความกว้าง 36 นิ้ว จากตาราง ข.2 ความกว้างประสิทธิผล (W_e) = 30 - 12 = 18 นิ้ว จากตาราง ข.5 ค่าอัตราการเคลื่อนตัวสูงสุด (F_{sm}) เท่ากับ 24 คน/นาที/ฟุต

จากสมการที่ ข.1.9

$$F_{s(doors)} = \frac{F_{s(corridoor)} W_{e(corridoor)}}{W_{e(door)}}$$

$$= (22\times7)/2 \quad = 77 \text{ คน/นาที/ฟุต}$$

เนื่องจาก F_{sm} น้อยกว่า F_s จึงใช้ค่าของ F_{sm} ดังนั้น ค่าประสิทธิผลสำหรับอัตราการอพยพ เท่ากับ 24

จากสมการ ข.1.5 การคำนวณเริ่มต้นด้วยการคิดกระแสของฝูงชนตามสูตร

$$F_c = F_s W_e \quad = 24 \times 2$$

ได้ค่ากระแสของฝูงชนที่สามารถผ่านประตูได้ = 48 คน/นาที สำหรับประตูกว้างขนาด 36 นิ้ว

เนื่องจาก F_c สำหรับทางเดินร่วมเท่ากับ 154 ในขณะที่ F_c สำหรับประตูทางออกเดียว เท่ากับ 48 ดังนั้นจึงใช้ค่าคำนวณอัตราการเพิ่มคิวเท่ากับ 154 - 48 = 106 คน/นาที

ข.1.2.4 การประมาณผลกระทบบนบันไดของกระแสการอพยพของฝูงชน

จากตาราง ข.2 ความกว้างประสิทธิผลของบันได เท่ากับ 44 -12 = 32 นิ้ว (2.66 ft) และจากตาราง ข.5 อัตราการเคลื่อนตัวสูงสุด เท่ากับ 18.5 คน/นาที/ฟุต

จากสมการที่ ข.1.9 กระแสการอพยพ ของบันได เท่ากับ $\frac{24\times2}{2.66}$ = 18.0 คน/นาที/ฟุต ในกรณีนี้ F_s น้อยกว่า F_{sm} จึงใช้ค่า F_s

ค่า F_s = 18 จะถูกใช้สำหรับกระแสของฝูงชนตอนลงบันได รวมกับกระแสของฝูงชนที่เข้ามาจากชั้นอื่น ๆ

สมการที่ ข.1.4 และตาราง ข.1 ความหนาแน่นของกระแสของฝูงชนบนบันไดทางออก เริ่มต้นประมาณ 0.146 คน/ตารางฟุต

จากสมการที่ ข.1.2 ความเร็วการเคลื่อนที่ระหว่างการเดินทางเริ่มต้นของบันได เท่ากับ $212 \times (2.86 \times 212 \times 0.146)$ = 123 ฟุต/นาที

จากการคำนวณเวลาโดยประมาณตามขั้นตอนแบบ A ระยะทางเดินระหว่างชั้นเท่ากับ 38.2 ฟุต ดังนั้นเวลาที่ต้องการสำหรับกระแสของฝูงชนเดินลงบันได 1 ชั้น เท่ากับ $\frac{38.2}{123} = 0.31$ นาที (19 วินาที)

โดยใช้สมการที่ ข.1.5 คำนวณกระแสของฝูงชน เท่ากับ $18.0 \times 2.66 = 48$ คน/นาที

ดังนั้นหลังจาก 0.31 นาทีผ่านไปจำนวนคนจะเท่ากับ $48 \times 0.31 = 15$ คน จะเข้าสู่บันไดแต่ละชั้น ถ้าคนบนชั้น 2 ถึง 9 ออกมาในครั้งเดียวกัน จะเป็น $15 \times 8 = 120$ คนที่อยู่บนบันได หลังจากเวลานี้การรวมของกระแสของฝูงชนระหว่างกระแสของฝูงชนที่บันได และกระแสฝูงชนที่เข้ามาใหม่ที่ทางขึ้นบันไดจะควบคุมอัตราการอพยพหรือเคลื่อนตัวได้

ข.2.2.5 การประมาณแรงอัดของการรวมของกระแสของฝูงชนที่บันไดกับกระแสของฝูงชนที่ทางเข้าบันไดของการอพยพ

จากสมการที่ ข.1.9 $F_{s(out-stairway)} = \frac{F_{s(door)}W_{e(door)} + F_{s(in-stairway)}W_{e(in-stairway)}}{W_{e(out-stairway)}}$

$= \frac{(24 \times 2) + (18 \times 2.66)}{2.66} = 36$ คน/นาที/ฟุต

จากตาราง ข.5 อัตราการเคลื่อนตัวสูงสุด (F_{sm}) สำหรับ บันได เท่ากับ 18.5 คน/นาที/ฟุตเนื่องจาก F_{sm} น้อยกวา F_s ดังนั้นค่า F_{sm} จึงถูกนำมาใช้

ข.2.2.6 การอพยพออกตามทางเดินที่ทำไว้

สมมุติให้ผู้คนเริ่มอพยพที่เวลาเท่ากับ 0 จุดเริ่มของกระแสของฝูงชนเท่ากับ 177 ฟุต/นาที สมมุติกระแสแออัดของฝูงชนจะถึงบันไดใน 30 วินาที ที่ 30 วินาที กระแสฝูงชนเริ่มผ่านประตูบันได การคำนวณกระแสฝูงชนผ่านประตูเท่ากับ 48 คน/นาที สำหรับ 19 วินาที ต่อไป ที่ 49 วินาที 120 คน จะอยู่ในแต่ละบันได และ 115 คนจะรออยู่ในคิวที่บริเวณทางเข้าประตูบันได

หมายเหตุ การเพิ่มขึ้นของจุดนี้ขึ้นอยู่กับชั้นที่คอยควบคุมในการเข้าสู่บันได ตัวอย่างนี้ประมาณผลของความเหมาะสมการดำเนินจากชั้นสูงสุด ไปยังชั้นต่ำสุด เป็นตัวควบคุม 135 คน ยังคงรอเข้าประตูบันได ในแต่ละบันไดบนชั้นที่ 9 ที่อัตรา 48 คน/นาที อัตรากระแสฝูงชนที่ผ่านบันได เท่ากับ 48 คน/นาที อัตราการลงของกระแสฝูงชนเป็น 19 วินาที ต่อชั้น ดังนั้น

ที่ 218 วินาที (3.6 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดอพยพจากชั้นที่ 9
ที่ 237 วินาที (4.0 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดลงไปถึงชั้นที่ 8
ที่ 401 วินาที (6.7 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดอพยพจากชั้นที่ 8
ที่ 420 วินาที (7.0 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดลงไปถึงชั้นที่ 7
ที่ 584 วินาที (9.7 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดอพยพจากชั้นที่ 7
ที่ 603 วินาที (10.1 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดลงไปถึงชั้นที่ 6
ที่ 767 วินาที (12.8 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดอพยพจากชั้นที่ 6
ที่ 786 วินาที (13.1 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดลงไปถึงชั้นที่ 5
ที่ 950 วินาที (15.8 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดอพยพจากชั้นที่ 5
ที่ 969 วินาที (16.2 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดลงไปถึงชั้นที่ 4
ที่ 1133 วินาที (18.9 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดอพยพจากชั้นที่ 4
ที่ 1152 วินาที (19.2 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดลงไปถึงชั้นที่ 3
ที่ 1316 วินาที (21.9 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดอพยพจากชั้นที่ 3
ที่ 1335 วินาที (22.3 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดลงไปถึงชั้นที่ 2
ที่ 1499 วินาที (25.0 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดอพยพจากชั้นที่ 2
ที่ 1518 วินาที (25.3 นาที) กระแสฝูงชนทั้งหมดอพยพออกจากตัวอาคาร

จากตัวอย่างเดียวกันนี้ ถ้าใช้อัตราการอพยพที่ผู้วิจัยทดลองได้มาคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารดังกล่าว จะใช้เวลาทั้งสิ้น 29.55 นาที

จากตัวอย่างเดียวกันนี้ ถ้าใช้อัตราการอพยพที่ J.L. Paulsทดลองได้มาคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารดังกล่าว จะใช้เวลาทั้งสิ้น 26.58 นาที

จากตัวอย่างเดียวกันนี้ ถ้าใช้อัตราการอพยพที่ S.J. Melinek ทดลองได้มาคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารดังกล่าว จะใช้เวลาทั้งสิ้น 30.08 นาที

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายนิวัฒน์ ศิริกุล

วัน เดือน ปี เกิด 1 มกราคม 2496 จังหวัดนครศรีธรรมราช

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี	2518
นิติศาสตร์บัณฑิต	มหาวิทยาลัยสุโขทัย ธรรมาธิราช	2534

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

อาจารย์ 2 ระดับ 7 หัวหน้าคณะวิชาโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคใต้ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โทร. (074) 324246, 440763, 440189 ต่อ 147 มือถือ 01-6780970