ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย | วิศวกรรมศาสตร์

สาขา | **คณะ**

เรื่อง การคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ กรณีศึกษา
อาคารสูงประเภทพื้นที่ครอบครองแบบธุรกิจ

Evacuation Time Calculation; Case Study
High-rise Building Business Occupancy

นามผู้วิจัย นางสาวสมบุญ สารทอง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ,วศ.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี,Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร,Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ
กรณีศึกษา อาคารสูงประเภทพื้นที่ครอบครองแบบธุรกิจ

Evacuation Time Calculation;
Case Study High-rise Building Business Occupancy

โดย

นางสาวสมบุญ สารทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
พ.ศ. 2558

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมบุญ สารทอง 2558: การคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ กรณีศึกษา อาคารสูงประเภทพื้นที่ครอบครองแบบธุรกิจ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ, วศ.ด.
115 หน้า

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาการคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ กรณีศึกษา อาคารสูงประเภทพื้นที่ครอบครองแบบธุรกิจ เป็นอาคารใหม่ 11 ชั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อ คำนวณหาจำนวนผู้ใช้อาคาร วิเคราะห์ความสามารถของเส้นทางหนีไฟตามข้อกำหนดในมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code และคำนวณหาเวลาการอพยพหนีไฟ ด้วยวิธี Hydraulic flow calculation โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานตามวิธีการที่กำหนดในคู่มือของ SFPE (Society of fire protection engineer) แบบละเอียด จากนั้นทำการเสนอแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข เพื่อการคำนวณหาเวลาอพยพผู้ใช้งานอาคารออกไปสู่ทางออกที่ปลอดภัยตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน

ผลการศึกษาพบว่ามีการใช้งานอาคารแบบผสม (Multiple Occupancy) ประกอบด้วย ชุมนุมคน (Assembly) พักอาศัย(Residential use) ธุรกิจ (Business) มีทางหนีไฟหลัก 3 ทาง สามารถรองรับผู้อพยพได้เพียงพอและเหมาะสมทุกชั้น ใช้เวลาในการอพยพหนีไฟ 31.43 นาที เกิดการรอคิวสูงสุดที่ ชั้น 5 และชั้น 7 ทำให้เกิดคอขวดขณะทำการอพยพหนีไฟ เนื่องจากมีจำนวนผู้ใช้งานอาคารมากว่าชั้น อื่น ๆ ในขณะที่ขนาดเส้นทางการอพยพหนีไฟมีเท่ากันทุกเส้นทาง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอให้ขยายขนาดประตูสู่บันไดหนีไฟ เพื่อลดขนาดคอขวดในชั้นดังกล่าว ผลการคำนวณหาเวลาการอพยพหนีไฟลดลงเป็น 28.83 นาที ผลต่างของการคำนวณหาเวลาการอพยพที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 7.82 ทำให้ผู้ใช้งานอาคารมีความปลอดภัยในการอพยพออกสู่ภายนอกอาคารเพิ่มสูงขึ้น

_____ _____ ____/ ____/ ____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Somboon Santong 2015: Evacuation Times Calculation ; Case Study High-rise Building Business Occupancy. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Faculty of Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Supat Patvichaichote, D.Eng. 115 pages.

The research is the study, evacuation time calculation case study high-rise building business occupancy**.** The new building has 11 floors. Purpose for calculate the number of building users. And analysis of fire exit routes capabilities following NFPA 101, Life Safety Code Edition , requirement, including evacuation time calculation by using detailed of Hydraulic flow calculation, method that is defined in the manual of the SFPE (Society of fire protection engineer). Then make suggestions for improvement. To ensure that the occupancy in the building to evacuate people to safe places in a short time in case of emergency.

The study found building is multiple occupancy consists of gathering people assembly, business and residential. There are three fire exit route can accommodate all the refugees have sufficient and appropriate .Evacuation time is approximated 31.43 minutes. However, the queues at the five and seven floor, causing a bottleneck. Because the number of immigrants has more than any other class .While the migratory routes are the same size.

The researcher also recommends to reduce the bottleneck by expand exit door size at the five and seven floor. Evacuation time is approximated 28.83 minutes this is reduce time form.

_____ _____ ____ __/__/ ____

Student's signature Thesis Advisor's signatur

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. เอกไท วิโรจน์สกุลชัย ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก ผศ.ดร. สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และให้แนวคิดในการ การค้นคว้าวิจัยที่ถูกต้อง ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และ ผศ. ดร.ณัฐศักดิ์ บุญมี กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชารอง ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัยทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ คุณเยาวลักษณ์ ยวงสร้อย ผู้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของข้อมูลประกอบในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณพ่อบุญเทศน์ สารทอง ผู้ให้กำลังใจข้าพเจ้าตลอดมา คุณรัตนาพันธ์ สุวรรณชัย หัวหน้าหอผู้ป่วยห้องเด็กแรกเกิดและเจ้าหน้าที่หอผู้ป่วยทุกท่านที่ให้เวรหยุดเสาร์อาทิตย์ในการศึกษาของข้าพเจ้าตลอดหลักสูตร ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ ให้มีสุขภาพอนามัยที่สมบูรณ์แข็งแรงและมีความสุขตลอดไป

สมบุญ สารทอง

มกราคม 2558

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	9
ผลและวิจารณ์	29
สรุปและข้อเสนอแนะ	94
สรุป	94
ข้อเสนอแนะ	96
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	97
ภาคผนวก	99
ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่าจำกัดของเส้นทางเดิน	100
ภาคผนวก ข แบบผังแปลนกลุ่มอาคารนวัตกรรม 2	105
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	115

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงปัจจัยด้านความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)	6
2	แสดงระยะขอบ (Boundary)	16
3	แสดงค่าคงที่สำหรับสมการที่ 1, ความเร็วในการอพยพ	17
4	แสดงตัวแปลงค่า เส้นความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเดินทาง	18
5	แสดงความเร็วของการไหลเคลื่อนออกสูงสุด	19
6	แสดงอัตราการเคลื่อนเฉพาะสูงสุด (Fsm)	21
7	แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น g	30
8	แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 1	32
9	แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 2	33
10	แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 3	36
11	แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 4,6,8,9,10	39
12	แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 5,7	41
13	แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 11	43
14	แสดงประเภทการใช้งานอาคารในแต่ละชั้น	46
15	แสดงตัวประกอบความสามารถของเส้นทางหนีไฟ (Capacity factor)	47
16	แสดงจำนวนผู้อพยพในแต่ละชั้น จำนวนเส้นทางหนีไฟที่ต้องการตามมาตรฐาน และขีดความสามารถในการหนีไฟ	49
17	แสดงระยะทางของเส้นทางอพยพไปยังทางออกที่ใกลที่สุด	55
18	แสดงจำนวนคนแบ่งออกตามเส้นทางหนีไฟ ขนาดพื้นที่ช่องผ่าน (Corridor) ความหนาแน่นและความเร็วบนเส้นทางหนีไฟ	71
19	แสดงความกว้างสุทธิ อัตราการเคลื่อนเฉพาะ อัตราการเคลื่อนไหลที่คำนวณได้เบื้องต้นของช่องผ่าน (Corridor) ของอาคารแต่ละชั้น	73
20	แสดงอัตราการเคลื่อนเฉพาะ ความกว้างสุทธิประตู (door) อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ของช่องผ่าน จุดเปลี่ยนถ่ายของช่องผ่านสู่ประตูทางเข้าบันไดหนีไฟ	75

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	แสดงการรอคิวที่จุดเปลี่ยนถ่าย จากช่องผ่าน (Corridor) มายังประตู (Door) สู่บันไดหนีไฟ (Stair) ของอาคารแต่ละชั้น	76
22	แสดงจำนวนผู้อพยพ และจำนวนผู้ที่รอคิวในแต่ละประตูทางเข้าบันได	81
23	แสดงเวลาอพยพจากชั้นที่ 11 จนออกนอกอาคาร ทั้งหมด 33.37 นาที	82
24	แสดงอัตราการเคลื่อนเฉพาะ ความกว้างสุทธิประตู (door) อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ของช่องผ่าน จุดเปลี่ยนถ่ายของช่องผ่านสู่ประตูทางเข้าบันไดหนีไฟ	85
25	แสดงการรอคิวที่จุดเปลี่ยนถ่าย จากช่องผ่าน (Corridor) มายังประตู (Door) สู่บันไดหนีไฟ (Stair) ของอาคารแต่ละชั้น	86
26	แสดงจำนวนผู้อพยพ และจำนวนผู้ที่รอคิวในแต่ละประตูทางเข้าบันได	91
27	แสดงเวลาอพยพจากชั้นที่ 11 จนออกนอกอาคาร ทั้งหมด 30. นาที	92

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กราฟการเปรียบเทียบเวลาของการอพยพในอาคารสูง	13
2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นบนบันได ในรูปแบบไร้การควบคุม	14
3	การวัดความกว้างที่ใช้ได้จริงของบันได ผนังกำแพง, ราวจับและที่นั่ง	15
4	ความกว้างที่ใช้ได้จริงบนช่องทางเดินสาธารณะ	16
5	กราฟฟังชั่นระหว่างความหนาแน่นและความเร็วการอพยพ	18
6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะในรูปฟังชั่นความหนาแน่น	20
7	กระแสไหลเคลื่อนหาทางออกที่มาบรรจบกัน	23
8	การเปลี่ยนขนาดของช่องทางหนีไฟ	23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ
กรณีศึกษา อาคารสูงประเภทพื้นที่ครอบครองแบบธุรกิจ

Evacuation Time Calculation;

Case Study High-rise Building Business Occupancy

คำนำ

ในการจัดเตรียมเส้นทางสำหรับการอพยพหนีไฟไปยังสถานที่ที่ปลอดภัยในเวลาอันรวดเร็วนั้นการออกแบบเส้นทางหนีไฟให้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญ องค์ประกอบของการอพยพประกอบด้วย เส้นทางหนีไฟ จำนวนผู้อพยพหนีไฟ และเวลาในการอพยพหนีไฟ โดยระยะสัญจร ระยะทางบังคับร่วมและระยะทางปลายตันต้องไม่เกินค่าที่กำหนด สำหรับจำนวนผู้อพยพต้องต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดตามมาตรฐานของขีดความสามารถของเส้นทางหนีไฟ สำหรับเวลาในการอพยพนั้น หากผลการคำนวณหาเวลาในการอพยพจากอาคารไปยังพื้นที่ที่ปลอดภัยได้ต่ำกว่าเวลาที่กำหนด ก็สามารถช่วยปกป้องผู้ใช้อาคารที่ไม่ได้อยู่ใกล้กับแหล่งต้นเพลิง และเพิ่มโอกาสรอดชีวิตของผู้ใช้อาคารที่อยู่ใกล้แหล่งต้นเพลิงก่อนเหตุการณ์จะรุนแรงจนเป็นอันตรายต่อผู้อพยพ และอีกประการหนึ่งในการเตรียมความพร้อมของการอพยพหนีไฟ ของผู้ใช้อาคารนั้น ๆ จากเหตุการณ์ อัคคีภัยในอดีต มีเหตุการณ์ เพลิงไหม้ที่เกิดขึ้น เช่น เหตุการณ์เพลิงไหม้โรงงานเคเดอร์ ซึ่งเป็นโรงงานผลิตตุ๊กตา จังหวัดนครปฐม ในวันที่ 10 พฤษภาคม 2536 มีผู้เสียชีวิตจำนวน 188 คน เพลิงไหม้โรงแรมจอมเทียนพัทยาในวันที่ 11 กรกฎาคม 2540 มีผู้เสียชีวิตจำนวน 91 ราย เหตุการณ์เพลิงไหม้ซานติก้าผับ ในวันที่ 31 ธันวาคม 2551 (พิชญะ, 2552) มีผู้เสียชีวิตจำนวน 68 คน ได้รับบาดเจ็บ 229 คน(เดลินิวส์, 2552) และที่ประเทศสหรัฐอเมริกาในปี พ.ศ.2546 ในท์คลับที่ อิทู (E-2) มลรัฐชิคาโก เหตุเกิดจากเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยพยายามแยกกลุ่มคนที่ทะเลาะกันด้วยสเปรย์พริกไทยดำทำให้คนภายในจำนวนกว่า 1,000 คน ตื่นตระหนกจากการหายใจลำบาก ต้องรีบออกจากอาคารแล้วเบียดกันที่บันไดประตูทางออกจนเสียชีวิต 21 คน และสัปดาห์ต่อมาที่ สเตชั่นในท์คลับ มลรัฐโรดไอแลนด์ เป็นอาคารชั้นเดียวพื้นที่อาคาร 250 ตารางเมตร มีจำนวนคนภายอาคาร 430 คน เกิดอัคคีภัยจากการเล่นดอกไม้เพลิงบนเวที ทำให้มีผู้เสียชีวิตจำนวน 100 คน ทั้งสองไนท์คลับรวมถึงซานติก้าผับต่างพบศพผู้เสียชีวิตจำนวนหลายสิบคนกองอยู่บริเวณประตูทางเข้าออกโดยลักษณะซ้อนกันหลายชั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นั่นหมายความว่าเกิดคอขวดที่ประตูทางออกนั่นเอง จากเหตุการณ์ดังกล่าวนำมาซึ่งความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สิน สูญเสียค่าใช้จ่ายเพื่อการรักษาพยาบาล การฟื้นฟูผู้ประสบภัย ค่าใช้จ่ายนี้มิใช่เป็นปัญหาในระดับองค์กรหรือสังคมเท่านั้นแต่ยังเป็นปัญหาในระดับชาติที่ต้องมีผู้รับผิดชอบในการวางมาตรการป้องกันและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาเวลาในการอพยพหนีไฟ โดยการคำนวณหาเวลาการอพยพด้วยวิธี Hydraulic flow calculation ตามคู่มือ SFPE (Society of Fire Protection Engineers) โดยเลือกอาคารที่ใช้เวลานานสำหรับการอพยพ เช่น อาคารสูง ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาอาคารสูงประเภทพื้นที่ครอบครองแบบธุรกิจ โดยอาคารดังกล่าวเป็นสถานที่ให้การศึกษาค้นคว้าและวิจัยแก่บุคคลในสังคม ชุมชน และประเทศชาติ นอกจากนี้ยังเป็นศูนย์รวมของทรัพยากรที่มีคุณค่า คือ ทรัพยากรทางมนุษย์ และทรัพยากรทางด้านอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลองทำวิจัย ผู้ใช้อาคารดังกล่าวมีทั้งผู้ใช้อาคารประจำ เช่น เจ้าหน้าที่ และไม่ประจำคือผู้มาติดต่อประสานงาน ผู้มาศึกษาดูงาน ในระดับการศึกษาทั้งปริญญาตรี โท และเอก จึงทำให้ประสบการณ์ ความรู้ความคุ้นเคยในการใช้งานอาคารแตกต่างกันออกไปและมีผลต่อการใช้เวลาในการอพยพหนีไฟในกรณีฉุกเฉิน การคำนวณเวลาดังกล่าวช่วยวิเคราะห์แบบอาคารว่าถูกต้องปลอดภัยตามมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับโดยผู้วิจัยวิเคราะห์เทียบกับมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code, เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับผู้ใช้อาคารดังกล่าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code

2. เพื่อวิเคราะห์ความสามารถของเส้นทางหนีไฟตามข้อกำหนดในมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code

3. เพื่อคำนวณหาเวลาการอพยพหนีไฟด้วยวิธี hydraulic flow calculation แบบละเอียดเพื่อหาจุดคอขวดที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการอพยพ

ขอบเขตของงานวิจัย

1. การคำนวณหาเวลาการอพยพหนีไฟด้วยวิธี Hydraulic flow calculation เป็นการคำนวณตามวิธีการที่กำหนดในคู่มือของ SFPE (Society of fire protection engineer) ซึ่งมี 2 แบบ คือ การคำนวณแบบหยาบ และการคำนวณแบบละเอียด โดยในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้การคำนวณแบบละเอียด

2. การเสนอแนะวิธีการปรับปรุงเส้นทางหนีไฟและอ้างอิงการปรับปรุงตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เป็นฐานข้อมูลประกอบในการออกแบบและคำนวณเส้นทางหนีไฟ ให้เหมาะสมกับเวลาที่ต้องใช้ในการอพยพที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

2. ใช้เป็นแนวทางในการนำไปจัดทำแผนการอพยพหนีไฟ ของอาคารดังกล่าว

3. ผู้เข้าใช้อาคารมีความมั่นใจในระบบการอพยพหนีไฟ อาคารดังกล่าวมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

การกำหนดประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร (Classification of Occupancy)

มาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code เป็นมาตรฐานของสมาคมป้องกันอัคคีภัย (National Fire Protection Association) ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องในเรื่องความปลอดภัยอัคคีภัย เป็นแนวทางในการจัดเตรียมเส้นทางหนีไฟ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่มีการยอมรับอย่างแพร่หลายและนำไปใช้ในการออกแบบอาคารที่สำคัญๆ ทั่วโลก โดยมาตรฐานดังกล่าวมีการกำหนดประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร โดยพิจารณาจากลักษณะอาคาร ลักษณะของผู้ใช้อาคาร จำนวนผู้ใช้อาคาร เพื่อจำแนกตามลักษณะความเสี่ยงและจัดทำมาตรฐานทางหนีไฟที่เหมาะสมกับแต่ละประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร เพื่อจัดเตรียมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม และอำนวยความสะดวกสำหรับผู้ใช้อาคารให้สามารถอพยพออกจากอาคารได้อย่างปลอดภัยภายใต้สถานการณ์เพลิงไหม้และเหตุการณ์ฉุกเฉินอื่นๆ ที่คล้ายคลึงกัน เพื่อปกป้องผู้ใช้อาคารที่ไม่ได้อยู่ใกล้กับแหล่งต้นเพลิง และเพิ่มโอกาสรอดชีวิตของผู้ใช้อาคารที่อยู่ใกล้แหล่งต้นเพลิงและให้มีการอพยพผู้คนในกรณีฉุกเฉินไปยังที่ปลอดภัยอย่างเหมาะสม

กิจกรรมการใช้อาคาร หมายถึงการแบ่งประเภทการใช้งานอาคารตามลักษณะของผู้ใช้อาคารและความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร รวมถึงกิจกรรมที่ดำเนินในพื้นที่นั้นๆ

1. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทชุมนุมคน (Assembly Occupancy) เป็นสถานที่ชุมนุมคน มีผู้ใช้งานอาคารหนาแน่น ผู้ใช้อาคารส่วนใหญ่ไม่คุ้นเคยสถานที่ เช่น สถานที่สำหรับการปรึกษาหารือ ห้องประชุมเว้นห้องอบรม สถานที่สำหรับจัดงานพิธีการต่างๆ การบวงสรวง สถานที่เพื่อความบันเทิง เพื่อการรับประทานอาหาร การดื่ม ภัตตาคาร การรอเดินทาง หรือในลักษณะอื่นที่ใกล้เคียง โดยมีจำนวนผู้ใช้อาคารตั้งแต่ 50 คน ขึ้นไป หรือเป็นอาคารเพื่อความบันเทิงแบบพิเศษ โดยไม่คำนึงถึงจำนวนผู้ใช้งานอาคาร

2. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทสถานศึกษา (Education Occupancy) เป็นสถานที่ ที่ใช้เพื่อการศึกษาเล่าเรียนจนถึงระดับมัธยมศึกษาตอนปลายหรือเทียบเท่า โดยมีผู้ใช้อาคารอย่างน้อย 6 คน มีเวลาทำการอย่างน้อยวันละ 4 ชั่วโมง หรืออย่างน้อย สัปดาห์ละ 12 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทสถานรับดูแลในเวลากลางวัน (Day Care Occupancy) เป็นสถานที่ใช้เพื่อการรับเลี้ยงดูแลเด็กเล็กจำนวนตั้งแต่ 4 คน ขึ้นไป โดยมีเวลาทำการน้อยกว่า 24 ชั่วโมงต่อวัน

4. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทรักษาพยาบาล (Health Care) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่อการรักษาพยาบาลผู้ป่วยจำนวนตั้งแต่ 4 คน ขึ้นไป ซึ่งผู้ใช้อาคารส่วนใหญ่ไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ เนื่องจาก สูงอายุ มีความพิการทางด้านร่างกายหรือสภาพจิตไม่ปกติ

5. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทรักษาพยาบาลผู้ป่วยนอก (Ambulatory Health Care Occupancy) เป็นสถานที่ที่ได้จัดเตรียมอุปกรณ์ที่สามารถรองรับผู้ป่วยนอกเพื่อการรักษาพยาบาลในภาวะฉุกเฉิน ตั้งแต่ 4 คน ขึ้นไป

6. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทกักขังและลงโทษ (Detention and Correctional Occupancy) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่อกักขังและลงโทษนักโทษตั้งแต่ 4 คน ขึ้นไป

7. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทที่อยู่อาศัย (Residential Occupancy) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยหลับนอน ผู้ใช้อาคารอยู่ในภาวะหลับใหล ประกอบด้วยผู้คนทุกวัย ตั้งแต่เด็กจนถึงวัยผู้สูงอายุที่ไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้เมื่อเกิดภาวะฉุกเฉิน

8. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทที่อยู่อาศัยและให้การดูแล (Residential Board and Care Occupancy) เป็นสถานที่อยู่อาศัยและให้การดูแลบุคคลที่มาอยู่รวมกัน โดยไม่ได้เกี่ยวข้องกันทางสายเลือด ตั้งแต่ 4 คน ขึ้นไป เช่น สถานสงเคราะห์

9. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทค้าขาย (Mercantile Occupancy) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่อการแสดงหรือขายสินค้า

10. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทประกอบธุรกิจ (Business Occupancy) เป็นสถานทีที่ใช้เพื่อการทำบัญชี เป็นสำนักงาน เป็นสถานที่ที่เกี่ยวกับการเก็บรักษาข้อมูล หรือการติดต่อทางธุรกิจ โดยสถานที่นั้นไม่เกี่ยวข้องกับการค้าขาย และเป็นสถานที่สำหรับการศึกษาในระดับวิทยาลัย มหาวิทยาลัย ที่มีห้องเรียนบรรจุได้น้อยกว่า 50 คน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

11. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทกิจการโรงงาน (Industrial Occupancy) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่อดำเนินการผลิต การประกอบ การรวม การบรรจุ การตกแต่งหรือการซ่อมแซมสินค้า

12. กิจกรมการใช้อาคารประเภทจัดเก็บสินค้า (Storage Occupancy) เป็นสถานที่ที่มีจุดประสงค์หลักเพื่อจัดเก็บสินค้า ผลผลิต รถยนต์ หรือผลผิตจากสัตว์

13. กิจกรรมการใช้อาคารแบบหลายประเภท (Multiple Occupancy) หมายถึงอาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่มีกิจกรรมการใช้อยู่รวมกันตั้งแต่ 2 ประเภท

13.1 กิจกรรมการใช้อาคารแบบผสม (Mixed Occupancy) หมายถึง พื้นที่ที่มีกิจกรรมการใช้อาคารแบบหลายประเภทผสมเข้าด้วยกัน

13.2 กิจกรรมการใช้อาคารแบบกั้นแยก (Separated Occupancy) หมายถึงพื้นที่ที่มีกิจกรรมการใช้อาคารแบบหลายประเภทที่แต่ละพื้นที่ถูกกั้นแยกออกจากกันด้วยอุปกรณ์ทนไฟ

โดยแต่ละกิจกรรมการใช้งานอาคารนั้นได้กำหนดตัวแปลงค่าปัจจัยด้านความจุของผู้ใช้อาคาร เพื่อใช้ในการการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยด้านความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)

การใช้งาน	**(ตารางเมตรต่อคน)**
ใช้ชุมนุมคน	
คนใช้งานหนาแน่น ที่นั่งแบบไม่ยึดกับที่	0.65 สุทธิ
คนใช้งานไม่หนาแน่น ที่นั่งแบบไม่ยึดกับที่	1.4 สุทธิ
จัดที่นั่งแบบเก้าอี้ยาว	1 คน / ความยาว 455 มม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 (ต่อ)

การใช้งาน	**(ตารางเมตรต่อคน)**
จัดที่นั่งแบบยึดติด	จำนวนที่นั่งแบบยึดติด
ห้องครัว	9.3
พื้นที่วางหนังสือในห้องสมุด	9.3
พื้นที่อ่านหนังสือในห้องสมุด	4.6 สุทธิ
สระว่ายน้ำ	4.6 (ผิวหน้าของน้ำ)
พื้นที่ด้านบนของสระว่ายน้ำ	2.8
ห้องออกกำลังกายพร้อมอุปกรณ์	4.6
ห้องออกกำลังกายไม่มีอุปกรณ์	1.4
เวที	1.4 สุทธิ
แสงสว่างและทางเข้าทางเดินแฟชั่น,แกลอรี่, สนามฟุตบอล	9.3 สุทธิ
บ่อนการพนัน และสถานที่เล่นการพนันที่คล้ายคลึงกัน	1
ลานเล่นสเก็ตน้ำแข็ง	4.6
ใช้เพื่อการศึกษา	
ห้องเรียน	1.9 สุทธิ
ร้านค้า, ห้องทดลอง, ห้องพักผ่อน	4.6 สุทธิ
ใช้เป็นสถานที่ดูแลสุขภาพ	3.3. สุทธิ
ใช้เป็นสถานพยาบาล	
แผนกรักษาคนไข้ใน	22.3
แผนกนอนพัก	11.1
แผนกผู้ป่วยที่ช่วยเหลือตนเองไม่ได้	9.3
ใช้เป็นสถานกักกันและกักขัง	11.1
ใช้เป็นสถานที่อยู่อาศัย	
โรงแรมและหอพัก	18.6
อาคารที่มีห้องชุด	18.6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 (ต่อ)

การใช้งาน	(ตารางเมตรต่อคน)
ใช้เป็นสถานที่พักและดูแลขนาดใหญ่	18.6
ใช้เป็นงานอุตสาหกรรม	
อุตสาหกรรมทั่วไปและอันตรายสูง	9.3
ใช้เพื่อวัตถุประสงค์พิเศษทางอุตสาหกรรม	NA
ใช้งานทางธุรกิจ(มากกว่าด้านล่าง)	9.3
หอบังคับการทางการบิน	3.7
ใช้เป็นคลังสินค้า	
ใช้ในผู้ครอบครองอาคารแบบคลังสินค้า	NA
ใช้ในผู้ครอบครองอาคารแบบการค้า	27.9
ใช้ในผู้ครอบครองอาคารแบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แบบคลังสินค้า และการค้า	46.5
ใช้เป็นที่การค้า	
พื้นที่ขายของบนพื้นถนน	2.8
พื้นที่ขายของบนสองพื้นถนน	3.7
พื้นที่ขายของใต้พื้นถนน	2.8
พื้นที่ขายของเหนือพื้นถนน	5.6
พื้นหรือบางส่วนของพื้นที่ใช้แค่เป็นสำนักงาน	ดูในการใช้งานแบบธุรกิจ
พื้นหรือบางส่วนของพื้นที่ใช้แค่เป็นคลังสินค้า, ที่รับของ, ที่ส่งของ, ไม่เปิดใช้งานเป็นสาธารณะทั่วไป อาคารห้างสรรสินค้า	27.9

ที่มา: Life safety code (2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีคำนวณเพื่อคาดการณ์หาเวลาในการอพยพหนีภัยออกจากอาคาร (Rita, F.Fahy, 2000) การออกแบบอาคาร วิศวกรต้องประเมินเหตุการณ์ล่วงหน้า ถึงพฤติกรรมการอพยพหนีไฟในขณะเกิดอัคคีภัย ที่ผ่านมาวิศวกรด้านความปลอดภัยทางอัคคีภัยได้ศึกษาคิดค้นวิธีการคำนวณสภาพการเกิดอัคคีภัยล่วงหน้าไว้หลายวิธี การศึกษาพฤติกรรมมนุษย์ในขณะเกิดอัคคีภัย และทำการรวบรวมข้อมูลของผลที่ได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และการพัฒนาเครื่องมือการพยากรณ์การลุกลามและกระจายตัวของอัคคีภัยโดยทำการบันทึกผลของเหตุการณ์ต่างๆไว้

ลักษณะของอาคารสามารถบอกชนิดของอัคคีภัยที่จะเกิดขึ้นได้ นักออกแบบจึงสามารถเลือกใช้วัสดุการก่อสร้างเพื่อป้องกันการลุกลามของไฟ การออกแบบป้องกันการกระจายตัวของควัน การใช้แนวคิดใหม่ๆ ทำให้การออกแบบมีความสร้างสรรค์และสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ โดยแนวคิดใหม่ๆ เหล่านี้ต้องมีการทดสอบว่าให้ความปลอดภัยได้อย่างไร เช่น การออกแบบเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างอาคารที่แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการอพยพคนไปสู่สถานที่ปลอดภัยนั้นลดลงจากผลการคำนวณของแบบแปลนเดิมที่มี

เวลาในการอพยพที่มี > เวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการอพยพ

การออกแบบด้านความปลอดภัยทางอัคคีภัย เป็นการทำงานเพื่อจัดการกับปัญหาสองอย่าง คือ การคำนวณหาเวลาการอพยพหนีภัยออกจากอาคารและการศึกษาพฤติกรรมมนุษย์ ปัจจุบันวิศวกรด้านความปลอดภัยทางอัคคีภัย ได้พัฒนาการทดลองเพื่อการพยากรณ์การลุกลามและกระจายตัวของอัคคีภัยในอาคาร โดยการออกแบบการทดลองให้ความสำคัญด้านความปลอดภัยจากอัคคีภัย และสรุปผลว่าการประเมินค่าเวลาที่ล่าช้าของพฤติกรรมผู้อพยพต่ำเกินไปนั้นเป็นเรื่องสำคัญมาก การศึกษาองค์ประกอบของเวลาเพื่อใช้ในการอพยพหนีไฟประกอบด้วย

องค์ประกอบของเวลาเพื่อใช้ในการอพยพหนีไฟ

เวลาเพื่อใช้ในการในการอพยพหนีไฟ ของแต่ละบุคคล เริ่มตั้งแต่ ไฟติดไปจนถึงผู้พัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาศัย สามารถอพยพออกจากอาคารหรืออพยพถึงสถานที่ปลอดภัยได้ ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ดังนี้

- เวลาที่ใช้ในการรับรู้เหตุเพลิงไหม้
- เวลาที่ใช้ในการแสดงปฏิกิริยา
- เวลาที่ใช้ในการเตรียมการอพยพหนีไฟ
- เวลาที่ใช้ในการเดินทางหรือเคลื่อนย้าย

สามองค์ประกอบแรก รวมกันเรียกว่า เวลาที่ล่าช้า หรือ เวลาเตรียมการเคลื่อนย้าย

เวลาที่ใช้ในการอพยพ = เวลาที่ล่าช้า + เวลาที่ใช้ในการเดินทาง

= เวลาที่ใช้ในการรับรู้เหตุเพลิงไหม้ + เวลาที่ใช้ในการแสดงปฏิกิริยา + เวลาที่ใช้ในการเตรียมการอพยพหนีไฟ + เวลาที่ใช้ในการเดินทาง

ความสำคัญของการประเมินเวลาที่ล่าช้า Tanga et al (2009) ศึกษาเรื่องเวลาของบุคคลทั่วไปเพื่อใช้ในการอ่านผัง และเวลาเพื่อใช้ในการวางแผนการอพยพ โดยนำมาวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์และผลกระทบต่อเวลาที่ต้องใช้ การทดลองนี้ได้ใช้แบบแปลนของห้างสรรพสินค้า การวัดเวลาได้ดำเนินการบนอินเตอร์เน็ต ผลการทดลองพบว่าในการวางแผนการอพยพใช้เวลามากกว่าเวลาในการอ่านผังอพยพประมาณ 1.1 ถึง 2 เท่า ซึ่งเป็นระยะเวลาที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หากประเมินค่าเวลาที่ล่าช้าต่ำเกินย่อมส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพทั้งหมด ดังนั้นการเลือกการประเมินค่าหรือการคำนวณเวลาเตรียมการเคลื่อนย้าย จึงสำคัญอย่างยิ่งต่อผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

1. เวลาที่ใช้ในการรับรู้เหตุเพลิงไหม้

เวลาที่ใช้ในการรับรู้เหตุเพลิงไหม้ เริ่มนับเวลาตั้งแต่ก่อนที่ไฟจะลามมาถึง คือ เมื่อมีลักษณะของกลิ่นหรือควัน ความร้อน เปลวไฟ เสียงกระจกแตก หรือเสียงสัญญาณเตือน จากเครื่องจับควัน เครื่องจับความร้อน หรือระบบฉีดน้ำอัตโนมัติทำงาน ทำให้ผู้ใช้อาคารรับรู้ว่าเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นแล้ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใช้โมเดลเพื่อช่วยหาการลุกลามของไฟและการเคลื่อนที่ของควันปัจจุบันวิศวกรด้านอัคคีภัยสามารถใช้โมเดลการทำงานของตัวจับควันหรือเครื่องฉีดน้ำอัตโนมัติ เพื่อหาค่าเวลาได้ เช่น เอเสท (ASET) ใช้สำหรับประมาณอุณหภูมิและตำแหน่งของชั้นควันไฟของห้องต้นเพลิง โมเดลดีแทคท์ (DETACT) ใช้สำหรับจับอุณหภูมิของความร้อนและสั่งงานเครื่องฉีดน้ำอัตโนมัติทำงานและโมเดลเบรคกี้ (BREAKI) ช่วยในการประเมินช่วงเวลา จนถึงเวลาที่เกิดการแตกของกระจกภายในห้องต้นเพลิง

2. เวลาที่ใช้ในการแสดงปฏิกิริยา

เวลาที่ใช้ในการแสดงปฏิกิริยาคือ เวลาที่ผู้พักอาศัย รับรู้การเตือน หรือสิ่งบอกเหตุไฟไหม้ เพื่อตัดสินใจที่จะลงมือทำอะไรสักอย่าง เยาวลักษณ์ (2553) หากใครคนหนึ่งนอนหลับอยู่เมื่อมีเสียงสัญญาณเตือนดังขึ้น ต้องใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่งในการตื่นขึ้นจากการหลับ ช่วงเวลาในการระบุว่าเสียงที่ได้ยินนั้นเป็นสัญญาณบอกเหตุควันไฟ และเวลาในการตัดสินใจว่าต้องหนี ปัจจุบันยังไม่มีโมเดลใดเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปสำหรับการหาค่าเวลาที่ใช้ในการแสดงปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์อาจได้จากข้อมูลที่ได้จากการสังเกตหรือจากการใช้วิจารณญาณของผู้เชี่ยวชาญ เวลาที่ใช้ในการแสดงปฏิกิริยาที่ควรเป็น มักขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ผู้พักอาศัย หลับหรือตื่นในขณะนั้น ความสามารถในการได้ยิน ระดับสติสัมปชัญญะ ระดับอายุ (ทารก หรือ เด็ก หรือ ผู้ใหญ่ คนชรา) และอื่นๆ

3. เวลาที่ใช้ในการเตรียมการอพยพหนีไฟ

เวลาที่ใช้ในการเตรียมการอพยพหนีไฟ เริ่มตั้งแต่ผู้พักอาศัยเตรียมหนีหรือหาที่ปลอดภัย การเตรียมการอพยพหนีไฟ นับเวลาเริ่มตั้งแต่การตัดสินใจที่จะหนี จนกระทั่งตัดสินใจอพยพไปยังทางออก หรือไปยังบริเวณที่ปลอดภัย ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของผู้พักอาศัย เยาวลักษณ์ ยวงสร้อย (2553) ผู้พักอาศัยในโรงแรม หยุดเพื่อเก็บกระเป๋าก่อนออกจากห้อง ขณะที่ผู้พักอาศัยในสำนักงานจะใช้เวลาสำหรับการปิดอุปกรณ์และทำการเก็บเอกสาร หากเป็นโรงงานอุตสาหกรรมต้องดำเนินการขั้นตอนการหยุดการผลิตอย่างปลอดภัย สำหรับเวลาเพื่อการเตรียมการอพยพหนีไฟนี้สามารถลดลงได้โดยการฝึกอบรมการซ้อมแผนอพยพหนีไฟ เช่นเดียวกับเวลาที่ใช้ในการแสดงปฏิกิริยา ยังหาโมเดลที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยาก สำหรับเวลาที่ใช้ในการเตรียมการอพยพ และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์อาจได้จากข้อมูลที่ได้จากการสังเกตหรือจากการใช้วิจารณญาณของผู้เชี่ยวชาญ

ในความเป็นจริง เวลาที่ใช้ในการแสดงปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการเตรียมการอพยพ ถูกใช้พิจารณาร่วมกัน จากการเก็บข้อมูลเป็นการยากหากต้องแยกองค์ประกอบทั้งสองนี้ออกจากกัน การรายงานผลของเวลาจึงออกมาเป็นผลลัพธ์เดียว ประกอบด้วยเวลาเริ่มตั้งแต่การรับรู้เหตุเพลิงไหม้ ไปจนถึงเวลาที่เริ่มอพยพหนีไฟไปสู่ประตูทางออก

4. เวลาที่ใช้ในการเดินทาง

เวลาที่ใช้ในการเดินทาง หมายถึงเวลาที่ใช้เคลื่อนไปยังสถานที่ที่มีความปลอดภัยหรือจุดรวมพล การคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการเดินทางมีหลายวิธี โดยใช้การคำนวณโดยเครื่องมือเอฟพีอี (FPE tool) ของสถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Institute of Science and Technology, NIST) ของประเทศสหรัฐอเมริกา วิธีการเหล่านี้ มีพื้นฐานมาจากวิธีการคำนวณแบบง่าย

5. วิธีคำนวณระยะเวลาการเดินทาง

การคำนวณหาระยะเวลาการเดินทาง สำหรับบุคคลหนึ่งแบบเดินหน้าในทางตรง เท่ากับผลคูณระหว่าง ระยะทางการเดินทางกับอัตราความเร็วในการเดิน การคำนวณระยะเวลาการเดินทาง สำหรับผู้พักอาศัยเป็นฝูงชนมีความซับซ้อนต่างออกไป ประกอบด้วย 3 ปัจจัยคือ ความหนาแน่น ความเร็วและอัตราการไหลเคลื่อน ความหนาแน่นคือจำนวนคนต่อหน่วยพื้นที่ ความเร็วคือเวลาของอัตราการไหลเคลื่อนมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ คือจำนวนผู้คน ผ่านทางใดทางหนึ่งต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นคนต่อวินาที บนความกว้างของทางนั้นๆ การคำนวณระยะเวลาการเดินทางโดยทั้ง 3 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กันดังนี้

อัตราการไหลเคลื่อน = ความเร็ว x ความหนาแน่น x ความกว้าง

ความเร็วมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นเป็นแบบผกผัน หากความหนาแน่นของกลุ่มผู้อพยพสูงการไหลเคลื่อนย่อมเคลื่อนตัวไปได้ช้าจนถึงจุดที่ปรับเปลี่ยนอัตราความเร็วได้ ในอัตรา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความหนาแน่นต่ำอัตราการไหลเคลื่อนสูงเนื่องจากมีการกระจุกตัวในกลุ่มน้อย อัตราการไหลเคลื่อนที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับความหนาแน่น 2 คนต่อ ตรม. รายละเอียดที่มาของ ค่าอัตราการไหลเคลื่อนหาได้จากคู่มือวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย SFPE

5.1 สมการเวลาที่ใช้ในการอพยพที่ได้มาจากการรวบรวมสถิติ

จากภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาของการอพยพในอาคารสูง ผลที่ได้จากการเฝ้าสังเกตพร้อมกับสมการสำหรับคาดการณ์เวลาในการอพยพทั้งหมด (Pauls's data) โดยพอลได้เฝ้าสังเกตเวลาการซ้อมอพยพ 29 ครั้ง ในอาคารสำนักงาน ที่ระดับความสูงของอาคาร 8 ถึง 21 ชั้น เริ่มนับเวลาที่ 10 วินาทีต่อชั้น ในอาคารที่มีคนน้อย จนถึง 20 วินาทีต่อชั้น ในอาคารที่มีคนมาก โดยประมาณ สำหรับผลของสมการการอพยพ ดังแสดงในภาพที่ 1

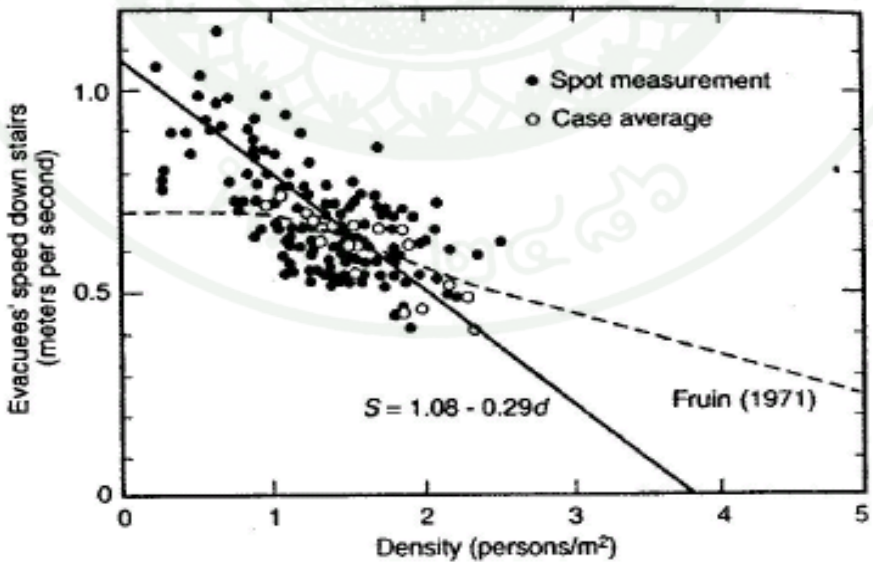
สมการแรก ใน ภาพที่ 1 $T = 0.70 + 0.0133p$

(ใช้ สำหรับจำนวนคนต่อเมตรของความกว้างบันไดที่ใช้ได้จริงเกินกว่า 800 คน)

T คือ เวลาน้อยสุดที่จะทำการอพยพทางบันไดโดยไม่มีการควบคุม

P คือจำนวนคนที่อพยพจริงต่อเมตรของความกว้างที่ใช้ได้จริงของบันได

ค่าที่ได้เป็นเวลาที่เหนือระดับชั้นที่จะมีการปล่อยออกจากทางบันได



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นบนบันไดแบบไร้การควบคุม

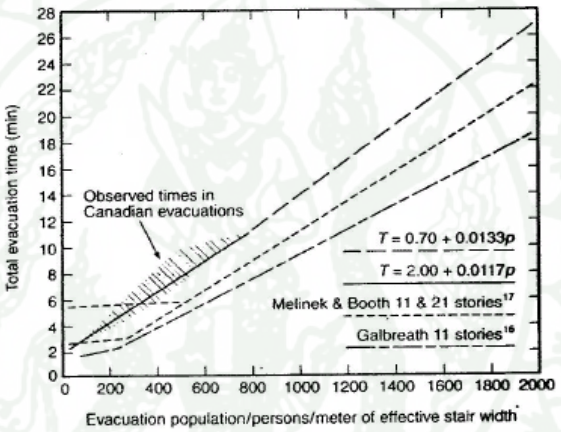
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 2 อธิบายถึงกระแสการไหลเคลื่อน ที่มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกับความกว้างที่ใช้ได้จริงของบันได

สมการที่สอง ในภาพที่ 2 **T = 2.00 + 0.0117p**

(ใช้สำหรับ จำนวนคนต่อเมตรของบันไดที่มีความกว้างที่ใช้ได้จริง น้อยกว่า 800 คน)

จากผลการทดสอบของพอล สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการอพยพกับความหนาแน่น บนบันไดแบบไร้การควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งการไหลเคลื่อนเป็นรูปแบบในแนวดิ่งลงสู่ชั้นล่าง



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นบนบันไดแบบไร้การควบคุม

6. การคำนวณกระแสไหลเคลื่อนแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Flow Calculation)

การคำนวณกระแสไหลเคลื่อนแบบไฮดรอลิก ลักษณะการไหลเคลื่อนได้จากการทดสอบและการเฝ้าสังเกตการณ์กระแสการไหลเคลื่อนของฝูงชนโดยประมาณ แม้ว่าความสัมพันธ์เป็นในแบบสมบูรณ์จากการตั้งสมมติฐาน แต่ยังมีการผันแปรของข้อมูลดังในภาพที่ 2 ชี้ให้เห็นว่าความสัมพันธ์เป็นรูปแบบเฉพาะระหว่างที่มาของข้อมูลกับสมการที่ได้รับ สมการและความสัมพันธ์ ที่ได้ อาจเป็นแบบอิสระต่อกันหรือพึ่งพากันเพื่อแก้ปัญหาการอพยพหนีไฟในรูปแบบที่ซับซ้อน

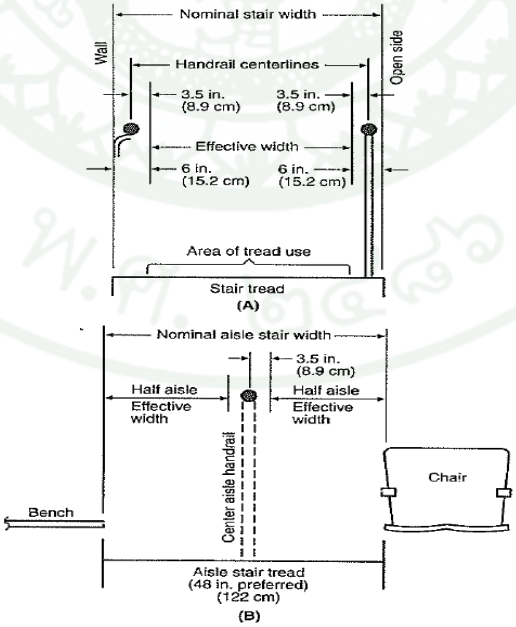
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.1 ความกว้างที่ใช้ได้จริง (Effective Width, We)

ความกว้างที่ใช้ได้จริงคือ การรักษาระยะของช่องทางระหว่างผนัง กำแพงและอุปกรณ์สำนักงานอื่นๆ สิ่งกีดขวางของทางผ่าน การคิดระยะความกว้างที่ใช้ได้จริง มีความจำเป็นเพื่อใช้ในการทรงตัวขณะเดินทาง การเซขณะขยับตัวเดินในฝูงชน

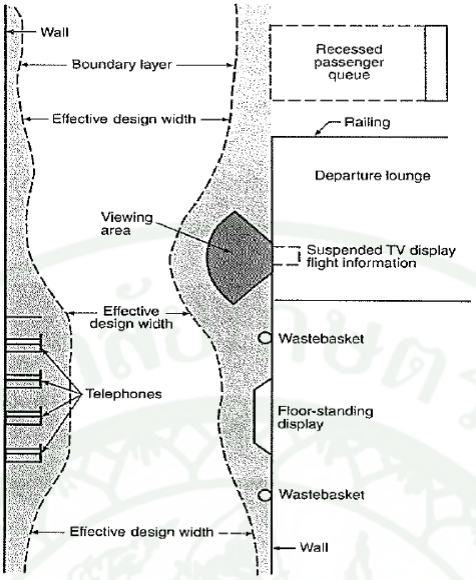
ภาพที่ 3 และภาพที่ 4 อธิบายถึง ความกว้างที่ใช้ได้จริง และความกว้างของช่องทางจริง ตารางที่ 1 คือ ระยะขอบ (Boundary layer) คือระยะขอบที่ต้องหักออก ซึ่งความกว้างที่ใช้ได้จริงของส่วนใดๆ บนเส้นทางออกคือขนาดความกว้างจริงของเส้นทางออกลบด้วยระยะ boundary layer คูณสอง

การหาความกว้างกรณีมีราวจับ ใช้วิธีเปรียบเทียบความกว้างที่ใช้ได้จริง ระหว่างความกว้างที่ใช้ได้จริงเมื่อมีราวจับกับไม่มีราวจับ โดยวัดจากขอบที่วางแขน ความกว้างไหนมีค่าน้อยกว่าให้ใช้ค่านั้น สำหรับการใช้ค่าในตารางที่ 1 ใช้เมื่อราวจับยื่นออกมามากกว่า 0.06 เมตร ที่ช่วงความสูงจากกึ่งกลางของร่างกาย เช่น อุปกรณ์บานผลักประตูฉุกเฉิน (Panic Hardware) ให้คำนวณตามลักษณะเดียวกันกับราวจับ



ภาพที่ 3 การวัดความกว้างที่ใช้ได้จริงของบันได ผนังกำแพง, ราวจับและที่นั่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 ความกว้างที่ใช้ได้จริงบนช่องทางเดินสาธารณะ

ตารางที่ 2 ระยะขอบ

ส่วนประกอบต่าง ๆ	**ระยะขอบ**
	เซนติเมตร
ช่องบันได	15
ประตู	15
ช่องทางเดิน	20
สิ่งกีดขวาง	10

6.2 ความหนาแน่น (Density, D)

ความหนาแน่นคือการวัดระดับการกระจุกตัวในเส้นทางการอพยพ มีหน่วยเป็นคนต่อหน่วยของพื้นที่ ความหนาแน่นมีหน่วยเป็น คนต่อตารางเมตร ความหนาแน่นในส่วนของทางออกแรก อาจเป็นทางเดินระหว่างที่นั่งช่องทางเดิน ทางลาด ฯลฯ ขึ้นอยู่กับจำนวนของผู้พักอาศัยที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อพยพไปยังทางออก ความกว้างของช่องทางออก ความหนาแน่นที่มีเป็นสิ่งที่บอกขีดความสามารถที่จำกัดหรือสูงสุดของการอพยพได้

หากการอพยพหนีไฟมีรูปแบบกระจายตัวในวงกว้าง การคำนวณหาเวลาอพยพถึงทางออกต้องเลือกใช้แบบขั้นเวลาที่เหมาะสมของแต่ละช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของเส้นทางออก คือผลต่างระหว่างผู้อพยพเข้ามาในเส้นทางกับผู้อพยพที่ผ่านเส้นทางออกไป

6.3 ความเร็วการอพยพของแต่ละคน (Speed of Exiting Individuals, S)

ความเร็วในการอพยพของแต่ละคนเกิดจากผลกระทบความหนาแน่นของกลุ่มคน หากความหนาแน่นต่ำกว่า 0.54 คนต่อตารางเมตร ความเร็วของแต่ละคนไปด้วยความเร็วอิสระไม่ขึ้นกับความเร็วของคนอื่น หากความหนาแน่นสูงกว่า 3.8 คนต่อตารางเมตร จะเกิดการหยุดชะงักจนกว่าความหนาแน่นลดลงระหว่างขอบเขตความหนาแน่นที่ 0.54 และ 3.8 คนต่อตารางเมตร คนจึงจะเคลื่อนตัวพ้นจุดนั้นได้ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น เป็นแบบเส้นตรง สมการคือ

$$S = k - akD \quad (1)$$

S ความเร็วตามเส้นการเดินทาง (เมตรต่อวินาที)

D ความหนาแน่น (คนต่อตารางเมตร)

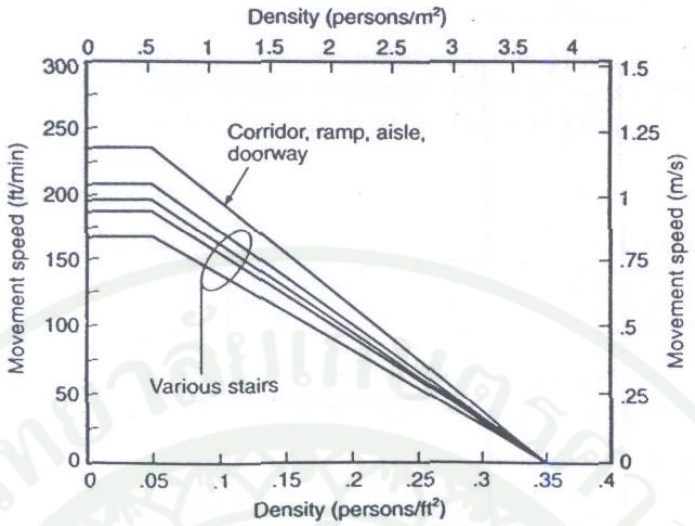
K ค่าคงที่ ตามที่แสดงไว้ในตาราง 3 โดยกำหนดให้

K K2 และ a = 0.266 เมื่อความเร็วที่คำนวณ มีค่าเป็น เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 3 ค่าคงที่สำหรับสมการที่ 1, ความเร็วในการอพยพ

ส่วนประกอบของทางออก		K
ช่องทางเดิน ประตู และทางลาด		1.40
ลูกตั้ง(ซ.ม.)	ลูกนอน(ซ.ม.)	
190	254	1.00
178	279	1.08
165	305	1.16
165	330	1.23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเร็วการอพยพ

จากภาพที่ 5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเร็วการอพยพ ความเร็วกำหนดโดย สมการที่ 2 นั้นอยู่บนเส้นกราฟนี้ สำหรับบันไดค่าความสัมพันธ์อยู่บนแนวทางเดินลูกนอนของบันได ตารางที่ 4 กำหนดตัวคูณสำหรับแปลงค่าในแนวตั้งของบันไดให้เป็นระยะทางตามเส้นการเดินทางบนบันไดและบวกเพิ่มระยะทางบนชานพักบันไดด้วย อัตราความเร็วของการไหลเคลื่อนสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ ค่าความหนาแน่นน้อยกว่า 0.54 คนต่อตารางเมตร แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ตัวแปลงค่าการเดินทางในแนวตั้ง สำหรับบันไดตามเงื่อนไขต่างๆ Conversion Factor

บันได ลูกตั้ง มิลลิเมตร	ลูกนอน มิลลิเมตร	ตัวแปลงค่า มิลลิเมตร
190	254	1.66
178	279	1.85
165	305	2.08
165	330	2.22

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ความเร็วของการไหลเคลื่อนสูงสุด

ส่วนประกอบต่าง ๆ		ความเร็วตามเส้นทางการอพยพ เมตร/วินาที
ช่องทางเดิน ประตู และทางลาด		1.19
บันได ลูกตั้ง	ลูกนอน	
มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	
190	254	0.85
178	279	0.95
165	305	1.00
165	330	1.05

ความเร็วของการไหลเคลื่อนออกสูงสุด เมื่อความหนาแน่นของคนน้อยกว่า 0.54 คนต่อตารางเมตร ดังแสดงไว้ในภาพที่ 5 และตารางที่ 5 ความเร็วการอพยพบนบันไดผันแปรเท่ากับ รากที่สองของอัตราส่วนระหว่าง ความกว้างของขั้นบันได (ลูกนอน) ต่อความสูงของขั้นบันได (ลูกตั้ง)

6.4 อัตรากระแสไหลเคลื่อนเฉพาะ (Specific Flow, Fs)

อัตรากระแสไหลเคลื่อนเฉพาะ คือจำนวนคนที่ไหลเคลื่อนผ่านทางออกจุดหนึ่ง ต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยความกว้างของทางที่ใช้ได้จริง (We) ของเส้นทางออกนั้นๆ สมการ คือ

$$Fs = SD \qquad (2)$$

Fs อัตรากระแสไหลเคลื่อนเฉพาะ (คน/วินาที-เมตร)

D ความหนาแน่น (คนต่อตารางเมตร)

S ความเร็วการเคลื่อนที่ (เมตรต่อวินาที)

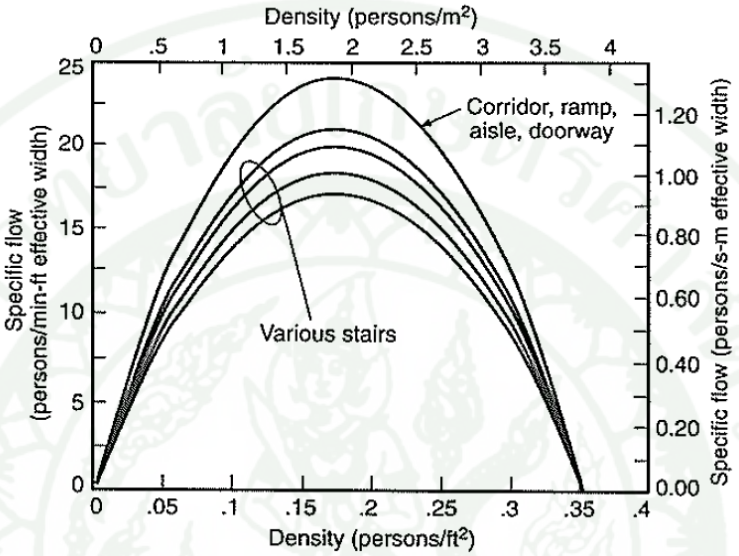
Fs มีหน่วยเป็นคนต่อวินาทีต่อเมตร ขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และความเร็ว

รวมสมการ 1 และ 2 เข้าด้วยกัน

$$Fs = (1 - aD)\, KD \qquad (3)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะกับความหนาแน่นมีความสัมพันธ์กัน จากภาพที่ 6 อธิบายถึง อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อความหนาแน่นมีค่า 1.9 คน ต่อตารางเมตร ของพื้นที่เส้นทางออก



ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะกับความหนาแน่น

จากภาพที่ 6 สำหรับอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะสูงสุด ที่สัมพันธ์กับแต่ละรูปแบบของส่วนต่างๆ ของเส้นทางออกคือช่องทางเดิน ประตูและทางลาด ดูได้จากค่าที่กำหนดในตารางที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะสูงสุด (**Specific Flow Maximum, Fsm**)

ส่วนประกอบต่าง ๆ		ค่า k	อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะสูงสุด Fsm (คน/วินาที)/เมตร
ช่องทางเดิน ประตู และทางลาด		1.40	1.32
บันได			
ลูกตั้ง (มม)	ลูกนอน (มม)		
190	254	1.00	0.85
178	279	1.08	0.94
165	305	1.16	1.00
165	330	1.23	1.05

6.5 อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (Calculation Flow, Fc)

อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ คือจำนวนคนที่คาดการณ์ว่าจะไหลเคลื่อนผ่านจุดใดๆ โดยเฉพาะในเส้นทางออก

สมการสำหรับอัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้คือ

$$Fc = FsWe \quad (4)$$

Fc = อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (คนต่อวินาที)

Fs = อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ (คน/วินาที-เมตร)

We = ความกว้างทางที่ใช้ได้จริง (เมตร)

รวมสมการ 3 และ 4 เข้าด้วยกัน

$$Fc = (1 - aD)\, kDWe \quad (5)$$

Fc มีหน่วยเป็น คนต่อวินาที เมื่อ k = K2 (จากตาราง 6), D มีหน่วยเป็น คนต่อ ตารางเมตร สำหรับ We มีหน่วยเป็นเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.6 เวลาอพยพ (Time of Passage, Tp)

เวลาอพยพ Tp คือ เวลาสำหรับกลุ่มคนที่ผ่านจุดหนึ่งในเส้นทางออก

$$Tp = P/Fc \quad (6)$$

Tp = เวลาสำหรับทางผ่าน (วินาที)
Fc = อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (คนต่อวินาที)
P = ผู้อพยพ (คน)

รวมสมการ 5 และ 6 เข้าด้วยกัน

$$Tp = P / (1 – aD)\, kDWe \quad (7)$$

6.7 จุดเปลี่ยนถ่าย (Transition, T)

จุดเปลี่ยนถ่าย คือจุดใดๆ ในเส้นทางออกของเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลง หรือมีเส้นทางมาบรรจบกัน รูปแบบของจุดเปลี่ยนถ่าย ได้แก่

1) จุดของการไหลเคลื่อนสู่ทางออก 2 กระแส หรือมากกว่ามาบรรจบกัน เช่น การบรรจบกันของกระแสไหลเคลื่อนตัดกันของทางเดินระหว่างที่นั่งในทางออกมาจากจุดอื่นบรรจบกันเพื่อเข้าสู่ทางบันไดที่รองรับคนจากชั้นอื่นๆ

2) ช่องทางเดินเข้าสู่บันได ซึ่งจุดเปลี่ยนถ่าย มี 2 แบบ คือ จุดที่หนึ่งเกิดขึ้นขณะกระแสไหลเคลื่อนหาทางออกผ่านช่องประตู จุดที่สองคือ เมื่อกระแสไหลเคลื่อนผ่านช่องประตูไปสู่บันไดแล้ว

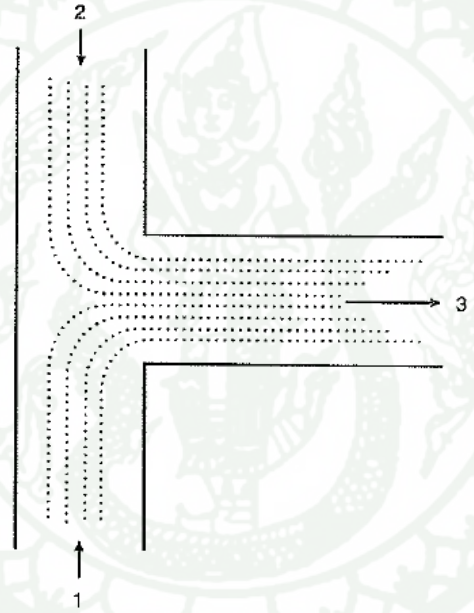
3) จุดเปลี่ยนของเส้นทางออกที่มีการลดหรือเพิ่มขนาดของช่องทางเดิน อาจลดขนาดลงในช่วงระยะทางสั้นๆ ความหนาแน่นที่คำนวณได้ (D) อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ (Fs) จะมีค่าต่างกันทั้งขณะเคลื่อนถึงจนเคลื่อนผ่านจุดนั้นออกไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

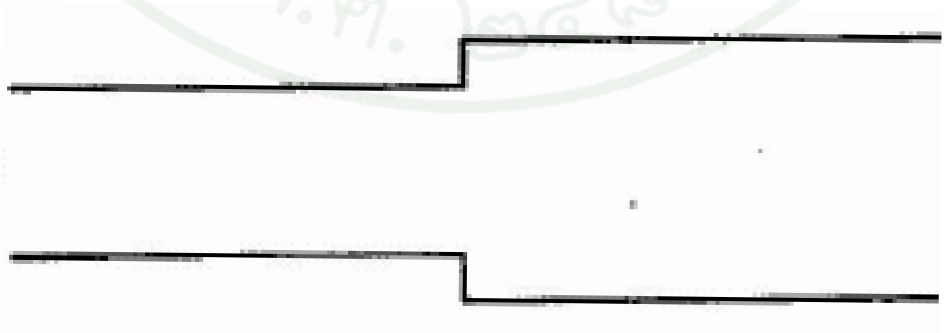
กฎที่ใช้กำหนด ความหนาแน่น และ อัตราการไหลเคลื่อนตามทางผ่านของจุดเปลี่ยนถ่าย

1. อัตราการไหลเคลื่อนหลังจุดเปลี่ยนถ่าย เป็นฟังชั่นของอัตราการไหลเคลื่อน เข้าสู่จุดเปลี่ยนถ่าย

2. อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (Fc) ของจุดเปลี่ยนถ่ายมีค่าต่ำกว่าอัตรากระแสไหลเคลื่อนเฉพาะสูงสุด (Fsm) ของเส้นทางคูณด้วยความกว้างทางที่ใช้ได้จริง (We) ของเส้นทางผ่านนั้นๆ



ภาพที่ 7 กระแสไหลเคลื่อนของทางออกมารวมบรรจบกัน



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนขนาดของช่องทางเดินหนี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ข้อจำกัดของกฎข้อ 2 อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ (Fs) ของเส้นทางที่ออกจากจุดเปลี่ยนถ่าย กำหนดโดยสมการ ดังนี้

กรณีมีการไหลเคลื่อนเข้าหนึ่งกระแสและออกหนึ่งกระแสจากจุดเปลี่ยนถ่าย :

$$Fs\ (out) = Fs\ (in)\ We\ (in) / We\ (out) \qquad (8a)$$

Fs (out) การไหลเคลื่อนเฉพาะที่ออกจากจุดเปลี่ยนถ่าย
Fs (in) การไหลเคลื่อนเฉพาะที่มาถึงจุดเปลี่ยนถ่าย
We (in) ช่วงกว้างปลอดสิ่งกีดขวาง ก่อนถึงจุดเปลี่ยนถ่าย
We (out) ช่วงกว้างปลอดสิ่งกีดขวาง หลังผ่านจุดเปลี่ยนถ่าย

กรณีมีการไหลเคลื่อนเข้าสองกระแสและออกจากจุดเปลี่ยนถ่ายหนึ่งกระแส เช่น มีการรวมกันของคนกลุ่มหนึ่งที่ลงบันไดไปแล้วจากนั้นมีอีกกลุ่มหนึ่งเข้ามาอีกหนึ่งกระแส

$$Fs(out) = \{[\ Fs(in)\text{-}1\ \ We(in)\text{-}1] + [Fs(in)\text{-}1\ \ We(in)\text{-}2]\} / We\ (out) \qquad (8b)$$

ตัวอักษรห้อย (In)-1 และ (in)-2 บ่งบอกถึงค่าของ 2 กระแสที่ไหลเข้า

กรณีมีการมีการรวมกันแบบอัตราเรขาคณิต ลักษณะความสัมพันธ์มีรูปแบบ ดังนี้

$$[Fs\ (in\text{-}1)\ We\ (in\text{-}1)] + ...+ [Fs\ (in\text{-}n)\ We\ (in\text{-}n)] = [Fs\ (out\ \text{-}1)\ We\ (out\ \text{-}1)] + ...+ \quad [Fs\ (out\ \text{-}n)\ We\ (out\text{-}n)] \qquad (8c)$$

โดยที่ ตัวอักษร N ในตัวอักษรห้อย (in-n) และ (out-n) บอกถึงจำนวนของเส้นทางขาเข้าและขาออก จากจุดเปลี่ยนถ่าย

4. การไหลเคลื่อนเฉพาะ ที่คำนวณได้ (Fs) สำหรับเส้นทางออกจากจุดเปลี่ยนถ่าย จากสมการในกฎข้อ 3 หากมีค่ามากกว่าอัตรากระแสไหลเคลื่อนเฉพาะสูงสุด (Fsm) ส่งผลให้เกิดการรอคิวขึ้น ณ จุดเปลี่ยนถ่ายของคนในฝั่งขาเข้า จำนวนคนรอคิวเพิ่มสูงขึ้นในอัตราเท่ากับ กระแส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (Fc) ในเส้นที่เข้ามา ลบด้วย กระแสไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ ที่ผ่านจุดเปลี่ยนถ่าย

5. กระแสไหลเคลื่อนออกเฉพาะที่คำนวณได้ (Fs out) น้อยกว่า อัตรากระแสไหลเคลื่อนเฉพาะสูงสุด (Fsm) สำหรับเส้นทางนั้น ยากต่อการคาดเดาว่าเส้นทางที่กำลังเข้ามามีการรวมตัวกันอย่างไร ในเส้นทางนั้นอาจมีการแบ่งสรรกันเพื่อผ่านจุดเปลี่ยนถ่ายในรูปแบบเท่าๆ กัน หรือ อาจมีการใช้สิทธิ์ของเส้นทางหนึ่ง ก่อนอีกเส้นทางได้ สำหรับการคำนวณแบบอนุรักษ์ มีการตั้งสมมุติฐานว่า เส้นทางหนึ่งจะได้รับสิทธิ์ก่อนอีกเส้นทางหนึ่ง หากมีความกังวลจากทั้งสองฝ่ายจำเป็นต้องทำการคำนวณขึ้นมา เพื่อกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขของการไปก่อนไปหลังในแต่ละเส้นทาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เขมณัฏฐ์ (2013) ได้ศึกษาการวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟ และการคำนวณระยะเวลาการอพยพอาคารเทียบเครื่องบิน ทำการจำลองการเคลื่อนที่ของคน โดยตั้งสมมติฐานการเคลื่อนที่ของคนเปรียบเสมือนการเคลื่อนที่ของของไหลที่จะไม่มีการไหลวน ย้อนกลับไปมา โดยการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นจุดปล่อยออกอย่างต่อเนื่อง ไปจนถึงปลายทางที่เป็นจุดปลอดภัย โดยผู้ใช้อาคารเริ่มอพยพออกพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ใช้ค่าตัวแทนที่มีระยะทางการอพยพสู่ทางออกที่ไกลที่สุดของอาคารผู้อพยพ แต่ละคนหนีอย่างเป็นอิสระไม่เป็นกลุ่ม ผลการคำนวณเวลาการอพยพผ่านตามมาตรฐานกำหนด และพบปัญหาเรื่องรูปแบบการจัดร้านค้า ร้านอาหารและเครื่องดื่มไว้ในโซนเดียวกันเพื่อความสะดวกต่อการใช้บริการส่งผลต่อการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารในภายหลัง เมื่อมีจำนวนผู้ใช้อาคารเพิ่มสูงขึ้นเปรียบเทียบกับเส้นทางหนีไฟที่มีอยู่ทำให้ความสามารถของเส้นทางหนีไฟรองรับจำนวนผู้อพยพไม่เพียงพอ จากผลการวิจัยดังกล่าวจึงได้เสนอแนะให้มีการปรับปรุงพื้นที่ร้านค้าภายในอาคารเทียบเครื่องบินควรพิจารณาประเภทร้านค้า ประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร ไม่ควรจัดรูปแบบร้านค้าประเภทที่มีจำนวนผู้ใช้อาคารมากไว้ด้วยกันและควรพิจารณาระยะสัญจร ระยะทางบังคับร่วม และระยะทางปลายตันประกอบไม่ควรเกินค่าที่มาตรฐานกำหนด

เยาลักษณ์ (2011) ทำการศึกษาการคำนวณการหาเวลาการอพยพหนีไฟ กรณีศึกษาอาคารปฏิบัติการวิจัยทางวิศวกรรม ของอาคารสูง 9 ชั้น ด้วยวิธี Hydraulic flow calculation โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานตามวิธีการที่กำหนดในคู่มือ SFPE (Society of fire protection engineer) พบว่าจำนวนทางหนีไฟสามารถรองรับผู้อพยพได้เพียงพอและเหมาะสมทุกชั้น แต่เกิดการรอคิวสูงสุดที่ชั้น 3 เนื่องจากมีจำนวนผู้ใช้อาคารมากกว่าชั้นอื่นๆ ในขณะที่เส้นทางการอพยพมีขนาดเท่ากัน จึงเสนอแนะให้ทำการขยายขนาดประตูเพื่อลดขนาดคอขวด ผลการศึกษาคือการขยายขนาดประตูสามารถลดเวลาในการอพยพลงได้ ทำให้มั่นใจได้ว่าผู้ใช้อาคารมีความปลอดภัยในการอพยพออกนอกอาคารเพิ่มขึ้น

Z.An and M.Ling and X.Hua . (2011) ทำการศึกษาการทดลองและจำลองการอพยพหนีไฟ อาคารสูงของหอพักนักเรียนในวิทยาลัยโดยใช้โปรแกรมจำลอง Building Exodus Evacuation model Software และคำนวณการเปลี่ยนแปลงทางพลศาสตร์ของเวลาในการอพยพ จำนวนผู้อพยพในแต่ละทางเข้าของอาคารซึ่งโปรแกรมสามารถจำลองเวลาในการหนีไฟของแต่ละชั้นได้และสามารถใช้เป็นตัวแทนการอพยพหนีไฟจริงได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมยศ (2010) ทำการศึกษาการพัฒนาโปรแกรมในการจำลองและประเมินเวลาในการอพยพหนีไฟทางบันไดหนีไฟ ตาม NFPA ready reference human behavior in fire emergencies และมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย เนื่องจากการคำนวณเพื่อประเมินเวลาในการอพยพหนีไฟโดยเครื่องคำนวณธรรมดา ระบบสมการมีความซับซ้อนของการจัดลำดับการอพยพ อาจเกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณได้ โปรแกรมที่พัฒนานี้แบ่งการทำงานเป็น 3 ขั้นตอนประกอบไปด้วย ขั้นตอนการรับค่า ขั้นตอนการคำนวณเวลา และขั้นตอนการกำหนดลำดับการอพยพ โดยใช้โปรแกรม Netbeans IDE 6.8 ในการพัฒนาและทำงานโดยระบบโปรแกรม Java ผลการศึกษาพบว่า โปรแกรมสามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการอพยพได้อย่างถูกต้องเมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยมือ จากนั้นนำโปรแกรมไปศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางกายภาพอันได้แก่ ความกว้างของประตูหนีไฟ ความสูงลูกตั้งของบันไดหนีไฟ ความยาวของชานพัก และความสูงระหว่างชั้น ต่อเวลาในการอพยพหนีไฟ พบว่า การเพิ่มความกว้างของประตูหนีไฟมีผลต่อเวลาในการอพยพมากกว่าตัวแปรทางกายภาพอื่น ๆ

โชคดี (2009) ทำการศึกษาโปรแกรมคำนวณเวลาในการอพยพหนีภัยในอาคาร โดยการทำโปรแกรม BETCAL: Building Evacuation Time Calculation Program เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณหาเวลาการอพยพหนีไฟให้ถูกต้องตามมาตรฐาน ให้มีความสะดวกรวดเร็วต่อผู้ใช้งานโปรแกรมและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้โปรแกรม Visual basic ป้อนข้อมูลในการคำนวณ ผลการทดสอบเมื่อใช้ข้อมูล 5 ชุด พบว่าค่าที่ได้เท่ากับการคำนวณมือตามตัวอย่างของ SFPE (Society of fire protection engineer)

บุษกร (2009) ทำการวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟและคำนวณระยะเวลาอพยพโดยวิธี Hydraulic Analogy อาคารใหม่ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ซึ่งเป็นอาคารสูง 6 ชั้น โดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆในการอพยพ ประกอบด้วย จำนวนผู้ใช้อาคาร ระยะสัญจร ระยะทางบังคับร่วม ความกว้างขององค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อการอพยพหนีไฟ และใช้มาตรฐานอ้างอิงในการประเมินจากพระราชบัญญัติควบคุมอาคารของประเทศไทยและ NFPA 101 Life Safety Code ผลการศึกษาพบว่าการอพยพหนีไฟภายในอาคารใช้เวลา 9 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ปลอดภัย ข้อมูลนี้สามารถนำไปใช้ประกอบการออกแบบเส้นทางหนีไฟต่อไปได้

C.Hsin and C.Yuan and Y.Min. (2007) ทำการศึกษาวิธีการตีความหมายของสัญลักษณ์แผนผังอพยพในอาคารพักอาศัย ของชาวจีนไต้หวัน โดยศึกษาเรื่องเวลาของบุคคลทั่วไปเพื่อใช้ใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การอ่านผัง และเวลาเพื่อใช้ในการวางแผนการอพยพ โดยนำมาวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์และผลกระทบต่อเวลาที่ต้องใช้ การทดลองนี้ได้ใช้แบบแปลนของห้างสรรพสินค้า ผลการทดลองพบว่า เวลาในการวางแผนการอพยพใช้เวลามากกว่าเวลาในการอ่านผังอพยพประมาณ 1.1 ถึง 2 เท่า ระยะเวลาที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการตีความผังอพยพและการวางแผนเส้นทางอพยพนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้เวลาในการอ่านผังอพยพนานเท่าไหร่ย่อมส่งผลให้ใช้เวลาในการวางแผนการอพยพมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถที่แตกต่างกันในการตีความหมายระหว่างบุคคลทั่วไปเทียบกับผู้ที่มีความรู้ทางด้านสถาปัตยกรรม บุคคลทั่วไปใช้เวลาการอ่านทำความเข้าใจผังอพยพและวางแผนการอพยพนานกว่าผู้ที่มีความรู้ทางด้านสถาปัตยกรรมประมาณ 2 ถึง 3 เท่า

Q.S.Zhang and M.Liu and C.H.Wu and G.M.Zha (2007) ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง SCM สำหรับทางอพยพของสนามกีฬา (ประเภทที่มี อัฒจันทร์) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเกิดภัยพิบัติของสนามกีฬาบ่งชี้ว่า ความแออัดของเส้นทางการอพยพเป็นสาเหตุหลักที่มักเกิดการบาดเจ็บเนื่องจากการเหยียบกันในขณะเกิดเหตุชุลมุนนั้นแสดงให้เห็นว่าจำนวนผู้อพยพมีความสัมพันธ์กับขนาดของเส้นทางในการอพยพจากผลที่ได้ของการศึกษานี้สามาถนำไปใช้ในการออกแบบแปลนได้

Varas, A., M.D. and J, Rogan. 2006. ทำการศึกษาแบบจำลองสองมิติที่การเคลื่อนที่การอพยพของแต่ละหน่วย (cellular) เพื่อการจำลองการอพยพของฝูงชนจากห้องที่มีสิ่งกีดขวาง และแบบจำลองเป็นแบบไม่จำกัดขอบเขตเพื่ออธิบายตัวแปร เรื่องอาการตกตะลึง โดยการกำหนดความน่าจะเป็นไม่ให้มีการเคลื่อนไหวให้กับหน่วยบางหน่วยเป็นตัวเลือกแบบสุ่ม การพิจารณาประตูทางออกมี สองแบบ คือประตูบานเดี่ยว (ผ่านได้ 1 คน) และประตูบานคู่ (ผ่านได้ทีละ2คน) สำหรับประตูบานคู่ผลการทดลองพบว่าประตูในตำแหน่งของทางออกหลักใช้เวลาในการอพยพสูงสุด การเปลี่ยนประตูบานคู่ด้วยประตูบานเดี่ยวสองบานไม่สามารถลดระยะเวลาในการอพยพลงได้ สำหรับห้องไม่มีสิ่งกีดขวางทางอพยพพบว่าระยะเวลาในการอพยพขึ้นอยู่กบความหนาแน่นและความกว้างของทางปล่อยออก แบบจำลองนี้ให้ผลการทดลองที่ล้มเหลวเมื่อกำหนดให้มีสิ่งกีดขวาง และผลการทดลองพบว่าจุดที่มีการรอคิวเป็นคอขวดส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการอพยพ ดังนั้นการเพิ่มขนาดความกว้างของประตูสามารถลดเวลาในการอพยพลงได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้ คือ (1) ผลการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคาร มาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code (2) ผลการวิเคราะห์ความสามารถของเส้นทางหนีไฟตามข้อกำหนดในมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code (3) ผลการวิเคราะห์เวลาการอพยพหนีไฟด้วยวิธีการคำนวณแบบ hydraulic flow calculation แบบละเอียด

1. ผลการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code

จากการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code พบว่า อาคารเป็นประเภทอาคารใหม่ (New Building) ยังไม่ได้ทำการก่อสร้าง มีการใช้งานอาคารแบบ หลายประเภท

การวิเคราะห์กิจกรรมการใช้งานอาคาร มีการใช้งานอาคารแบบ หลายประเภท ตามข้อกำหนดของ NFPA 101, Life safety code ประกอบด้วย ชุมนุมคน ธุรกิจ พักอาศัย อุตสาหกรรม และเก็บของ

อาคารเป็นอาคาร 11 ชั้น ซึ่งประกอบด้วยทางหนีไฟหลัก 3 บันได สำหรับใช้เป็นทางหนีไฟภายในอาคาร

จากการคำนวณพบว่าจำนวนผู้ใช้อาคาร แต่ละชั้น มีจำนวน 387 – 697 คน สำหรับผลการคำนวณตามมาตรฐาน NFPA 101, Life safety code พบว่ามีผู้ใช้อาคาร จำนวนแตกต่างกัน ดังตารางที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น Ground floor มีพื้นที่ทั้งหมด 2,325.6 ตารางเมตร

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ธนาคารกรุงเทพ	ธุรกิจ	200.0	9.3	22	ธุรกิจ
ห้องอาหาร	ร้านค้า	237.0	2.8	85	ชุมนุมคน
ห้องระบบสื่อสาร	ธุรกิจ	10.0	9.3	2	ธุรกิจ
ห้อง AHU	อุตสาหกรรม	61.6	9.3	7	ธุรกิจ
ห้องเก็บพัสดุ	เก็บของ	17.5	46.5	1	ธุรกิจ
ห้อง PUMP	อุตสาหกรรม	17.5	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องขยะเปียก	เก็บของ	17.5	46.5	1	ธุรกิจ
ห้องขยะแห้ง	เก็บของ	17.5	46.5	1	ธุรกิจ
ไปรษณีย์	ธุรกิจ	60.5	9.3	7	ธุรกิจ
ร้านค้า A	ร้านค้า	176	2.8	63	ชุมนุมคน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ร้านค้า B	ร้านค้า	60	2.8	22	ธุรกิจ
ห้อง Security control	ธุรกิจ	63	9.3	7	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab	การศึกษา	139.5	4.6 net	31	ธุรกิจ
	รวม	1,077.6		251	

<u>หมายเหตุ</u> พื้นที่ทั้งหมดของชั้น Ground floor คือ 2,325.6 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ทุกห้องรวมกันเท่ากับ 1,077.6 ตารางเมตร เหลือเป็นพื้นที่ทางเดินบันไดหนีไฟ และอื่น ๆ อีก 1,248 ตารางเมตร ดังนั้น มีจำนวนคนเท่ากับ 1,248 /2.8 = 446 คน รวมจำนวนคนทั้งชั้นเท่ากับ 446 + 251 = 697 คน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 1 มีพื้นที่ทั้งหมด 2,325.6 ตารางเมตร

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
สำนักงาน 1	ธุรกิจ	75.2	9.3	8	ธุรกิจ
สำนักงาน 2	ธุรกิจ	75.2	9.3	8	ธุรกิจ
สำนักงาน 3	ธุรกิจ	75.2	9.3	8	ธุรกิจ
ห้องระบบสื่อสาร	ธุรกิจ	10	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องไฟฟ้า	อุตสาหกรรม	8.64	9.3	1	ธุรกิจ
เตรียมอาหาร	ธุรกิจ	10	9.3	2	ธุรกิจ
ร้านค้า A	ร้านค้า	132.8	5.6	24	ธุรกิจ
ร้านค้า B	ร้านค้า	60.3	5.6	11	ธุรกิจ
	รวม	447.34		67	

<u>หมายเหตุ</u> พื้นที่ทั้งหมดของชั้น 1 คือ 2,325.6 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ทุกห้องรวมกันเท่ากับ 447.34 ตารางเมตร เหลือเป็นพื้นที่ทางเดิน บันไดหนีไฟ และอื่น ๆ อีก 1,878.26 ตารางเมตร ดังนั้น มีจำนวนคนเท่ากับ 1,878.26 /5.6 = 336 คน รวมจำนวนคนทั้งชั้นเท่ากับ 336 + 67 = 403 คน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 2 มีพื้นที่ทั้งหมด 2,325.6 ตารางเมตร

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ห้อง Dry lab/ Wet lab 1	เพื่อการศึกษา	79.2	4.6 net	18	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab/ Wet lab 2	เพื่อการศึกษา	79.2	4.6 net	18	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab/ Wet lab 3	เพื่อการศึกษา	79.2	4.6 net	18	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab/ Wet labใหญ่	เพื่อการศึกษา	130	4.6 net	29	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 1	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 2	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 3	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 4	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 5	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 6	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 7	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 8	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ห้อง Wet lab 9	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 10	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 11	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 12	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 13	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 14	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้องประชุม 1	ชุมนุมคน	15.75	1.4 net	12	ธุรกิจ
ห้องประชุม 2	ชุมนุมคน	15.75	1.4 net	12	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 1	ชุมนุมคน	10	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 2	ชุมนุมคน	8.46	9.3	1	ธุรกิจ
ห้องระบบสื่อสาร	ธุรกิจ	10	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องระบบไฟฟ้า	อุตสาหกรรม	8.64	9.3	1	ธุรกิจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
	รวม	1,180.2		281	

หมายเหตุ พื้นที่ทั้งหมดของชั้น 2 คือ 2,325.6 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ทุกห้องรวมกันเท่ากับ 1,180.2 ตารางเมตร เหลือเป็นพื้นที่ทางเดิน บันไดหนีไฟ และอื่น ๆ อีก 1,145.4 ตารางเมตร ดังนั้น มีจำนวนคนเท่ากับ 1,145.4 /9.3 = 124 คน รวมจำนวนคนทั้งชั้นเท่ากับ 281 + 124 = 405 คน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 3 มีพื้นที่ทั้งหมด 2,325.6 ตารางเมตร

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ห้อง Dry lab/ Wet lab 1	เพื่อการศึกษา	79.2	4.6 net	18	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab/ Wet lab 2	เพื่อการศึกษา	79.2	4.6 net	18	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab/ Wet lab 3	เพื่อการศึกษา	79.2	4.6 net	18	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab/ Wet lab ใหญ่	เพื่อการศึกษา	130	4.6 net	29	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 1	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 2	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 3	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 4	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 5	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 6	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 7	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ห้อง Wet lab 8	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 9	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 10	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 11	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 12	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 13	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 14	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 1	ชุมนุมคน	10	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 2	ชุมนุมคน	8.64	9.3	1	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 3	ชุมนุมคน	9	9.3	1	ธุรกิจ
ห้อง ระบบสื่อสาร	ธุรกิจ	10	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องไฟฟ้า	อุตสาหกรรม	8.64	9.3	1	ธุรกิจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ห้อง A/C unit	อุตสาหกรรม	104.5	9.3	14	ธุรกิจ
ห้อง Server room	อุตสาหกรรม	61.75	9.3	7	ธุรกิจ
	รวม	1,324.13		279	

หมายเหตุ พื้นที่ทั้งหมดของชั้น 3 คือ 2,325.6 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ทุกห้องรวมกันเท่ากับ 1,211.43 ตารางเมตร เหลือเป็นพื้นที่ทางเดิน บันไดหนีไฟ และอื่น ๆ อีก 1,001.47 ตารางเมตร ดังนั้น มีจำนวนคนเท่ากับ 1,001.47 /9.3 = 108 คน รวมจำนวนคนทั้งชั้นเท่ากับ 279 + 108= 387 คน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 4,6,8,9,10 มีพื้นที่ทั้งหมด 2,325.6 ตารางเมตร

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ห้อง Dry lab/ Wet lab 1	เพื่อการศึกษา	158.4	4.6 net	35	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab/ Wet lab 2	เพื่อการศึกษา	79.2	4.6 net	18	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab/ Wet lab ใหญ่	เพื่อการศึกษา	130	4.6 net	29	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 1	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 2	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 3	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 4	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 5	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 6	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 7	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 8	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab 1	เพื่อการศึกษา	71.25	4.6 net	16	ธุรกิจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ห้อง Dry lab 2	เพื่อการศึกษา	142.5	4.6 net	31	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab 3	เพื่อการศึกษา	142.5	4.6 net	31	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 1	ชุมนุมคน	10	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 2	ชุมนุมคน	8.64	9.3	1	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 3	ชุมนุมคน	9	9.3	1	ธุรกิจ
ห้องระบบสื่อสาร	ธุรกิจ	10	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องประชุม 1	ชุมนุมคน	15.75	1.4 net	12	ธุรกิจ
ห้องระบบไฟฟ้า	อุตสาหกรรม	8.64	9.3	1	ธุรกิจ
	รวม	1,517.88		341	

<u>หมายเหตุ</u> พื้นที่ทั้งหมดของชั้น 4,6,8,9,10 คือ 2,325.6 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ทุกห้องรวมกันเท่ากับ 1,517.88 ตารางเมตร เหลือเป็นพื้นที่ทางเดิน บันไดหนีไฟ และอื่น ๆ อีก 807.72 ตารางเมตร ดังนั้น มีจำนวนคนเท่ากับ 807.72 /9.3 = 87 คน รวมจำนวนคนทั้งชั้นเท่ากับ 87+ 341 = 428 คน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 5,7 มีพื้นที่ทั้งหมด 2,325.6 ตารางเมตร

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ห้อง Dry lab/ Wet lab 1	เพื่อการศึกษา	158.4	4.6 net	35	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab/ Wet lab 2	เพื่อการศึกษา	79.2	4.6 net	18	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab/ Wet lab ใหญ่	เพื่อการศึกษา	130	4.6 net	29	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 1	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 2	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 3	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 4	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 5	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 6	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 7	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 8	เพื่อการศึกษา	104	4.6 net	23	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab 1	เพื่อการศึกษา	71.25	4.6 net	16	ธุรกิจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ห้อง Dry lab 2	เพื่อการศึกษา	142.5	4.6 net	31	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab 3	เพื่อการศึกษา	142.5	4.6 net	31	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 1	ชุมนุมคน	10	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 2	ชุมนุมคน	8.64	9.3	1	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 3	ชุมนุมคน	9	9.3	1	ธุรกิจ
ห้องระบบสื่อสาร	ธุรกิจ	10	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องประชุม	ชุมนุมคน	40.5	1.4 net	29	ธุรกิจ
ห้องระบบไฟฟ้า	อุตสาหกรรม	8.64	9.3	1	ธุรกิจ
	รวม	1,542.63		358	

หมายเหตุ พื้นที่ทั้งหมดของชั้น 4,6,8,9,10 คือ 2,325.6 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ทุกห้องรวมกันเท่ากับ 1,517.88 ตารางเมตร เหลือเป็นพื้นที่ทางเดิน บันไดหนีไฟ และอื่น ๆ อีก 807.72 ตารางเมตร ดังนั้น มีจำนวนคนเท่ากับ 807.72 /9.3 = 87 คน รวมจำนวนคนทั้งชั้นเท่ากับ 87+ 341 = 428 คน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 แสดงการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารชั้น 11 มีพื้นที่ทั้งหมด 2,325.6 ตารางเมตร

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ห้องระบบไฟฟ้า	อุตสาหกรรม	8.64	9.3	1	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab ใหญ่	เพื่อการศึกษา	130	4.6 net	29	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab / Wet lab1	เพื่อการศึกษา	79.2	4.6 net	18	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab / Wet lab1	เพื่อการศึกษา	79.2	4.6 net	18	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab / Wet lab1	เพื่อการศึกษา	79.2	4.6 net	18	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab 1	เพื่อการศึกษา	71.25	4.6 net	16	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab 2	เพื่อการศึกษา	71.25	4.6 net	16	ธุรกิจ
ห้อง Dry lab 3	เพื่อการศึกษา	71.25	4.6 net	16	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 1	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 2	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 3	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 4	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
ห้อง Wet lab 5	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 6	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 7	เพื่อการศึกษา	54	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 12	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 13	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
ห้อง Wet lab 14	เพื่อการศึกษา	52	4.6 net	12	ธุรกิจ
หอพัก 1	ห้องพัก	11.1	18.6	1	ห้องพัก
หอพัก 2	ห้องพัก	11.1	18.6	1	ห้องพัก
หอพัก 3	ห้องพัก	11.1	18.6	1	ห้องพัก
หอพัก 4	ห้องพัก	11.1	18.6	1	ห้องพัก
หอพัก 5	ห้องพัก	11.1	18.6	1	ห้องพัก
หอพัก 6	ห้องพัก	11.1	18.6	1	ห้องพัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ชื่อห้อง / สถานที่	กิจกรรมการใช้อาคาร (Use)	พื้นที่ (m^2)	ปัจจัยความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)(m^2/คน)	จำนวนคน Occupant load (คน)	พื้นที่ครอบครอง (Occupancy)
หอพัก 7	ห้องพัก	11.1	18.6	1	ห้องพัก
หอพัก 8	ห้องพัก	11.1	18.6	1	ห้องพัก
ห้องเตรียมอาหาร 1	ชุมนุมคน	10	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องเตรียมอาหาร 2	ชุมนุมคน	8.46	9.3	1	ธุรกิจ
ห้องระบบสื่อสาร	ธุรกิจ	10	9.3	2	ธุรกิจ
ห้องระบบไฟฟ้า	อุตสาหกรรม	8.64	9.3	1	ธุรกิจ
ห้องประชุม	ชุมนุมคน	40.5	1.4 net	29	ธุรกิจ
	รวม	1,491.75		342	

หมายเหตุ พื้นที่ทั้งหมดของชั้น 11 คือ 2,325.6 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ทุกห้องรวมกันเท่ากับ 1,491.75 ตารางเมตร เหลือเป็นพื้นที่ทางเดิน บันไดหนีไฟ และอื่นๆ อีก 833.85 ตารางเมตร ดังนั้น มีจำนวนคนเท่ากับ 833.85 /9.3 = 90 คน รวมจำนวนคนทั้งชั้นเท่ากับ 90 + 342 = 431 คน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารอาคารสูงประเภทพื้นที่ครอบครองแบบธุรกิจ มีจำนวนรวม 5,349 คน แบ่งประเภทการใช้งานอาคารเป็นการใช้งานแบบหลายประเภท โดยแสดงประเภทการใช้งานในแต่ละชั้น ดังนี้

ตารางที่ 14 แสดงประเภทการใช้งานอาคารในแต่ละชั้น

ชั้นที่	จำนวนคน	เส้นทางหนีไฟที่มี	ประเภทการใช้งานหลายแบบในแต่ละชั้น Multiple Occupancy consisting
G	697	3	Mixed Occupancy (Assembly, Business)
1	403	3	Business
2	405	3	Business
3	387	3	Business
4	428	3	Business
5	443	3	Business
6	428	3	Business
7	443	3	Business
8	428	3	Business
9	428	3	Business
10	428	3	Business
11	431	3	Mixed Occupancy (Residential, Business)

จากตารางที่ 14 แสดงผลการคำนวณจำนวนผู้ใช้งานอาคาร โดยชั้น Ground floor และชั้น 11 การใช้งานอาคารจัดเป็นประเภท Mixed occupancy สำหรับชั้น 1- ชั้น 10 เป็นการใช้งานแบบธุรกิจ ประเภทการใช้งานในอาคารมีผลต่อ ระยะสัญจร ระยะทางบังคับร่วม และระยะทางปลายตันต้องไม่เกินค่าที่กำหนดในมาตรฐาน หากการใช้งานอาคารเป็นประเภท Mixed occupancy ต้องเลือกค่าระยะทางเกณฑ์ต่ำสุดระหว่างประเภทการใช้งานสำหรับชั้นนั้นๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของเส้นทางหนีไฟ (Capacity of Mean of Egress)

ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life safety code ระบุให้มีจำนวนเส้นทางหนีไฟไม่น้อยกว่า 2 เส้นทาง ในแต่ละชั้นของอาคารและพิจารณาตามจำนวนผู้ใช้อาคารแล้วจะต้องจัดเตรียมจำนวนเส้นทางหนีไฟให้มีความเหมาะสมตามจำนวนคน ดังนี้

จำนวนบุคคลไม่เกิน 500 คน	ต้องมีไม่ต่ำกว่า	2 เส้นทาง
จำนวนบุคคลเกิน 500 คน แต่ไม่เกิน 1,000 คน	ต้องมีไม่ต่ำกว่า	3 เส้นทาง
จำนวนบุคคลเกิน 1,000 คน	ต้องมีไม่ต่ำกว่า	4 เส้นทาง

การคำนวณหาความสามารถของเส้นทางหนีไฟ (Capacity of Mean of Egress) ตามมาตรฐาน NFPA101, Life safety code ระบุให้ใช้ค่าตัวเลขตัวประกอบความสามารถในการคำนวณขนาดช่องผ่านของเส้นทางหนีไฟแนวราบและทางลาด (Capacity factor) ตามตารางที่ 9 มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อคน โดยตัวประกอบความสามารถของเส้นทางหนีไฟมีค่าแตกต่างกันตามประเภทกิจกรรมการใช้งานอาคารนั้นๆ ดังนี้

ตารางที่ 15 ตัวประกอบความสามารถของเส้นทางหนีไฟ (Capacity factor)

ประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร	บันได (ความกว้างต่อคน) มิลลิเมตร	ทางราบและทางลาดชัน (ความกว้างต่อคน) มิลลิเมตร
ที่อยู่อาศัยและให้การดูแลรักษาพยาบาล	10	5
รักษาพยาบาล(ติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง)	7.6	5
รักษาพยาบาล(ไม่ได้ติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง)	15	13
มีวัสดุอันตรายสูง	18	10
สถานที่อื่นๆ	7.6	5

ที่มา: Life safety code (2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมการคำนวณหาความสามารถของเส้นทางหนีไฟ มีดังนี้

Component capacity	=	Clear with / Capacity factor
Component capacity		ความสามารถของส่วนประกอบเส้นทางหนีไฟ (คน)
Clear with		ความกว้างจริง
Capacity factor		ตัวประกอบความสามารถ (มิลลิเมตร / คน)

การคำนวณหาความสามารถของเส้นทางหนีไฟของกลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย กิจกรรมการใช้งานอาคารเป็นสถานที่อื่นๆ คือช่องผ่าน ทางลาดและประตูมีตัวประกอบความสามารถเท่ากับ 7.6 มิลลิเมตรต่อคน สำหรับบันไดมีตัวประกอบความสามารถเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อคน ดังนั้นเมื่อนำตัวประกอบความสามารถในเส้นทางหนีไฟใช้ในการคำนวณได้ผล ดังนี้

อาคารชั้น 1- 11 มีเส้นทางหนีไฟ 3 เส้นทาง เส้นทางแรกเป็นบันไดสำหรับขึ้นลงทางด้านหน้าของอาคาร D คือบันได ST09 กว้าง 1.60 เมตร ทางที่สองเป็นบันไดภายในอาคารคือบันได ST08 กว้าง 1.50 เมตร ทางที่สามเป็นบันไดสำหรับขึ้นลงทางด้านหลังของอาคารคือบันได ST10 กว้าง 1.30 เมตร จากข้อมูลสามารถคำนวณขีดความสามารถในการหนีไฟของเส้นทางหนีไฟ ได้ดังนี้

ช่องทางผ่านสู่ประตูบันได ST09 2.250 / 5 = 450 คน

ประตูสู่บันไดหนีไฟ ST09 900/5 = 180 คน

บันไดสำหรับขึ้นลงทางด้านหน้าของอาคาร ST09 1,600 / 7.6 = 210 คน

ช่องทางผ่านสู่ประตูบันได ST08 2.250 / 5 = 450 คน

ประตูสู่บันไดหนีไฟ ST08 900/5 = 180 คน

บันไดภายในอาคาร ST08 1,500 / 7.6 = 197 คน

ช่องทางผ่านสู่ประตูบันได ST10 2.250 / 5 = 450 คน

ประตูสู่บันไดหนีไฟ ST10 900/5 = 180 คน

บันไดสำหรับขึ้นลงทางด้านหลังของอาคาร ST10 1,300 / 7.6 = 171 คน

ชั้น 1-11 บันไดทั้ง 3 ทาง สามารถรองรับผู้อพยพได้ 180 + 180 + 171 = 531 คน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชั้น Ground floor มีเส้นทางหนีไฟ 3 เส้นทาง ไม่ผ่านบันไดเป็นเส้นทางออกในแนวราบ เส้นทางแรกด้านหน้าของอาคาร D ช่องผ่านแรก ST09 มีความกว้าง 2.25 เมตร เส้นทางที่สองช่องผ่าน ST08 มีความกว้าง 2.25 เมตร และเส้นทางที่สามช่องผ่าน ST10 มีความกว้าง 2.15 เมตร คำนวณขีดความสามารถในการหนีไฟของเส้นทางหนีไฟ ได้ดังนี้

เส้นทางแรก ;	ช่องผ่าน ST09 มีความกว้าง	2.250 / 5	=	450	คน
เส้นทางที่สอง ;	ช่องผ่าน ST08 มีความกว้าง	2.250 / 5	=	450	คน
ทางทีสาม ;	ช่องผ่าน ST10 มีความกว้าง	2.150 / 5	=	430	คน

ชั้น Ground floor ทางหนีไฟทั้งสามเส้นทางสามารถรองรับผู้อพยพได้ 450 + 450 + 430 = 1,330 คน

ตารางที่ 16 สรุปจำนวนผู้อพยพในแต่ละชั้น จำนวนเส้นทางหนีไฟที่ต้องการตามมาตรฐาน และขีดความสามารถในการหนีไฟ

ชั้นที่	จำนวนคน	เส้นทางหนีไฟตามมาตรฐาน (ทาง)	เส้นทางหนีไฟที่มีอยู่จริง (ทาง)	เส้นทางหนีไฟรองรับคนได้รวม (คน)	ข้อสรุป
G	697	3	3	1,330	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้
1	403	2	3	531	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้
2	405	2	3	531	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้
3	387	2	3	531	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้
4	428	2	3	531	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้
5	443	2	3	531	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ชั้นที่	จำนวนคน	เส้นทางหนีไฟตามมาตรฐาน (ทาง)	เส้นทางหนีไฟที่มีอยู่จริง (ทาง)	เส้นทางหนีไฟรองรับคนได้รวม (คน)	ข้อสรุป
9	428	2	3	531	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้
10	428	2	3	531	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้
11	431	2	3	531	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้
6	428	2	3	531	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้
7	443	2	3	531	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้
8	428	2	3	531	เส้นทางหนีไฟเพียงพอรองรับผู้อพยพในชั้นนี้ได้

จากตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ขีดความสามารถของเส้นทางหนีไฟ พบว่าอาคารทุกชั้นมีเส้นทางหนีไฟเพียงพอและสามารถรองรับผู้อพยพไปสู่พื้นที่ปลอดภัยได้ตามมาตรฐาน NFPA 101,Life safety code

3. ผลการวิเคราะห์เวลาการอพยพหนีไฟด้วยวิธีการคำนวณแบบ Hydraulic flow calculation แบบละเอียด (Evacuation time calculation)

การคำนวณเวลาในการเดินทางจะใช้วิธีการคำนวณการไหลของฝูงชนตามหลักชลศาสตร์ (Hydraulic flow calculation) โดยใช้ตัวแปรร่วมกันหลายตัวแปรในการคำนวณ ประกอบด้วย ความกว้างที่ใช้ได้จริง (effective width, We) ความหนาแน่น (density, D) ความเร็วในการอพยพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(speed, S) อัตราการไหลจำเพาะ (specific flow, Fs) อัตราการไหลที่คำนวณได้ (calculated flow, Fc) และเวลาในการอพยพ (passage time)

เวลาในการอพยพหนีไฟของแต่ละคน นับเวลาตั้งแต่ผู้พักอาศัยในอาคารอพยพออกจากอาคารจนถึงสถานที่ปลอดภัย มีองค์ประกอบ 4 อย่างเพื่อใช้ในการพิจารณาร่วมกัน ดังนี้ (1) เวลาในการรับรู้เหตุเพลิงไหม้ (2) เวลาในการแสดงปฏิกิริยา (3) เวลาในการเตรียมการอพยพหนีไฟ (4) เวลาในการเคลื่อนย้าย สามองค์ประกอบแรกรวมกันเรียกว่า เวลาที่ล่าช้า หรือเวลาเตรียมการเคลื่อนย้าย ซึ่งไม่ควรประเมินค่าเวลาที่ล่าช้า ต่ำเกินไปอาจส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการอพยพทั้งหมด และไม่ทำการคำนวณหาเวลาอพยพที่ชั้น Ground floor เพราะสามารถอพยพออกนอกอาคารได้ทันทีในแนวราบ และไม่มีผลต่อเวลาการอพยพชั้นอื่นเพราะประตูหนีไฟมีการปิดกั้นแบบผลักออกจากคนภายในอาคารทำให้บุคคลชั้น Ground floor นี้ไม่สามารถเข้าไปได้

4. การคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ แบบละเอียด

การคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟใช้เกณฑ์มาตรฐานตามวิธีการที่กำหนดในคู่มือของ SFPE (Society of fire protection engineer) โดยใช้การคำนวณแบบละเอียด ด้วยวิธี Hydraulic flow calculation ในคู่มือได้กำหนดสมการโดยการคาดการณ์เวลาสถิติจากการเฝ้าสังเกต การอพยพในอาคารสูง 8 ถึง 21 ชั้น จึงสรุปผลได้สมการคำนวณเวลาไว้ดังนี้

1. สมการแรก ใน $T = 0.70 + 0.0133p$

T คือ เวลาน้อยสุดที่จะทำการอพยพทางบันไดโดยไม่มีการควบคุม
P คือจำนวนคนที่อพยพจริงต่อเมตรของความกว้างที่ใช้ได้จริงของบันได

(ใช้ สำหรับจำนวนคนต่อเมตรของความกว้างบันไดที่ใช้ได้จริงเกินกว่า 800 คน)

2. สมการที่สอง $T = 2.00 + 0.0117p$

T คือ เวลาน้อยสุดที่จะทำการอพยพทางบันไดโดยไม่มีการควบคุม
P คือจำนวนคนที่อพยพจริงต่อเมตรของความกว้างที่ใช้ได้จริงของบันได

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ใช้สำหรับ จำนวนคนต่อเมตรของบันไดที่มีความกว้างที่ใช้ได้จริง น้อยกว่า 800 คน)

จากทั้งสองสมการดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยไม่นำมาใช้สำหรับงานวิจัยนี้แต่เลือกใช้วิธีการคำนวณตามข้อกำหนดตามมาตรฐาน NFPA101 โดยการกำหนดให้ผู้ใช้อาคารอพยพออกสู่ทางออกพร้อมกัน โดยใช้ค่าตัวแทนที่มีระยะทางการอพยพสู่ทางออกที่ไกลที่สุดของอาคาร เพื่อนำไปคำนวณหาค่าเวลาที่ใช้ในการอพยพสู่ทางออกแต่ละห้องในอาคาร

การนำเสนอแนวคิดการคำนวณหาระยะเวลาการอพยพจะทำการคำนวณทีละชั้นเพื่อหาระยะทางจากจุดที่ไกลที่สุดในห้องที่คนสามารถเข้าไปอยู่ได้ ถึงประตูทางออกจากห้อง (Common path of Travel) ตามวิธีการในข้อกำหนดของ NFPA 101 จึงได้ระยะทางในการอพยพ จากนั้นคำนวณหาความหนาแน่นและความเร็วในแต่ละห้อง ดังแสดงในสมการ

ความหนาแน่น ,D = จำนวนคน / พื้นที่

ตั้งสมมติฐาน

1. กำหนดให้ผู้อพยพทำการอพยพออกสู่เส้นทางออกแต่ละเส้นทางในจำนวนที่เท่าๆ กันตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA101

2. กำหนดให้ผู้ใช้อาคารอพยพออกสู่ทางออกพร้อมกัน โดยใช้ค่าตัวแทนที่มีระยะทางการอพยพสู่ทางออกที่ไกลที่สุดของอาคาร เพื่อนำไปคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการอพยพสู่ทางออกแต่ละห้องในอาคาร

3. ใช้ค่าต่ำสุดของช่องทางออกที่น้อยที่สุดเป็นค่าตัวแทนในการคำนวณเวลาการอพยพตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA101

4.แนวคิดค่าความหนาแน่น (D)ภายในห้อง ในห้องที่มีประตูทางออกมากกว่า 1 ทาง นำจำนวนประตูทางออกที่มีมาหารค่าความหนาแน่นภายในห้อง

5.แนวคิดเวลาการอพยพ (Tp) ผลจากจำนวนคนหารด้วยค่าอัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (Fc) เนื่องจากการใช้งานอาคารของแต่ละห้องนั้น มีส่วนหนึ่งของห้องที่มีประตูทางออกมากกว่า 1 ประตู นั่นหมายความว่าเวลาการอพยพต้องลดลงด้วยตามจำนวนประตูทางออกที่มีโดยการนำเวลาการอพยพหารด้วยจำนวนประตูทางออก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากสมการความหนาแน่นภายในห้อง , D เมื่อมีประตูทางออกมากกว่า 1 ทาง

หาได้จาก D = ความหนาแน่น / จำนวนประตูทางออก

เมื่อได้ความหนาแน่นของแต่ละห้องแล้ว นำไปคำนวณหาความเร็วที่ใช้ในการอพยพ

จากสมการที่ 1, ความเร็ว , S = k-akD

เวลา = ระยะทาง / ความเร็ว

k ค่าคงที่ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 ของสมการที่ 1 โดยให้

k k1 และ a = 2.86 เมื่อ การคำนวณความเร็วที่มีหน่วยเป็น ฟุตต่อนาที

k k2 และ a = 0.266 เมื่อ การคำนวณความเร็วที่มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

จากนั้นหาอัตรากระแสไหลเคลื่อนเฉพาะ คือจำนวนคนที่ไหลเคลื่อนผ่านทางออกจุดหนึ่ง ต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยความกว้างของทางที่ใช้ได้จริง (We) ของประตูห้องนั้นๆ

จากสมการที่ 2

Fs = SD

Fs อัตรากระแสไหลเคลื่อนเฉพาะ (คน/วินาที-เมตร)

D ความหนาแน่น (คนต่อตารางเมตร)

S ความเร็วการเคลื่อนที่ (เมตรต่อวินาที)

Fs มีหน่วยเป็นคนต่อวินาทีต่อเมตร ขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และความเร็ว

รวมสมการ 1 และ 2 เข้าด้วยกัน

สมการที่ 3

Fs = (1 – aD) KD

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ คือจำนวนคนที่คาดการณ์ว่าจะไหลเคลื่อนผ่านจุดใดๆ โดยเฉพาะในเส้นทางออก

สมการสำหรับอัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้คือ

สมการที่ 4

$$\mathbf{Fc = FsWe}$$

Fc = อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (คนต่อวินาที)

Fs = อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ (คน/วินาที-เมตร)

We = ความกว้างทางที่ใช้ได้จริง (เมตร)

รวมสมการ 3 และ 4 เข้าด้วยกัน

สมการที่ 5

$$\mathbf{Fc = (1 - aD)\ kDWe}$$

เวลาอพยพ Tp คือ เวลาสำหรับกลุ่มคนที่ผ่านจุดหนึ่งในเส้นทางออก

สมการที่ 6

$$\mathbf{Tp = P/Fc}$$

Tp = เวลาสำหรับทางผ่าน (วินาที)

Fc = อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (คนต่อวินาที)

P = ผู้อพยพ (คน)

จากแนวคิด มีประตูมากกว่า 1 ประตู นำผลเวลาสำหรับทางผ่าน (Tp) มาหารด้วยจำนวนประตูทางออกในห้องที่มีประตูทางออกมากกว่า 2 ทาง

สมการ $\dfrac{\text{Tp}}{\text{จำนวนประตูทางออก}}$

นำผลการคำนวณเวลารวมทั้ง 2 มารวมกันจะได้ระยะเวลาการอพยพรวมของแต่ละห้อง เพื่อประเมินผลว่าห้องใดใช้ระยะเวลานานที่สุดในแต่ละชั้น จากนั้นนำค่าที่ได้ใช้เป็นค่าตัวแทนกรณีเกิดเหตุได้รุนแรงที่สุด (Worst case) ของอาคาร ผลการคำนวณในตารางที่ 17

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพสู่ทางออกนานที่สุดของแต่ละชั้นของอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคนp(คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
G	ธนาคารกรุงเทพ	200	22	2	0.06	1.19	27.8	23.36
	ห้องอาหาร	237	85	4	0.09	1.19	13	10.92
	ห้องระบบสื่อสาร	10	2	1	0.20	1.19	5.15	4.33
	ห้อง AHU	61.6	7	1	0.11	1.19	15	12.61
	ห้องเก็บพัสดุ	17.5	1	1	0.06	1.19	10	8.40
	ห้อง PUMP	17.5	1	1	0.06	1.19	10	8.40
	ห้องขยะเปียก	17.5	1	1	0.06	1.19	10	8.40
	ห้องขยะแห้ง	17.5	1	1	0.06	1.19	10	8.40
	ไปรษณีย์	60.5	7	1	0.12	1.19	15	12.61
	ร้านค้า A	176	63	1	0.36	1.19	25.3	21.26

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคนp(คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
	ร้านค้า B	60	22	1	0.37	1.19	14.8	12.44
	ห้อง Dry lab	139.5	31	2	0.11	1.19	17.5	14.71
G	ห้อง Security control	63	7	1	0.11	1.19	14.8	12.44
1	สำนักงาน 1	75.2	9	1	0.12	1.19	16.8	14.12
	สำนักงาน 2	75.2	9	1	0.12	1.19	16.8	14.12
	สำนักงาน 3	75.2	9	1	0.12	1.19	16.8	14.12
	ห้องระบบสื่อสาร	10	2	1	0.20	1.19	5.15	4.33
	ห้องไฟฟ้า	8.64	1	1	0.12	1.19	5.2	4.37
	เตรียมอาหาร	10	2	1	0.20	1.19	5.15	4.33
	ร้านค้า A	132.8	24	1	0.18	1.19	19.6	16.47

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
	ร้านค้า B	60.3	11	1	0.18	1.19	14.1	11.85
2	ห้อง Dry lab/							
	Wet lab 1	79.2	18	1	0.23	1.19	17.6	14.79
2	ห้อง Dry lab/							
	Wet lab 2	79.2	18	1	0.23	1.19	17.6	14.79
	ห้อง Dry lab/							
	Wet lab 3	79.2	18	1	0.23	1.19	17.6	14.79
	ห้อง Dry lab/							
	Wet labใหญ่	130	29	1	0.22	1.19	36.5	30.67
	ห้อง Wet lab	54	12					
	1			1	0.22	1.19	20.6	17.31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
	ห้อง Wet lab 2	54	12	1	0.22	1.19	18.5	15.55
	ห้อง Wet lab 3	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 4	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 5	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 6	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)	อัตรากระแสไหลเคลื่อนเฉพาะ (คน/วินาที/เมตร)	ความกว้างที่ใช้ได้จริง (เมตร)	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (คนต่อวินาที)	เวลาอพยพ (วินาที)	เวลารวม (วินาที)
2	ห้อง Wet lab 7	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87					12.50
	ห้อง Wet lab 8	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87					12.50
	ห้อง Wet lab 9	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87					12.60
	ห้อง Wet lab 10	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87					12.60
	ห้อง Wet lab 11	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87					12.60
	ห้อง Wet lab 12	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87					12.60
	ห้อง Wet lab 13	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87					12.60
	ห้อง Wet lab 14	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87					12.60
	ห้องประชุม 1	15.7	12	1	0.76	1.12	10	8.93	0.85	1.60	1.36	8.82	17.75
	ห้องประชุม 2	15.7	12	1	0.76	1.12	10	8.93	0.85	1.60	1.36	8.82	17.75
	ห้องเตรียมอาหาร 1	10	2	1	0.20	1.19	2.34	1.97					1.76
	ห้องเตรียมอาหาร 2	8.46	1	1	0.12	1.19	2.34	1.97					1.72

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
2	ห้องระบบสื่อสาร	10	2	1	0.20	1.19	5.15	4.33
	ห้องระบบไฟฟ้า	8.64	1	1	0.12	1.19	5.2	4.37
3	ห้อง Dry lab/ Wet lab 1	79.2	18	1	0.23	1.19	17.6	14.79
	ห้อง Dry lab/ Wet lab 2	79.2	18	1	0.23	1.19	17.6	14.79
	ห้อง Dry lab/ Wet lab 3	79.2	18	1	0.23	1.19	17.6	14.79
	ห้อง Dry lab/ Wet lab ใหญ่	130	29	1	0.22	1.19	36.5	30.67

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
	ห้อง Wet lab 1	54	12	1	0.22	1.19	20.6	17.31
	ห้อง Wet lab 2	54	12	1	0.22	1.19	18.5	15.55
3	ห้อง Wet lab 3	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 4	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 5	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 6	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 7	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 8	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 9	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 10	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 11	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 12	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
	ห้อง Wet lab 13	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 14	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87
3	ห้องเตรียมอาหาร 1	10	2	1	0.20	1.19	2.34	1.97
	ห้องเตรียมอาหาร 2	8.64	1	1	0.12	1.19	2.34	1.97
	ห้องเตรียมอาหาร 3	9	1	1	0.11	1.19	5	4.20
	ห้องระบบสื่อสาร	10	2	1	0.20	1.19	5.15	4.33
	ห้องระบบไฟฟ้า	8.64	1	1	0.12	1.19	5.2	4.37
	ห้อง A/C unit	104.5	14	1	0.13	1.19	18.5	15.55
	ห้อง Server room	61.75	7	1	0.11	1.19	13.5	11.34
4,6,	ห้อง Dry lab/							
8,9,	Wet lab 1	158.4	35					
10				2	0.11	1.19	18.3	15.38

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	**ชื่อห้อง**	**พื้นที่ห้อง** (ตรม)	**จำนวนคน** (คน)	**จำนวนประตู**	**ความหนาแน่น** (คน/ตรม)	**ความเร็ว Speed** (เมตร/วินาที)	**เส้นทางอพยพ** (เมตร)	**เวลาอพยพถึงทางออก** (วินาที)
	ห้อง Dry lab/ Wet lab 2	79.2	18	1	0.23	1.19	16.8	14.12
4,6,8,9,10	ห้อง Dry lab/ Wet lab ใหญ่	130	29	1	0.22	1.19	36.5	30.67
	ห้อง Wet lab 1	54	12	1	0.22	1.19	20.6	17.31
	ห้อง Wet lab 2	104	23	2	0.11	1.19	17.2	14.45
	ห้อง Wet lab 3	104	23	2	0.11	1.19	17.2	14.45
	ห้อง Wet lab 4	104	23	2	0.11	1.19	15.3	12.86
	ห้อง Wet lab 5	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 6	104	23	2	0.11	1.19	15.3	12.86
	ห้อง Wet lab 7	104	23	2	0.11	1.19	15.3	12.86
	ห้อง Wet lab 8	104	23	2	0.11	1.19	15.3	12.86

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)	อัตรากระแสไหลเคลื่อนเฉพาะ (คน/วินาที/เมตร)	ความกว้างที่ใช้ได้จริง (เมตร)	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ (คนต่อวินาที)	เวลาอพยพ (วินาที)	เวลารวม (วินาที)
	ห้อง Dry lab 1	71.25	16	1	0.22	1.19	17.6	14.79					
	ห้อง Dry lab 3	142.5	31	2	0.11	1.19	17.2	14.45					
4,6,	ห้อง Dry lab 3	142.5	31	2	0.11	1.19	17.2	14.45					
8,9,	ห้องเตรียมอาหาร 1	10	2	1	0.20	1.19	2.34	1.97					
10	ห้องเตรียมอาหาร 2	8.64	1	1	0.12	1.19	2.34	1.97					
	ห้องเตรียมอาหาร 3	9	1	1	0.11	1.19	5	4.20					
	ห้องระบบสื่อสาร	10	2	1	0.20	1.19	5.15	4.33					
	ห้องประชุม 1	15.75	12	1	0.76	1.12	7.5	6.70	0.85	1.60	1.36	8.82	15.52

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู		ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)		เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
	ห้องระบบไฟฟ้า	8.64	1	1	0.12	1.19	5.2	4.37		
5,7	ห้อง Dry lab/ Wet lab 1	158.4	35	2	0.11	1.19	18.3	15.38		
	ห้อง Dry lab/ Wet lab 2	79.2	18	1	0.23	1.19	16.8	14.12		
5,7	ห้อง Dry lab/ Wet lab ใหญ่	130	29	1		0.22	1.19		36.5	30.67
	ห้อง Wet lab 1	54	12	1		0.22	1.19		20.6	17.31
	ห้อง Wet lab 2	104	23	2		0.11	1.19		17.2	14.45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
	ห้อง Wet lab 3	104	23	2	0.11	1.19	17.2	14.45
	ห้อง Wet lab 4	104	23	2	0.11	1.19	15.3	12.86
	ห้อง Wet lab 5	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 6	104	23	2	0.11	1.19	15.3	12.86
	ห้อง Wet lab 7	104	23	2	0.11	1.19	15.3	12.86
	ห้อง Wet lab 8	104	23	2	0.11	1.19	15.3	12.86
	ห้อง Dry lab 1	71.25	16	1	0.22	1.19	17.6	14.79
	ห้อง Dry lab 2	142.5	31	2	0.11	1.19	17.2	14.45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
5,7	ห้อง Dry lab 3	142.5	31	2	0.11	1.19	17.2	14.45
	ห้องเตรียมอาหาร 1	10	2	1	0.20	1.19	2.34	1.97
	ห้องเตรียมอาหาร 2	8.64	1	1	0.12	1.19	2.34	1.97
	ห้องเตรียมอาหาร 3	9	1	1	0.11	1.19	5	4.20
	ห้องระบบสื่อสาร	10	2	1	0.20	1.19	5.15	4.33
	ห้องประชุม	40.5	29	2	0.36	1.19	13	10.92
11	ห้องระบบไฟฟ้า	8.64	1	1	0.12	1.19	5.2	4.37
	ห้อง Dry lab ใหญ่	130	29	1	0.22	1.19	25.2	21.18
	ห้อง Dry lab / Wet lab1	79.2	18	1	0.23	1.19	16.8	14.12
	ห้อง Dry lab / Wet lab1	79.2	18	1	0.23	1.19	16.8	14.12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
11	ห้อง Dry lab / Wet lab1	79.2	18	1	0.23	1.19	16.8	14.12
	ห้อง Dry lab 1	71.25	16	1	0.22	1.19	17.6	14.79
	ห้อง Dry lab 2	71.25	16	1	0.22	1.19	16.8	14.12
	ห้อง Dry lab 3	71.25	16	1	0.22	1.19	16.8	14.12
	ห้อง Wet lab 1	54	12	1	0.22	1.19	20.6	17.31
	ห้อง Wet lab 2	54	12	1	0.22	1.19	18.5	15.55
	ห้อง Wet lab 3	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 4	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 5	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 6	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 7	54	12	1	0.22	1.19	16.5	13.87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	ชื่อห้อง	พื้นที่ห้อง (ตรม)	จำนวนคน (คน)	จำนวนประตู	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว Speed (เมตร/วินาที)	เส้นทางอพยพ (เมตร)	เวลาอพยพถึงทางออก (วินาที)
11	ห้อง Wet lab 12	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 13	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87
	ห้อง Wet lab 14	52	12	1	0.23	1.19	16.5	13.87
	หอพัก 1	11.1	1	1	0.09	1.19	6.2	5.21
	หอพัก 2	11.1	1	1	0.09	1.19	6.2	5.21
	หอพัก 3	11.1	1	1	0.09	1.19	6.2	5.21
	หอพัก 4	11.1	1	1	0.09	1.19	6.2	5.21
	หอพัก 5	11.1	1	1	0.09	1.19	6.2	5.21
	หอพัก 6	11.1	1	1	0.09	1.19	6.2	5.21
	หอพัก 7	11.1	1	1	0.09	1.19	6.2	5.21
	หอพัก 8	11.1	1	1	0.09	1.19	6.2	5.21
	ห้องเตรียมอาหาร 1	10	2	1	0.20	1.19	2.34	1.97

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ชั้นที่	**ชื่อห้อง**	**พื้นที่ห้อง** (ตรม)	**จำนวนคน** (คน)	**จำนวนประตู**	**ความหนาแน่น** (คน/ตรม)	**ความเร็ว Speed** (เมตร/วินาที)	**เส้นทางอพยพ** (เมตร)	**เวลาอพยพถึงทางออก** (วินาที)	**อัตรากระแสไหลเคลื่อนเฉพาะ** (คน/วินาที/เมตร)	**ความกว้างที่ใช้ได้จริง (เมตร)**	**อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้** (คนต่อวินาที)	**เวลาอพยพ** (วินาที)	**เวลารวม** (วินาที)
11	ห้องเตรียมอาหาร 2	8.46	1	1	0.12	1.19	2.34	1.97					
	ห้องระบบสื่อสาร	10	2	1	0.20	1.19	5.15	4.33					
	ห้องระบบไฟฟ้า	8.64	1	1	0.12	1.19	5.2	4.37					
	ห้องประชุม	40.5	29	1	0.72	1.13	12	10.62	0.81	1.6	1.30	22.31	32.93

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ประเมินความหนาแน่น (D) ของอัตราการไหลเคลื่อน ความเร็ว(S) อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ (Fs) ความกว้างที่ใช้ได้จริง (We) และ การคำนวณอัตราการไหลที่คำนวณได้ (Fc) ของอาคารในแต่ละชั้น

พื้นที่ช่องผ่านแต่ละชั้นที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อนำผู้อพยพไปสู่ทางออกจะแตกต่างกันไป แต่ละชั้นดังตารางที่ 19

ความหนาแน่น หาได้จาก D = จำนวนคน / พื้นที่

จากสมการที่ 1, ความเร็ว , S = k - akD

k ค่าคงที่ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 ของสมการที่ 1 โดยให้

k k1 และ a = 2.86 เมื่อ การคำนวณความเร็วที่มีหน่วยเป็น ฟุตต่อนาที

k k2 และ a = 0.266 เมื่อ การคำนวณความเร็วที่มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 18 แสดงจำนวนคนแบ่งออกตามเส้นทางหนีไฟ ขนาดพื้นที่ช่องผ่าน (Corridor) ความหนาแน่นและความเร็วบนเส้นทางหนีไฟ

ชั้นที่	**จำนวนคน** (คน)	**จำนวนเส้นทาง** หนีไฟ	**จำนวนคน/เส้นทาง**	**พื้นที่ช่องผ่าน** (ตรม)	**ความหนาแน่น** (คน/ตรม)	**ความเร็ว** (เมตร/วินาที)
1	403	3	134	77.91	1.72	0.76
2	405	3	135	77.91	1.73	0.75
3	387	3	129	77.91	1.66	0.78
4	428	3	143	77.91	1.83	0.72
5	443	3	148	77.91	1.90	0.69
6	428	3	143	77.91	1.83	0.72

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ชั้นที่	จำนวนคน (คน)	จำนวนเส้นทางหนีไฟ	จำนวนคน/เส้นทาง	พื้นที่ช่องผ่าน (ตรม)	ความหนาแน่น (คน/ตรม)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
7	443	3	148	77.91	1.90	0.69
8	428	3	143	77.91	1.83	0.72
9	428	3	143	77.91	1.83	0.72
10	428	3	143	77.91	1.83	0.72
11	431	3	144	77.91	1.84	0.71
รวม	4,652		1,551			

จากสมการที่ 8a , อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ , $Fs_{(Corridor)}$ = (1-aD)kD

จากตารางที่ 5;

- หากค่าอัตราการไหลเฉพาะ, Fs ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุด , Fsm ให้ใช้ค่า Fs ในการคำนวณหาค่า อัตราการไหลที่คำนวณได้, Fc
- หากค่า Fs ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุด , Fsm ให้ใช้ค่า Fsm ในการคำนวณหา Fc แทน

ค่า Fsm ของช่องผ่านเท่ากับ 1.32 เมตร จากตารางที่ 3 สามารถนำมาคำนวณหาความกว้างสุทธิของช่องผ่านในแต่ละชั้น จากผลการคำนวณพบว่าค่า Fs ของ corridor ในแต่ละชั้นมีค่าน้อยกว่าค่า Fsm ดังนั้นในการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ corridor จึงใช้ค่า Fs คูณ We จึงได้ค่า Fc ดังนี้

ความกว้างสุทธิ $We_{corridor}$ = ความกว้างของช่องผ่าน - (2 x ระยะขอบ (Boundary Layer))

ช่องผ่าน (corridor) ของทุกชั้นมีความกว้างต่ำสุด 2.15 เมตร จึงใช้เป็นค่าตัวแทนในการคำนวณ จากตารางที่ 1 ระยะขอบของประตูที่ต้องหักออกด้านละ 0.20 เมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความกว้างสุทธิ $We_{corridor}$ = 2.15 – (2 x 0.20)

= 1.75 เมตร

จากสมการที่ 4 , อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ , Fc

$Fc_{(Corridor)}$ = FsWe

และจากสมการที่ 5, $Fc_{(Corridor)}$ = (1-aD)kD We

ตารางที่ 19 แสดงความกว้างสุทธิ อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ของช่องผ่าน (Corridor) อาคารแต่ละชั้น

ชั้นที่	อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ, $Fs_{(Corridor)}$ (คน/วินาที/เมตรของความกว้างสุทธิ)	เปรียบเทียบค่า Fs ต่อ ค่า Fsm (1.32) (คน/วินาที/เมตรของความกว้างสุทธิ)	ความกว้างสุทธิ , $We_{corridor}$ (เมตร)	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณ, $Fc_{(Corridor)}$ (คน/วินาที)
1	1.31	Fs ต่ำกว่า Fsm	1.75	2.29
2	1.31	Fs ต่ำกว่า Fsm	1.75	2.29
3	1.30	Fs ต่ำกว่า Fsm	1.75	2.27
4	1.31	Fs ต่ำกว่า Fsm	1.75	2.29
5	1.32	Fs เท่ากับ Fsm	1.75	2.30
6	1.31	Fs ต่ำกว่า Fsm	1.75	2.29
7	1.32	Fs เท่ากับ Fsm	1.75	2.31
8	1.31	Fs ต่ำกว่า Fsm	1.75	2.29
9	1.31	Fs ต่ำกว่า Fsm	1.75	2.29
10	1.31	Fs ต่ำกว่า Fsm	1.75	2.29
11	1.32	Fs เท่ากับ Fsm	1.75	2.31

จากตารางที่ 19 ผลจากการคำนวณอัตราการไหลเคลื่อนสามารถรองรับได้เพียงในกรณีที่ทางปล่อยออก (จุดที่มีการเปลี่ยนแปลง) จากเส้นทางการอพยพสามารถรวมเป็นตัวชี้บ่งอัตราการไหลเคลื่อนได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ประเมินผลกระทบอัตราการไหลของประตูทางเข้าบันไดหนีไฟ

จากสมการที่ 8a, Fs(out) = Fs (in) We (in) / We (out)

ค่าอัตราการไหลเฉพาะ Fs (out) คือค่า Fs ของอัตราการไหล (corridor) ที่เคลื่อนมาสู่ประตู
ค่าอัตราการไหลเฉพาะ Fs (in) คือค่า Fs ของช่องผ่าน (corridor) ที่เคลื่อนมาสู่ประตู
ค่าความกว้างสุทธิ We (in) คือ ค่าความกว้างของช่องผ่าน (corridor)
ค่าความกว้างสุทธิ We (out)) คือ ค่าความกว้างของประตู (corridor)

จากตารางที่ 5;

- หากได้ค่าอัตราการไหลเฉพาะ, Fs ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุด , Fsm ให้ใช้ค่า Fs ในการคำนวณหาค่า อัตราการไหลที่คำนวณได้, Fc

- หากได้ค่า Fs ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุด , Fsm ให้ใช้ค่า Fsm ในการคำนวณหา Fc แทน

ค่า Fsm ของประตู (door) มีค่า 1.32 เมตร จากตารางที่ 5 สารถนำมาคำนวณหาความกว้างสุทธิของช่องผ่านในแต่ละชั้น จากผลการคำนวณพบว่าค่า Fs ของประตูในชั้นที่ 1 – 11 มีค่ามากกว่าค่า Fsm ดังนั้นอัตราการคำนวณอัตราการไหลเคลื่อนที่ประตู จึงใช้ค่า

จากสมการที่ 4, $Fc_{(door)}$ = Fsm x We

ประตูเข้าสู่บันไดหนีไฟทุกชั้น มีความกว้างเท่ากับ 0.90 เมตร จากตารางที่ 1 ระยะขอบของประตูที่ต้องหักออกคือด้านละ 0.15 เมตร

ความกว้างสุทธิ We (door) = ความกว้างประตู - (2 x ระยะขอบ (Boundary Layer))
= 0.90 – (2 x 0.15)
ความกว้างประตูสุทธิ = 0.60 เมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 20 แสดงอัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ ความกว้างประตูสุทธิ (door) อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ของช่องผ่าน จุดเปลี่ยนถ่ายของช่องผ่าน (corridor) สู่ประตูทางเข้าบันไดหนีไฟ (door)

ชั้นที่	อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ, $Fs(out)_{door}$ (คน/วินาที/เมตรของความกว้างสุทธิ)	หากค่า Fs มากกว่าค่า Fsm ใช้ค่า Fsm (1.32) แทน	อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ, Fs_{door} ที่ใช้ได้จริง (คน/วินาที/เมตรของความกว้างสุทธิ)	ความกว้างสุทธิ ,We door (เมตร)	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณ , Fc (Door) (คน/วินาที)
1	3.81	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.60	0.79
2	3.81	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.60	0.79
3	3.78	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.60	0.79
4	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.60	0.79
5	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.60	0.79
6	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.60	0.79
7	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.60	0.79
8	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.60	0.79
9	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.60	0.79
10	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.60	0.79
11	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.60	0.79

จากตารางที่ 20 ค่าอัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ , Fc ของประตู ซึ่งเป็นทางออกของชั้นที่ 2 – 10 มีค่าเท่ากับ 0.79 คน/วินาที/เมตรของความกว้างสุทธิ ซึ่งน้อยกว่าค่า Fc ของประตู ในตารางที่ 20 ค่า Fc ส่งผลให้เกิดการรอคิว เนื่องจากเกิดคอขวดของช่องผ่านเพื่อเข้าประตู

อัตราการรอคิวที่เกิดขึ้นคำนวณได้จาก Fc ของช่องทางผ่าน ลบด้วย Fc ของประตูซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนถ่าย ผลการคำนวณดังตารางที่ 22

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 21 แสดงการรอคิวที่จุดเปลี่ยนถ่าย จากช่องผ่าน (Corridor) มายังประตู (Door) สู่บันไดหนีไฟ (Stair) ของอาคารแต่ละชั้น

ชั้นที่	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ผ่านช่องผ่าน, $Fc_{Corridor}$ (คน/วินาที)	อัตราการเคลื่อนไหลที่คำนวณได้ผ่านประตู, Fc_{Door} (คน/วินาที)	อัตราการรอคิวเกิดขึ้นที่จุดเปลี่ยนถ่าย (คน/วินาที)
1	2.29	0.79	1.50
2	2.29	0.79	1.50
3	2.27	0.79	1.48
4	2.29	0.79	1.50
5	2.30	0.79	1.51
6	2.29	0.79	1.50
7	2.31	0.79	1.52
8	2.29	0.79	1.50
9	2.29	0.79	1.50
10	2.29	0.79	1.50
11	2.31	0.79	1.52

จากตารางที่ 21 จากผลการคำนวณพบว่าเกิดการรอคิวของการอพยพเข้าสู่บันไดหนีไฟ ทุกชั้น ของอาคารมีค่าอัตราการรอคิวเกิดขึ้นที่จุดเปลี่ยนถ่ายระหว่าง 1.48 – 1.52 คนต่อวินาที

4. ประเมินผลกระทบของอัตราการไหลเคลื่อนผ่านทางบันไดหนีไฟบนเส้นทางออก

กรณีเส้นทางการอพยพหนีไฟของชั้น Ground floor นั้นผู้ทำการวิจัย จะไม่นำมาคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ เนื่องจากเป็นการอพยพในแนวราบการอพยพไม่ผ่านบันไดหนีไฟที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดทำให้ใช้เวลาในการอพยพออกสู่ภายนอกอาคารได้อย่างรวดเร็วและใช้เวลาน้อยกว่าชั้นที่ 1- ชั้นที่ 11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 3

ความกว้างสุทธิ, We_{stair} = ความกว้างของบันได – (2 x ระยะขอบ (Boundary Layer))

= 1.30 - (2 x 0.15)

บันไดกว้างสุทธิ = 1.00 เมตร

จากสมการที่ 8 a อัตราการไหลเฉพาะสำหรับทางบันได , $Fs_{(stairway)}$ คำนวณได้ดังนี้

$Fs_{(stairway)}$= Fs (in) $_{(door)}$ $We_{(door)}$ (in) / $We_{(stairway)}$ (out)

= (1.32 X 0.60)/1.00

$Fs(_{stairway})$ = 0.79 คน/วินาที/เมตร ของความกว้างสุทธิ

จากตารางที่ 5 หากผลค่าอัตราการไหลเฉพาะ, Fs จากการคำนวณน้อยกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุด,Fsm ให้ใช้ค่า Fs ในการคำนวณหาค่า อัตราการไหลที่คำนวณได้, Fc ถ้าหาก Fs มีค่ามากกว่า ให้ใช้ค่า Fsm ในการคำนวณหา Fc แทน ซึ่งค่า Fsm ของทางบันได โดยประมาณ บันไดทางหนีไฟ ลูกตั้งมีขนาด 0.190 มิลลิเมตร ลูกนอนมีขนาด 0.275 มิลลิเมตร ดังนั้นค่า Fsm ของบันไดหนีไฟ ในตารางที่ 5 มีค่าเท่ากับ 0.85 คน/เมตรของความกว้างสุทธิ เพื่อคำนวณในขณะที่มีการไหลผ่านบันได จนไปบรรจบกับอัตราการไหลที่เข้ามาจากชั้นอื่น ๆ

- หากค่าอัตราการไหลเฉพาะ, Fs จากการคำนวณน้อยกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุด, Fsm ให้ใช้ค่า F_s ในการคำนวณหาค่า อัตราการไหลที่คำนวณได้, Fc

- หากค่า Fs ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าอัตราการไหลสูงสุด, Fsm ให้ใช้ค่า Fs ในการคำนวณหาค่าอัตราการไหลที่คำนวณได้, Fc แทน

ซึ่งค่า Fs ของบันได (Stair) เท่ากับ 0.79 เมตร ซึ่งน้อยกว่าค่า Fsm ที่มีค่าเท่ากับ 0.85 ดังนั้นจึงใช้ค่า Fs ในการคำนวณ

จากสมการที่ 3 , Fs = (1-aD)KD

จากตารางที่ 3, ค่า K ของช่องทางเดินเท่ากับ 1

ดังนั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$Fs = KD - aK D^2$$

แก้สมการกำลังสอง $(aK) D^2 - (K)D + Fs = 0$

$$AD^2 + BD + C = 0$$

โดยให้ $A = aK$, $B = -K$, $C = Fs$, $D = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$

$$D = \frac{-1 \pm \sqrt{\quad^2 - (4x\ 0.266x0.79)}}{2 \times (0.266)}$$

ดังนั้น $D = 0.24$

ความหนาแน่นเท่ากับ 0.24 คน/ตารางเมตร ของทางออกทางบันได

จากสมการที่ 1, ความเร็ว, $S = k - akD$

$= 1 - (0.266 \times 1 \times 0.24)$

$= 0.94$ เมตร / วินาที

ความเร็วของการไหลเคลื่อนเริ่มต้นในทางบันไดเท่ากับ 0.94 เมตร / วินาที

ระยะทางในการคำนวณการอพยพระหว่างชั้นของอาคาร คือผลรวมระยะทางในแนวราบในช่องบันไดทั้งหมดรวมกับระยะทางที่ได้จากรากที่สองของระยะทางในแนวทางเดินบันได จากนั้นนำระยะทางในแนวดิ่งของบันได (ความสูงระหว่างชั้น) คูณกับตัวแปลงค่า สำหรับเส้นความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเดินทาง ต่อการเดินทางในแนวตั้ง ในตารางที่ 4 จะได้ ค่าเท่ากับ

จากตารางที่ 4, ตัวแปลงค่า เท่ากับ 1.66

ความสูงระหว่างชั้นเท่ากับ 4.5 เมตร

วัดระยะทางชานพักบันไดเท่ากับ 2.17 เมตร

จะได้ค่าเท่ากับ $(1.66 \times 4.5) + (2x2.17) = 11.81$ เมตร

ดังนั้น ระยะทางอพยพระหว่างชั้นของอาคาร เท่ากับ 11.81 เมตร

คำนวณระยะเวลากับการอพยพต่อชั้น (ชั้น 1-11)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาอพยพ = ระยะทางอพยพ / ความเร็ว

= 11.81 / 0.94

= 12.56 วินาที

ดังนั้นระยะเวลากับการอพยพต่อชั้นเท่ากับ 12.56 วินาที

จากสมการที่ 4 , อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ คือ

Fc = Fs x We

= 0.79 X1.00

= 0.79 (คน/วินาที)

อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้, Fc ของบันได คือ 0.79 (คน/วินาที)

ดังนั้นหลังจากเวลาผ่านไป 12.56 วินาที จะมีผู้อพยพเข้าสู่บันไดต่อชั้นเท่ากับ

จำนวนคน = Fc x Time

= 0.79 x 12.56

= 9.92

ผู้อพยพเข้าสู่บันไดต่อชั้นเท่ากับ จำนวน 10 คน

ถ้า อพยพผ่าน ทางออก 10 ทางพร้อมกันในครั้งเดียว จะมีผู้อพยพในบันไดเท่ากับ

จำนวนผู้อพยพ = ทางออกตั้งแต่ชั้น 1ถึงชั้น 11 x จำนวนผู้อพยพที่เข้าบันไดต่อชั้น

= 10 x 10

= 100 คน

หลังจากเวลานี้ การรวมกันระหว่างอัตราการไหลในบันไดและอัตราการไหลของทางเข้าสู่บันได จะเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลเคลื่อนของการอพยพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ประเมินผลกระทบของเส้นทางที่มาบนเส้นทางในบันไดหนีไฟและทางเข้าบันไดหนีไฟบนเส้นทางออก

ติดตามการไหลเคลื่อนเข้าสองกระแสและออกจากจุดเปลี่ยนถ่ายหนึ่งกระแสเมื่อมีการรวมกันของผู้อพยพกลุ่มที่ลงบันไดไปแล้วจากนั้นมีอีกกลุ่มหนึ่งเข้ามาอีกหนึ่งกระแส

จากสมการที่ 8b,

FS (out-stairway) = [(FS(door)We(door))+ (FS(in-stairway)We(in-stairway))] / We(out-stairway)

คำนวณอัตราการไหลเฉพาะชั้น 1- 11

= [(1.32 X 0.60) + (0.79 X 1.0)]/ 1.0

= 1.58 persons/s/m. effective width.

อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะออกจากบันไดเท่ากับ 1.58 คน /วินาที/เมตร ของความกว้างสุทธิ

6. ติดตามอัตราการไหลบนเส้นทางหนีไฟ

จากตารางที่ 7 , อัตราการไหลเคลื่อนสูงสุดของบันไดเท่ากับ

Fsm เท่ากับ 0.85 คน /วินาที/เมตร ของความกว้างสุทธิ

จากค่าอัตราการไหลเคลื่อนสูงสุด ,Fsm น้อยกว่า อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ จึงใช้ค่าอัตราการไหลเคลื่อนสูงสุด ,Fsm

กำหนดให้ผู้ใช้อาคารทุกคนเริ่มอพยพที่เวลาเป็นศูนย์ มีความเร็วของอัตราการไหลเริ่มต้นคือ 0.79 เมตร / วินาที

กำหนดให้ผู้อพยพเคลื่อนที่ไปถึงทางบันไดพร้อมกันในเวลา 148.81 วินาที ที่เวลา 148.81 วินาที เริ่มมีการไหลเคลื่อนผ่านประตูบันไดหนีไฟชั้นที่11 ค่าอัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ ,Fc ของประตูที่ชั้น 1-11 มีค่าเท่ากับ 0.79 คน/วินาที สำหรับ 12.56 วินาทีต่อมา ดังนั้น 161.37

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วินาที ต่อมามีผู้อพยพจำนวน 100 คน ของทางบันไดทั้ง 10 ชั้น และมีผู้อพยพจำนวนหนึ่งรอคิวในทางเข้าบันไดทั้ง 10 ชั้น ดังแสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 22 แสดงจำนวนผู้อพยพ และจำนวนผู้ที่รอคิวในแต่ละประตูทางเข้าบันได

ชั้นที่	จำนวนคนต่อชั้น (คน)	จำนวนคนตามเส้นทางหนีไฟ (คน)	จำนวนคนที่เข้าสู่ทางบันได (คน)	จำนวนคนที่รอคิวที่ประตูทางเข้าทางบันได (คน)
1	403	134	10	124
2	405	135	10	125
3	387	129	10	119
4	428	143	10	133
5	443	148	10	138
6	428	143	10	133
7	443	148	10	138
8	428	143	10	133
9	428	143	10	133
10	428	143	10	133
11	431	144	10	134

จากตารางที่ 22 เกิดการรอคิวของผู้อพยพเข้าทางบันไดทุกชั้น โดยอัตราการไหลเคลื่อนที่ 0.79 คน/วินาที

อัตราการไหลเคลื่อนผ่านบันไดที่ 0.79 คน/วินาที อพยพถึงประตูสู่ทางปล่อยออก มีอัตราการไหลที่ 12.56 วินาที/ชั้น โดยเวลาในการคำนวณอพยพหนีไฟเริ่มจากชั้น 11 ตามสมมติฐาน เนื่องจากเป็นชั้นที่อยู่ไกลทางออกมากสุด วิธีการคำนวณ ดังนี้

1) นำจำนวนผู้อพยพที่รอคิวในชั้น 11 คือ 134 คน หารด้วยค่าอัตราการไหลเคลื่อนผ่านบันได คือ 0.79 คน/วินาที ผลลัพธ์เท่ากับ 170 วินาที บวกเวลาที่กำหนดให้ผู้ใช้อาคารทุกคนอพยพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เคลื่อนที่ไปถึงทางบันไดพร้อมกัน 32.93 วินาที รวมเวลาในการเดินทาง 203 วินาที จากนั้นเมื่อลงสู่บันไดลงถึงชั้น 10 ให้บวกเพิ่มอัตราการไหลที่ 12.56 วินาทีต่อชั้น รวมเวลา 216 วินาที

2) นำจำนวนผู้อพยพของชั้น 10 คือ 133 คน หารด้วยค่าอัตราการไหลเคลื่อนผ่านบันไดคือ 0.79 คน/วินาที ผลลัพธ์เท่ากับ 168 วินาที ให้บวกเพิ่มเวลาจากชั้นก่อนหน้า คือชั้น 11โดยไม่รวมกับค่าอัตราการไหลต่อชั้น จะได้เวลา 168 + 216 = 384 วินาที

จากนั้นทำการคำนวณในชั้น 10 ถึงชั้นพื้นดินตามขั้นตอนที่ 1) และ 2) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 แสดงเวลาอพยพจากชั้นที่ 11 จนออกนอกอาคาร ทั้งหมด

การอพยพ	เวลาอพยพ (วินาที)	(นาที)
อพยพจากชั้น 11	216	3.60
ถึงชั้น 10	229	3.82
อพยพจากชั้น 10	371	6.18
ถึงชั้น 9	384	6.40
อพยพจากชั้น 9	539	8.98
ถึงชั้น 8	552	9.20
อพยพจากชั้น 8	726	12.10
ถึงชั้น 7	721	12.02
อพยพจากชั้น 7	882	14.70
ถึงชั้น 6	895	14.92
อพยพจากชั้น 6	1,064	17.73
ถึงชั้น 5	1,077	17.95
อพยพจากชั้น 5	1,238	20.63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 23 (ต่อ)

การอพยพ	เวลาอพยพ (วินาที)	(นาที)
ถึงชั้น 4	1,251	20.85
อพยพจากชั้น 4	1,407	23.45
ถึงชั้น 3	1,420	23.67
อพยพจากชั้น 3	1,557	25.95
ถึงชั้น 2	1,570	26.17
อพยพจากชั้น 2	1,716	28.60
ถึงชั้น 1	1,729	28.82
อพยพจากชั้น 1	1,873	31.22
ถึงชั้นพื้นดิน	1,886	31.43

จากการคำนวณหาเวลาการอพยพหนีไฟเริ่มจากชั้น 11 ตามสมมติฐานเนื่องจากเป็นชั้นที่อยู่ไกลทางออกมากสุด ใช้เวลาในการอพยพรวม 31.43 นาที ถึงชั้นพื้นดินสู่ทางปล่อยออก

6. การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟ

จากการคำนวณเพื่อหาเวลาอพยพหนีไฟ กลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย พบว่าเวลาในการอพยพจากชั้น 11 จนถึงทางออกสู่ภายนอกอาคารใช้เวลา 31.43 นาที เวลาที่คำนวณได้อยู่ในช่วงเวลาที่ปลอดภัยตามข้อกำหนดในกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 ออกตามความพระราชบัญญัติควบคุมอาคารพ.ศ. 2535 กำหนดเวลาในการอพยพไม่เกิน 1 ชั่วโมง

สำหรับเวลาอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคารชั้น Ground floor ผู้ทำการวิจัยมิได้คำนวณหาเวลาการอพยพเนื่องจากเป็นการอพยพในแนวราบไม่ผ่านช่องผ่าน บันไดหรือประตูสู่บันได ดังนั้นการใช้เวลาในการอพยพน้อยกว่าชั้นที่ 1- 11 ที่มีการอพยพผ่านช่องผ่าน ประตูและบันไดในแนวดิ่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการคำนวณพบว่าเกิดการรอคิวของผู้อพยพทุกชั้นจำนวนสูงสุดในชั้นที่ 5 และชั้นที่ 7 จำนวน 138 คน ส่งผลให้เกิดคอขวดขณะทำการอพยพเนื่องจาก 2 ชั้นดังกล่าวมีจำนวนผู้ใช้งานอาคารมากกว่าชั้นอื่นๆ ในขณะที่ขนาดของช่องผ่านทางเดิน ประตู และทางลาดของบันไดหนีไฟมีขนาดเท่ากันทุกชั้น

สำหรับปัญหาการรอคิวข้างต้น ผู้วิจัยเสนอแนะในการขยายขนาดของประตูหนีไฟ โดยการหาขนาดประตูหนีไฟให้เพียงพอกับจำนวนผู้ใช้งานอาคารนั้นต้องใช้ค่าตัวประกอบความสามารถ (Capacity factor) ส่วนประกอบในเส้นทางหนีไฟ จากตารางที่ 15 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อคน นำมาหารความกว้างของส่วนประกอบต่างๆ ในเส้นทางหนีไฟ ในส่วนของค่าตัวประกอบความสามารถ (Capacity factor) ของช่องผ่านประตูในแนวราบมีค่าเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อคน จากจำนวนผู้อพยพมีจำนวนสูงสุดในชั้นที่ 5 และชั้นที่ 7 จำนวน 148 คน ต้องขยายขนาดช่องผ่านประตู

148*5 = 740 มิลลิเมตร นำค่าจากการคำนวณรวมกับค่าของ 2 * ระยะขอบ (Boundary layer) จากตารางที่ 1 มีค่าเท่ากับ 300 มิลลิเมตร

ดังนั้นต้องขยายขนาดประตู 1,040 มิลลิเมตร ค่าที่หักออกจากค่าระยะขอบ (Boundary layer) จึงเท่ากับ 740 มิลลิเมตร จากนั้นคำนวณหาค่าอัตราการไหลที่คำนวณได้ของประตู , Fc_{door} ได้เท่ากับ 0.98 คน/วินาที เพิ่มขึ้นจากเดิมการรอคิว 0.81 คน/วินาที ลดลงเป็น 0.64 คน/วินาที จากนั้นประเมินผลกระทบอัตราการไหลของประตูทางเข้าบันไดบนเส้นทางออก

7. ประเมินผลกระทบอัตราการไหลของประตูทางเข้าบันไดบนเส้นทางออก

จากสมการที่ 8a, $Fs(out) = Fs(in)\ We(in) / We(out)$

ค่าอัตราการไหลเฉพาะ Fs (out) คือค่า Fs ของอัตราการไหล (corridor) ที่เคลื่อนมาสู่ประตู
ค่าอัตราการไหลเฉพาะ Fs (in) คือค่า Fs ของช่องผ่าน (corridor) ที่เคลื่อนมาสู่ประตู
ค่าความกว้างสุทธิ We (in) คือ ค่าความกว้างของช่องผ่าน (corridor)
ค่าความกว้างสุทธิ We (out)) คือ ค่าความกว้างของประตู (corridor)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 7;

- หากได้ค่าอัตราการไหลเฉพาะ, Fs ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุด , Fsm ให้ใช้ค่า Fs ในการคำนวณหาค่า อัตราการไหลที่คำนวณได้, Fc

- หากได้ค่า Fs ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุด , Fsm ให้ใช้ค่า Fsm ในการคำนวณหา Fc แทน

ค่า Fsm ของประตู (door) มีค่า 1.32 เมตร จากตารางที่ 5 สารถนำมาคำนวณหาความกว้างสุทธิของช่องผ่านในแต่ละชั้น จากผลการคำนวณพบว่าค่า Fs ของประตูในชั้นที่ 1 – 11 มีค่ามากกว่าค่า Fsm

ดังนั้นอัตราการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ประตู จึงใช้ค่า Fsm

จากสมการที่ 4, $Fc_{(door)}$ = Fsm x We

ประตูเข้าสู่บันไดหนีไฟทุกชั้นหลังการปรับปรุง มีความกว้างเท่ากับ 1.04 เมตร จากตารางที่ 1 ระยะขอบของประตูที่ต้องหักออกคือด้านละ 0.15 เมตร

ความกว้างสุทธิ We (door) = ความกว้างประตู - (2 x ระยะขอบ (Boundary Layer))

= 1.04 – (2 x 0.15)

ความกว้างประตูสุทธิ = 0.74 เมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 24 แสดงอัตราการเคลื่อนเฉพาะ ความกว้างสุทธิประตู (door) อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ของช่องผ่าน จุดเปลี่ยนถ่ายของช่องผ่าน (corridor) สู่ประตูทางเข้าบันไดหนีไฟ (door)

ชั้นที่	อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ, $Fs(out)_{door}$ (คน/วินาที/เมตรของความกว้างสุทธิ)	หากค่า Fs มากกว่าค่า Fsm ใช้ค่า Fsm (1.32) แทน	อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะ, Fs_{door} ที่ใช้ได้จริง(คน/วินาที/เมตรของความกว้างสุทธิ)	ความกว้างสุทธิ ,We door (เมตร)	อัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณ , Fc (Door) (คน/วินาที)
1	3.81	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.74	0.98
2	3.81	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.74	0.98
3	3.78	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.74	0.98
4	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.74	0.98
5	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.74	0.98
6	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.74	0.98
7	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.74	0.98
8	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.74	0.98
9	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.74	0.98
10	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.74	0.98
11	3.84	Fs มากกว่า Fsm	1.32	0.74	0.98

จากตารางที่ 24 ค่าอัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ , Fc ของประตู ซึ่งเป็นทางออกของชั้นที่ 1 – 11 มีค่าเท่ากับ 0.98 คน/วินาที/เมตรของความกว้างสุทธิ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Fc ของประตูในตารางที่ 14 ค่า Fc ส่งผลให้เกิดการรอคิว เนื่องจากเกิดคอขวดของช่องผ่านเพื่อเข้าประตู

อัตราการรอคิวที่เกิดขึ้นนั้นคำนวณได้จาก Fc ของช่องทางผ่าน ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้น ลบด้วย Fc ของประตูซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนถ่าย ผลการคำนวณดังตารางที่ 25

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 25 แสดงการรอคิวที่จุดเปลี่ยนถ่าย จากช่องผ่าน (Corridor) มายังประตู (Door) สู่บันไดหนีไฟ (Stair) ของอาคารแต่ละชั้น

ชั้นที่	อัตราการเคลื่อนไหลที่คำนวณได้ที่ผ่านช่องผ่าน, $Fc_{Corridor}$ (คน/วินาที)	อัตราการเคลื่อนไหลที่คำนวณที่ผ่านประตู, Fc_{Door} (คน/วินาที)	อัตราการรอคิวที่เกิดขึ้นที่จุดเปลี่ยนถ่าย (คน/วินาที)
1	2.29	0.98	1.31
2	2.29	0.98	1.31
3	2.27	0.98	1.29
4	2.30	0.98	1.32
5	2.30	0.98	1.32
6	2.30	0.98	1.32
7	2.30	0.98	1.32
8	2.30	0.98	1.32
9	2.30	0.98	1.32
10	2.30	0.98	1.32
11	2.30	0.98	1.32

จากตารางที่ 25 จากผลการคำนวณพบว่าเกิดการรอคิวของการอพยพเข้าสู่บันไดหนีไฟเกิดขึ้นสูงสุดที่ชั้น 5 และชั้นที่ 7 ของอาคารมีค่าอัตราการอคิวที่เกิดขึ้นที่จุดเปลี่ยนถ่ายลดลงจากเดิมอยู่ระหว่าง 1.48 – 1.51 คน/วินาที เป็น 1.29-1.32 คน/วินาที

8. ประเมินผลกระทบของอัตราการไหลเคลื่อนผ่านทางบันไดหนีไฟบนเส้นทางออก

กรณีเส้นทางการอพยพหนีไฟของชั้น Ground floor นั้นผู้ทำการวิจัยไม่นำมาคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ เนื่องจากเป็นการอพยพในแนวราบการอพยพไม่ผ่านเส้นทางหนีไฟที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดมากนักทำให้ใช้เวลาในการอพยพออกสู่ภายนอกอาคารได้อย่างรวดเร็วและใช้เวลาน้อยกว่าชั้นที่ 1- ชั้นที่ 11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชั้นที่ 1- ชั้นที่ 11

จากตารางที่ 1

ความกว้างสุทธิ, We_{stair} = ความกว้างของบันได – (2 x ระยะขอบ (Boundary Layer))

= 1.30 - (2 x 0.15)

บันไดกว้างสุทธิ = 1.00 เมตร

จากสมการที่ 8 a อัตราการไหลเฉพาะสำหรับทางบันได , $Fs_{(stairway)}$ คำนวณได้ดังนี้

$Fs_{(stairway)}$= $Fs\ (in)_{(door)}$ $We_{(door)}$ (in) / $We_{(stairway)}$ (out)

= (1.32 X 0.74)/1.00

$Fs(out)_{stairway}$ = 0.98 คน/วินาที/เมตร ของความกว้างสุทธิ

จากตารางที่ 5 ใช้ค่าจากตาราง เพื่อหาค่าความหนาแน่นการไหลเริ่มต้นของทางบันได โดยประมาณ บันไดทางหนีไฟ ลูกตั้งมีขนาด 0.190 มิลลิเมตร ลูกนอนมีขนาด 0.275 มิลลิเมตร ดังนั้นค่าอัตราการไหลสูงสุดของบันได, Fsm_{stair} มีค่าเท่ากับ 0.85 คน/เมตรของความกว้างสุทธิ

- หากค่าอัตราการไหลเฉพาะ, Fs จากการคำนวณน้อยกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุด, Fsm ให้ใช้ค่า F_s ในการคำนวณหาค่า อัตราการไหลที่คำนวณได้, Fc

- หากค่า Fs ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าอัตราการไหลสูงสุด, Fsm ให้ใช้ค่า Fs ในการคำนวณหาค่าอัตราการไหลที่คำนวณได้, Fc แทน

ซึ่งค่า Fs ของบันได (Stair) เท่ากับ 0.98 เมตร ซึ่งมากกว่าค่า Fsm ที่มีค่าเท่ากับ 0.85 ดังนั้นจึงใช้ค่า Fsm ในการคำนวณ

จากสมการที่ 3 , Fs = (1-aD)KD

จากตารางที่ 3, ค่า K ของช่องทางเดินเท่ากับ 1

ดังนั้น

$Fs = KD-aK\ D^2$

แก้สมการกำลังสอง $(aK)\ D^2 – (K)D+ Fs = 0$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$AD^2+BD+C = 0$$

โดยให้ $A = aK$, $B = -K$, $C = Fs$, $D = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$

$$D = \frac{-1 \pm \sqrt{\quad^2 - (4x\ 0.266x0.85)}}{2 \times (0.266)}$$

ดังนั้น $D = 0.16$

ความหนาแน่นเท่ากับ 0.12 คน/ตารางเมตร ของทางออกของทางบันได

จากสมการที่ 1, ความเร็ว, S = k – akD

= 1 - (0.266 X 1X 0.16)

= 0.96 เมตร / วินาที

ความเร็วขณะที่มีการเคลื่อนที่เริ่มต้นในทางบันไดเท่ากับ 0.96 เมตร / วินาที

ระยะทางในการคำนวณการอพยพระหว่างชั้นของอาคาร ต้องรวมระยะทางในแนวราบในช่องบันไดทั้งหมดรวมกับระยะทางที่ได้จากการปรับแก้ระยะทางในแนวทางเดินบันได โดยนำระยะในดิ่งของบันได(ความสูงระหว่างชั้น) คูณกับตัวแปลงค่า สำหรับเส้นความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเดินทาง ต่อการเดินทางในแนวตั้ง ในตารางที่ 5 จะได้ ค่าเท่ากับ

จากตารางที่ 5, ตัวแปลงค่า เท่ากับ 1.66

ความสูงระหว่างชั้นเท่ากับ 4.5 เมตร

วัดระยะทางชานพักบันไดเท่ากับ 2.17 เมตร

จะได้ค่าเท่ากับ (1.66 X 4.5) + (2x2.17) = 11.81 เมตร

ดังนั้น ระยะทางอพยพระหว่างชั้นของอาคาร เท่ากับ 11.81 เมตร

คำนวณระยะเวลากับการอพยพต่อชั้น (ชั้น 1-11)

ระยะเวลาอพยพ= ระยะทางอพยพ / ความเร็ว

= 11.81 / 0.96

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

= 12.30 วินาที

ดังนั้น ระยะเวลากับการอพยพต่อชั้นเท่ากับ 12.30 วินาที

จากสมการที่ 4 , อัตราการไหลที่คำนวณได้ คือ

Fc = Fs x We

= 0.85 X1.00

= 0.85 (คน/วินาที)

อัตราการไหลที่คำนวณได้, Fc ของบันได คือ 0.85 (คน/วินาที)

ดังนั้นกรณี หลังจากเวลาผ่านไป 11.92 วินาที จะมีผู้อพยพเข้าไปอยู่ในบันไดต่อชั้นเท่ากับ

จำนวนคน = Fc x Time

= 0.85 x 12.30

= 10.46

ผู้อพยพเข้าไปอยู่ในบันไดต่อชั้นเท่ากับ จำนวน 11 คน

ถ้า อพยพผ่าน ทางออก 10 ทางพร้อมกันในครั้งเดียว จะมีผู้อพยพในบันไดเท่ากับ

จำนวนผู้อพยพ = ทางออกตั้งแต่ชั้น 1 x จำนวนผู้อพยพที่เข้าบันไดต่อชั้น

= 10 x 11

= 110 คน

หลังจากเวลานี้ การรวมกันของอัตราการไหลระหว่าง การไหลในบันไดและอัตราการไหลของทางเข้าสู่บันได จะเป็นตัวควบคุมอัตราเคลื่อนที่ของการอพยพ

9. ประเมินผลกระทบของเส้นทางที่มาบนเส้นทางในบันไดหนีไฟและทางเข้าบันไดหนีไฟบนเส้นทางออก

จากสมการที่ 8b,

FS (out-stairway) = [(FS(door)We(door))+ (FS(in-stairway)We(in-stairway))] / We(out-stairway)

คำนวณอัตราการไหลเฉพาะชั้น 1- 11

= [(1.32 X 0.74) + (0.5 X 1.0)]/ 1.0

= 1.83 persons/s/m. effective width.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการไหลเคลื่อนเฉพาะออกจากบันไดเท่ากับ 1.83 คน /วินาที/เมตร ของความกว้างสุทธิ

10. ติดตามอัตราการไหลบนเส้นทางหนีไฟ

กำหนดให้ผู้ใช้อาคารทุกคนเริ่มอพยพที่เวลาเป็นศูนย์ มีความเร็วของอัตราการไหลเริ่มต้น คือ 0.96 เมตร / วินาที

กำหนดให้ผู้ใช้อาคารทุกคนอพยพเคลื่อนที่ไปถึงทางบันไดพร้อมกันในเวลา 148.81 วินาที ที่เวลา 148.81 วินาที เริ่มมีการไหลเคลื่อนผ่านประตูบันไดหนีไฟชั้นที่11 ค่าอัตราการไหลเคลื่อนที่คำนวณได้ ,Fc ของประตูที่ชั้น 1-11 มีค่าเท่ากับ 0.96 คน/วินาที สำหรับ 10.46 วินาทีต่อมา

ดังนั้น 159.27 วินาที ต่อมามีผู้อพยพจำนวน 110 คน ของทางบันไดทั้ง 10 ชั้น และมีผู้อพยพจำนวนหนึ่งรอคิวในทางเข้าบันไดทั้ง 10 ชั้น ดังแสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 แสดงจำนวนผู้อพยพ และจำนวนผู้ที่รอคิวในแต่ละประตูทางเข้าบันได

ชั้นที่	**จำนวนคนต่อชั้น** (คน)	**จำนวนคนตามเส้นทางหนีไฟ** (คน)	**จำนวนคนที่เข้าสู่บันได ในทางบันได** (คน)	**จำนวนคนที่รอคิวที่ประตูทางเข้าทางบันได** (คน)
1	403	134	11	123
2	405	135	11	124
3	387	129	11	118
4	428	143	11	132
5	443	148	11	137
6	428	143	11	132
7	443	148	11	137
8	428	143	11	132
9	428	143	11	132
10	428	143	11	132
11	431	144	11	133

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 26 เกิดการรอคิวของการอพยพเข้าสู่ทางบันไดทุกชั้น โดยอัตราการไหลเคลื่อนผ่านที่ 0.85 คน/วินาที

อัตราการไหลผ่านบันไดที่ 0.85 คน/วินาที อพยพไปจึงถึงประตูทางปล่อยออก โดยมีอัตราการไหลที่ 10.46 วินาที/ ชั้น ดังนั้นจะได้เวลาในการอพยพหนีไฟโดยเวลาในการคำนวณอพยพหนีไฟเริ่มจากชั้น 11 ตามสมมติฐานเนื่องจากเป็นชั้นที่อยู่ไกลทางออกมากที่สุด ได้เวลาในแต่ละชั้น ดังแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 แสดงเวลาอพยพจากชั้นที่ 11 จนออกนอกอาคาร ทั้งหมด

การอพยพ	เวลาอพยพ (วินาที)	(นาที)
อพยพจากชั้น 11	189	3.15
ถึงชั้น 10	200	3.33
อพยพจากชั้น 10	345	5.75
ถึงชั้น 9	356	5.93
อพยพจากชั้น 9	500	8.33
ถึงชั้น 8	511	8.52
อพยพจากชั้น 8	656	10.93
ถึงชั้น 7	667	11.12
อพยพจากชั้น 7	817	13.62
ถึงชั้น 6	828	13.80
อพยพจากชั้น 6	972	16.20
ถึงชั้น 5	983	16.38
อพยพจากชั้น 5	1,133	18.88
ถึงชั้น 4	1,144	19.07
อพยพจากชั้น 4	1,289	21.48
ถึงชั้น 3	1,300	21.67
อพยพจากชั้น 3	1,428	23.80
ถึงชั้น 2	1,439	23.98

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 27 (ต่อ)

การอพยพ	เวลาอพยพ (วินาที)	(นาที)
อพยพจากชั้น 2	1,574	26.23
ถึงชั้น 1	1,585	26.42
อพยพจากชั้น 1	1,719	28.65
ถึงชั้นพื้นดิน	1,730	28.83

จากการคำนวณหาเวลาการอพยพหนีไฟเริ่มจากชั้น 11 ตามสมมติฐานเนื่องจากเป็นชั้นที่อยู่ไกลทางออกมากที่สุด ใช้เวลาในการอพยพทั้งหมด 31.43 นาที ถึงทางปล่อยออก หลังการปรับปรุงขยายขนาดประตูจากเดิม 900 มิลลิเมตร เพิ่มเป็น 1,040 มิลลิเมตร ผลการคำนวณหาเวลาการอพยพจากเดิมใช้เวลาในการอพยพ 31.43 นาที ลดลงเป็น 28.83 นาที ผลต่างของการคำนวณหาเวลาการอพยพที่ลดลง 2.60 นาที คิดเป็น 7.82 เปอร์เซ็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากผลการศึกษา กลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา พบว่า

1. ผลการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคาร เพื่อวิเคราะห์ความสามารถของเส้นทางหนีไฟตามข้อกำหนดในมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code ผลการวิเคราะห์ตามข้อกำหนดกำหนดให้มีเส้นทางหนีไฟดังนี้

ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life safety code 2012 ระบุให้มีจำนวนเส้นทางหนีไฟไม่น้อยกว่า 2 เส้นทาง ในแต่ละชั้นของอาคารและพิจารณาตามจำนวนผู้ใช้อาคารแล้วจะต้องจัดเตรียมจำนวนเส้นทางหนีไฟให้มีความเหมาะสมตามจำนวนคน ดังนี้

จำนวนบุคคลไม่เกิน 500 คน	ต้องมีไม่ต่ำกว่า	2 เส้นทาง
จำนวนบุคคลเกิน 500 คน แต่ไม่เกิน 1,000 คน	ต้องมีไม่ต่ำกว่า	3 เส้นทาง
จำนวนบุคคลเกิน 1,000 คน	ต้องมีไม่ต่ำกว่า	4 เส้นทาง

จากชั้น ground ถึงชั้น 11 มีจำนวนผู้อพยพที่ 387 – 697 คน มีเส้นทางหนีไฟทุกชั้น 3 เส้นทาง จำนวนเส้นทางหนีไฟมีเพียงพอตามมาตรฐานกำหนด

2. ผลการวิเคราะห์ความสามารถของเส้นทางหนีไฟตามข้อกำหนดในมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code

ชั้น Ground floor มีเส้นทางหนีไฟ 3 เส้นทาง ในแนวราบเส้นทางแรกเป็นทางขึ้นลงด้านหน้าของอาคาร D ช่องผ่านแรก ST09 มีความกว้าง 2.25 เมตร เส้นทางที่สองช่องผ่าน ST08 มีความกว้าง 2.25 เมตร และเส้นทางที่สามช่องผ่าน ST10 มีความกว้าง 2.15 เมตร คำนวณขีดความสามารถในการหนีไฟของเส้นทางหนีไฟ ได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เส้นทางแรก ;	ST09 มีความกว้าง	2.250 / 7.6	=	296	คน
เส้นทางที่สอง ;	ST08 มีความกว้าง	2.250 / 7.6	=	296	คน
ทางทีสาม ;	ST10 มีความกว้าง	2.150 / 7.6	=	282	คน

ชั้น Ground floor ทางหนีไฟทั้งสามเส้นทางสามารถรองรับผู้อพยพได้ 296 + 296 + 282 = 874 คน จากผลการคำนวณจำนวนผู้ใช้งานอาคารในชั้นดังกล่าวมีจำนวน 697 คน

อาคารชั้น 1- 11 มีเส้นทางหนีไฟ 3 เส้นทาง เส้นทางแรกเป็นบันไดสำหรับขึ้นลงทางด้านหน้าของอาคาร D คือบันได ST09 กว้าง 1.60 เมตร ทางที่สองเป็นบันไดภายในอาคารคือบันได ST08 กว้าง 1.50 เมตร ทางที่สามเป็นบันไดสำหรับขึ้นลงทางด้านหลังของอาคารคือบันได ST10 กว้าง 1.30 เมตร จากข้อมูลสามารถคำนวณขีดความสามารถในการหนีไฟของเส้นทางหนีไฟ ได้ดังนี้

บันไดสำหรับขึ้นลงทางด้านหน้าของอาคารบันได ST09 1,600 / 7.6 = 210 คน

บันไดภายในอาคารบันได ST08 1,500 / 7.6 = 197 คน

บันไดสำหรับขึ้นลงทางด้านหลังของอาคารบันได ST10 1,300 / 7.6 = 171 คน

ชั้น 1-11 บันไดทั้ง 3 ทาง สามารถรองรับผู้อพยพได้ 210 + 197 + 171 = 578 คน

ผลจากการคำนวณจำนวนผู้ใช้งานอาคารสูงสุดคือ 443 คน ขีดความสามารถของเส้นทางหนีไฟสามารถรองรับผู้อพยพได้ 578 คน ซึ่งสูงกว่าผลการคำนวณจำนวนผู้ใช้งานอาคาร ดังนั้นขีดความสามารถของเส้นทางหนีไฟมีเพียงพอสามารถรองรับผู้อพยพในชั้นดังกล่าวได้

3. ผลการคำนวณหาเวลาการอพยพหนีไฟด้วยวิธี hydraulic flow calculation แบบละเอียดเพื่อหาจุดคอขวดที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการอพยพ พบว่าเกิดการรอคิวทุกชั้นเนื่องจากขนาดคอขวดของประตูสู่บันไดหนีไฟ จึงเสนอแนะให้ทำการขยายขนาดประตู ผลของการคำนวณเวลาอพยพหนีไฟหลังขยายขนาดประตูสามารถลดเวลาการอพยพลงได้ 7.82 เปอร์เซ็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการคำนวณจำนวนผู้ใช้อาคารในชั้น Ground floor ควรพิจารณาประเภทร้านค้าประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร ไม่จัดรูปแบบร้านค้าประเภทที่มีจำนวนผู้ใช้อาคารมากไว้ด้วยกัน และควรพิจารณาระยะสัญจร ระยะทางบังคับร่วม และระยะทางปลายตัน ประกอบไม่ควรเกินค่าที่มาตรฐานกำหนด

2. การลดจำนวนคนรอคิวสามารถทำได้โดยการขยายขนาดประตูหนีไฟสำหรับการลดระยะเวลาการอพยพจากจุดไกลสุดที่คนสามารถเข้าอยู่ได้ออกสู่ทางออกทำได้โดยการเพิ่มจำนวนประตูทางออกของห้องเพื่อลดค่าอัตราการไหลที่คำนวณได้กรณีที่เป็นอาคารเก่าทำการก่อสร้างแล้วเสร็จสามารถลดผลกระทบต่อโครงสร้างหลักของประตูหนีไฟหากการแก้ไขประตูหนีไฟยากต่อการแก้ไข

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เขมณัฏฐ์ เลิศวิชญนันท์. 2013. **การวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟและการคำนวณระยะเวลาการอพยพอาคารเทียบเครื่องบิน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เยาวลักษณ์ ยวงสร้อย. 2011. **การคำนวณหาเวลาอพยพหนีไฟ กรณีศึกษาอาคารปฏิบัติการวิจัยทางวิศวกรรม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โชคดี หนูเอียด. 2009. **โปรแกรมคำนวณเวลาอพยพหนีภัยในอาคาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บุษกร แสนสุข. 2009. **การวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟและการคำนวณระยะเวลาอพยพโดยวิธี Hydraulic Analogy**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมยศ วงศ์สุข. 2010. **การพัฒนาโปรแกรมในการจำลองการอพยพหนีไฟทางบันไดหนีไฟ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

John, L.Bryan .and National Fire Protection Association . n.d. **NFPA, Fire Protection** Handbook 19th Edition, 2003. **Human Behavior and Fire .**US**.**

National Fire Protection Association n.d. NFPA101, Life Safety Code, Edition 2009,US.

Nelson,H.A. and Maclennan,H.E. 1995 .Society of Fire Protection Engineer. **SFPE hand book of Fire Protection Engineering .Second Edition. Section 3 Chapter 14 Emergency Movement.US**

Rita,F.Fahy, National and Fire Protection Association . n.d. NFPA, Fire Protection Handbook 19th Edition, 2003. **Calculation Methods for Egress Prediction .**US**.**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Varas, A., M.D. and J, Rogan. 2006. **Cellular automaton model for evacuation process with obstacles**. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Chile.

Z. An and M. ling and X. hua . 2011. Experiment and Simulation Study on High-rise Student Apartment Fire Personal Evacuation in the Campus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงค่าจำกัดของเส้นทางเดินปกติ ปลายตัน
และระยะสัญจร ของพื้นที่ครอบครองแต่ละประเภท

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 ค่าจำกัดของเส้นทางเดินปกติ ปลายตัน และระยะสัญจร

ตาราง A.7.6 ค่าจำกัดของเส้นทางเดินปกติ ปลายตัน และระยะสัญจร ของพื้นที่ครอบครองประเภทต่างๆ

พื้นที่ครอบครองประเภท	ค่าจำกัดของเส้นทางเดินปกติ				ค่าจำกัดของปลายตัน			
	ไม่มีหัวกระจายน้ำดับเพลิง		มีกระจายน้ำดับเพลิง		ไม่มีหัวกระจายน้ำดับเพลิง		มีหัวกระจายน้ำดับเพลิง	
	เมตร	(ฟุต)	เมตร	(ฟุต)	เมตร	(ฟุต)	เมตร	(ฟุต)
ชุมนุมชน								
จะก่อสร้างใหม่	6.1/23[1]	(20/75)	6.1/23[1]	(20/75)	6.1[2]	(20)	6.1[2]	(20)
ก่อสร้างแล้ว	6.1/23[1]	(20/75)	6.1/23[1]	(20/75)	6.1[2]	(20)	6.1[2]	(20)
สถานศึกษา								
จะก่อสร้างใหม่	23	(75)	30	(100)	6.1	(20)	15	(50)
ก่อสร้างแล้ว	23	(75)	30	(100)	6.1	(20)	15	(50)
สถานรับดูแลในเวลากลางวัน								
จะก่อสร้างใหม่	23	(75)	30	(100)	6.1	(20)	15	(50)
ก่อสร้างแล้ว	23	(75)	30	(100)	6.1	(20)	15	(50)
รักษาพยาบาล								
จะก่อสร้างใหม่	NR	NR	NR	NR	9.1	(30)	9.1	(30)
ก่อสร้างเสร็จ	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
รักษาพยาบาลผู้ป่วยนอก								
จะก่อสร้างใหม่	23[5]	(75)	30[5]	(100)	6.1	(20)	15	(50)
ก่อสร้างเสร็จ	23[5]	(75)	30[5]	(100)	6.1	(20)	15	(50)
กักขังและลงโทษ								
ก่อสร้างใหม่–ใช้ II, III, IV	15	(50)	30	(100)	15	(50)	15	(50)
ก่อสร้างใหม่–ใช้ V	15	(50)	30	(100)	6.1	(20)	6.1	(20)
ก่อสร้างแล้ว-ใช้ II, III, IV, V	15[6]	(50)	30[6]	(100)	NR	NR	NR	NR
ที่อยู่อาศัย								
แบบหนึ่งและสองครอบครัว	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตาราง A.7.6 ค่าจำกัดของเส้นทางเดินปกติ ปลายตัน และระยะสัญจร ของพื้นที่ครอบครองประเภทต่างๆ

พื้นที่ครอบครองประเภท	ค่าจำกัดของเส้นทางเดินปกติ				ค่าจำกัดของปลายตัน			
	ไม่มีหัวกระจายน้ำดับเพลิง		มีกระจายน้ำดับเพลิง		ไม่มีหัวกระจายน้ำดับเพลิง		มีหัวกระจายน้ำดับเพลิง	
	เมตร	(ฟุต)	เมตร	(ฟุต)	เมตร	(ฟุต)	เมตร	(ฟุต)
ที่อยู่อาศัย								
บ้านพักให้เช่า	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
โรงแรมและหอพัก								
จะก่อสร้างใหม่	10.7[7,9]	(35)	15[7,9]	(50)	10.7	(35)	15	(50)
ก่อสร้างเสร็จแล้ว	10.7[7]	(35)	15[7]	(50)	15	(50)	15	(50)
อาคารห้องชุด								
จะก่อสร้างใหม่	10.7[7]	(35)	15[7]	(50)	10.7	(35)	15	(50)
ก่อสร้างเสร็จแล้ว	10.7[7]	(35)	15[7]	(50)	15	(50)	15	(50)
ที่อยู่อาศัยและให้การดูแล								
ขนาดเล็ก ทั้งก่อสร้างใหม่และก่อสร้างเสร็จแล้ว	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
ขนาดใหญ่ ที่จะก่อสร้างใหม่	NA	NA	38i	(125)	NA	NA	15	(50)
ขนาดใหญ่ ที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว	33	(110)	49	(160)	15	(50)	15	(50)
ค้าขาย								
ประเภท ก, ข, ค								
จะก่อสร้างใหม่	23	(75)	30	(100)	6.1	(20)	15	(50)
ก่อสร้างเสร็จแล้ว	23	(75)	30	(100)	15	(50)	15	(50)
เปิดโล่ง	NR	NR	NR	NR	0	(0)	0	(0)
โถงทางเดิน								
จะก่อสร้างใหม่	23	(75)	30	(100)	6.1	(20)	15	(50)
ก่อสร้างเสร็จแล้ว	23	(75)	30	(100)	15	(50)	15	(50)
ประกอบธุรกิจ								
จะก่อสร้างใหม่	23[11]	(75)	30[11]	(100)	6.1	(20)	15	(50)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตาราง A.7.6 ค่าจำกัดของเส้นทางเดินปกติ ปลายตัน และระยะสัญจร ของพื้นที่ครอบครองประเภทต่างๆ

พื้นที่ครอบครองประเภท	ค่าจำกัดของเส้นทางเดินปกติ				ค่าจำกัดของปลายตัน			
	ไม่มีหัวกระจายน้ำดับเพลิง		มีกระจายน้ำดับเพลิง		ไม่มีหัวกระจายน้ำดับเพลิง		มีหัวกระจายน้ำดับเพลิง	
	เมตร	(ฟุต)	เมตร	(ฟุต)	เมตร	(ฟุต)	เมตร	(ฟุต)
ประกอบธุรกิจ								
ก่อสร้างเสร็จแล้ว	23[11]	(75)	30[11]	(100)	15	(50)	15	(50)
กิจการโรงงาน								
แบบธรรดา	15	(50)	30	(100)	15	(50)	15	(50)
เพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ	15	(50)	30	(100)	15	(50)	15	(50)
แบบอันตรายสูง	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)
ชั้นพื้นของโรงซ่อมบำรุงเครื่องบิน	15[13]	(50)	30[13]	(100)	15[13]	(50)	15[13]	(50)
โรงซ่อมบำรุงเครื่องบิน	15[13]	(50)	23[13]	(75)	15[13]	(50)	15[13]	(50)
ชั้นลอย								
จัดเก็บสินค้า								
อันตรายต่ำ	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
อันตรายปานกลาง	15	(50)	30	(100)	15	(50)	30	(100)
อันตรายสูง	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)
สิ่งก่อสร้างสำหรับจอดรถแบบเปิด	15	(50)	15	(50)	15	(50)	15	(50)
สิ่งก่อสร้างสำหรับจอดรถแบบปิด	15	(50)	15	(50)	15	(50)	15	(50)
ชั้นพื้นของโรงเก็บบำรุงเครื่องบิน	15[13]	(50)	30[13]	(100)	15[13]	(50)	15[13]	(50)
โรงเก็บบำรุงเครื่องบิน	15[13]	(50)	23[13]	(75)	15[13]	(50)	15[13]m	(50)
ชั้นลอย								
บริเวณใต้ดิน	15[13]	(50)	30[13]	(100)	15[13]m	(50)	30[13]	(100)
ที่เก็บเมล็ดข้าวแบบยกสูง								

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

NA: ไม่ยินยอม

NR: ไม่มีข้อกำหนด

[1] 6.1 เมตร (20 ฟุต) สำหรับทางเดินตามปกติที่รองรับมากกว่า 50 คน, 23 เมตร (75 ฟุต) สำหรับทางเดินตามปกติที่รองรับน้อยไม่เกิน 50 คน

[2] 6.1 เมตร (20 ฟุต) ยินยอมให้สำหรับทางเดินร่วมปลายตัน, 6.1 เมตร (20 ฟุต) ยินยอมให้สำหรับทางเดินระหว่างที่นั่งปลายตัน

[3] ดูบทที่ 12 และ 13 สำหรับการจัดที่นั่งด้วยชุดป้องกันควันในสนามกีฬา

[4] เป็นค่าระยะสัญจรทั้งหมด โดยสมมติว่าส่วนที่เพิ่มขึ้นนั้นใช้งานมากสุดเท่าที่ยินยอม สำหรับระยะสัญจรภายในห้อง และจากประตูทางเข้าทางหนีไฟไปยังทางหนีไฟ ดูข้อกำหนดอื่นที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ครอบครอง

[5] ดูพื้นที่ครอบครองประเภทประกอบธุรกิจ บทที่ 38 และ 39

[6] ดูบทที่ 23 สำหรับทางเดินปกติที่มีอยู่ก่อนแล้ว

[7] ค่านี้วัดจากประตูทางเข้าทางหนีไฟจาก ห้อง/ทางเดินร่วม หรือ ห้องชุด/ทางเดินร่วม ไปยังทางหนีไฟ ดังนั้น สามารถนำไปใช้ได้กับทางเดินปกติ

[8] ดูข้อกำหนดในบทที่เหมาะสมสำหรับระยะสัญจรพิเศษที่ต้องพิจารณาสำหรับทางด้านนอกขอทางเข้าทางหนีไฟ

[9] ดูข้อกำหนดในบทที่เหมาะสมสำหรับทางเข้าทางหนีไฟทางที่สองในพื้นที่ห้อง

[10] ดูข้อกำหนด 36.4.4 และ 37.4.4 สำหรับการพิจารณาระยะสัญจรพิเศษในโถงทางเดินเชื่อม

[11] ดูบทที่ 40 สำหรับการพิจารณาระยะสัญจรพิเศษในพื้นที่ครอบครองประเภทกิจการโรงงาน

[12] ดูบทที่ 40 และ 42 สำหรับข้อกำหนดพิเศษของพื้นที่อันตรายสูง

[13] ดูบทที่ 40 และ 42 สำหรับข้อกำหนดพิเศษเกี่ยวกับระยะห่างของประตูในโรงเก็บเครื่องบิน

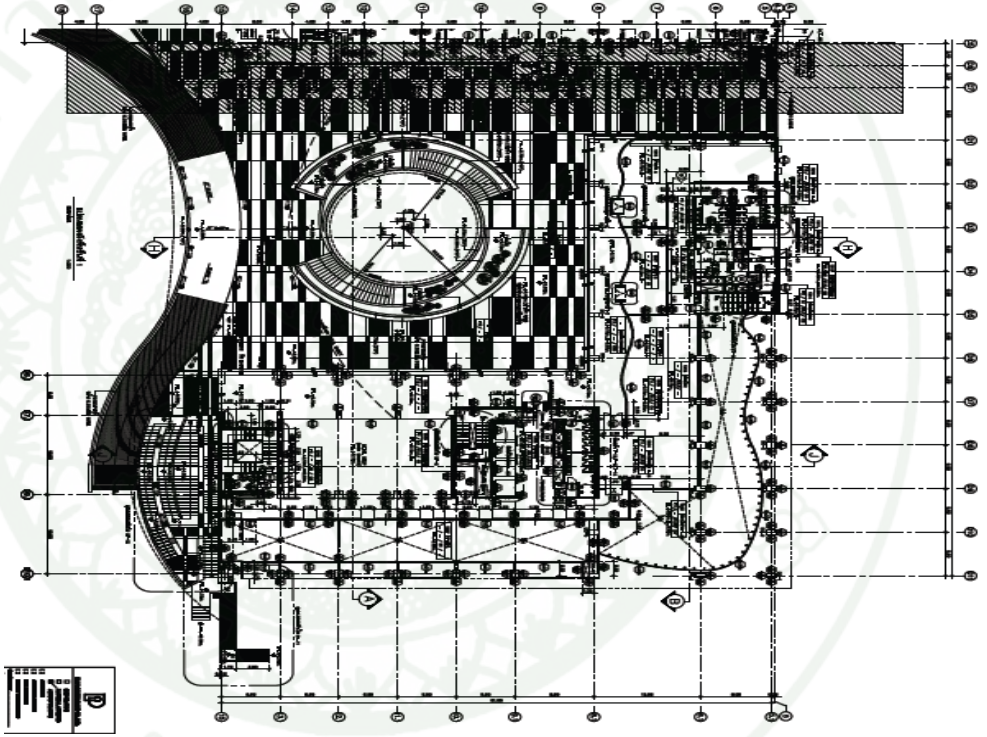
ที่มา: มาตรฐาน NFPA (2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

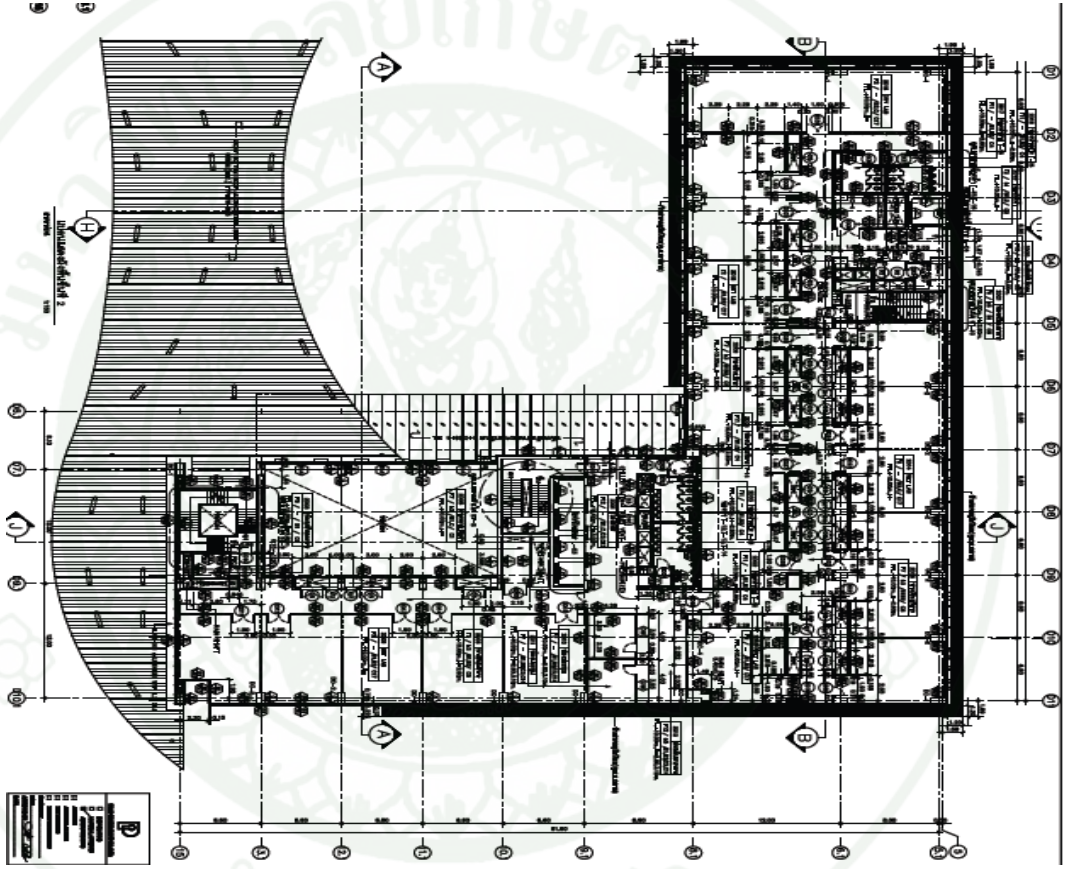
แบบผังแปลนกลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

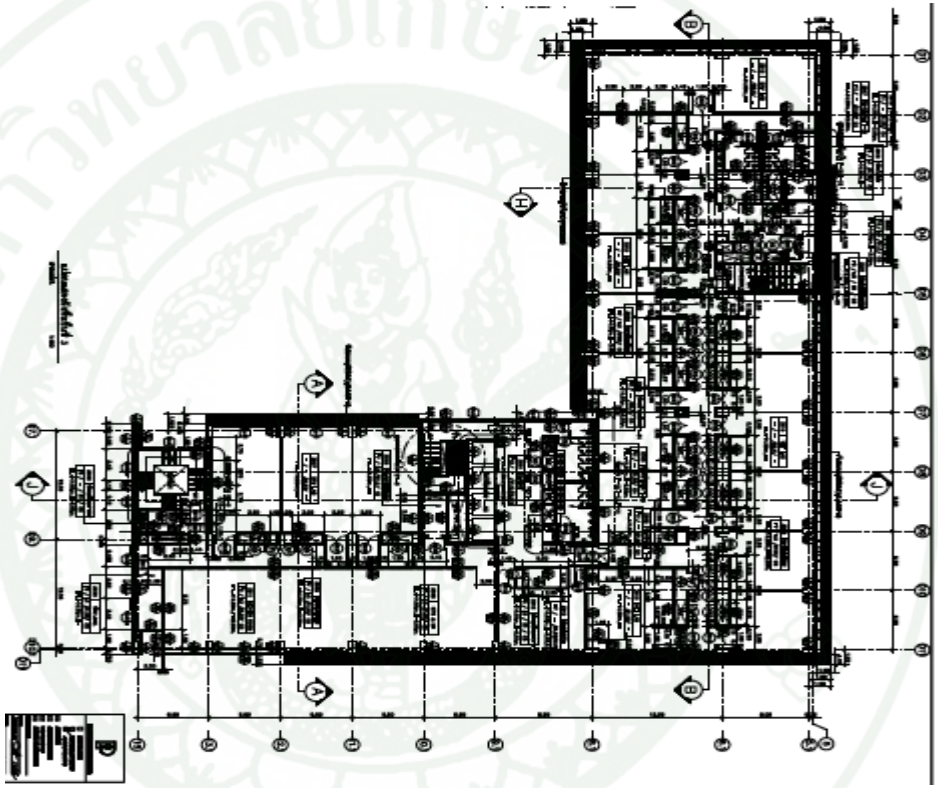


ภาพผนวกที่ ข1 รูปผังแปลนพื้นชั้น 1 กลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

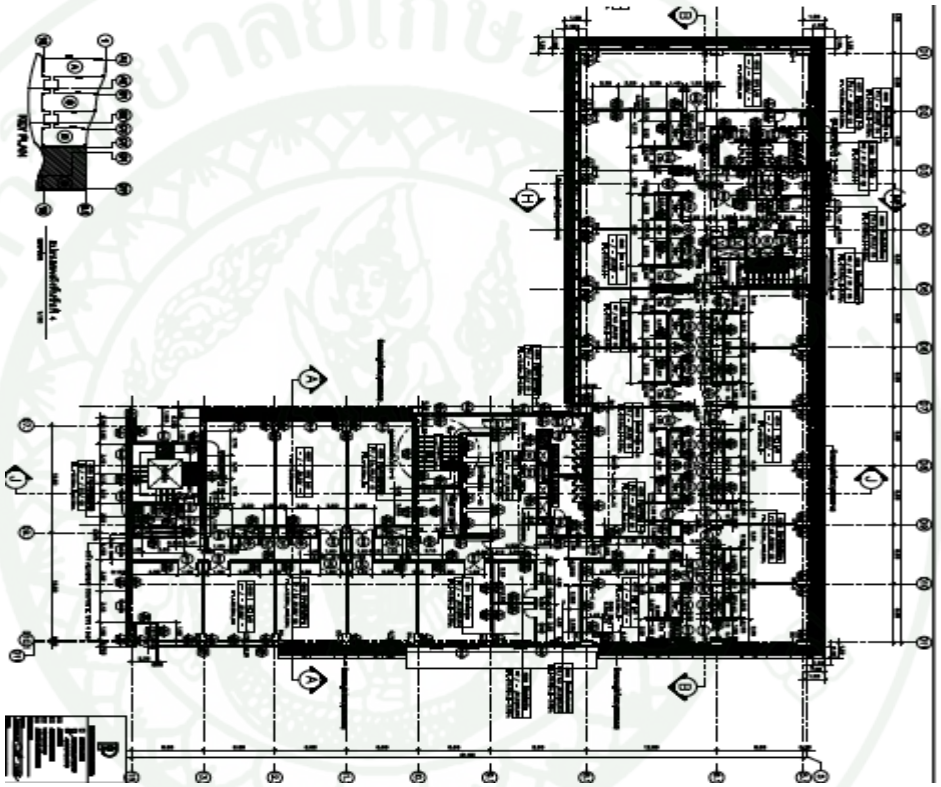


ภาพผนวกที่ ข2 รูปผังแปลนพื้นชั้น 2 กลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

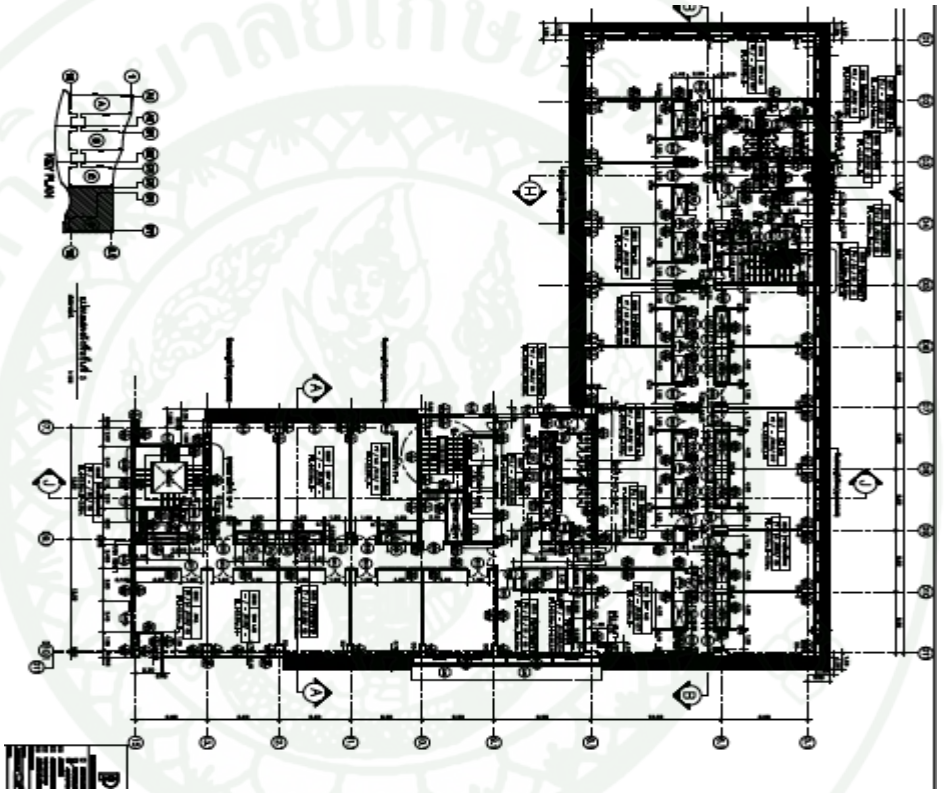


ภาพผนวกที่ ข3 รูปผังแปลนพื้นชั้น 3 กลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

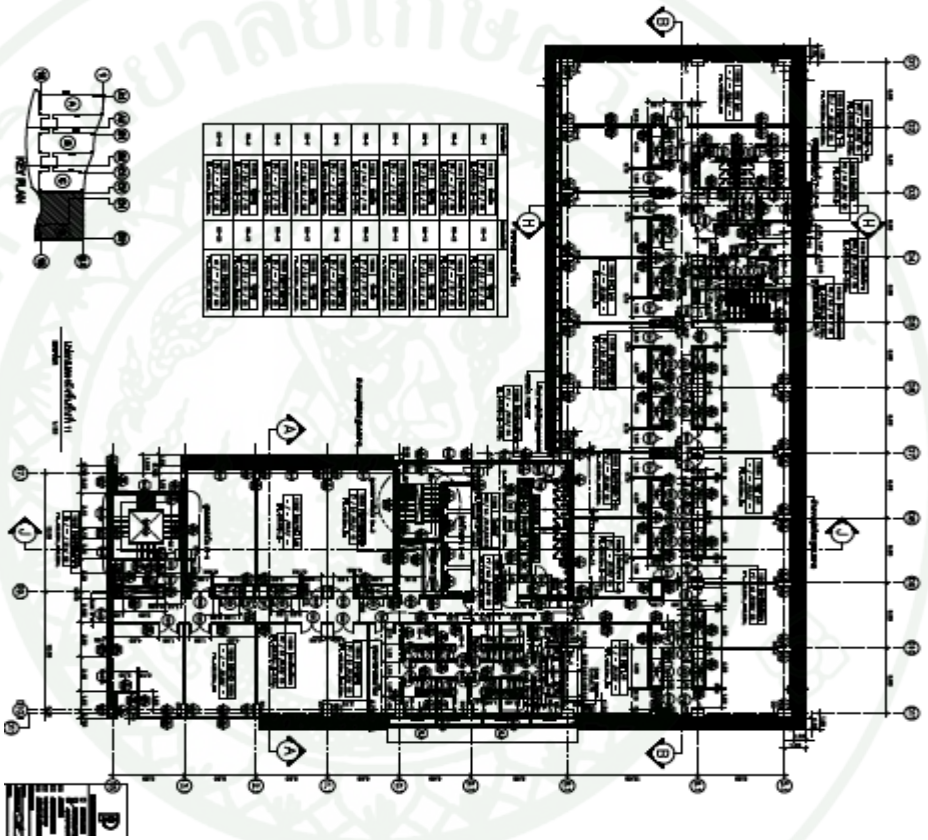


ภาพผนวกที่ ข4 รูปผังแปลนพื้นชั้น 4,6,8,9,10 กลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

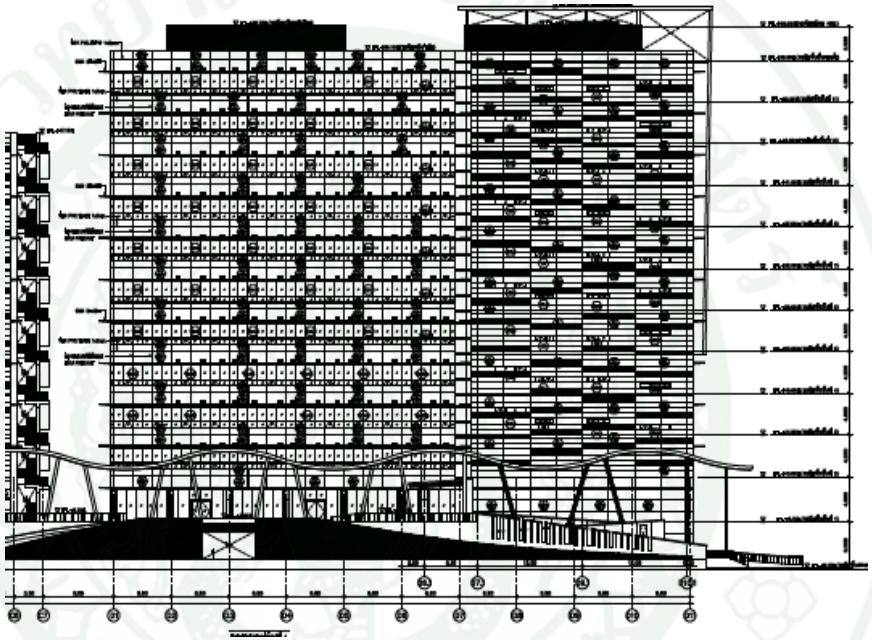


ภาพผนวกที่ ข5 รูปผังแปลนพื้นชั้น 5,7 กลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

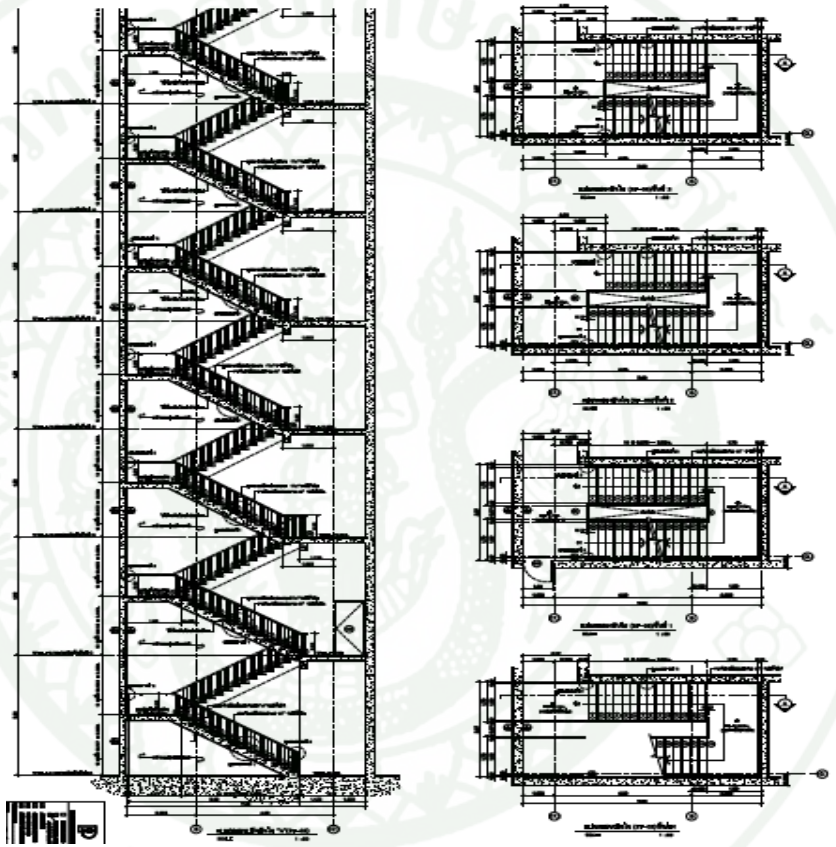
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ข6 รูปผังแปลนพื้นชั้น 11 กลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

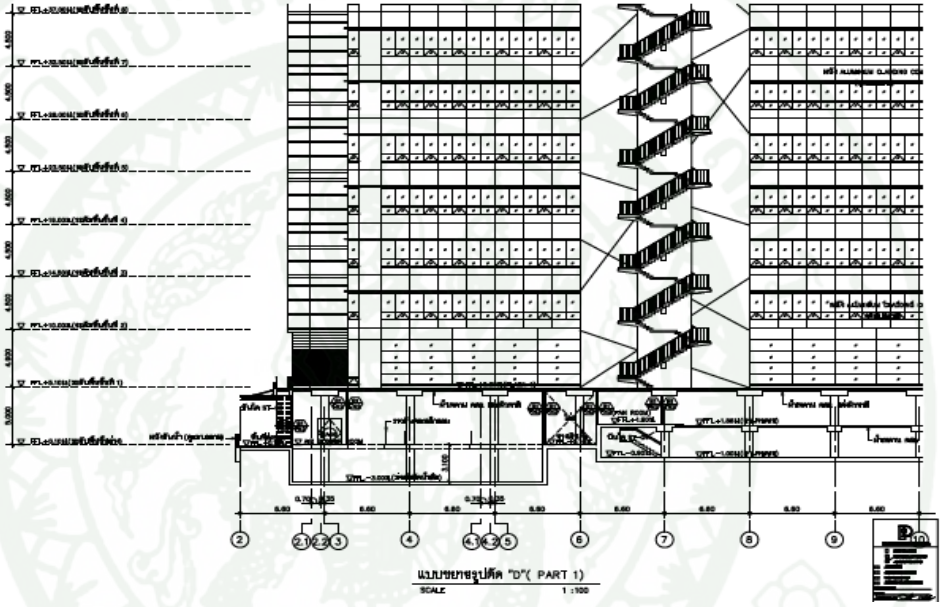


ภาพผนวกที่ ข7 รูปผังด้านข้าง กลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย



ภาพผนวกที่ ข8 รูปผังบันได กลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาคผนวก ข 9 รูปผังขยายรูปตัด กลุ่มอาคารนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวสมบุญ สารทอง
เกิดวันที่	3 เมษายน 2520
สถานที่เกิด	อำเภอสอง จังหวัดแพร่
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (บ้านสมเด็จเจ้าพระยา) มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ตำแหน่งปัจจุบัน	พนักงานมหาวิทยาลัยมหิดล
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์