



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารวิศวกรรมเครื่องกลด้วยแบบจำลอง PyroSim และ Pathfinder

A Numerical Simulation of Fire Evacuation of Mechanical Engineering Building via PyroSim and Pathfinder

นามผู้วิจัย นายสุรพงษ์ สุประดิษฐ์อากรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชัย ศิระโกศิณัฐ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารวิศวกรรมเครื่องกลด้วยแบบจำลอง
PyroSim และ Pathfinder

A Numerical Simulation of Fire Evacuation of Mechanical Engineering Building
via PyroSim and Pathfinder

โดย

นายสุรพงษ์ สุประดิษฐอาภรณ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุรพงษ์ สุประดิษฐอาภรณ์ 2556: การจำลองการอพยพหนีไฟของอาคาร
วิศวกรรมเครื่องกลด้วยแบบจำลอง PyroSim และ Pathfinder ปรินญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D. 77 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยใช้แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ 2 แบบจำลอง
คือ แบบจำลอง PyroSim 2010 และแบบจำลอง Pathfinder 2009 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือเพื่อ
ศึกษาพฤติกรรมการอพยพหนีไฟในกรณีที่บันไดหนีไฟของอาคารใช้งานได้เป็นปกติและในกรณีที่
บันไดหนีไฟบางบันไดไม่สามารถใช้งานได้ และประมาณเวลาในการอพยพหนีไฟในแต่ละกรณี
อาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลเป็นอาคารสูง 5 ชั้น ความสูงจากพื้นถึงหลังคาประมาณ 25 เมตร
กว้าง 30 เมตร และยาว 60 เมตร มีบันไดหนีไฟจำนวน 2 บันได ที่ตำแหน่งกลางอาคาร และ
ด้านข้างของอาคารจำนวนคนผู้ใช้อาคารสูงสุดคำนวณตามมาตรฐาน NFPA 101 Life Safety Code
มีทั้งสิ้น 1477 คน

การจำลองด้วยแบบจำลองทั้งสองได้ดำเนินการเป็น 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 บันไดหนีไฟทุก
บันไดของอาคารสามารถใช้งานได้ กรณีที่ 2 บันไดหนีไฟกลางอาคารไม่สามารถใช้งานได้ และ
กรณีที่ 3 บันไดหนีไฟด้านข้างอาคารไม่สามารถใช้งานได้ จากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าในกรณีที่
บันไดหนีไฟของอาคารทุกบันไดสามารถใช้งานได้เป็นปกติ เวลาในการอพยพหนีไฟคำนวณด้วย
แบบจำลอง PyroSim 2010 เท่ากับ 492 วินาที และคำนวณด้วยแบบจำลอง Pathfinder 2009 เท่ากับ
322 วินาที ตามลำดับ ในกรณีที่บันไดหนีไฟของอาคารสามารถใช้งานได้เพียง 1 บันได เวลาในการ
อพยพหนีไฟอาจใช้มากขึ้นเป็น 592 วินาที เมื่อคำนวณด้วยแบบจำลอง PyroSim สาเหตุหลักที่ทำให้
ให้เวลาในการอพยพหนีไฟในกรณีที่มีเพียง 1 บันไดเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเนื่องจากเกิดการรอคิวที่
ทางลงบันไดชั้น 5 เนื่องจากจำนวนบันไดหนีไฟไม่เพียงพอต่อผู้ใช้อาคาร

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Surapong Supraditarporn 2013: A Numerical Simulation of Fire Evacuation of Mechanical Engineering Building via PyroSim and Pathfinder. Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Nathasak Boonmee, Ph.D. 77 pages.

This research presents a numerical simulation of fire evacuation of Mechanical Engineering Building via 2 CFD fire modeling programs; PyroSim 2010 and Pathfinder 2009. The objectives of this research are to investigate the building evacuation behavior when the building exit stairs are fully available and when some exit stairs are not available, and estimate the building evacuation time for each case. The Mechanical Engineering Building is a 5-story building with approximately height from ground to roof of 25 m. The building is 30 m wide and 60 m long. There are 2 exit stairs located at the center and at the side of the building. The building occupant load of 1477 persons was estimated according to NFPA 101 Life Safety Code.

The simulations via 2 programs were carried out for 3 cases; Case 1 all the building exit stair are available, Case 2 the exit stair at the center is not available, and Case 3 the exit stair at the side is not available. The study shows that when all the building exit stairs are available, the building evacuation times are 492 seconds (calculated with PyroSim 2010), and 322 seconds (calculated with Pathfinder 2009). In the case where only one exit stair is available, the building evacuation time may go up to 592 seconds (calculated with PyroSim 2010). The main reason that make the building evacuation time increases is due to congestion at the exit stair entrance on the 5th floor.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ บุญมี ประธานกรรมการที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการให้คำปรึกษาและวางแผนในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้
ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ให้
คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และขอขอบคุณเพื่อน และพี่ ทุกท่าน ที่ได้มีส่วนในการให้
คำแนะนำ ให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว และน้องสาว ที่ได้แนะนำและให้
กำลังใจในการเรียนและการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา

สุรพงษ์ สุประดิษฐอาภรณ์
มกราคม 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	18
ผลและวิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	57
สรุป	57
ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	59
ภาคผนวก	61
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ขนาดร่างกายและความเร็วในการเดินภายในโปรแกรม PyroSim ขนาดวงกลมของไหล่แทนด้วย $d_s = R_d - R_s$	4
2 แสดงคุณสมบัติของผู้อพยพ	9
3 แสดงรายละเอียดที่ส่งผลต่อการอพยพ	9
4 แสดงตัวประกอบความจุของอาคาร (Occupant Load Factor) ที่ใช้ในอาคารนี้	17
5 แสดงผลการวิเคราะห์กิจกรรมการใช้อาคาร	28
6 แสดงความแตกต่างแต่ละกรณีที่ใช้ในการวิเคราะห์ห่ออพยพหนีไฟ	37
7 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพและปริมาณคนสะสม	39
8 แสดงร้อยละของการเลือกทางออกของผู้อพยพในแต่ละชั้น	42
9 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพและปริมาณคนสะสมของโปรแกรม PyroSim	49
10 แสดงร้อยละของการเลือกทางออกของผู้อพยพในแต่ละชั้นของโปรแกรม PyroSim	50
11 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพและปริมาณคนสะสมของโปรแกรม Pathfinder	54
12 แสดงร้อยละของการเลือกทางออกของผู้อพยพในแต่ละชั้นของโปรแกรม Pathfinder	55

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ขนาครูปร่างของมนุษย์แทนด้วยวงกลม 3 วงซ้อนกัน	3
2 แสดงแนวคิดเรื่องแรงกระทำรอบข้าง	5
3 แสดงการไหลของลมไปยังทางออกเพื่อบอกทิศทาง	5
4 แสดงตัวเลขระหว่าง 1 ถึง 1024 ที่สามารถนำมายกกำลังสำหรับ 2,3,5	6
5 แสดงแบบจำลอง 3 มิติ และ navigation mesh	7
6 แสดงการเคลื่อนที่ในโหมด SFPE และ โหมด Steering	8
7 แสดงส่วนประกอบทั้ง 3 ของเส้นทางหนีไฟ	14
8 แสดงลักษณะทางกายภาพของอาคารวิศวกรรมเครื่องกล	19
9 แสดงบันไดที่ใช้ในการอพยพของอาคารวิศวกรรมเครื่องกล	19
10 แสดงหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม PyroSim	20
11 แสดงหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม Pathfinder	21
12 แสดงการกำหนดโครงข่ายของโปรแกรม PyroSim	22
13 แสดงแบบจำลองที่สร้างจากโปรแกรม PyroSim	22
14 แสดงบันไดทั้ง 4 ที่ใช้ในการอพยพของโปรแกรม PyroSim (ภาพมุมบนของอาคาร)	23
15 แสดงทางออก (Exit) ของอาคารบริเวณชั้น 1	23
16 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้น 2 ของอาคาร	24
17 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้น 3 ของอาคาร	24
18 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้น 4 ของอาคาร	25
19 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้น 5 ของอาคาร	25
20 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้น 6 ของอาคาร	26
21 แสดงแบบจำลองของโปรแกรม Pathfinder	27
22 แสดงการรันโปรแกรม Pathfinder ขณะกำลังอพยพ	27
23 แสดงการเปรียบเทียบบริเวณที่มีการเลี้ยวของโปรแกรม PyroSim และ Pathfinder	35
24 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของผู้อพยพบริเวณชั้น 6 ของโปรแกรม Pathfinder	36
25 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของผู้อพยพบริเวณชั้น 6 ของโปรแกรม PyroSim	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
26 แสดงกราฟเวลาที่ใช้ในการอพยพแต่ละชั้นของโปรแกรม PyroSim	40
27 แสดงกราฟปริมาณคนสะสมในแต่ละชั้นของโปรแกรม PyroSim	40
28 แสดงกราฟเวลาที่ใช้ในการอพยพแต่ละชั้นของโปรแกรม Pathfinder	41
29 แสดงกราฟปริมาณคนสะสมในแต่ละชั้นของโปรแกรม Pathfinder	41
30 แสดงการอพยพบริเวณชั้น 4 ของโปรแกรม PyroSim	45
31 แสดงการอพยพบริเวณชั้น 4 ของโปรแกรม Pathfinder	45
32 แสดงการอพยพบริเวณชั้น 3 ของโปรแกรม PyroSim	46
33 แสดงการอพยพบริเวณชั้น 3 ของโปรแกรม Pathfinder	46
34 แสดงการเลือกใช้บันไดทางออกบริเวณชั้น 4 กรณีไม่มี Stair-3 ของโปรแกรม PyroSim	51
35 แสดงการเลือกใช้บันไดทางออกบริเวณชั้น 4 กรณีไม่มี Stair-2 ของโปรแกรม PyroSim	51
36 แสดงการเลือกใช้บันไดทางออกบริเวณชั้น 5 กรณีไม่มี Stair-3 ของโปรแกรม PyroSim	52
37 แสดงการเลือกใช้บันไดทางออกบริเวณชั้น 5 กรณีไม่มี Stair-2 ของโปรแกรม PyroSim	52
38 แสดงกราฟระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพของโปรแกรม PyroSim	53
39 แสดงกราฟระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพของโปรแกรม Pathfinder	56

การจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารวิศวกรรมเครื่องกล ด้วยแบบจำลอง PyroSim และ Pathfinder

A Numerical Simulation of Fire Evacuation of Mechanical Engineering Building via PyroSim and Pathfinder

คำนำ

อุบัติเหตุและภัยธรรมชาติเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้อำนาจไว้หรือไม่คาดคิดมาก่อนว่าจะเกิดขึ้นเมื่อใด เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะก่อให้เกิด ความเสียหายตามมามากมาย บางครั้งเป็นความเสียหายร้ายแรงถึงเสียชีวิต อาคารบ้านเรือนพังทลาย สูญเสียเครื่องจักร อุปกรณ์ และสิ่งแวดล้อมถูกทำลาย ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญเพื่อความปลอดภัยต่อตนเองและทรัพย์สิน โดยการสร้างแนวทางในการปฏิบัติเมื่อเกิดสถานการณ์ต่างๆขึ้น เช่น การฝึกซ้อมการอพยพเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ การฝึกซ้อมการอพยพเมื่อเกิดเหตุแผ่นดินไหว เป็นต้น จากที่กล่าวมาเราจะเห็นว่าเราให้ความสำคัญต่อชีวิตมากเป็นอันดับหนึ่งเมื่อเกิดสถานการณ์ขึ้นจริง ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาจำลองการอพยพอย่างกว้างขวางและเป็นที่ยอมรับกันมากขึ้น เนื่องจากการจำลองสามารถใช้ประเมินสถานการณ์ภายในอาคารพร้อมทั้งสามารถดูพฤติกรรมการอพยพไปยังทางออกของคนเพื่อให้สามารถมองเห็นภาพรวมของเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้น ทำให้เกิดความเข้าใจ และมองเห็นแนวทางในการรับมือเหตุการณ์ดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น

ดังนั้นเพื่อให้การอพยพหนีไฟของอาคารวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน เกิดความปลอดภัยมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีองค์ความรู้ที่จะต้องมีการศึกษาพฤติกรรมการอพยพไปยังทางออกของผู้ใช้อาคารรวมถึงการตัดสินใจเลือกทางออกของผู้ใช้อาคารด้วย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการอพยพของผู้ใช้อาคารรวมถึงการตัดสินใจเลือกทางออกด้วยการจำลองการอพยพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 2 โปรแกรม และวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟเทียบกับกฎหมายและมาตรฐาน การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้จะทำให้เห็นภาพรวมการไปยังทางออกของผู้ใช้อาคาร ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการเตรียมความพร้อมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการอพยพมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง PyroSim จำลองพฤติกรรมการอพยพหนีไฟของอาคาร
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
2. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง Pathfinder จำลองพฤติกรรมการอพยพหนีไฟของอาคาร
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
3. เพื่อนำผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง PyroSim และแบบจำลอง Pathfinder มา
เปรียบเทียบ

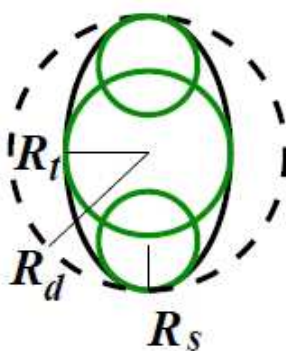
การตรวจเอกสาร

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการจำลองการอพยพ 2 โปรแกรม คือ PyroSim version 2010 และ Pathfinder version 2009 โดยทฤษฎีพื้นฐานของโปรแกรมทั้งสองมีลักษณะ ดังนี้

1. โปรแกรม PyroSim 2010

โปรแกรม Pyrosim ประกอบขึ้นจากการคำนวณการอพยพและแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล (Computer Fluid Dynamics, CFD) โปรแกรมสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการจำลองเพลิงไหม้ (พัฒนาโดย NIST หรือ National Institute of Standard and Technology, USA) และส่วนของการอพยพ (พัฒนาโดย VTT Technology Research Centre of Finland) โดยงานวิจัยชิ้นนี้จะจำลองในส่วนของการอพยพเพียงอย่างเดียว

โปรแกรม PyroSim จะกำหนดลักษณะของบุคคลโดยใช้วงกลม 3 วง แสดงในภาพที่ 1 ส่วนความเร็วในการเคลื่อนที่และขนาดร่างกายของคนแต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ขนาดรูปร่างของมนุษย์แทนด้วยวงกลม 3 วงซ้อนกัน

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2009)

ตารางที่ 1 ขนาดร่างกายและความเร็วในการเดินภายในโปรแกรม PyroSim ขนาดวงกลมของไหล่
แทนด้วย $d_s = R_d - R_s$

Body type	R_d (m)	R_t/R_d (-)	R_s/R_d (-)	d_s/R_d (-)	Speed (m/s)
Adult	0.255 ± 0.035	0.5882	0.3725	0.6275	1.25 ± 0.30
Female	0.240 ± 0.020	0.5833	0.3750	0.6250	1.15 ± 0.20
Male	0.270 ± 0.020	0.5926	0.3704	0.6296	1.35 ± 0.20
Child	0.210 ± 0.015	0.5714	0.3333	0.6667	0.90 ± 0.30
Elderly	0.250 ± 0.020	0.6000	0.3600	0.6400	0.80 ± 0.30

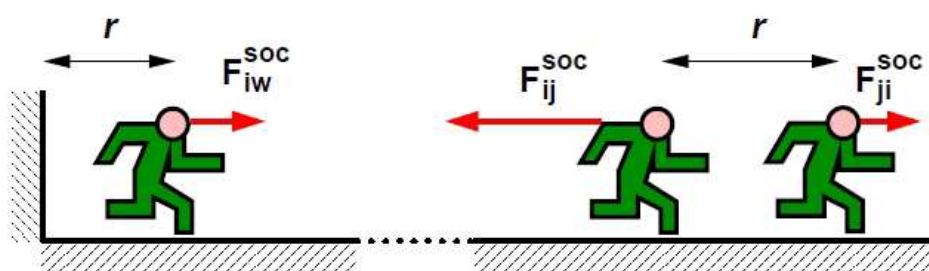
ที่มา: Korhonen and Hostikka (2009)

แบบจำลองของ Helbing และกลุ่ม (2000) ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับชุดคำสั่งในการเคลื่อนที่ของตัวแทนในโปรแกรม PyroSim ซึ่งมีพื้นฐานมาจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน โดยเป็นที่รู้จักในเรื่อง แรงกระทำรอบข้าง (Social Force) ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยจะเปรียบตัวแทนเสมือนวัตถุมาทำปฏิกิริยากัน แสดงโดยสมการการเคลื่อนที่ ดังนี้

$$m_i \frac{d^2 X_i(t)}{dt^2} = f_i(t) + \xi_i(t), \quad (1)$$

โดยที่

- $X_i(t)$ แทน ตำแหน่งของตัวแทน i ที่เวลา t
- $f_i(t)$ แทน แรงรอบข้างที่กระทำลงบนตัวแทน
- m_i แทน มวล
- $\xi_i(t)$ แทน ค่าความผันผวนของแรง
- dX_i/dt แทน ความเร็วของตัวแทน i , $V_i(t)$

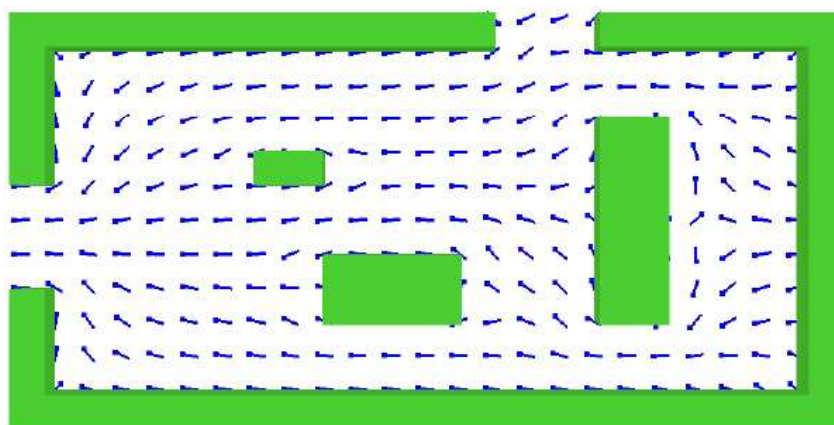


ภาพที่ 2 แสดงแนวคิดเรื่องแรงกระทำรอบข้าง

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2009)

การอพยพไปยังประตูทางออกของโปรแกรม PyroSim

โปรแกรม PyroSim มีวิธีการบอกทิศทางไปยังประตูทางออก โดยจะสร้างการไหลของลมที่ความเร็วต่ำๆ เพื่อเป็นการบอกทิศทางให้ตัวแทนรู้ว่าทางออกอยู่ตำแหน่งใด ซึ่งลมที่ถูกสร้างขึ้นมานี้จะรู้จักเฉพาะในส่วนของการอพยพ (Evacuation) เท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงการไหลของลมไปยังทางออกเพื่อบอกทิศทาง

ที่มา: Korhonen and Hostikka (2009)

ในกรณีที่มิมีประตูทางออกหลายแห่ง โปรแกรม PyroSim จะทำการคำนวณเวลาโดยประมาณในการอพยพ (Estimate Evacuation Time) เพื่อให้ตัวแทนเลือกใช้ประตูทางออกที่ใช้เวลาในการอพยพน้อยที่สุด ซึ่งจะคำนวณจาก 2 ส่วนคือ เวลาที่ใช้ไปยังทางออก (The Walking Time to Exit Door) จะคำนวณจากระยะทางไปยังประตูทุกประตูเทียบกับความเร็วของผู้อพยพ และเวลาที่ใช้ในการรอคอยที่ประตู (The Queuing Time) จะคำนวณจากความกว้างของประตูกับจำนวนผู้อพยพ โดยจะคำนวณเฉพาะประตูที่มองเห็นเท่านั้น จากการคำนวณทั้ง 2 ส่วนของโปรแกรม จะส่งผลต่อการเลือกประตูทางออกของผู้อพยพ โดยจะเลือกทางออกที่เร็วที่สุดในทุกรอบของการคำนวณจะมีการคำนวณทุกครั้งเพื่อประกอบการตัดสินใจของผู้อพยพ สามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$\text{Estimated Evacuation Time} = \text{The Walking Time to the Exit Door} + \text{The Queuing Time} \quad (2)$$

กริด (MESH)

กริด(mesh) สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้ Uniform MESH คือ กริดมีขนาดที่สม่ำเสมอภายในกล่องสี่เหลี่ยมที่สร้างขึ้น และ Non-uniform MESH คือ กริดมีขนาดที่แตกต่างกันภายในกล่องสี่เหลี่ยมที่สร้างขึ้น โดยประสิทธิภาพของโปรแกรม PyroSim จะมีผลมาจากการกำหนดขนาดกริดที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญของการคำนวณ โดยใช้ Poisson solver based on Fast Fourier Transforms (FFTs) ในทิศทาง y และ z มิติที่ 2 และ 3 ของกริด (mesh) ควรจะมาจากแบบฟอร์ม $2^l, 3^m, 5^n$ โดยที่ l,m,n เป็นจำนวนเต็ม ยกตัวอย่างเช่น $108 = 2^2 3^3$

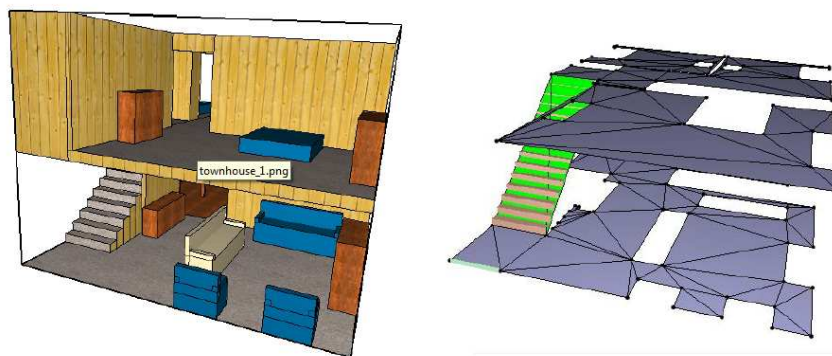
2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	16	18	20	24	25
27	30	32	36	40	45	48	50	54	60	64	72	75	80	81
90	96	100	108	120	125	128	135	144	150	160	162	180	192	200
216	225	240	243	250	256	270	288	300	320	324	360	375	384	400
405	432	450	480	486	500	512	540	576	600	625	640	648	675	720
729	750	768	800	810	864	900	960	972	1000	1024				

ภาพที่ 4 แสดงตัวเลขระหว่าง 1 ถึง 1024 ที่สามารถนำมายกกำลังสำหรับ 2,3,5

ที่มา: Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide (2007)

2. โปรแกรม Pathfinder 2009

โปรแกรม Pathfinder เป็นโปรแกรมการจำลองการเคลื่อนไหวในการหาทางออกของมนุษย์ และสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งสองมิติและสามมิติ โปรแกรม Pathfinder ถูกสร้างขึ้นจากแนวคิดของการสร้างพื้นที่ทางเดินเป็นหลักรวมถึงสิ่งกีดขวางและบันไดต่างๆ โดยรูปทรงเรขาคณิตที่เกิดขึ้นเป็นแบบจำลองที่เกิดจากการสร้างกริดรูปสามเหลี่ยมติดกันเรียกว่า navigation mesh และการเคลื่อนไหวของผู้อพยพก็จะเกิดอยู่ในระบบนี้ด้วย แสดงในภาพที่ 5 โดยโปรแกรม Pathfinder นี้ สามารถจำแนกการเคลื่อนที่ได้ทั้งหมดสองลักษณะ ดังนี้

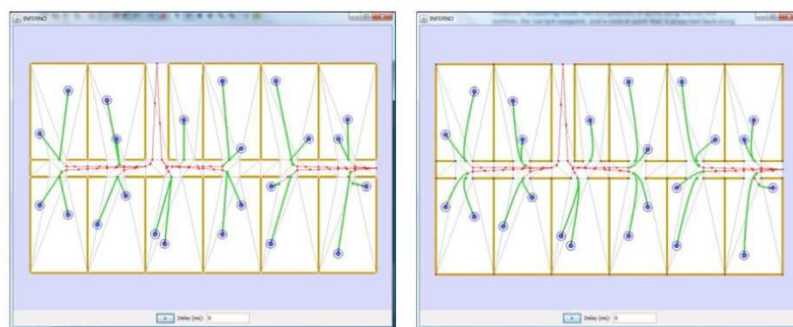


ภาพที่ 5 ซ้าย: แสดงแบบจำลอง 3 มิติ ขวา: แสดง navigation mesh

ที่มา: Pathfinder Technical Reference (2009)

1. The Society of Fire Protection Engineers (SFPE) ความเร็วในการเคลื่อนที่จะพิจารณาจากความหนาแน่นของคนที่อยู่ภายในแต่ละห้อง และความเร็วของการเคลื่อนที่ผ่านประตูจะควบคุมโดยความกว้างของประตู การเคลื่อนที่จะเป็นลักษณะเส้นตรงนั้นคือจากจุดหรือตำแหน่งที่ยืนอยู่ในปัจจุบัน ไปอีกตำแหน่งหนึ่งโดยใช้เส้นตรงเป็นหลักจนกระทั่งถึงทางออก

2. Steering แคนบังคับเลี้ยวจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนได้มากขึ้น คือการเคลื่อนที่ที่มีความโค้ง โดยได้มาจากผลที่เกิดขึ้นของสมการของการเว้นระยะระหว่าง มนุษย์กับมนุษย์และมนุษย์กับสิ่งกีดขวาง ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ซ้าย: แสดงการเคลื่อนที่ในโหมด SFPE ขวา: แสดงการเคลื่อนที่ในโหมด Steering

ที่มา: Pathfinder Technical Reference (2009)

รูปทรงเรขาคณิตของโปรแกรม Pathfinder

1. พื้นที่ห้อง

เป็นการสร้างพื้นที่กว้างสำหรับการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ ในโหมด SFPE ผู้อพยพจะสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุดตามปริมาณความหนาแน่นของผู้อพยพภายในห้อง

2. ประตู

ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างห้อง ในโหมด SFPE ประตูจะทำหน้าที่เป็นกลไกในการควบคุมการไหลผ่านประตู ส่วนโหมด Steering ประตูจะทำหน้าที่เพื่อบันทึกการเคลื่อนที่ระหว่างห้องเพื่อผลลัพธ์

3. บันได

ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างห้องที่อยู่ในระดับที่แตกต่างกัน บันไดจะต่อกับประตูที่มี กริด แต่ถ้าประตูนั้นไม่มีกริดเชื่อมต่ออยู่แสดงว่าประตุนั้นเป็นประตูทางออก

ลักษณะของผู้อพยพ

ข้อมูลของผู้อพยพประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ลักษณะทางกายภาพของผู้อพยพ และการเก็บรวบรวมตัวแปรที่ส่งผลต่อการอพยพเพื่อควบคุมการมองเห็น ไหวพริบ ในการอพยพ ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของผู้อพยพ

Property	Description
Name	Name Of occupant
Exit	The exit for the occupant
Speed	The maximum walking speed
Delay	The initial delay before motion
Size	The radius of the occupant
Color	Color used to display occupant
Coordinate	Location of occupant in 3D space

ที่มา: Pathfinder Technical Reference (2009)

ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดที่ส่งผลต่อการอพยพ

Decision Option	Description
Speed	The maximum walking speed
Delay	The initial delay before motion
Size	The diameter of the occupant

ที่มา: Pathfinder Technical Reference (2009)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Korhonen and Hostikka (2009) ได้ทำการทดสอบโปรแกรม FDS+Evac โดยใช้รูปร่างที่ไม่ซับซ้อนกับแบบจำลอง โดยจะกำหนดค่าความเร็วในการการเดิน กำหนดตำแหน่งทางออก และการหลบหลีกสิ่งกีดขวางของตัวแทน โดยจะทำการจำลองในส่วนการอพยพเพียงอย่างเดียว รายการทดสอบโปรแกรมและผลการทดสอบมีดังนี้

การทดสอบที่ 1 ทดสอบความเร็วในการเดิน โดยกำหนดให้ตัวแทนเดินด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที ระยะทาง 40 เมตร ในเวลา 40 วินาที ผลการทดสอบพบว่าสามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 2 ทดสอบความเร็วในการเดินขึ้นบันได โดยกำหนดตัวแทนให้เดินด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที ควรจะเดินได้ 10 เมตร ในเวลา 10 วินาที ผลการทดสอบพบว่าสามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 3 ทดสอบความเร็วในการเดินลงบันได โดยกำหนดตัวแทนให้เดินด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที ควรจะเดินได้ 10 เมตร ในเวลา 10 วินาที ผลการทดสอบพบว่าสามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 4 ทดสอบอัตราการไหลที่ทางออก โดยกำหนดตัวแทน 100 คน ให้อยู่ในห้อง และประตูทางออกกว้างเท่ากับ 1 เมตร อัตราการไหลที่ได้ไม่ควรเกิน 1.33 คนต่อวินาที ผลการทดสอบพบว่าสามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 5 ทดสอบเวลาในการตอบสนอง ผลการทดสอบพบว่าสามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 6 ทดสอบการผ่านบริเวณที่เป็นมุม ผลการทดสอบพบว่าตัวแทนสามารถเข้าใกล้บริเวณที่เป็นมุมโดยไม่ชนมุมดังกล่าว

การทดสอบที่ 7 การกระจายตัวของประชากรเป็นไปตามค่าที่โปรแกรมกำหนด ผลการทดสอบพบว่าโปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 8 การกำหนด FED (Fraction Effective Dose) ทดสอบโดยการกำหนด ตัวแทน 1 ตัวแทนในห้องที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน และมีแหล่งกำเนิดเชื้อเพลิงอยู่กลางห้อง โดยจะ กำหนดระยะเวลาในการตรวจจับในช่วงกว้างๆพร้อมกับกำหนดอุปกรณ์ตรวจวัดความหนาแน่น ของแก๊สในตำแหน่งเดียวกันกับตัวแทน ผลการทดสอบพบว่าผลที่ได้ตรงกับค่าคำนวณ ถือว่า สามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

การทดสอบที่ 9 ทดสอบการเดินหลบสิ่งกีดขวางกับความหนาแน่นของควัน โดยควันจะทำให้ ความเร็วในการเดินลดลงเนื่องจากความสามารถในการมองเห็นลดลง โดยผลการจำลองเส้นทาง ยาวอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎี พบว่าโปรแกรม FDS+Evac สามารถทำได้และผ่านการทดสอบ

Korhonen and Hostikka (2008) ได้ศึกษาถึงปฏิสัมพันธ์ทางสังคมระหว่างคน ซึ่งจะส่งผล ต่อพฤติกรรมในการอพยพรวมถึงไฟและควันที่ส่งผลต่อการอพยพด้วย ปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่ จะต้องใส่เข้าไปในแบบจำลองการอพยพ และการคำนวณสำหรับแบบจำลองผลกระทบต่อ พฤติกรรมการอพยพได้แสดงอยู่ในเอกสารอ้างอิงนี้ โดยการพัฒนาโปรแกรมการจำลองการอพยพ นี้เรียกว่า FDS+Evac หลังจากนั้นได้นำโปรแกรมนี้ออกมาทดสอบโดยทำการทดลองเวลาที่ลดลงในการลง บันไดในห้องสมุดและเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง พบว่าเวลาที่ลดลงในการลงบันไดที่ เหมาะสมอยู่ที่ 0.6-0.7 ของความเร็วปกติ การทำงานของโปรแกรมเป็นที่น่าพอใจสำหรับกรณีนี้

วิวรรณ (2009) ได้ศึกษาการอพยพหนีไฟของคนภายในสถานียรถไฟฟ้าใต้ดินด้วยระเบียบ วิธีเชิงตัวเลขโดยอาศัยโปรแกรม FDS + EVAC version5 (Fire Dynamics Simulator with Evacuation) จากการศึกษาในส่วนของการอพยพ พบว่าเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้และเริ่มมีการเคลื่อนที่ อพยพจะเกิดการกระจายตัวของกลุ่มคนไปรวมตัวบริเวณบันไดและบันไดเลื่อนที่อยู่ใกล้เคียง และ ทำให้เกิดการรอคอยเพื่อที่จะใช้บันไดในการอพยพ

บุญกร (2010) ได้ศึกษาการอพยพโดยวิธี Hydraulic Analogy และวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟ ของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากการศึกษาพบว่าเวลาที่ใช้ใน การอพยพเท่ากับ 9 นาที 3 วินาที และพบว่าอาคารได้แบ่งลักษณะการใช้งานอาคารออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นสำนักงานของอาจารย์ ห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ และส่วนที่เป็นห้องบรรยาย ห้อง ประชุมใหญ่ จากการวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟพบว่าในส่วนของห้องบรรยายและห้องประชุมใหญ่ นั้นมีระยะทางการเคลื่อนที่เข้าสู่จุดปลอดภัยเกินกว่าค่ามาตรฐานเนื่องจากบันไดไม่ได้ถูกปิดล้อม ด้วยวัสดุทนไฟ ส่วนการคำนวณระยะเวลาหนีไฟนั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

Zhong-an et al. (2011) ได้ศึกษาการอพยพนักศึกษาออกจากหอพัก โดยการสร้างแบบจำลองขึ้นแล้วทำการวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมความพร้อมในกรณีที่เกิดอัคคีภัยขึ้นจริง จากการวิเคราะห์พบว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพจะลดลงถ้ามีการเพิ่มบันไดและขยายให้กว้างขึ้น แต่ในความเป็นจริงการเพิ่มบันไดสำหรับอาคารที่สร้างเสร็จแล้วสามารถทำได้ยาก จึงแนะนำให้มีการขนย้ายสิ่งที่จะกีดขวางเส้นทางการอพยพออกไปแทนการปรับปรุงโครงสร้างของอาคาร

ธนพงษ์ (2011) ได้จำลองการอพยพของผู้โดยสารออกจากเครื่องบินภายใต้สถานการณ์ฉุกเฉินโดยใช้โปรแกรม Pathfinder เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเลือกประตูทางออกและเวลาที่ใช้ในการอพยพผู้โดยสาร โดยแบ่งการจำลองออกเป็น 4 กรณี ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาทำให้ทราบว่า ขั้นตอนและวิธีการอพยพนั้นเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่สำคัญในการลดระยะเวลาในการอพยพออกจากเครื่องบินภายใต้สภาวะฉุกเฉิน

มาตรฐานและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

อาคารวิศวกรรมเครื่องกลมีพื้นที่ประมาณ 10000 ตารางเมตร สูงประมาณ 25 เมตร และอาคารได้สร้างภายหลังปี พ.ศ. 2535 ดังนั้นอาคารหลังนี้จะต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (2535) บังคับใช้สำหรับอาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 23 เมตร และมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นตั้งแต่ 10000 ตารางเมตรขึ้นไป ซึ่งตามนิยามของกฎหมายอาคารถือว่าเป็นอาคารสูง ดังนั้นต้องปฏิบัติตาม ซึ่งกฎกระทรวงฉบับที่ 33 ข้อที่ 22 ได้กำหนดไว้ดังนี้ อาคารสูงต้องมีบันไดหนีไฟจากชั้นสูงสุดหรือคาน้ำสูบน้ำขึ้นดินอย่างน้อย 2 บันได ตั้งอยู่ในที่ที่บุคคลไม่ว่าจะอยู่ ณ จุดใดของอาคารสามารถมาถึงบันไดหนีไฟได้สะดวก และต้องสามารถใช้ลำเลียงบุคคลทั้งหมดในอาคารออกนอกอาคารได้ภายใน 1 ชั่วโมง ส่วนพระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการฯ พ.ศ. 2534 ข้อ 9 ได้กำหนดให้มีทางออกทุกชั้นอย่างน้อย 2 ทางที่สามารถอพยพลูกจ้างทั้งหมดออกจากบริเวณที่ทำงานออกสู่ทางออกสุดท้ายได้ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาทีโดยปลอดภัย

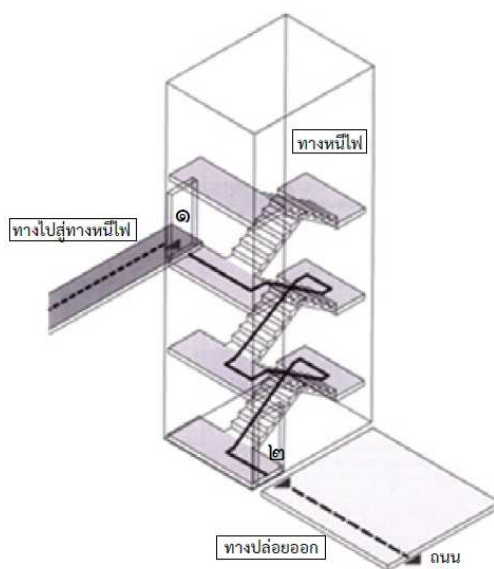
มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้กำหนดคำนิยามของเส้นทางทางหนีไฟไว้ดังนี้ เส้นทางหนีไฟ (Means of Egress) หมายถึง เส้นทางที่ต่อเนื่องและไม่มีอุปสรรค สามารถเข้าถึงได้ไม่ว่าจากจุดใดๆ ในอาคารเพื่อไปยังจุดปลอดภัย (Point of Safety) เส้นทางหนีไฟประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

- ทางไปสู่ทางหนีไฟ (Exit Access) หมายถึง พื้นที่ใดๆ ภายในอาคารที่สามารถใช้เป็นเส้นทางเพื่อเคลื่อนที่ไปสู่ทางหนีไฟ (Exit)

- ทางหนีไฟ (Exit) หมายถึง ส่วนที่กั้นแยกออกจากส่วนอื่นๆ ของอาคารด้วยโครงสร้างที่มีการป้องกันไฟ โดยทางหนีไฟจะหมายรวมถึงประตูหนีไฟ บันไดหนีไฟและทาง

ลาดเอียงที่มีการปิดล้อมอย่างเหมาะสม

- ทางปล่อยออก (Exit Discharge) หมายถึง จุดปล่อยออกจากทางหนีไฟ เป็นจุดเชื่อมต่อทางหนีไฟกับทางสาธารณะ โดยทางปล่อยออกต้องปลอดภัยและมีขนาดใหญ่เพียงพอต่อการอพยพคนออกจากอาคาร



ภาพที่ 7 แสดงส่วนประกอบทั้ง 3 ของเส้นทางหนีไฟ

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีความปลอดภัยสำหรับอาคาร และ โรงงานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2552)

ภาพที่ 7 แสดงส่วนประกอบทั้ง 3 ของเส้นทางหนีไฟของอาคารซึ่งประกอบด้วย ทางไปสู่ทางหนีไฟ ทางหนีไฟ และทางปล่อยออก ทางไปสู่ทางหนีไฟหมายถึงพื้นที่ใดๆ ภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงพื้นที่ของชั้นนั้นๆ เส้นทางเดินหรือบันไดที่ไม่มีการปิดล้อม ในภาพที่ 7 ทางไปสู่ทางหนีไฟ แสดงโดยระยะทางจากจุดใดๆ บนชั้นนั้นๆ ของอาคารมาถึงจุดที่ ๑ (ประตูหนีไฟ) ทางหนีไฟ หมายถึง บริเวณที่กั้นแยกออกจากส่วนอื่นๆ ของอาคาร โดยแสดงเป็นระยะทางจาก ๑ ไป ๒ ตามบันไดหนีไฟในภาพที่ 7 ทางปล่อยออก หมายถึง จุดที่ปล่อยออกจากทางหนีไฟสู่ทางสาธารณะ เช่น ถนน ซึ่งแสดงโดยจุดที่ ๒ ในภาพที่ 7

มาตรฐาน NFPA 101, *Life Safety Code*

มาตรฐาน NFPA 101, *Life Safety Code* เป็นมาตรฐานของสมาคมป้องกันอัคคีภัย (National Fire Protection Association) ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับกันอย่างแพร่หลายในเรื่องความปลอดภัยทางด้านอัคคีภัย โดยมาตรฐานนี้มีการกำหนดประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร (Classification of Occupancy) โดยจะกำหนดตามลักษณะอาคาร ลักษณะผู้ใช้อาคาร เพื่อจำแนกลักษณะความเสี่ยงและจัดทำทางหนีไฟให้เหมาะสมกับแต่ละประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร โดยในการแบ่งกิจกรรมการใช้อาคารตามมาตรฐานนี้ แบ่งออกได้ดังนี้

1. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทชุมนุมคน (Assembly Occupancy) กิจกรรมประเภทนี้จะมีผู้ใช้อาคารอย่างหนาแน่น ผู้ใช้อาคารส่วนใหญ่ไม่คุ้นเคยสถานที่ เป็นสถานที่ชุมนุม เช่น ห้องประชุม ห้องอบรม โดยจะมีจำนวนผู้ใช้อาคารตั้งแต่ 50 คนขึ้นไป
2. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทสถานศึกษา (Education Occupancy) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่อการศึกษาจนถึงระดับมัธยมศึกษา โดยต้องมีผู้ใช้อาคารอย่างน้อย 6 คน มีการใช้งานอย่างน้อยวันละ 4 ชั่วโมง หรืออย่างน้อยสัปดาห์ละ 12 ชั่วโมง
3. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทสถานรับดูแลในเวลากลางวัน (Day Care Occupancy) ใช้เพื่อการรับเลี้ยงดูแลเด็กเล็กจำนวนตั้งแต่ 4 คนขึ้นไป โดยมีเวลาทำการน้อยกว่า 24 ชั่วโมงต่อวัน
4. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทรักษาพยาบาล (Health Care) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่อการรักษาพยาบาลผู้ป่วยจำนวน 4 คนขึ้นไป ซึ่งผู้ใช้อาคารส่วนใหญ่ไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ เนื่องจาก สูงอายุ พิการทางด้านร่างกาย หรือสภาพจิตไม่ปกติ
5. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทรักษาพยาบาลผู้ป่วยนอก (Ambulatory Health Care Occupancy) เป็นสถานที่ที่รองรับผู้ป่วยนอกเพื่อรองรับการรักษาพยาบาลในภาวะฉุกเฉิน ตั้งแต่ 4 คนขึ้นไป
6. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทกักขังและลงโทษ (Detention and Correctional Occupancy) เป็นสถานที่ที่ใช้กักขังนักโทษตั้งแต่ 4 คนขึ้นไป

7. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทที่อยู่อาศัย (Residential Occupancy) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยหลักบนอน ผู้ใช้อาคารจะอยู่ในสภาวะหลับใหล ซึ่งประกอบไปด้วยคนทุกวัย ตั้งแต่วัยเด็กจนถึงวัยผู้สูงอายุที่ไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้เมื่อเกิดสภาวะฉุกเฉิน

8. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทที่อยู่อาศัยและให้การดูแล (Residential Board and Occupancy) เป็นสถานที่อยู่อาศัยและให้การดูแลบุคคลที่มาอยู่ร่วมกัน โดยไม่ได้เกี่ยวข้องกันทางสายเลือด ตั้งแต่ 4 คนขึ้นไป เช่น สถานสงเคราะห์ต่างๆ

9. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทค้าขาย (Mercantile Occupancy) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่อแสดงหรือขายสินค้า

10. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทธุรกิจ (Business Occupancy) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่อการทำบัญชี เป็นสำนักงาน เป็นสถานที่ที่เก็บรักษาข้อมูล หรือติดต่อธุรกิจ โดยสถานที่นั้นจะไม่เกี่ยวข้องกับการขาย และเป็นสถานที่สำหรับการศึกษาในระดับวิทยาลัย มหาวิทยาลัย ที่มีห้องเรียนบรรจุได้น้อยกว่า 50 คน

11. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทกิจการโรงงาน (Industrial Occupancy) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่อดำเนินการผลิต การประกอบ การรวม การบรรจุ การตกแต่ง หรือซ่อมแซมสินค้า

12. กิจกรรมการใช้อาคารประเภทจัดเก็บสินค้า (Storage Occupancy) เป็นสถานที่ที่ใช้เพื่อจัดเก็บสินค้า และผลผลิต

การวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้อาคาร (Number of Occupant Load)

การวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้อาคารจะทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน NFPA 101, *Life Safety Code* โดยเกณฑ์ในการวิเคราะห์หาจำนวนผู้ใช้อาคารจะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ของอาคาร (Area) และค่าตัวประกอบความจุของผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor) โดยค่าประกอบความจุของผู้ใช้อาคารจะเป็นค่าที่ระบุถึงความต้องการพื้นที่ หน่วยเป็นตารางเมตรหรือตารางฟุตต่อคน โดยการเลือกตัวประกอบความจุอาคารจะดูจากกิจกรรมการใช้อาคาร โดยในตารางที่ 4 จะแสดงให้เห็นถึงกิจกรรมการใช้อาคารและลักษณะห้องของอาคาร

$$\text{จำนวนคน} = \frac{\text{ขนาดพื้นที่ (ตารางเมตร)}}{\text{ความจุผู้ใช้อาคาร (ตารางเมตรต่อคน)}} \quad (3)$$

ตารางที่ 4 แสดงตัวประกอบความจุของอาคาร (Occupant Load Factor) ที่ใช้ในอาคารนี้

กิจกรรมการใช้อาคาร	ตารางเมตร (ต่อคน)	ตารางฟุต (ต่อคน)
ประเภทชุมนุม		
คนหนาแน่น ไม่จัดที่นั่งแบบยึดติด	0.65 สุทธิ	7 สุทธิ
คนไม่หนาแน่น ไม่จัดที่นั่งแบบยึดติด	1.4 สุทธิ	15 สุทธิ
จัดที่นั่งเป็นเก้าอี้ยาว	1 คน / ความยาว 455 มม.	1 คน / ความยาว 18 นิ้ว
จัดที่นั่งแบบยึดติด	จำนวนที่นั่งแบบยึดติด	จำนวนที่นั่งแบบยึดติด
พื้นที่เก็บหนังสือในห้องสมุด	9.3	100
พื้นที่อ่านหนังสือในห้องสมุด	4.6 สุทธิ	50 สุทธิ
เวที	1.4 สุทธิ	15 สุทธิ
เวทีเดินแบบและห้องแสดงภาพ	9.3 สุทธิ	100 สุทธิ
ห้องออกกำลังกายที่มีอุปกรณ์	4.6	50
ประเภทประกอบธุรกิจ ห้องพัก สำนักงาน	9.3	100

หมายเหตุ คำว่าสุทธิ (Net) คือ พื้นที่ที่อยู่ภายในเส้นรอบอาคารข้างใน โดยลบพื้นที่อื่น เช่น บันได ไม่มีคำว่าสุทธิ (Net) จะหมายถึงพื้นที่ทั้งหมด โดยไม่หักลบพื้นที่อื่น

ที่มา: NFPA 101 (2006)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์
2. โปรแกรม PyroSim 2010
3. โปรแกรม Pathfinder 2009
4. แบบแปลนอาคารวิศวกรรมเครื่องกล

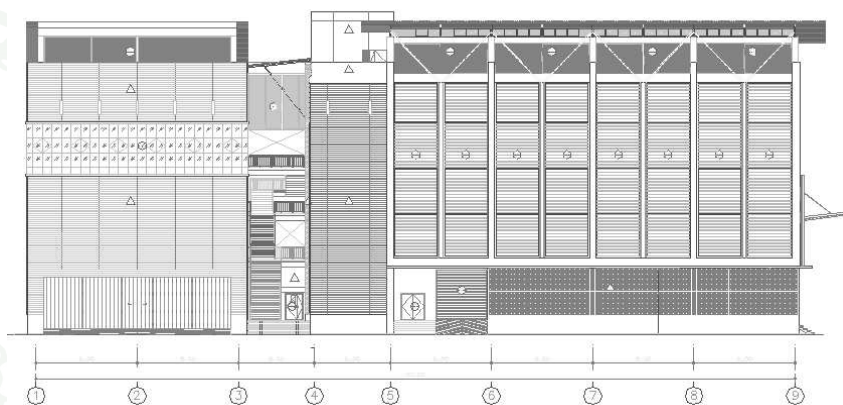
วิธีการ

1. ศึกษาข้อมูล และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการจำลองการอพยพ
2. ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม PyroSim และ โปรแกรม Pathfinder เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองการอพยพ
3. ศึกษาแบบแปลนอาคารวิศวกรรมเครื่องกล
4. สร้างแบบจำลองอาคารวิศวกรรมเครื่องกล 3 แบบ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบ ดังนี้
สร้างตามแบบแปลน สร้างโดยไม่มีบันไดหนีไฟ 2 (Stair-2) และสร้างโดยไม่มีบันไดหนีไฟ 3 (Stair-3)
5. วิเคราะห์ระยะเวลาในการอพยพ 3 กรณี
6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

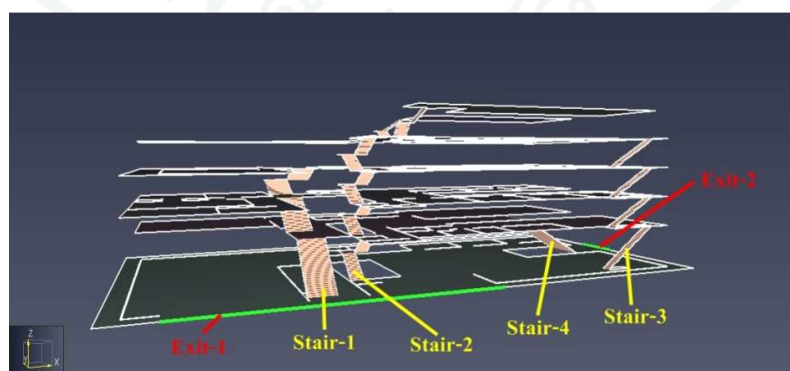
ขั้นตอนการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎี และเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษาอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ใช้เป็นอาคารในการจำลองการอพยพของโปรแกรม Pathfinder และ โปรแกรม PyroSim อาคารเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีขนาดกว้าง 30 เมตร ยาว 60 เมตร และมีความสูงวัดจากพื้นดินถึงยอดหลังคาโดยประมาณ เท่ากับ 25 เมตร อาคารมีจำนวนชั้นทั้งสิ้น 6 ชั้นรวมชั้นคาเฟ่ ดังแสดงในภาพที่ 8 บันไดที่ใช้สำหรับในการอพยพมีทั้งสิ้น 4 บันได ดังนี้ Stair-1 Stair-2 Stair-3 และ Stair-4 ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยการจำลองจะจำลองลักษณะทางกายภาพของอาคารทั้งหมดเพื่อให้ได้อัตราส่วนที่ใกล้เคียงที่สุด



ภาพที่ 8 แสดงลักษณะทางกายภาพของอาคารวิศวกรรมเครื่องกล



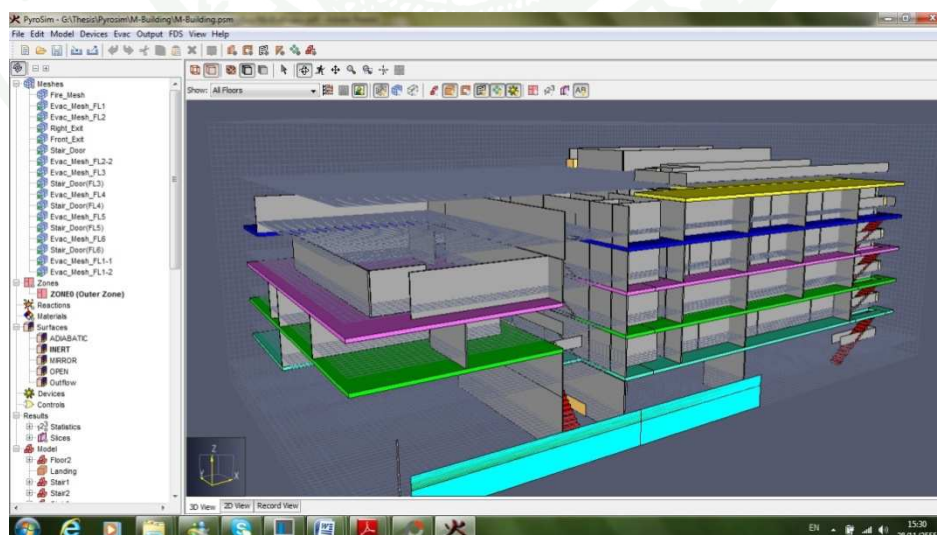
ภาพที่ 9 แสดงบันไดที่ใช้ในการอพยพของอาคารวิศวกรรมเครื่องกล

การศึกษาพฤติกรรมการอพยพไปยังทางออกของผู้ใช้อาคาร โดยการกำหนดจำนวนผู้ใช้อาคารจะกำหนดตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code ซึ่งผลการคำนวณพบว่าอาคารสามารถบรรจุคนได้มากที่สุดที่ 1,477 คน ดังแสดงในตารางที่ 5 รายละเอียดของการวิเคราะห์สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก บุญกร (2553)

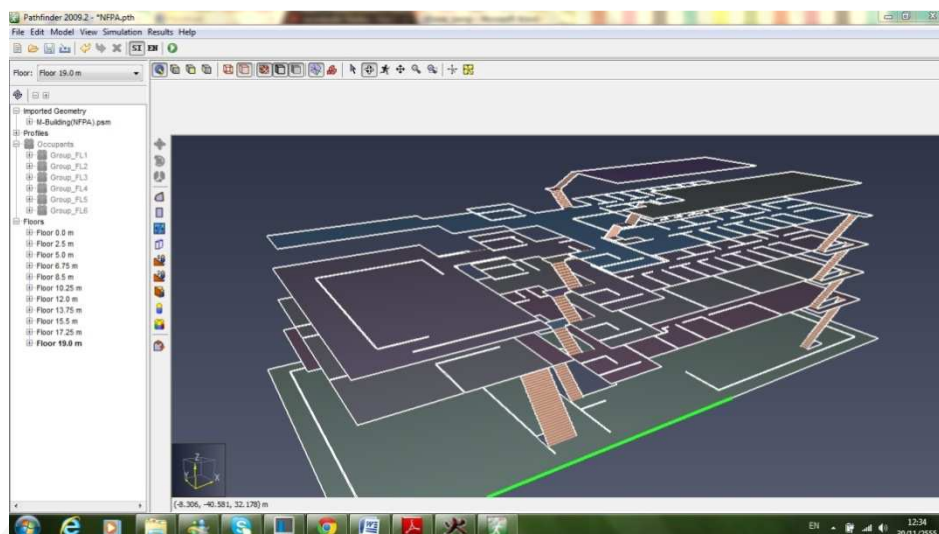
2. ศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรม PyroSim และโปรแกรม Pathfinder

โปรแกรม PyroSim จะมีไฟล์นามสกุล .psm และสามารถแปลงไฟล์เป็น .pth ได้ เมื่อต้องการไฟล์ดังกล่าวไปใช้ในโปรแกรม Pathfinder ภายในโปรแกรมจะมีชุดคำสั่งต่างๆที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง เช่น Obstruction, Hole และ vent เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 10 นอกจากนี้โปรแกรมดังกล่าวยังสามารถประมวลผลข้อมูลต่างๆ โดยแสดงเป็นกราฟซึ่งสะดวกต่อการนำไปใช้งาน สามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ <http://www.thunderheadeng.com/>

โปรแกรม Pathfinder จะมีไฟล์นามสกุลเป็น .pth สามารถรับข้อมูลจากโปรแกรม PyroSim ได้เมื่อต้องการวิเคราะห์ชิ้นงานเดียวกัน ทำให้มีความสะดวกในการจำลองเป็นอย่างมาก ภายในโปรแกรมจะเน้นการวิเคราะห์เส้นทางเดินเป็นหลัก คือจะสนใจในพื้นที่ทางเดินที่สามารถเดินไปยังทางออกได้เท่านั้น เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาเพื่อจำลองการอพยพโดยเฉพาะไม่สามารถจำลองการเกิดเพลิงไหม้ได้



ภาพที่ 10 แสดงหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม PyroSim



ภาพที่ 11 แสดงหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม Pathfinder

3. การสร้างแบบจำลอง

3.1 การสร้างแบบจำลองโปรแกรม PyroSim ดังแสดงในภาพที่ 12 ถึง 20

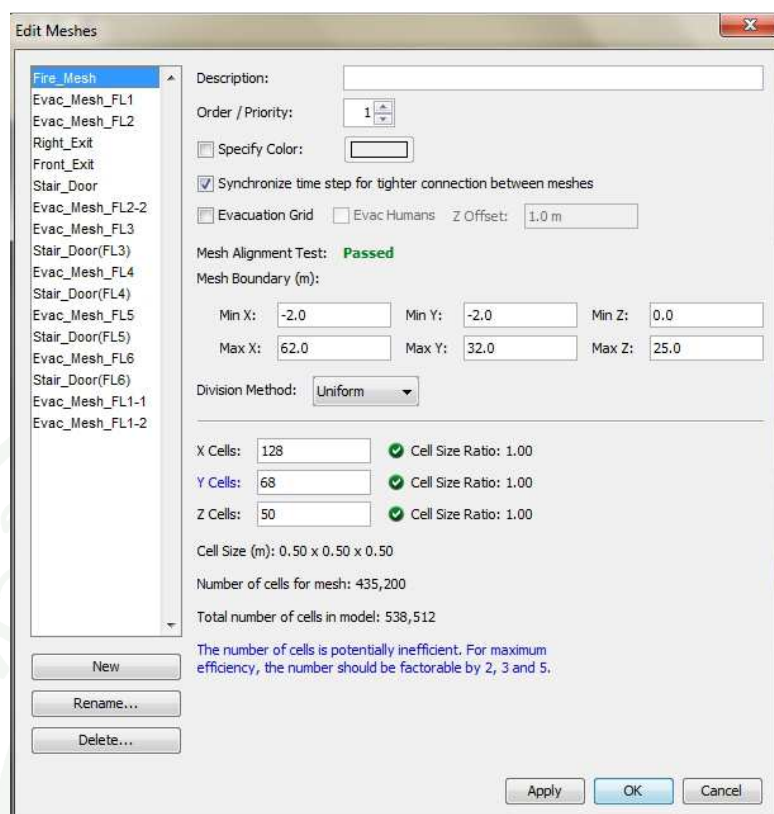
3.1.1 สร้างโครงข่ายของแบบจำลองอาคาร โดยมีความกว้าง ยาว สูง เท่ากับ 34 เมตร x 64 เมตร x 25 เมตร และกำหนดขนาดกริดที่ใช้คือ 0.50 เมตร x 0.50 เมตร x 0.50 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 11

3.1.2 สร้างพื้นที่ทางเดิน บันได และส่วนต่างๆของอาคารในแบบจำลอง

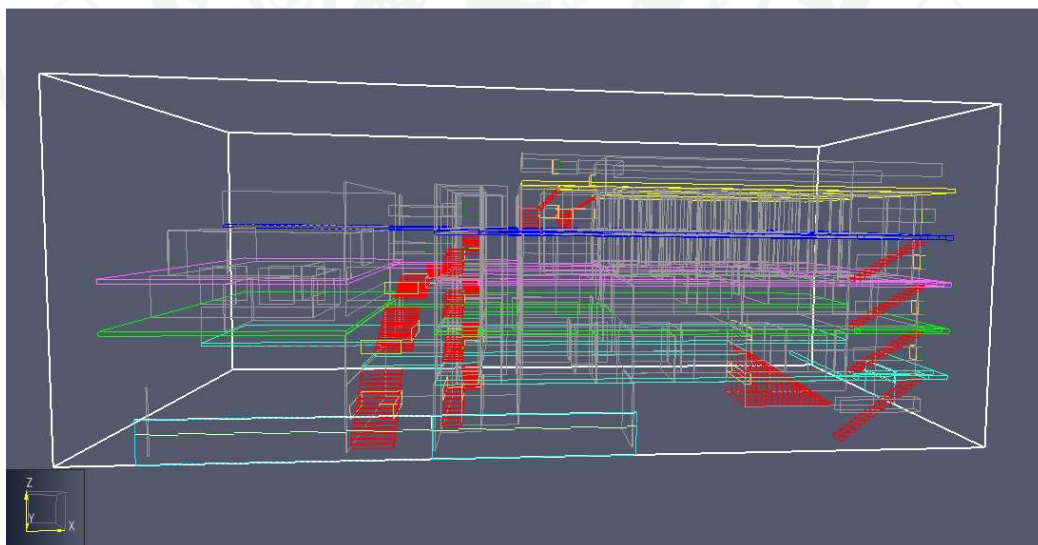
3.1.3 กำหนดการอพยพ โดยจะทำการสร้างโครงข่ายการอพยพ และกำหนดลักษณะของคน ดังนี้ ความเร็วในการอพยพ 0.95 – 1.55 เมตรต่อวินาที และความกว้างของไหล่ถึงไหล่ 0.44 – 0.58 เมตร

3.1.4 กำหนดตำแหน่งของผู้อพยพ โดยจะกำหนดจำนวนผู้อพยพที่อยู่ภายในห้องต่างๆภายในอาคาร แสดงในตารางที่ 5 ตามการวิเคราะห์ของ บุญกร(2553)

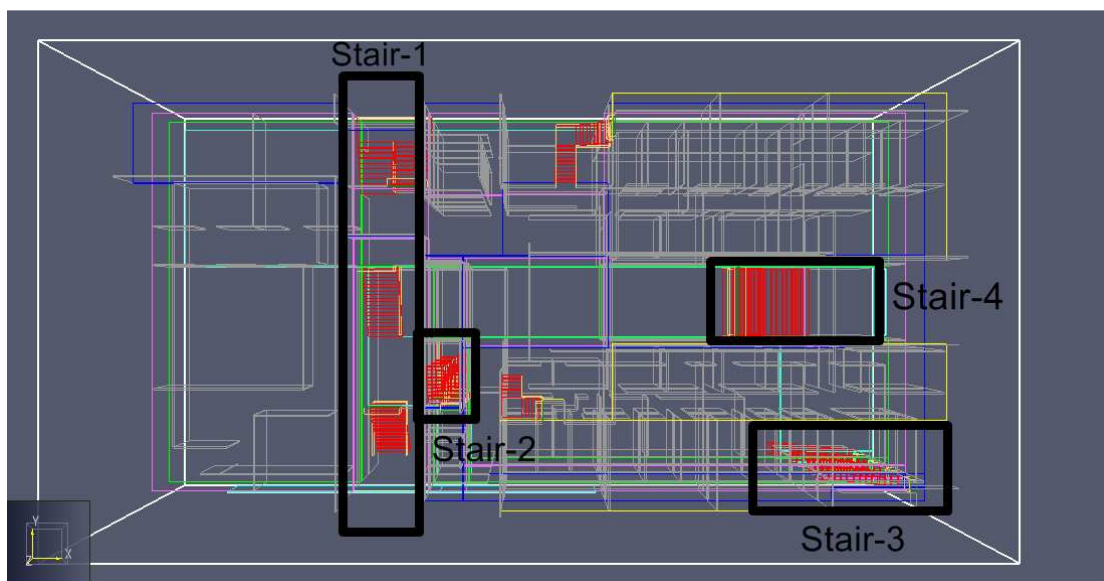
3.1.5 ประมวลผลโปรแกรม และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์



ภาพที่ 12 แสดงการกำหนดโครงข่ายของโปรแกรม PyroSim



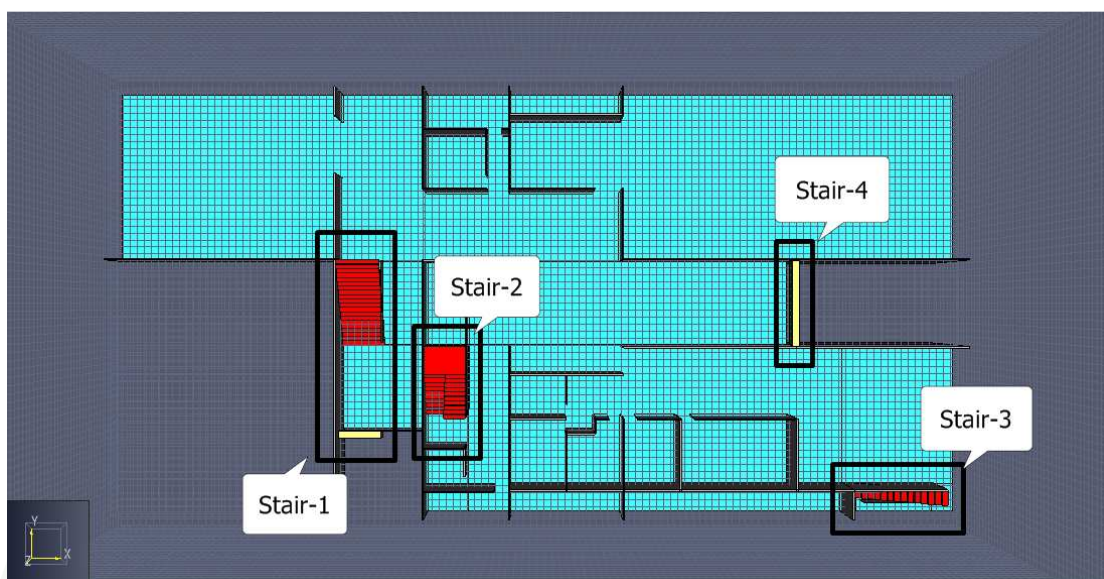
ภาพที่ 13 แสดงแบบจำลองที่สร้างจากโปรแกรม PyroSim



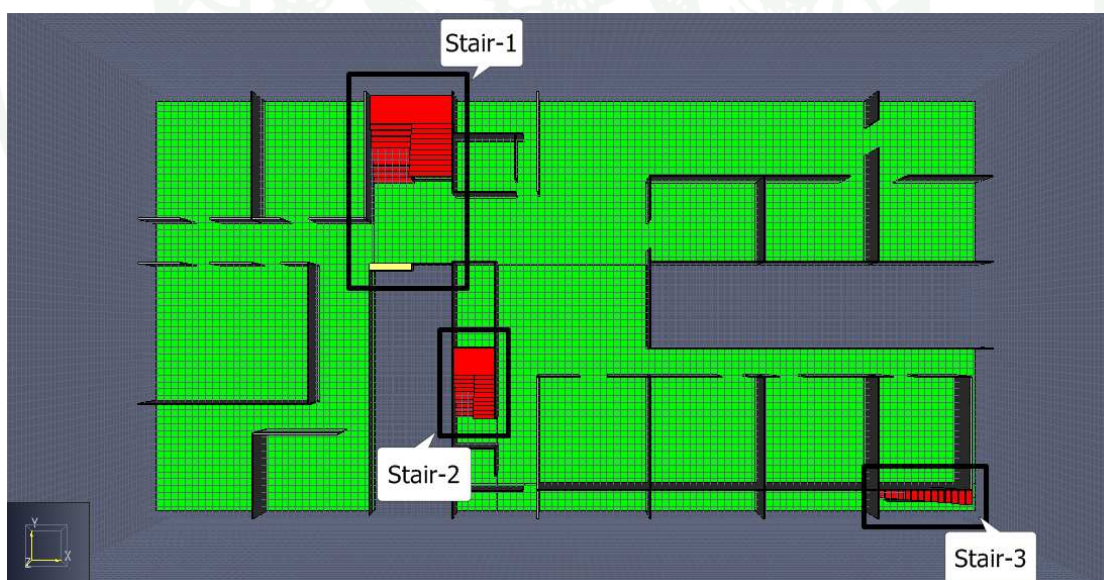
ภาพที่ 14 แสดงบันไดทั้ง 4 ที่ใช้ในการอพยพด้วยโปรแกรม PyroSim (ภาพมุมมองของอาคาร)



ภาพที่ 15 แสดงทางออก (Exit) ของอาคารบริเวณชั้น 1



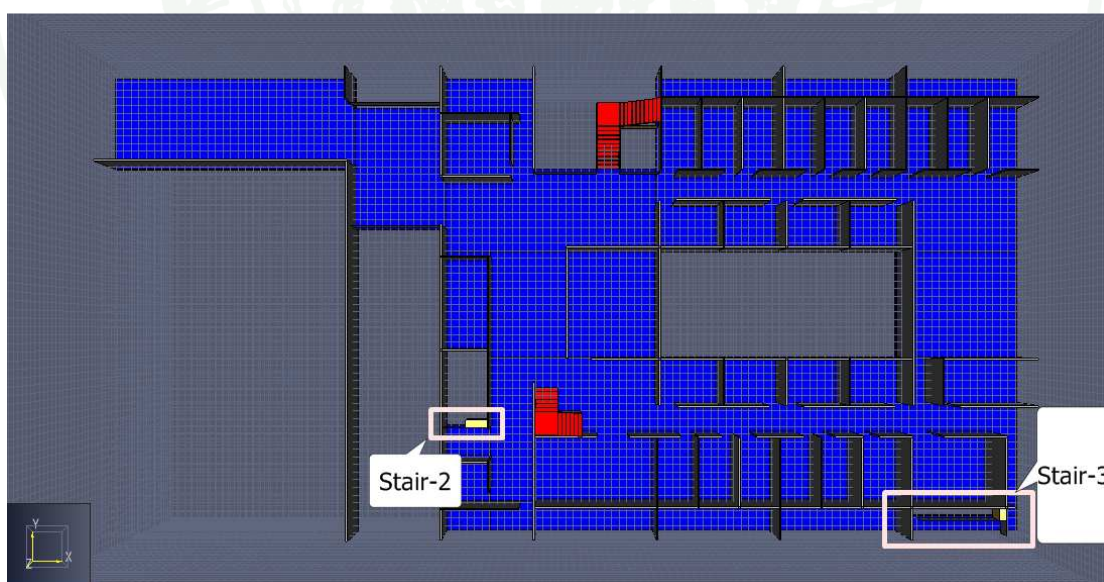
ภาพที่ 16 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้น 2 ของอาคาร



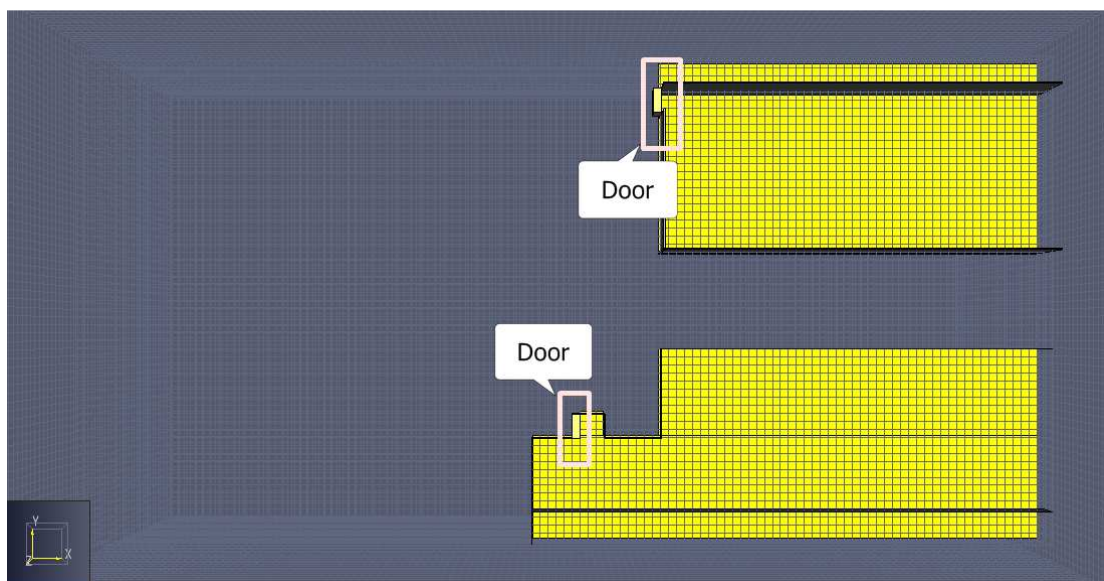
ภาพที่ 17 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้น 3 ของอาคาร



ภาพที่ 18 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้น 4 ของอาคาร



ภาพที่ 19 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้น 5 ของอาคาร



ภาพที่ 20 แสดงแบบจำลองบริเวณชั้น 6 ของอาคาร

3.2 การสร้างแบบจำลองโปรแกรม Pathfinder

3.2.1 ถ่ายโอนข้อมูลแบบจำลอง โดยจะนำข้อมูลจากโปรแกรม PyroSim ถ่ายโอนเข้ามายังโปรแกรม Pathfinder

3.2.2 เลือกพื้นที่ทางเดินที่จะใช้สำหรับการอพยพของแต่ละชั้นภายในอาคาร

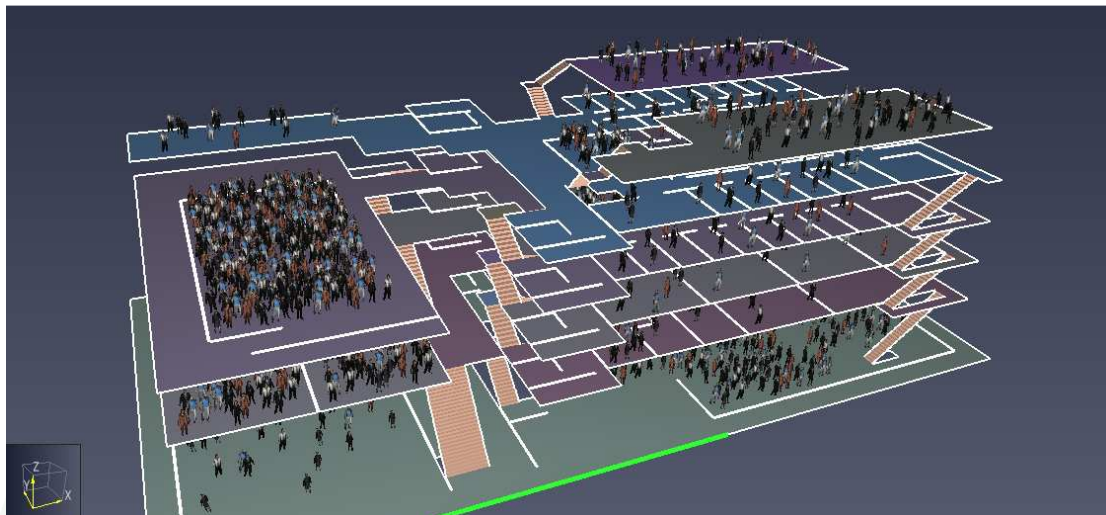
3.2.3 สร้างบันไดเชื่อมแต่ละชั้นของอาคารเข้าด้วยกัน

3.2.4 สร้างประตูทางออกของอาคารที่ชั้น 1

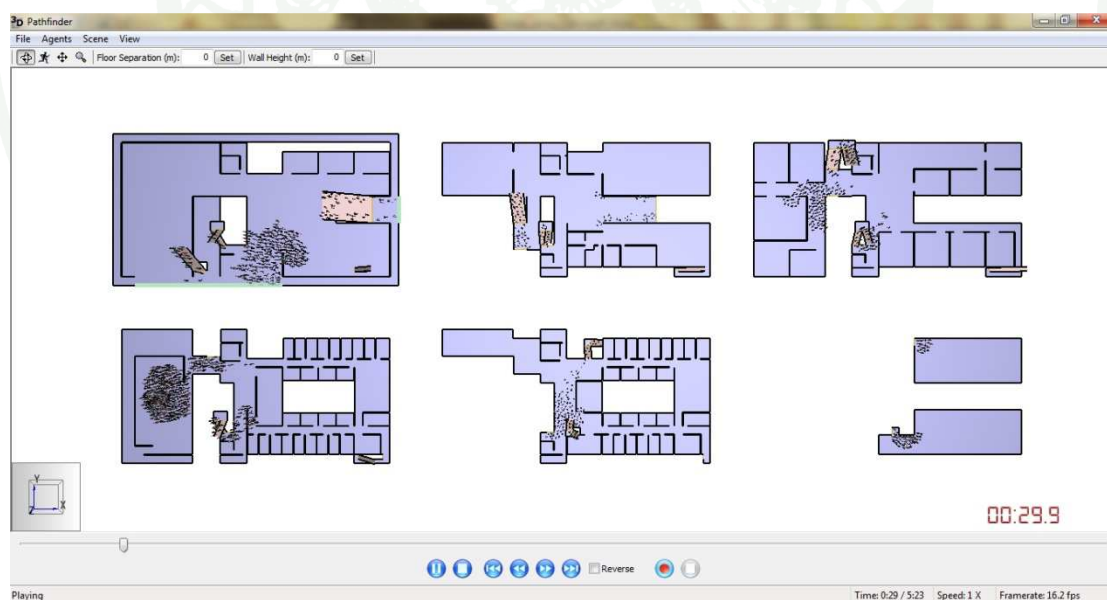
3.2.5 กำหนดลักษณะของผู้อพยพ โดยจะกำหนดเหมือนกับโปรแกรม PyroSim ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อการสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม PyroSim

3.2.6 กำหนดตำแหน่งของผู้อพยพ โดยจะกำหนดจำนวนผู้อพยพที่อยู่ภายในห้องต่างๆภายในอาคารตามการวิเคราะห์ของ บุษกร (2553) ดังแสดงในตารางที่ 5

1.6.7 ประมวลผลโปรแกรมใช้แบบ Steering ดังแสดงในภาพที่ 21 และ 22
จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์



ภาพที่ 21 แสดงแบบจำลองของโปรแกรม Pathfinder



ภาพที่ 22 แสดงการรันโปรแกรม Pathfinder ขณะกำลังอพยพ

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์กิจกรรมการใช้อาคาร

สถานที่			ประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร (Classification of Occupancy)	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	ค่าความจุผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)	จำนวนผู้ใช้อาคาร (หน่วย:คน)		
ชั้น	เลขห้อง	ชื่อห้อง				คำนวณ	Fixed Seat	จำนวนจริง
1	101	ห้องเครื่องไฟฟ้า	พื้นที่เสี่ยงอันตราย	30	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	102	ห้องเก็บของ	ธุรกิจ (Business Occupancy)	23	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	103	ห้อง Fire Pump	ห้องเครื่องงานระบบเครื่องกล	48	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	104	ห้องเรียนและปฏิบัติการ	ธุรกิจ (Business Occupancy)	34	9.3	4	NA.	4
	105	ห้องเรียนและปฏิบัติการ	ธุรกิจ (Business Occupancy)	36	9.3	4	NA.	4
	106	ห้องเรียนและปฏิบัติการ	ธุรกิจ (Business Occupancy)	36	9.3	4	NA.	4
	107	ห้องเก็บของ	เก็บของ (Storage Occupancy)	66	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	108	โครงการพัฒนารถยนต์	อุตสาหกรรม (Industrial Occupancy)	500	9.3	54	NA.	54
	109-110	ห้องน้ำ ชาย-หญิง	ธุรกิจ (Business Occupancy)	42	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
		พื้นที่ทำกิจกรรมนิสิต	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	630	1.4	450	NA.	450
จำนวนคนชั้นที่ 1						516		516

ตารางที่ 5 (ต่อ)

สถานที่			ประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร (Classification of Occupancy)	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	ค่าความจุผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)	จำนวนผู้ใช้อาคาร (หน่วย:คน)		
ชั้น	เลขห้อง	ชื่อห้อง				คำนวณ	Fixed Seat	จำนวนจริง
2	201	สำนักงานและห้องอาจารย์	ธุรกิจ (Business Occupancy)	300	9.3	32	NA.	32
	202	ห้องเรียนและปฏิบัติการ	ธุรกิจ (Business Occupancy)	290	9.3	31	NA.	31
	203	ห้องเรียนและปฏิบัติการ	ธุรกิจ (Business Occupancy)	195	9.3	21	NA.	21
	204-205	ห้องน้ำชาย-หญิง	ธุรกิจ (Business Occupancy)	33	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	206	ห้องเครื่องไฟฟ้า	พื้นที่เสี่ยงอันตราย	12	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	207	ห้องพัสดุ	เก็บของ (Storage Occupancy)	12	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
		ห้องหัวหน้าภาค	ธุรกิจ (Business Occupancy)	36	9.3	4	NA.	1
		ห้องรองหัวหน้าภาค 2 ห้อง	ธุรกิจ (Business Occupancy)	36	9.3	4	NA.	2
		ห้องประชุม	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	18	1.4	13	NA.	13
จำนวนคนในชั้นที่ 2						105		100

ตารางที่ 5 (ต่อ)

สถานที่			ประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร (Classification of Occupancy)	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	ค่าความจุผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)	จำนวนผู้ใช้อาคาร (หน่วย:คน)		
ชั้น	เลขห้อง	ชื่อห้อง				คำนวณ	Fixed Seat	จำนวนจริง
3	301	ห้องสมุด	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	64	4.6	14	NA.	14
	302	ห้องพักครูช่วง 1	ธุรกิจ (Business Occupancy)	60	9.3	6	NA.	6
	303	ห้องพักครูช่วง 2	ธุรกิจ (Business Occupancy)	60	9.3	6	NA.	6
	304	ห้องพักครูช่วง 3	ธุรกิจ (Business Occupancy)	49	9.3	5	NA.	5
	305	ห้องงานวิจัย 1	ธุรกิจ (Business Occupancy)	48	9.3	5	NA.	5
	306	ห้องงานวิจัย 2	ธุรกิจ (Business Occupancy)	39	9.3	4	NA.	4
	307	ห้องงานวิจัย 3	ธุรกิจ (Business Occupancy)	39	9.3	4	NA.	4
	308	ห้องงานวิจัย 4	ธุรกิจ (Business Occupancy)	36	9.3	4	NA.	4
	309	ห้องปฏิบัติการ คอมพิวเตอร์	ธุรกิจ (Business Occupancy)	67	9.3	7	NA.	7
	310	ห้องปฏิบัติการ เขียนแบบ	ธุรกิจ (Business Occupancy)	67	9.3	7	NA.	7

ตารางที่ 5 (ต่อ)

สถานที่			ประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร (Classification of Occupancy)	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	ค่าความจุผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)	จำนวนผู้ใช้อาคาร (หน่วย:คน)		
ชั้น	เลขห้อง	ชื่อห้อง				คำนวณ	Fixed Seat	จำนวนจริง
	311	ห้องบรรยาย 1	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	115	1.4	82	NA.	82
	312	ห้องบรรยาย 2	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	60	1.4	43	NA.	43
	313	ห้องบรรยาย 3	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	51	1.4	36	NA.	36
	314-315	ห้องน้ำชาย-หญิง	ธุรกิจ (Business Occupancy)	33	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
		Common Area	ธุรกิจ (Business Occupancy)	121	9.3	13	NA.	13
จำนวนคนในชั้น 3						236		236
4	401	ห้องพักอาจารย์ 14 ห้อง	ธุรกิจ (Business Occupancy)	295	9.3	32	14	14
	402	ห้องพักอาจารย์ 13 ห้อง	ธุรกิจ (Business Occupancy)	273	9.3	29	13	13
	403	ห้องประชุม	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	72	1.4	51	NA.	51

ตารางที่ 5 (ต่อ)

สถานที่			ประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร (Classification of Occupancy)	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	ค่าความจุผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)	จำนวนผู้ใช้อาคาร (หน่วย:คน)		
ชั้น	เลขห้อง	ชื่อห้อง				คำนวณ	Fixed Seat	จำนวนจริง
	404	Auditorium	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	165	0.65	254	NA.	254
		Stage	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	58	1.4	41	NA.	41
	405-407	ห้องน้ำ	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	33	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	408	ห้องไฟฟ้า	พื้นที่เสี่ยงอันตราย	12	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	409	ห้อง Pantry	ธุรกิจ (Business Occupancy)	12	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
จำนวนคนในชั้น 4						407		373
5	501	ห้องพักอาจารย์ 11 ห้อง	ธุรกิจ (Business Occupancy)	235	9.3	25	11	11
		Common Room	ธุรกิจ (Business Occupancy)	36	9.3	4	NA.	4
		ห้องเก็บของ	เก็บของ (Storage Occupancy)	24	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	502	ห้องพักอาจารย์ 13 ห้อง	ธุรกิจ (Business Occupancy)	273	9.3	29	13	13

ตารางที่ 5 (ต่อ)

สถานที่			ประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร (Classification of Occupancy)	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	ค่าความจุผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)	จำนวนผู้ใช้อาคาร (หน่วย:คน)		
ชั้น	เลขห้อง	ชื่อห้อง				คำนวณ	Fixed Seat	จำนวนจริง
	503	ห้องประชุม	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	38	1.4	27	NA.	NA.
	504	ห้องวิจัยและบริการวิชาการ	ธุรกิจ (Business Occupancy)	130	9.3	14	NA.	14
	505-507	ห้องน้ำ	ธุรกิจ (Business Occupancy)	33	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	508	ห้องไฟฟ้า	พื้นที่เสี่ยงอันตราย	12	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	509	ห้อง Pantry	ธุรกิจ (Business Occupancy)	12	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
	510	ห้อง Control Auditorium	ธุรกิจ (Business Occupancy)	18	ไม่มีคนอยู่ประจำ	NA.	NA.	NA.
จำนวนคนในชั้น 5						99		69

ตารางที่ 5 (ต่อ)

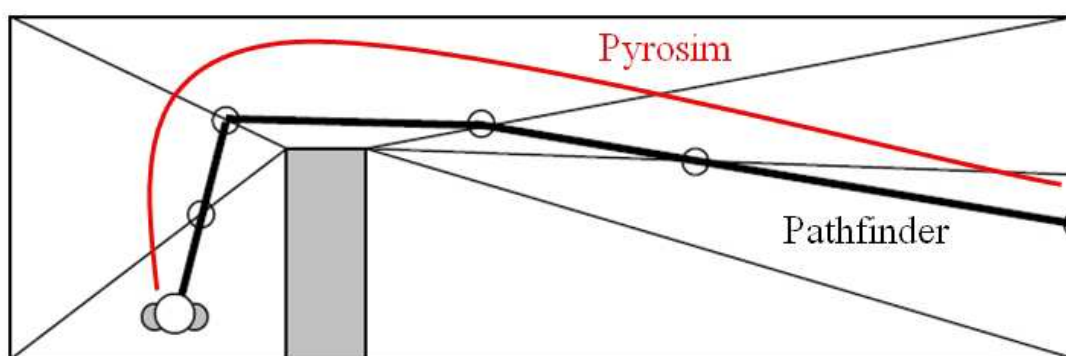
สถานที่			ประเภทกิจกรรมการใช้อาคาร (Classification of Occupancy)	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	ค่าความจุผู้ใช้อาคาร (Occupant Load Factor)	จำนวนผู้ใช้อาคาร (หน่วย:คน)		
ชั้น	เลขห้อง	ชื่อห้อง				คำนวณ	Fixed Seat	จำนวนจริง
6	คาดฟ้า	Exercise rooms with equipment	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	284	4.6	62	25	25
	ชั้นลอย	Exercise rooms with equipment	ชุมนุมคน (Assembly Occupancy)	240	4.6	52	25	25
จำนวนคนในชั้น 5						114		50
จำนวนผู้ใช้อาคารรวมทั้งหมด						1477		1344

ที่มา: บุษกร (2553)

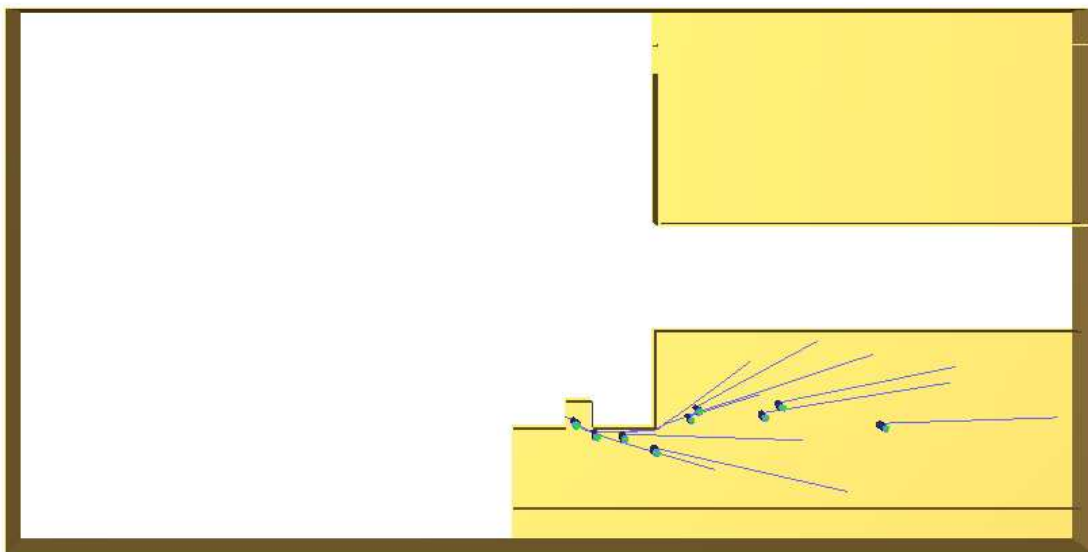
ผลและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์เวลาในการอพยพของอาคารวิศวกรรมเครื่องกลโดยวิธี Hydraulic Analogy ของ บุษกร (2553) พบว่าผู้อพยพจำนวน 1344 คน ใช้เวลาในการอพยพออกจากอาคารเท่ากับ 9 นาที 3 วินาที ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการจำลองอาคารวิศวกรรมเครื่องกลด้วยโปรแกรม PyroSim และโปรแกรม Pathfinder โดยกำหนดผู้อพยพในแต่ละส่วนของอาคารเท่ากับของบุษกร พบว่าเวลาที่ใช้ในการอพยพของโปรแกรม PyroSim ใช้เวลาเท่ากับ 8 นาที ส่วนโปรแกรม Pathfinder ใช้เวลาในการอพยพเท่ากับ 4 นาที ซึ่งผลของทั้ง 2 โปรแกรมค่อนข้างแตกต่างกันมาก

จากเวลาที่ใช้ในการอพยพแตกต่างกันทำให้เกิดข้อสงสัยในการอพยพของทั้ง 2 โปรแกรม จึงได้ทำการจำลองโดยใช้ผู้อพยพที่น้อยลงคือ 10 คน โดยจะจำลองบริเวณชั้น 6 เพื่อดูพฤติกรรมการอพยพ พบว่าการอพยพของโปรแกรม PyroSim นั้นมีการอพยพคล้ายกับการไหลของของไหล เนื่องจากการเคลื่อนที่ที่อาศัยลมอ่อนๆ ในการบอกทิศทางทำให้การเคลื่อนที่เป็นไปในลักษณะดังกล่าว เมื่อมีการเลี้ยวจะมีการเดินตีโค้งไหลคล้ายกับของไหลที่ไม่สามารถหักเลี้ยวได้ในทันทีทำให้ใช้เวลาในการอพยพมาก ส่วนโปรแกรม Pathfinder นั้นจะมีการเคลื่อนที่ที่เป็นระเบียบแล้วมีการเข้าโค้งที่แคบในบริเวณที่มีการเลี้ยวทำให้ใช้เวลาค่อนข้างน้อยในการอพยพ จากพฤติกรรมดังกล่าวส่งผลให้โปรแกรม Pathfinder และ โปรแกรม PyroSim ใช้เวลาค่อนข้างแตกต่างกัน ดังภาพที่ 23, 24 และ 25

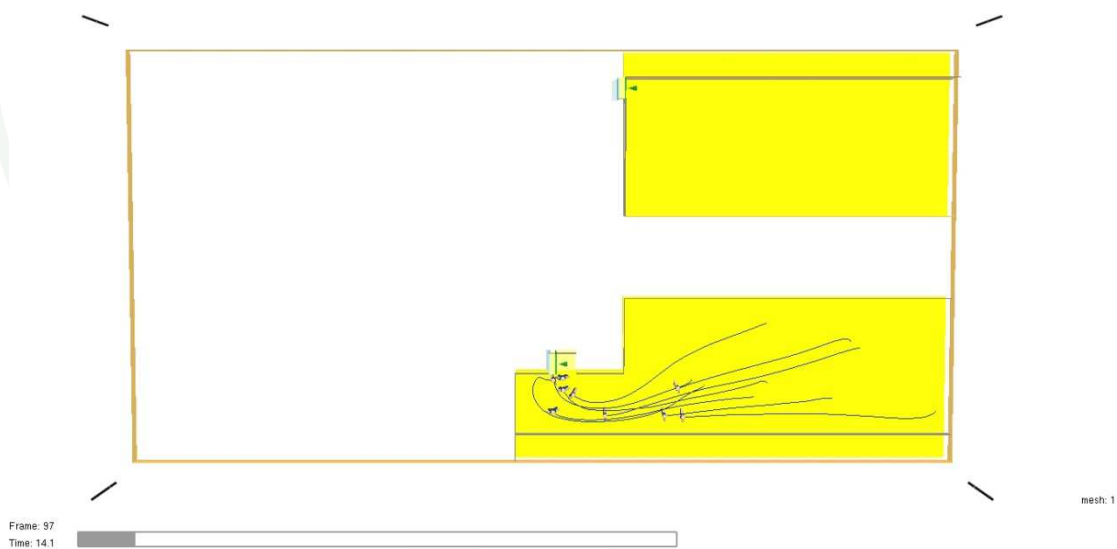


ภาพที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบบริเวณที่มีการเลี้ยวของโปรแกรม PyroSim และ Pathfinder



ภาพที่ 24 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของผู้อพยพบริเวณชั้น 6 ของโปรแกรม Pathfinder

Smokeview 5.4.3 - Aug 31 2009



ภาพที่ 25 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของผู้อพยพบริเวณชั้น 6 ของโปรแกรม PyroSim

จากการศึกษาและสร้างแบบจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารวิศวกรรมเครื่องกล สามารถแยกเป็น 3 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 6 โดยกรณีที่ 1 การศึกษาโปรแกรม PyroSim และ โปรแกรม Pathfinder แบบเปิดทุกบันได เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการจำลองของทั้ง 2 โปรแกรม ว่ามีพฤติกรรมในการอพยพในลักษณะใด แตกต่างกันอย่างไร กรณีที่ 2 การศึกษาการอพยพหนีไฟ ของโปรแกรม PyroSim ในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน 3 สถานการณ์ เพื่อศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการ อพยพในสถานการณ์ฉุกเฉินว่ามีความแตกต่างจากกรณีปกติอย่างไร และกรณีที่ 3 การศึกษาการ อพยพหนีไฟของโปรแกรม Pathfinder ในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน 3 สถานการณ์ เพื่อศึกษา ระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพในสถานการณ์ฉุกเฉินว่ามีความแตกต่างจากกรณีปกติอย่างไร ผลที่ได้ จากการจำลองการอพยพหนีไฟในกรณีต่างๆสามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 6 แสดงความแตกต่างแต่ละกรณีที่ใช้ในการวิเคราะห์อพยพหนีไฟ

กรณี	จำนวน คน	โปรแกรม PyroSim				โปรแกรม Pathfinder			
		Stair-1	Stair-2	Stair-3	Stair-4	Stair-1	Stair-2	Stair-3	Stair-4
1	1477	เปิด	เปิด	เปิด	เปิด	เปิด	เปิด	เปิด	เปิด
2	1477	เปิด	เปิด	เปิด	เปิด	ไม่คำนวณการอพยพ			
		เปิด	เปิด	ปิด**	เปิด				
		เปิด	ปิด**	เปิด	เปิด				
3	1477	ไม่คำนวณการอพยพ				เปิด	เปิด	เปิด	เปิด
						เปิด	เปิด	ปิด**	เปิด
						เปิด	ปิด**	เปิด	เปิด

กรณี1 การศึกษาโปรแกรม PyroSim และโปรแกรม Pathfinder แบบเปิดทุกบันได

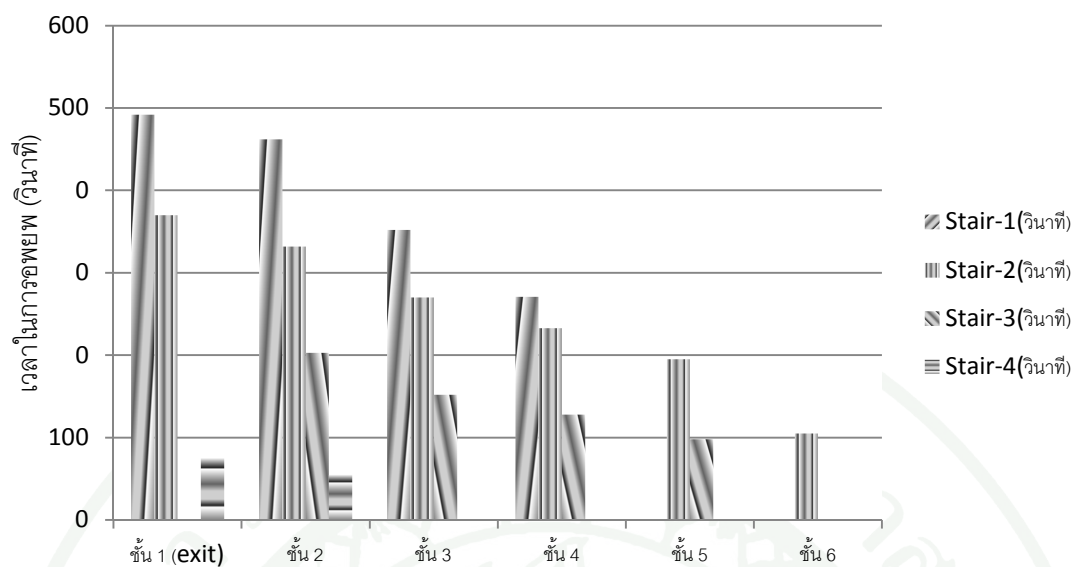
ในกรณีนี้จะทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารวิศวกรรมเครื่องกล โดยจำนวนผู้ใช้อาคารจะวิเคราะห์จากขนาดพื้นที่อาคาร และค่าตัวประกอบความจุของผู้ใช้อาคาร ซึ่งมีจำนวนผู้ใช้อาคารสูงสุดเท่ากับ 1477 คน รายละเอียดของการวิเคราะห์สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก นุชกร (2553)

จากการจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการอพยพไปยังทางออกของผู้ใช้อาคารของโปรแกรม PyroSim และ โปรแกรม Pathfinder พบว่า บริเวณบันได Stair-1 ของ ชั้น 3 และ ชั้น 4 ได้ถูกเลือกใช้เพื่อไปยังทางออกของอาคารมากที่สุดเนื่องจากเป็นเส้นทางที่ใกล้กับห้องเรียน และ Auditorium ซึ่งมีปริมาณคนมาก ทำให้เกิดการรอคอยในการใช้บันได และมีปริมาณคนสะสมมากขึ้นที่บริเวณชั้น 3 เนื่องจากต้องรองรับปริมาณคนจาก ชั้น 4 ทำให้เวลาที่ใช้ในการอพยพมากขึ้น ตามลำดับ จากการจำลองสามารถดูปริมาณคนสะสมของแต่ละชั้นได้ และสามารถดูเวลาที่ใช้ในการอพยพหมดในแต่ละชั้น ได้จากตารางที่ 7 ในส่วนของบริเวณทางออกพบว่า โปรแกรม PyroSim ใช้เวลาในการอพยพทั้งหมด 492 วินาที (8.12 นาที) และโปรแกรม Pathfinder ใช้เวลาในการอพยพทั้งหมด 322 วินาที (5.22 นาที)

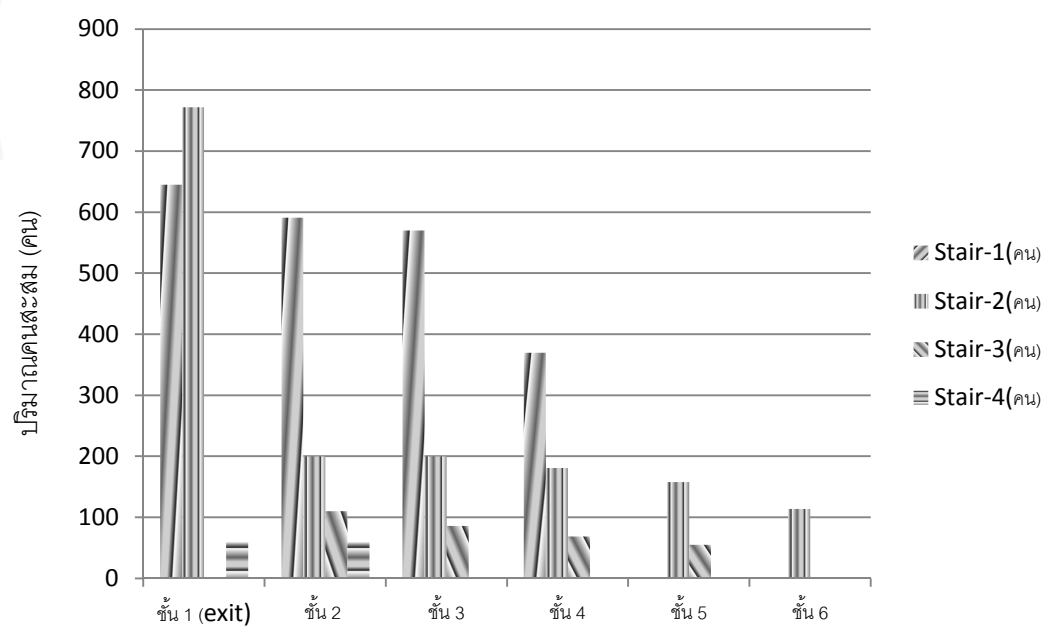
ตารางที่ 7 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพ และปริมาณคนสะสม

ชั้น	บันได	ระยะเวลาในการอพยพ (วินาที)		ปริมาณคนสะสม (คน)	
		PyroSim	Pathfinder	PyroSim	Pathfinder
ชั้น 6	Door	105	210	114	114
ชั้น 5	Stair-2	195	240	158	213
	Stair-3	98	0	55	0
ชั้น 4	Stair-1	271	165	370	339
	Stair-2	233	261	181	281
	Stair-3	128	0	69	0
ชั้น 3	Stair-1	352	203	570	522
	Stair-2	270	280	200	334
	Stair-3	152	0	86	0
ชั้น 2	Stair-1	462	231	591	543
	Stair-2	332	300	200	334
	Stair-3	203	12	110	5
	Stair-4	55	45	60	79
ชั้น 1	Stair-1 (Exit1)	**492**	240	645	597
	Stair-2 (Exit1)	370	**322**	772	801
	Stair-4 (Exit2)	75	65	60	79

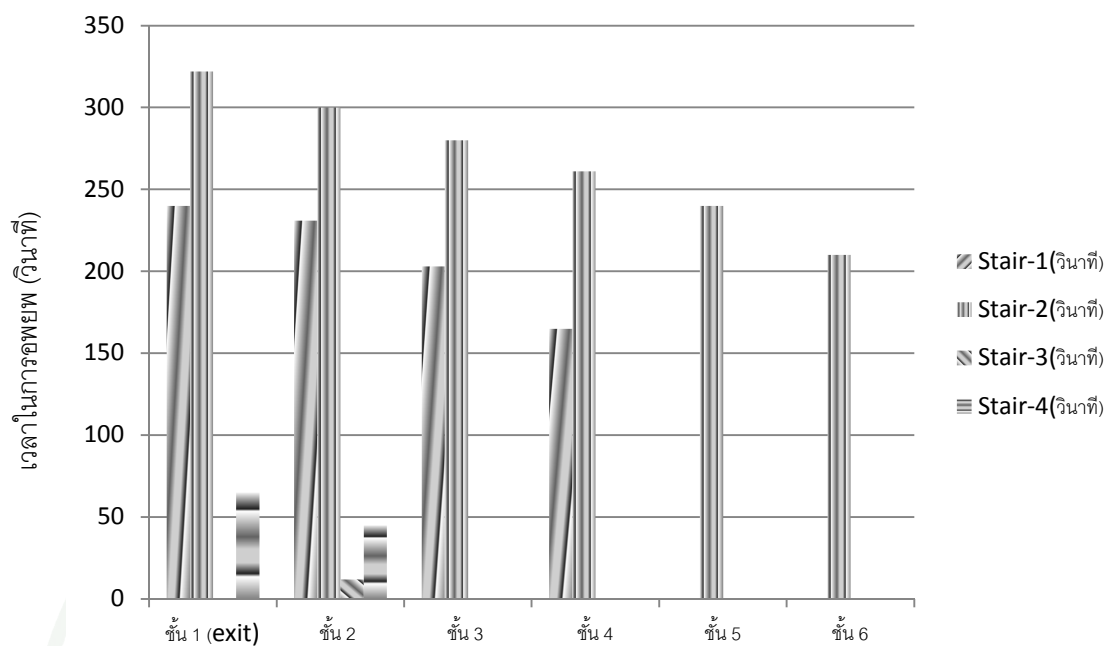
หมายเหตุ จำนวนคนสะสม คือ ปริมาณคนที่สะสมจากชั้นที่สูงกว่า เช่น โปรแกรม Pathfinder บริเวณชั้น 6 มีจำนวนคนใช้ Stair-2 = 114 คน และ ชั้น 5 มีคนใช้ Stair-2 = 99 คน เพราะฉะนั้น จะมีคนผ่าน Stair-2 ทั้งหมด $114+99=213$ คน
ระยะเวลาในการอพยพ คือ เวลาที่อพยพหมดชั้นนั้นๆ โดยรวมกับชั้นที่สูงกว่าด้วย



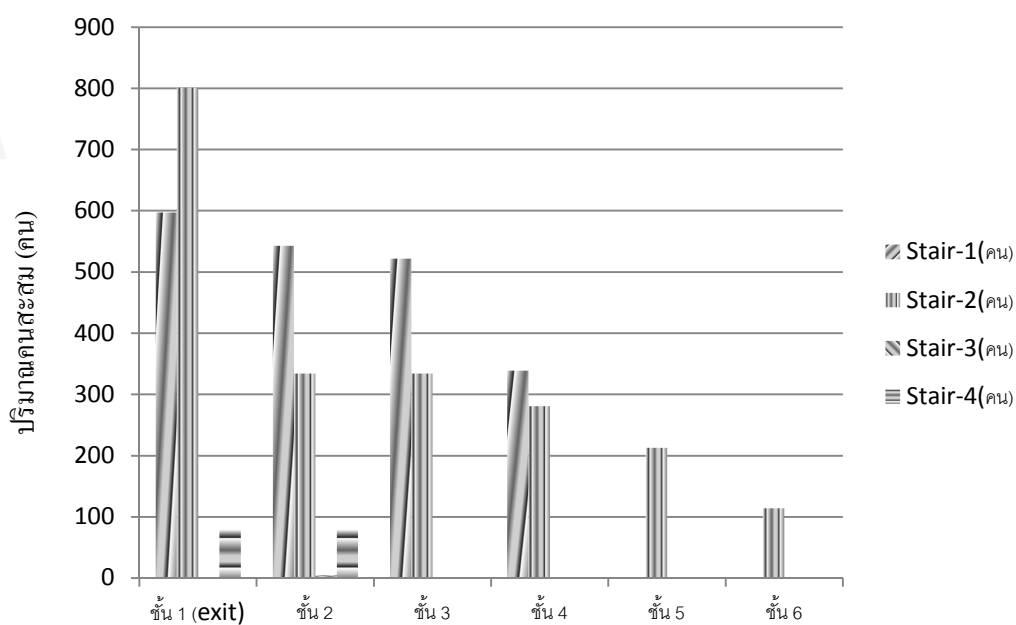
ภาพที่ 26 แสดงกราฟเวลาที่ใช้ในการอพยพแต่ละชั้นของโปรแกรม PyroSim



ภาพที่ 27 แสดงกราฟปริมาณคนสะสมในแต่ละชั้นของโปรแกรม PyroSim



ภาพที่ 28 แสดงกราฟเวลาที่ใช้ในการอพยพแต่ละชั้นของโปรแกรม Pathfinder



ภาพที่ 29 แสดงกราฟปริมาณคนสะสมในแต่ละชั้นของโปรแกรม Pathfinder

ตารางที่ 8 แสดงร้อยละของการเลือกทางออกของผู้อพยพในแต่ละชั้น

ชั้น	จำนวน ผู้ อพยพ (คน)	ร้อยละในการเลือกประตูทางออกเพื่อใช้ในการอพยพ (%)							
		โปรแกรม PyroSim				โปรแกรม Pathfinder			
		Stair-1	Stair-2	Stair-3	Stair-4	Stair-1	Stair-2	Stair-3	Stair-4
5 + 6	213	-	74.18	25.82	-	-	100	0	-
4	407	90.91	5.65	3.44	-	83.29	16.71	0	-
3	236	84.75	8.05	7.2	-	77.54	22.46	0	-
2	105	20	0	22.86	57.14	20	0	4.76	75.24
1	516	ออกทาง Exit-1 ทั้งหมด			-	ออกทาง Exit-1 ทั้งหมด			-

หมายเหตุ การกิดร้อยละจะคิดจากปริมาณคนในชั้นนั้นๆ เฉพาะชั้น 5 ที่จะคิดรวมกับชั้น 6
เครื่องหมาย – คือไม่มีบันไดอยู่ในชั้นนั้นๆ

โปรแกรม PyroSim และ โปรแกรม Pathfinder สามารถจำลองการอพยพไปยังทางออกของอาคารวิศวกรรมเครื่องกล โดยใช้เวลาในการอพยพเท่ากับ 492 วินาที และ 322 วินาทีตามลำดับ ซึ่งทั้งสองโปรแกรมใช้เวลาในการอพยพค่อนข้างแตกต่างกัน โดยที่โปรแกรม PyroSim จะแสดงพฤติกรรมการไปยังทางออกคล้ายกับการไหลของของไหลและถ้ามีปริมาณผู้อพยพมากก็จะเกิดการรอคอยในการใช้บันไดซึ่งส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการอพยพค่อนข้างมาก ส่วนโปรแกรม Pathfinder นั้นจะจำลองจากแนวคิดของการสร้างพื้นที่ทางเดินเป็นหลัก โดยพื้นที่ทางเดินจะเป็นสามเหลี่ยมติดกันและเดินแบบจุดต่อจุดบนสามเหลี่ยมที่ติดกันเพื่อไปยังทางออก และในกรณีที่มีผู้อพยพบริเวณเดียวกันเป็นจำนวนมากก็จะมีกรอพยพที่ค่อนข้างเป็นระเบียบกว่าโปรแกรม PyroSim โดยเวลาที่แตกต่างกันมากจะเห็นได้ชัดเจนบริเวณ ชั้น 3 และ ชั้น 4 ที่ Stair 1 เพราะบริเวณนี้ติดกับห้องเรียนและห้องประชุมซึ่งมีปริมาณคนมากและเวลาจะเริ่มห่างมากขึ้นตั้งแต่ ชั้น 4 ลงไป ดังแสดงในตารางที่ 7 การจำลองนี้เป็นการจำลองการอพยพหนีไฟเพียงอย่างเดียว ซึ่งโปรแกรม Pathfinder ได้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อการอพยพหนีไฟโดยเฉพาะ แต่โปรแกรม PyroSim ถูกสร้างขึ้นมาโดยเน้นที่การจำลองของควันไฟภายในอาคารและมีส่วนของการอพยพหนีไฟเป็นส่วนเสริมเข้าไปในโปรแกรม ฉะนั้นถ้าคิดคำนวณการอพยพหนีไฟเพียงอย่างเดียว โปรแกรม Pathfinder น่าจะให้ผลที่เหมาะสมมากกว่าโปรแกรม PyroSim

จากตารางที่ 8 จะแสดงให้เห็นถึงการตัดสินใจเลือกทางออกของแต่ละชั้น โดยจะคำนวณออกมาเป็นร้อยละเพื่อให้เข้าใจง่าย จากตารางจะสังเกตเห็นว่า

บริเวณชั้น 5 ซึ่งจะรวมผู้อพยพของชั้น 6 ไว้ด้วยนั้น ทั้งโปรแกรม PyroSim และ โปรแกรม Pathfinder มีการเลือกใช้ทางออกที่บันได Stair-2 เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้จะมาจากบริเวณบันได Stair-3 นั้น อยู่ในบริเวณที่มองเห็นได้ยาก และบันไดที่เชื่อมต่อระหว่างชั้น 6 กับชั้น 5 อยู่ใกล้กับบันได Stair-2 มากกว่า จึงทำให้มีการเลือกใช้บันได Stair-2 ในการอพยพมากกว่าบันได Stair-3 ซึ่งอยู่ห่างไกล

บริเวณชั้น 4 ของอาคารจะเป็นชั้นที่มีปริมาณคนมากที่สุด เนื่องจากมีห้อง Auditorium ซึ่งมีคนใช้งานมากที่สุด จะเห็นว่าห้อง Auditorium นั้นอยู่ใกล้กับบันได Stair-1 ทำให้เมื่อมีการอพยพเกิดขึ้น ปริมาณผู้อพยพจะใช้บันได Stair-1 เป็นหลักในการอพยพ และเนื่องจากมีปริมาณผู้อพยพมากจึงทำให้เกิดการรอคอยในการใช้บันได ทำให้เวลาที่ใช้ในการอพยพมากขึ้นด้วย ในส่วนของโปรแกรม PyroSim จะสามารถแสดงความเร็วที่ใช้ในการอพยพได้ด้วย โดยสีน้ำเงินจะแสดงความเร็วต่ำ และสีแดงจะแสดงความเร็วสูง ซึ่งสามารถดูได้จากภาพที่ 30 ส่วนภาพที่ 31 จะแสดงการอพยพของโปรแกรม Pathfinder

บริเวณชั้น 3 ของอาคาร จะมีการใช้บันได Stair-1 ในการอพยพมากที่สุด เนื่องจากบริเวณบันได Stair-1 อยู่ใกล้กับห้องเรียนซึ่งมีปริมาณคนใช้งานมาก รวมกับที่ชั้น 4 ก็มีคนใช้บันได Stair-1 ในการอพยพมากเหมือนกัน ทำให้ที่บริเวณนี้จะมีการใช้บันไดอย่างหนาแน่น และบริเวณจุดเชื่อมต่อของชั้น 3 และชั้น 4 ก็จะมีการรอคอยในการใช้บันไดเพิ่มขึ้น ทำให้มีการใช้เวลาในการอพยพที่บริเวณจุดนี้มากขึ้นด้วย ดังแสดงในภาพที่ 32 และ 33

บริเวณชั้น 2 ของอาคารจะมีการเลือกบันได Stair-4 เพื่อใช้ในการอพยพมาก เนื่องจากอยู่ใกล้กับห้องธุรการซึ่งมีปริมาณคนมาก และบันได Stair-4 เป็นบันไดที่เห็นได้ชัดเจน และทอดยาวไปยัง Exit-2 เพื่อออกไปนอกบริเวณอาคารซึ่งเป็นบริเวณที่ปลอดภัย ทำให้มีการเลือกใช้บันไดนี้ในการอพยพมากที่สุด ในส่วนของชั้น 1 นั้นผู้อพยพทุกคนจะออกทาง Exit-1 ทั้งหมด

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการทำการอพยพอย่างง่ายโดยใช้ผู้อพยพ 5 คน อพยพลงมาจากชั้น 5 บริเวณใกล้ Stair-2 พบว่าใช้เวลาในการอพยพ 87 วินาที และเมื่อนำมาจำลองในโปรแกรม พบว่าเวลาของ Pathfinder เท่ากับ 71 นาที และ PyroSim ใช้เวลาเท่ากับ 100 วินาที

เมื่อนำการจำลอง กรณีที่ 2 มาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง สามารถแสดงได้ดังนี้

สูตรเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

$$\frac{|X_1 - X_2|}{\bar{X}} \times 100\% \quad (4)$$

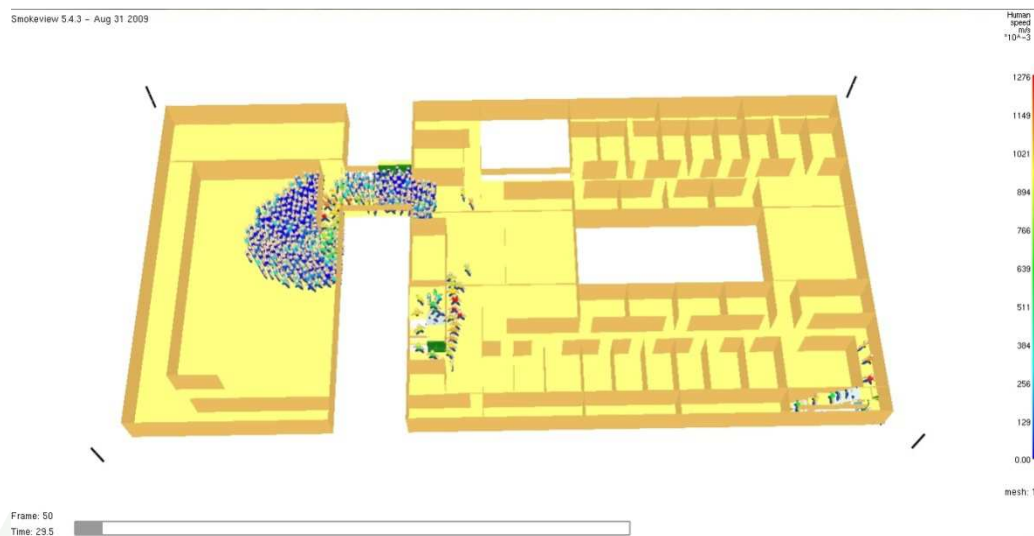
โดยที่ X_1 คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพของโปรแกรม PyroSim

X_2 คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพของโปรแกรม Pathfinder

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพของ 2 โปรแกรม

จากสูตรคำนวณ พบว่า เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพของทั้ง 2 โปรแกรม เท่ากับ 41.77%

จากการจำลองการอพยพของทั้ง 2 โปรแกรมและการทดสอบการอพยพอย่างง่าย สามารถสรุปได้ว่าการอพยพออกจากอาคารวิศวกรรมเครื่องกลควรอยู่ในช่วงเวลา 322 วินาที ถึง 492 วินาที



ภาพที่ 30 แสดงการอพยพบริเวณชั้น 4 ของโปรแกรม PyroSim



ภาพที่ 31 แสดงการอพยพบริเวณชั้น 4 ของโปรแกรม Pathfinder



ภาพที่ 32 แสดงการอพยพบริเวณชั้น 3 ของโปรแกรม PyroSim



ภาพที่ 33 แสดงการอพยพบริเวณชั้น 3 ของโปรแกรม Pathfinder

กรณีที่ 2 ศึกษาการอพยพหนีไฟของโปรแกรม PyroSim ในสถานการณ์ต่างๆ

การอพยพหนีไฟอาจเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดขึ้น เช่น บริเวณบันไดหนีไฟอาจจะถูกปิดทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ เป็นต้น ฉะนั้นจึงได้ทำการจำลองการอพยพหนีไฟขึ้นในสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

- ประตูปะตูและบันไดหนีไฟใช้ได้เต็มประสิทธิภาพ (ปกติ)
- ประตูปะตูและบันไดหนีไฟไม่สามารถใช้ได้ Stair-2 (ไม่มี Stair-2)
- ประตูปะตูและบันไดหนีไฟไม่สามารถใช้ได้ Stair-3 (ไม่มี Stair-3)

การจำลองทั้ง 3 สถานการณ์นี้ ได้แสดงข้อมูลของระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟ ดังแสดงในตารางที่ 9 และได้คำนวณร้อยละในการเลือกใช้บันไดของผู้อพยพในแต่ละชั้น โดยคิดร้อยละจากจำนวนผู้อพยพในชั้นนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 10

จากตารางที่ 9 จะเห็นว่าการอพยพในสถานการณ์ที่ประตูปะตูและบันไดหนีไฟใช้ได้เต็มประสิทธิภาพ (ปกติ) ใช้เวลาในการอพยพเท่ากับ 492 วินาที สถานการณ์ที่ประตูปะตูและบันไดหนีไฟไม่สามารถใช้ได้ Stair-2 (ไม่มี Stair-2) ใช้เวลาในการอพยพเท่ากับ 592 วินาที และสถานการณ์ที่ประตูปะตูและบันไดหนีไฟไม่สามารถใช้ได้ Stair-3 (ไม่มี Stair-3) ใช้เวลาในการอพยพ เท่ากับ 511 วินาที

จากข้อมูลเวลาที่ใช้ในการอพยพทั้ง 3 กรณี สังเกตได้ว่ากรณีที่มีการอพยพแบบปกติ และกรณีที่ไม่มี Stair-3 นั้นใช้เวลาใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากบันได Stair-3 นั้นอยู่ในจุดที่มองเห็นได้ยากและไกลจากบริเวณห้องขนาดใหญ่ที่มีปริมาณคนมาก ทำให้ถูกเลือกใช้น้อยสำหรับกรณีปกติ ฉะนั้นผลที่ได้จากเหตุการณ์ที่ไม่สามารถใช้ประตูปะตูและบันไดหนีไฟที่ Stair-3 จึงไม่แตกต่างจากกรณีปกติมาก ดังแสดงในภาพที่ 34

กรณีที่ประตูและบันไดหนีไฟไม่สามารถใช้ได้ Stair-2 (ไม่มี Stair-2) เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีปกติ จะเห็นว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพค่อนข้างแตกต่างกันมาก โดยจะเริ่มแตกต่างกันตั้งแต่ชั้น 5 เนื่องจากว่าชั้น 5 มีทางหนีไฟอยู่ 2 ทางคือที่บันได Stair-2 และบันได Stair-3 เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ไม่สามารถใช้บันได stair-2 ได้ ทำให้ผู้อพยพที่ลงมาจากชั้น 6 ต้องอพยพไปยังบันได Stair-3 ของชั้น 5 ซึ่งอยู่ไกลกว่า Stair-2 และขนาดของบันไดมีขนาดเล็กกว่า Stair-2 ดังแสดงในภาพที่ 36 และ 37 ทำให้ใช้เวลาในการอพยพมากขึ้นตั้งแต่บริเวณชั้น 5 ลงไป และใช้เวลามากกว่า 5 นาที ที่บริเวณชั้น 5 ซึ่งเกินกว่าค่าที่พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงานกำหนด

เมื่อนำการจำลอง กรณีที่ 2 มาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มากขึ้น โดยจะให้ค่าของแบบประตูและบันไดสามารถใช้ได้เต็มประสิทธิภาพเป็นค่าหลัก และอีก 2 แบบ เป็นค่าที่คลาดเคลื่อนไปสามารถแสดงได้ดังนี้

สูตรเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

$$\frac{|E-S|}{S} \times 100\% \quad (5)$$

จากสูตรการหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน S คือค่าที่ใช้เป็นหลักในการเปรียบเทียบ ซึ่งในการจำลองนี้กำหนดให้เป็นค่าของกรณีที่ประตูและบันไดใช้เต็มประสิทธิภาพ และ E คือค่าที่นำมาเปรียบเทียบเพื่อหาความคลาดเคลื่อน ซึ่งในการจำลองนี้คือค่าของกรณีที่ ไม่มี Stair-2 และกรณีที่ไม่มี Stair-3 จากการคำนวณพบว่า

กรณีที่ไม่มีบันได Stair-2 มีเปอร์เซ็นต์เวลาที่เพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติ เท่ากับ 20.33 %

กรณีที่ไม่มีบันได Stair-3 มีเปอร์เซ็นต์เวลาที่เพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติ เท่ากับ 3.86 %

ตารางที่ 9 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพ และปริมาณคนสะสมของโปรแกรม PyroSim

ชั้น	บันได	ระยะเวลาในการอพยพ (วินาที)			ปริมาณคนสะสม (คน)		
		ปกติ	ไม่มี Stair-2	ไม่มี Stair-3	ปกติ	ไม่มี Stair-2	ไม่มี Stair-3
6	Door	105	108	110	114	114	114
5	Stair-2	195	-	270	158	-	213
	Stair-3	98	359	-	55	213	-
4	Stair-1	271	280	280	370	380	375
	Stair-2	233	-	309	181	-	245
	Stair-3	128	419	-	69	240	-
3	Stair-1	352	371	369	570	590	580
	Stair-2	270	-	379	200	-	276
	Stair-3	152	478	-	86	266	-
2	Stair-1	462	481	485	591	611	601
	Stair-2	332	-	449	200	-	276
	Stair-3	203	548	-	110	293	-
	Stair-4	55	53	53	60	57	84
1	Stair-1 (Exit1)	**492**	507	511**	645	665	655
	Stair-2 (Exit1)	370	-	487	662	-	738
	Stair-3 (Exit1)	252	**592**	-	110	755	-
	Stair-4 (Exit2)	75	73	72	60	57	84

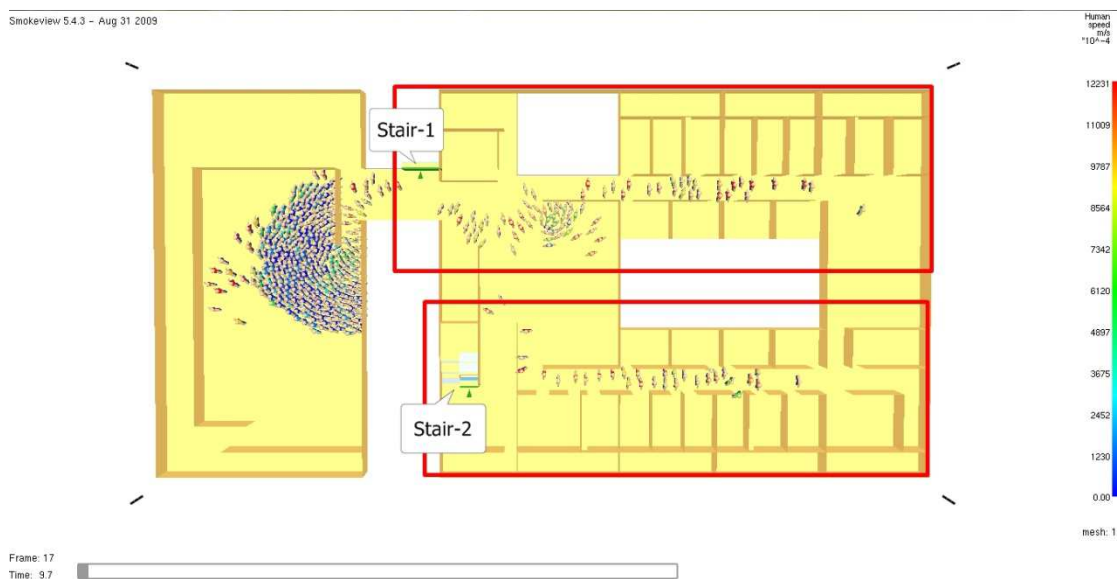
หมายเหตุ วิธีการอ่านตารางเหมือนกับตารางที่ 4

ตารางที่ 10 แสดงร้อยละการเลือกบันไดของผู้อพยพในแต่ละชั้นของโปรแกรม PyroSim

ชั้น	ร้อยละในการเลือกประตูทางออกเพื่อใช้ในการอพยพของโปรแกรม PyroSim (%)									
	ปกติ				ไม่มี Stair-2			ไม่มี Stair-3		
	Stair1	Stair2	Stair3	Stair4	Stair1	Stair3	Stair4	Stair1	Stair2	Stair4
5+6	-	74.18	25.82	-	-	100	-	-	100	-
4	90.9	5.65	3.45	-	93.37	6.63	-	92.14	7.86	-
3	84.75	8.05	7.2	-	88.98	11.02	-	86.86	13.14	-
2	20	0	22.86	57.14	20	25.71	54.29	20	0	80
1	ออก Exit-1 ทั้งหมด			ออก Exit-2	ออก Exit-1 ทั้งหมด		ออก Exit-2	ออก Exit-1 ทั้งหมด		ออก Exit-2

หมายเหตุ การคิดร้อยละจะคิดจากปริมาณคนในชั้นนั้นๆ เฉพาะชั้น 5 ที่จะคิดรวมกับชั้น 6
เครื่องหมาย – คือ ไม่มีบันไดอยู่ในชั้นนั้นๆ

จากตารางที่ 10 จะเห็นว่า กรณีที่ไม่มีบันได Stair-2 และกรณีที่ไม่มี Stair-3 มีปริมาณร้อยละในการเลือกไปยังทางออกที่ใกล้เคียงกันแต่สาเหตุที่กรณีไม่มี Stair-2 นั้นใช้เวลาในการอพยพมากกว่า ดังที่แสดงในตารางที่ 7 เพราะว่า Stair-3 นั้นมีขนาดเล็กกว่า Stair-2 และมีระยะทางที่ไกลจากผู้อพยพ ทำให้ใช้เวลาในการอพยพมากตามไปด้วย



ภาพที่ 34 แสดงการเลือกใช้น้ไฟทางออกบริเวณชั้น 4 กรณีไม่มี Stair-3 ของโปรแกรม PyroSim



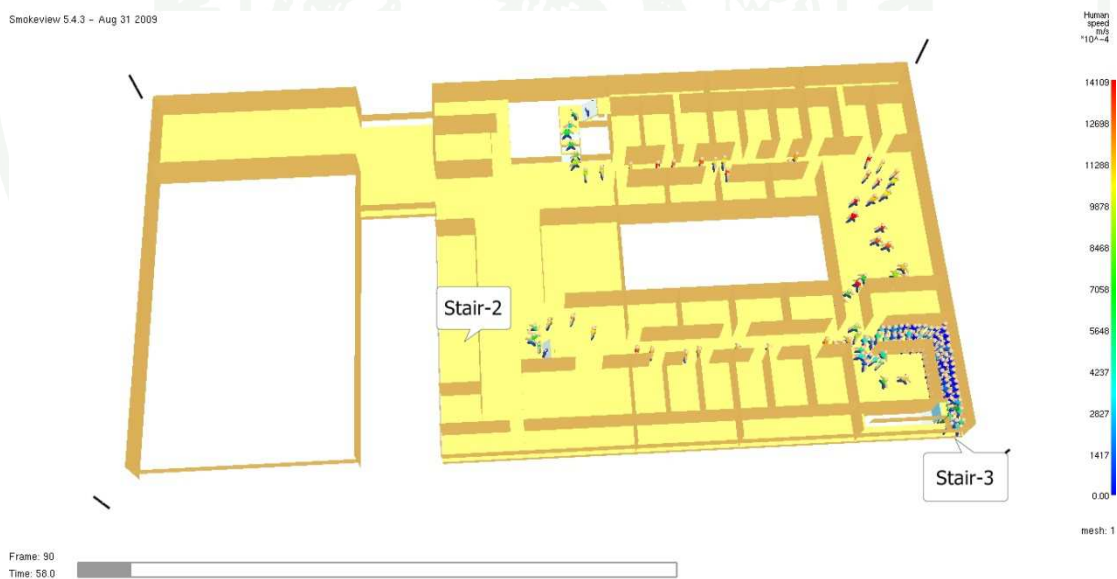
ภาพที่ 35 แสดงการเลือกใช้น้ไฟทางออกบริเวณชั้น 4 กรณีไม่มี Stair-2 ของโปรแกรม PyroSim

Smokeview 5.4.3 - Aug 31 2009

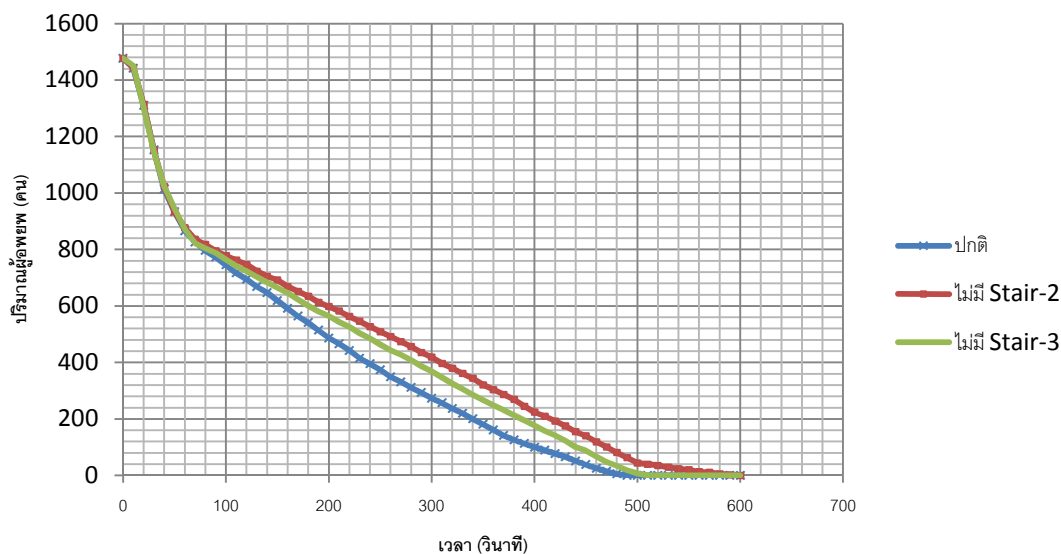


ภาพที่ 36 แสดงการเลือกใช้บันไดทางออกบริเวณชั้น 5 กรณีไม่มี Stair-3 ของโปรแกรม PyroSim

Smokeview 5.4.3 - Aug 31 2009



ภาพที่ 37 แสดงการเลือกใช้บันไดทางออกบริเวณชั้น 5 กรณีไม่มี Stair-2 ของโปรแกรม PyroSim



ภาพที่ 38 แสดงกราฟระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพของโปรแกรม PyroSim

กรณีที่ 3 ศึกษาการอพยพหนีไฟของโปรแกรม Pathfinder ในสถานการณ์ต่างๆ

การอพยพหนีไฟอาจเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดขึ้น เช่น บริเวณบันไดหนีไฟอาจจะถูกปิด ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ เป็นต้น ฉะนั้นจึงได้ทำการจำลองการอพยพหนีไฟขึ้นในสถานการณ์ต่างๆดังนี้

- ประตูและบันไดหนีไฟใช้ได้เต็มประสิทธิภาพ (ปกติ)
- ประตูและบันไดหนีไฟไม่สามารถใช้ได้ Stair-2 (ไม่มี Stair-2)
- ประตูและบันไดหนีไฟไม่สามารถใช้ได้ Stair-3 (ไม่มี Stair-3)

การจำลองทั้ง 3 กรณีนี้ ได้แสดงข้อมูลของเวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟ และได้คำนวณร้อยละในการเลือกใช้งานบันไดของผู้อพยพ โดยคิดร้อยละจากจำนวนผู้อพยพในชั้นนั้นๆรวมกับชั้นที่สูงกว่า ดังแสดงในตารางที่ 11 และ 12

ตารางที่ 11 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพ และปริมาณคนสะสมของโปรแกรม Pathfinder

ชั้น	บันได	ระยะเวลาในการอพยพ (วินาที)			ปริมาณคนสะสม (คน)		
		ปกติ	ไม่มี Stair-2	ไม่มี Stair-3	ปกติ	ไม่มี Stair-2	ไม่มี Stair-3
6	Door	210	64	212	114	114	114
5	Stair-2	240	-	242	213	-	213
	Stair-3	0	264	-	0	213	-
4	Stair-1	165	203	163	339	405	336
	Stair-2	261	-	261	281	-	284
	Stair-3	0	283	-	0	215	-
3	Stair-1	203	242	199	522	633	517
	Stair-2	280	-	281	334	-	339
	Stair-3	0	300	-	0	223	-
2	Stair-1	231	273	228	543	654	538
	Stair-2	300	-	299	334	-	339
	Stair-3	12	320	-	5	228	-
	Stair-4	45	42	45	79	79	84
1	Stair-1 (Exit1)	240	285	241	579	708	592
	Stair-2 (Exit1)	**322**	-	**323**	796	-	801
	Stair-3 (Exit1)	60	**352**	-	5	690	-
	Stair-4 (Exit2)	65	57	63	79	79	84

หมายเหตุ วิธีการอ่านตารางเหมือนกับตารางที่ 4

ตารางที่ 12 แสดงร้อยละการเลือกบันไดของผู้อพยพในแต่ละชั้นของโปรแกรม Pathfinder

ชั้น	ร้อยละในการเลือกประตูทางออกเพื่อใช้ในการอพยพของโปรแกรม Pathfinder (%)									
	ปกติ				ไม่มี Stair-2			ไม่มี Stair-3		
	Stair1	Stair2	Stair3	Stair4	Stair1	Stair3	Stair4	Stair1	Stair2	Stair4
5+6	-	100	0	-	-	100	-	-	100	-
4	83.29	16.71	0	-	99.51	0.49	-	82.56	17.44	-
3	77.54	22.46	0	-	96.61	3.39	-	76.7	23.3	-
2	20	0	4.76	75.24	20	4.76	75.24	20	0	80
1	ออกทาง Exit-1 ทั้งหมด			ออก Exit-2	ออกทาง Exit-1 ทั้งหมด		ออก Exit-2	ออกทาง Exit-1 ทั้งหมด		ออก Exit-2

หมายเหตุ การคิดร้อยละจะคิดจากปริมาณคนในชั้นนั้นๆ เฉพาะชั้น 5 ที่จะคิดรวมกับชั้น 6
เครื่องหมาย – คือ ไม่มีบันไดอยู่ในชั้นนั้นๆ

จากตารางที่ 11 พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพของกรณีปกติ และกรณีไม่มี Stair-3 มีความแตกต่างกันน้อยมาก รวมถึงปริมาณคนที่ใช้บันไดแต่ละบันไดด้วย เนื่องจากว่าในกรณีปกติ นั้นผู้อพยพส่วนมากไม่เลือกใช้บันได Stair-3 เลย มีส่วนที่เลือกใช้ Stair-3 อยู่เล็กน้อยตรงบริเวณ ห้องธุรการของชั้น 2 เมื่อมีเหตุการณ์ที่ไม่สามารถใช้ประตูและบันไดที่ Stair-3 ผลที่ได้จากการ อพยพจึงมีความแตกต่างกันน้อยมาก ดูกราฟเปรียบเทียบได้จากภาพที่ 39

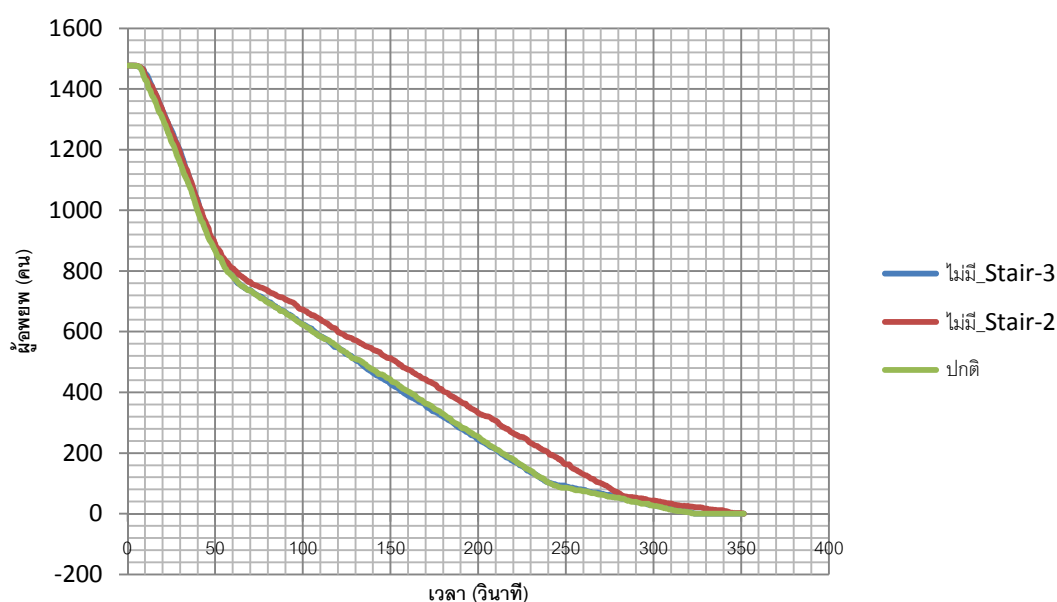
กรณีไม่มี Stair-2 จะใช้เวลาในการอพยพแตกต่างจากกรณีปกติเล็กน้อย แสดงในตารางที่ 9 โดยจะเริ่มแตกต่างที่บริเวณชั้น 5 เนื่องจากเมื่อผู้อพยพได้ลงมาจากชั้น 6 มายังบริเวณชั้น 5 แล้ว ผู้ อพยพจะต้องเดินไปยังบันได Stair-3 ซึ่งอยู่ห่างไกลจากบันไดเชื่อมต่อระหว่างชั้นมากกว่า Stair-2 ทำให้ใช้เวลาในการอพยพมากตามไปด้วย และจากชั้น 5 ลงมาจะใช้ระยะเวลาในการลงมายังชั้น ต่างๆก่อนข้างคองที่ และใช้เวลามากขึ้นในช่วงก่อนออกจากอาคาร เพราะบันได Stair-3 เมื่อลงมาถึง ยังชั้น 1 จะยังอยู่ภายในอาคารอยู่ทำให้ใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการไปยังทางออกอีกเล็กน้อย

จากตารางที่ 11 เมื่อนำระยะเวลามาหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนโดยใช้กรณีที่ประตูละบันใดสามารถใช้ได้เต็มประสิทธิภาพเป็นค่าหลัก แล้วนำค่า ไม่มี Stair-2 และไม่มี Stair-3 มาเปรียบเทียบกับว่า

กรณีที่ไม่มีบันใด Stair-2 มีเปอร์เซ็นต์เวลาที่เพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติ เท่ากับ 9.32 %

กรณีที่ไม่มีบันใด Stair-3 มีเปอร์เซ็นต์เวลาที่เพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติ เท่ากับ 0.31 %

จากตารางที่ 12 พบว่าเหตุการณ์ที่แตกต่างกันทั้ง 3 แบบ มีการเลือกใช้บันใดในการอพยพแตกต่างกันเล็กน้อย โดยทั้ง 3 แบบ จะเลือกใช้ Stair-1 เป็นหลักในการอพยพ เนื่องจากจากบันใด Stair-1 อยู่ใกล้กับห้องที่มีปริมาณผู้อพยพมากโดยเฉพาะชั้น 3 และชั้น 4



ภาพที่ 39 แสดงกราฟระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพของโปรแกรม Pathfinder

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยได้แสดงการใช้แบบจำลองการหนีไฟเพื่อคำนวณเวลาการอพยพหนีไฟของอาคารวิศวกรรมเครื่องกล จำนวนคนภายในอาคารประมาณตามมาตรฐาน NFPA 101 เท่ากับ 1477 คน จากการคำนวณพบว่าเวลาที่ใช้ในการอพยพหนีไฟของอาคาร โดยคำนวณด้วยโปรแกรม PyroSim เท่ากับ 492 วินาที และคำนวณด้วยโปรแกรม Pathfinder เท่ากับ 322 วินาที ส่วนของบุษกรคำนวณด้วยวิธี Hydraulic Analogy เท่ากับ 9 นาที 3 วินาที ซึ่งการคำนวณของทั้ง 3 วิธี มีความแตกต่างกัน โดยโปรแกรม Pathfinder จะมีการอพยพที่เป็นระเบียบ ส่วนโปรแกรม PyroSim จะมีการอพยพที่ไม่เป็นระเบียบเมื่อเทียบกับโปรแกรม Pathfinder และของบุษกรจะเป็นการคำนวณเวลาการอพยพที่มากที่สุดที่คำนวณได้จากสูตรการคำนวณที่มาตรฐาน NFPA ขอมรับ

การจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม PyroSim ในสถานการณ์ต่างๆ คือ ประตูและบันไดสามารถใช้ได้เต็มประสิทธิภาพ (ปกติ) ประตูและบันไดไม่สามารถใช้ได้ Stair-2 (ไม่มี Stair-2) และสถานการณ์ที่ประตูและบันไดไม่สามารถใช้ได้ Stair-3 (ไม่มี Stair-3) โดยทั้ง 3 สถานการณ์ใช้เวลาในการอพยพ เท่ากับ 492 วินาที 592 วินาที และ 511 วินาที ตามลำดับ จะเห็นว่าสถานการณ์ที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือสถานการณ์ที่ไม่สามารถใช้ Stair-2 ได้ นอกจากนี้การที่ไม่สามารถใช้งาน Stair-2 ได้ยังส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการอพยพเกินกว่าค่าที่กฎหมายกำหนดด้วย เมื่อนำมาคิดค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากสถานการณ์ปกติ พบว่าเวลาในการอพยพที่เพิ่มขึ้นของสถานการณ์ที่ไม่มี Stair-2 นั้นเท่ากับ 20.33% และค่าความคลาดเคลื่อนของสถานการณ์ที่ไม่มี Stair-3 เท่ากับ 3.86%

การจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม Pathfinder ในสถานการณ์ต่างๆ คือ ประตูและบันไดสามารถใช้ได้เต็มประสิทธิภาพ (ปกติ) ประตูและบันไดไม่สามารถใช้ได้ Stair-2 (ไม่มี Stair-2) และสถานการณ์ที่ประตูและบันไดไม่สามารถใช้ได้ Stair-3 (ไม่มี Stair-3) โดยทั้ง 3 สถานการณ์ใช้เวลาในการอพยพ เท่ากับ 322 วินาที 352 วินาที และ 323 วินาที ตามลำดับ จะเห็นว่าสถานการณ์ที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือสถานการณ์ที่ไม่สามารถใช้ Stair-2 ได้ เมื่อนำมาคิดค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติ พบว่าเวลาในการอพยพที่เพิ่มขึ้นของสถานการณ์ที่ไม่มี Stair-2 นั้นเท่ากับ 9.32% และค่าความคลาดเคลื่อนของสถานการณ์ที่ไม่มี Stair-3 เท่ากับ 0.31%

ข้อเสนอแนะ

การจำลองแสดงให้เห็นว่ากรณีที่บ้านโคหนีไฟไม่สามารถใช้ได้เต็มประสิทธิภาพนั้น จะทำให้ใช้เวลาในการอพยพมากจนเกินกว่าค่าที่กฎหมายกำหนดไว้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายสำหรับผู้ใช้อาคารได้ ฉะนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคาร ผู้ดูแลอาคารควรจัดให้มีการตรวจสอบความพร้อมของบันไดหนีไฟให้สามารถใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กระทรวงมหาดไทย. 2534. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยใน
สถานประกอบการ พ.ศ.2534. 21 พฤศจิกายน 2534.
- ชนพงษ์ บุญเลี้ยง. 2554. การจำลองเชิงตัวเลขการอพยพผู้โดยสารออกจากเครื่องบินภายใต้
สถานการณ์ฉุกเฉิน. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 25. กระบี่.
- บุษกร แสนสุข. 2553. การวิเคราะห์เส้นทางหนีไฟและการคำนวณระยะเวลาอพยพโดยวิธี
Hydraulic Analogy อาคารใหม่ ภาควิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร. 2522. กฎกระทรวงฉบับที่ 33 พ.ศ.2535. กรุงเทพมหานคร
- วิวรรณ อัสวสุชี. 2552. การศึกษาการอพยพหนีไฟในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินด้วยระเบียบวิธีเชิง
ตัวเลข. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2551. **มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย**. พิมพ์
ปรับปรุงครั้งที่ 1 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์,
กรุงเทพมหานคร.
- Helbing, D., F. Iller and V. Tamass. 2000. Simulating dynamical features of escape panic.
NATURE 407: 487-490.
- Korhonen, T. and S. Hostikka. 2008. FDS+Evac: Modelling Social Interactions in Fire
Evacuation. In **7th International Conference on Performance-Based Codes and Fire
Safety Design Methods**. 16-18 April 2008, New Zealand.

Korhonen, T. and S. Hostikka. 2009. **Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac Technical Reference and User's Guide**. Available Source: <http://www.vtt.fi/fdsevac/>, December 29, 2011.

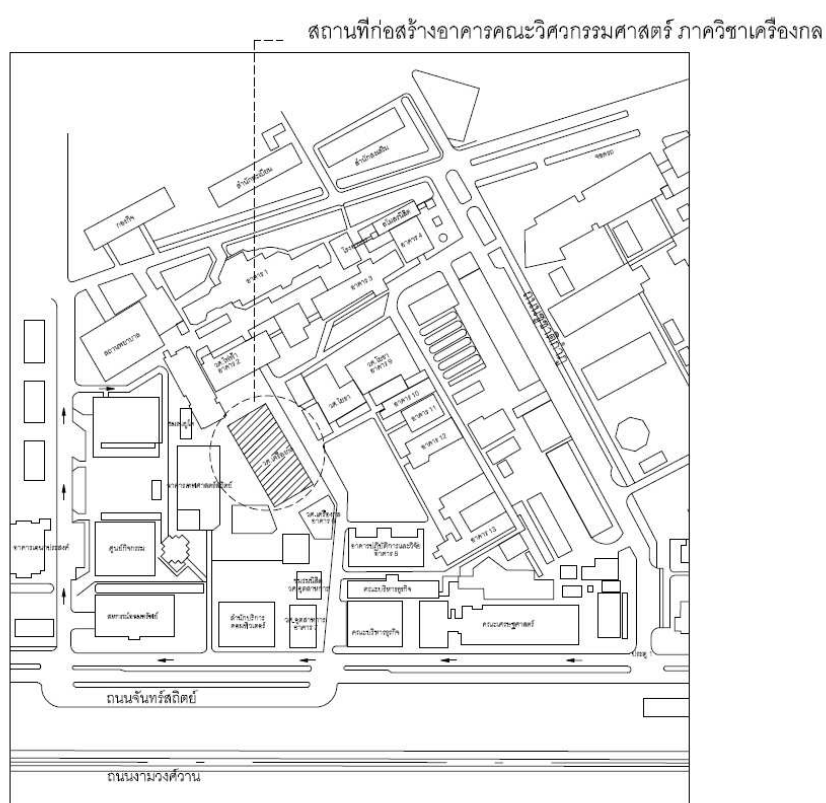
National Fire Protection Association. 2006. **NFPA101, Life Safety Code, Edition 2006**, US.

Thunderhead_Engineering. 2009. **Pathfinder Technical Reference**. Available Source: <http://thunderheadeng.com/pathfinder/>, May 11, 2011.

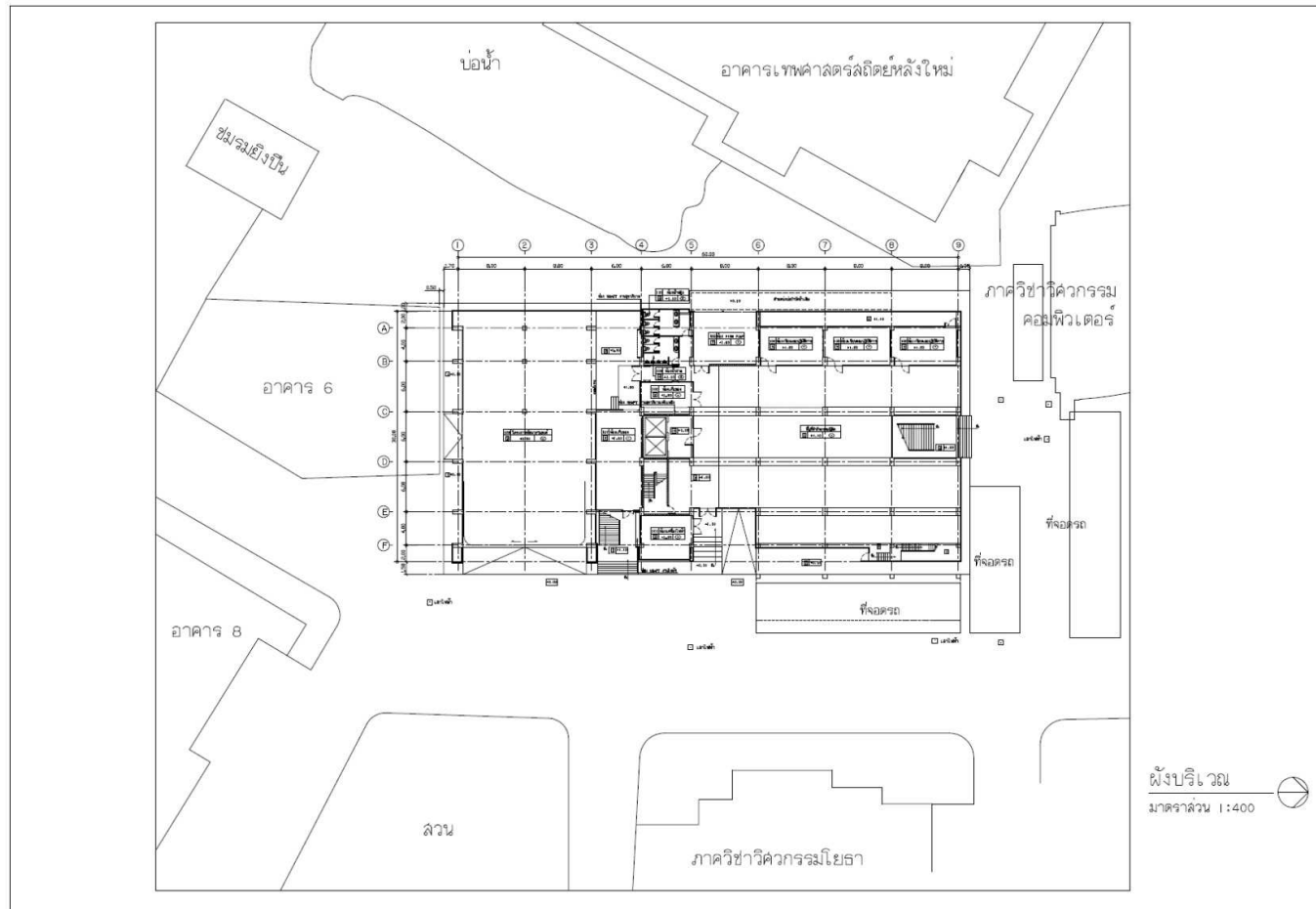
Zhong-an, J., C. Mei-ling and W. Xiao-hua. 2011. Experiment and Simulation Study on High-rise Student Apartment Fire Personal Evacuation in the Campus. **Procedia Engineering** 11: 156–161.

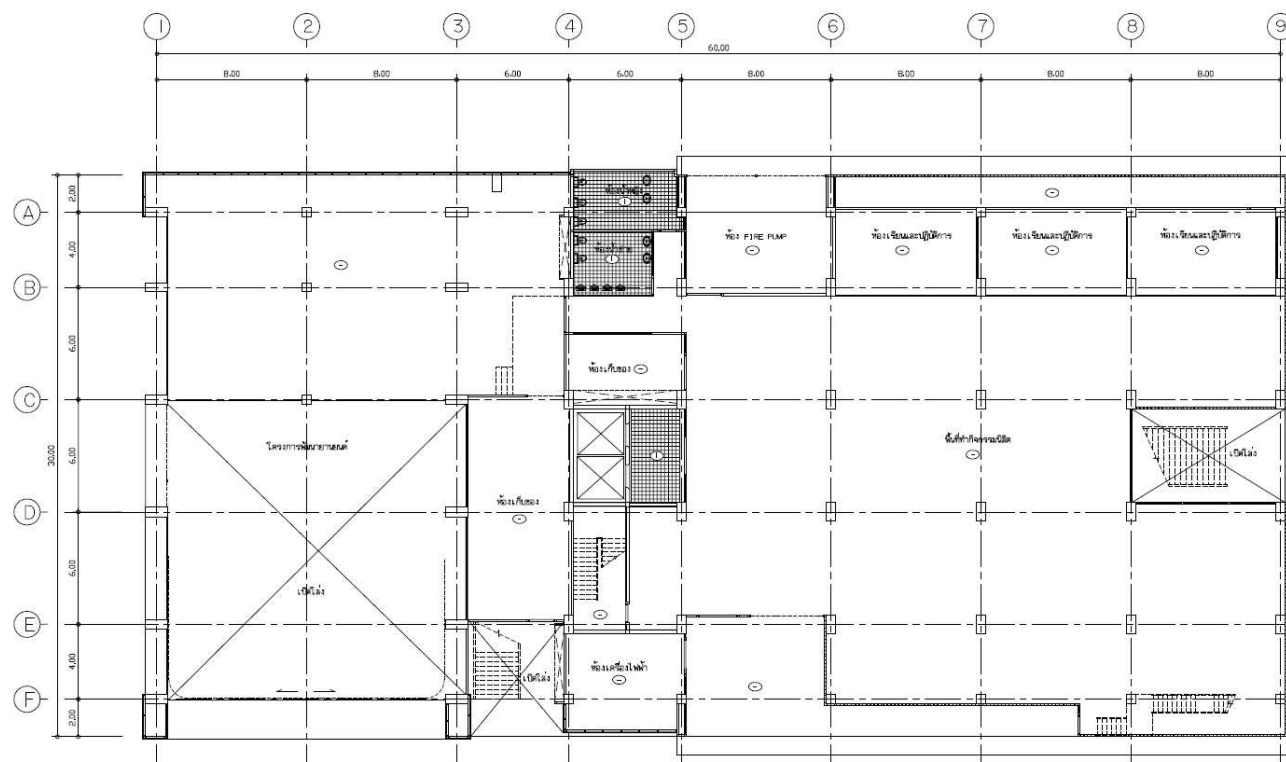


แบบแปลนอาคารวิศวกรรมเครื่องกล



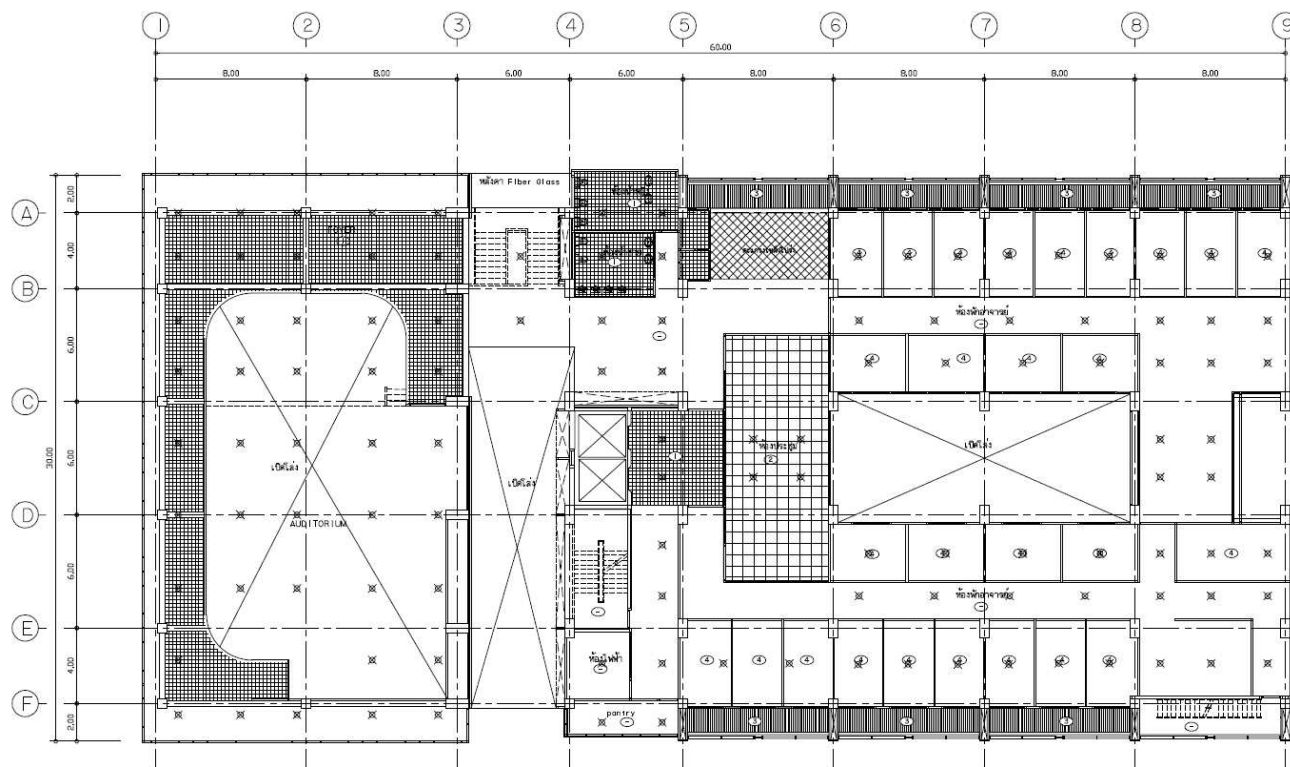
ผังบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์





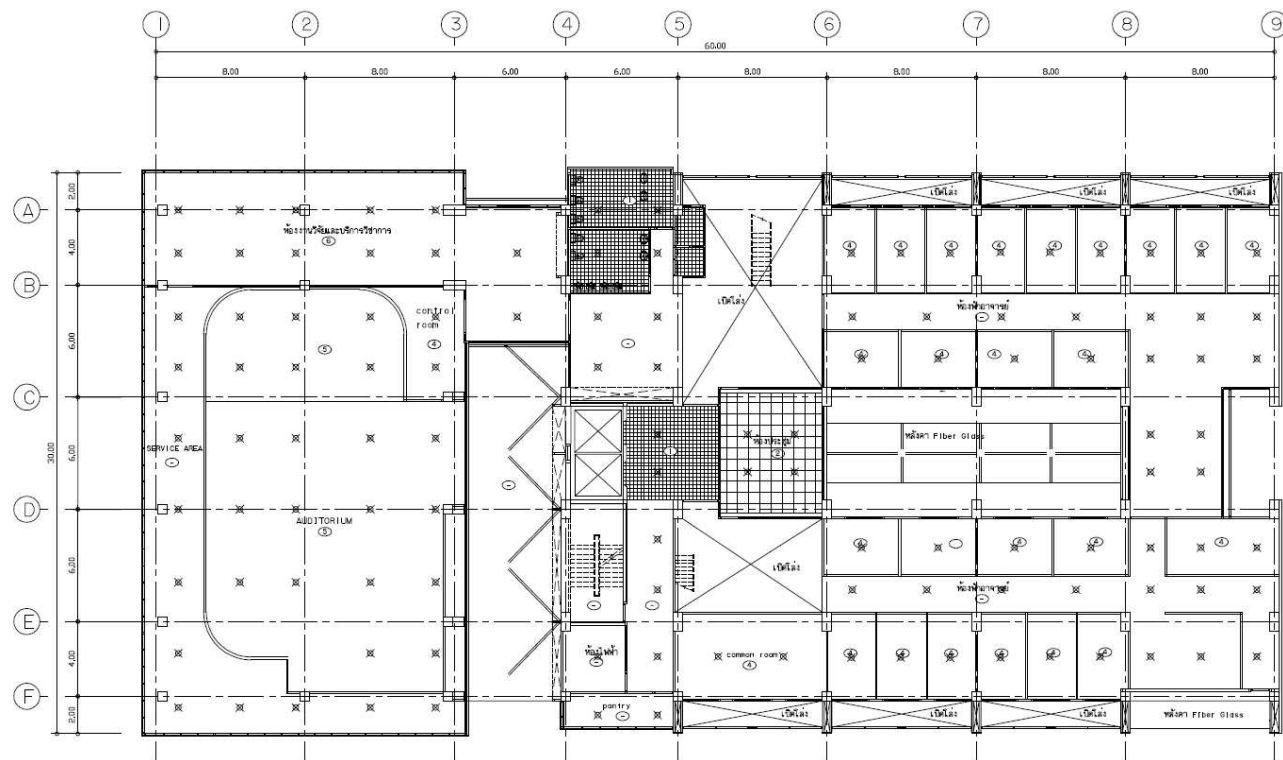
แปลนไฟฟ้าผดานชั้น 1
มาตราส่วน 1:200

- ① ๓๕.๖๖ วัตต์, 1.๖๖๖๖ วัตต์/ม.²
- ② ๓๕.๖๖ วัตต์/ม.², 1.๖๖๖๖ วัตต์
- ③ ๓๕.๖๖ วัตต์, 1.๖๖๖๖ วัตต์
- ④ ๓๕.๖๖ วัตต์/ม.², 1.๖๖๖๖ วัตต์/ม.²
- ⑤ ๓๕.๖๖ วัตต์/ม.², 1.๖๖๖๖ วัตต์/ม.²
- ⑥ ๓๕.๖๖ วัตต์/ม.², 1.๖๖๖๖ วัตต์/ม.²
- ⑦ ๓๕.๖๖ วัตต์/ม.², 1.๖๖๖๖ วัตต์/ม.²



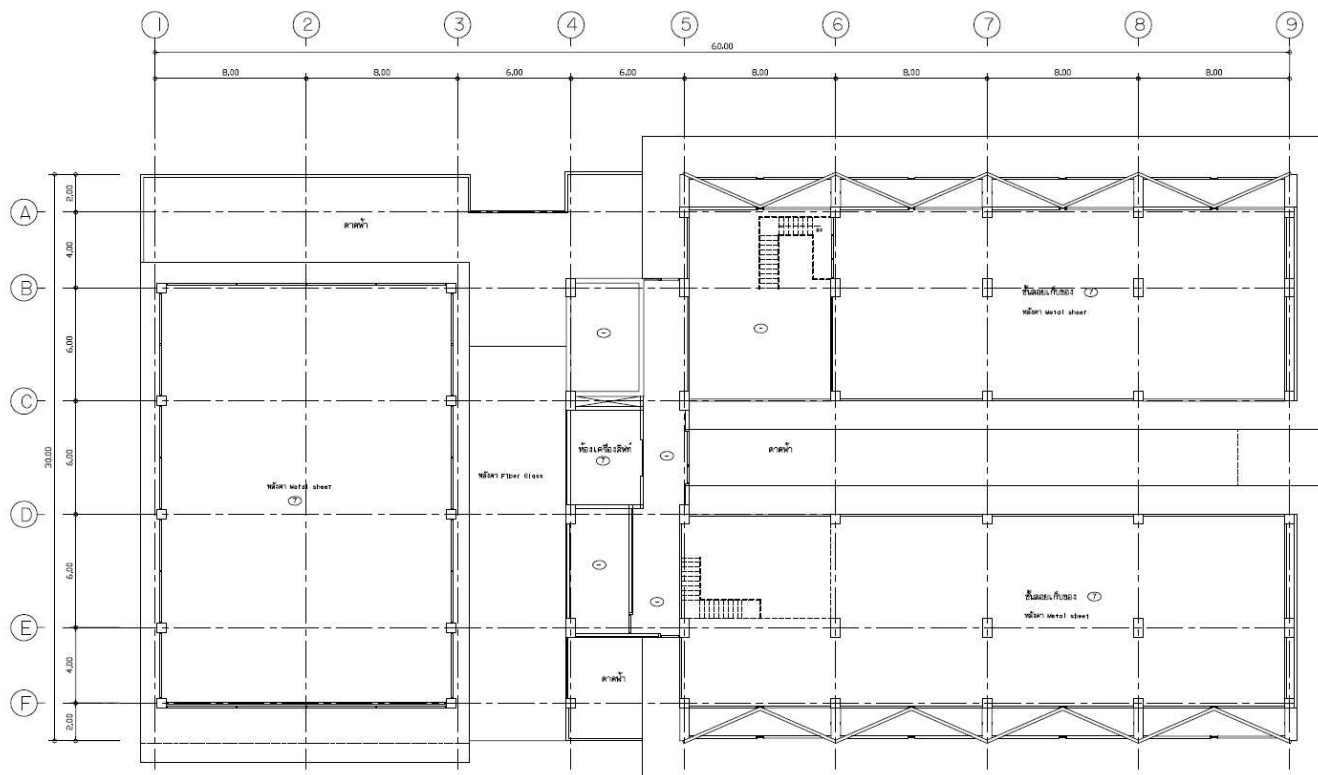
แปลนฝ้าเพดานชั้น 4
มาตรฐาน 1:250

- ① เสาฉลึงค์ ฝ้า , ไม้เคลือบสี
- ② ฝ้าฉลึงค์อะครีลิก cell ceiling 0.20 x 0.20 m.
- ③ ฝ้าฉลึงค์ Aluminium Alloy ฝ้าฉลึงค์ acoustic 0.60 x 0.60 m.
- ④ ฝ้าฉลึงค์ Aluminium Linear
- ⑤ ฝ้าฉลึงค์ ฝ้าฉลึงค์อะครีลิก จากฉลึงค์ ฝ้า
- ⑥ ฝ้าฉลึงค์ ฝ้าฉลึงค์อะครีลิก จากฉลึงค์ ฝ้า
- ⑦ ฝ้าฉลึงค์ ฝ้าฉลึงค์อะครีลิก จากฉลึงค์ ฝ้า
- ⑧ ฝ้าฉลึงค์ ฝ้าฉลึงค์อะครีลิก จากฉลึงค์ ฝ้า
- ⑨ ฝ้าฉลึงค์ ฝ้าฉลึงค์อะครีลิก จากฉลึงค์ ฝ้า



แปลนฝ้าเพดานชั้น 5
มาตราส่วน 1:250

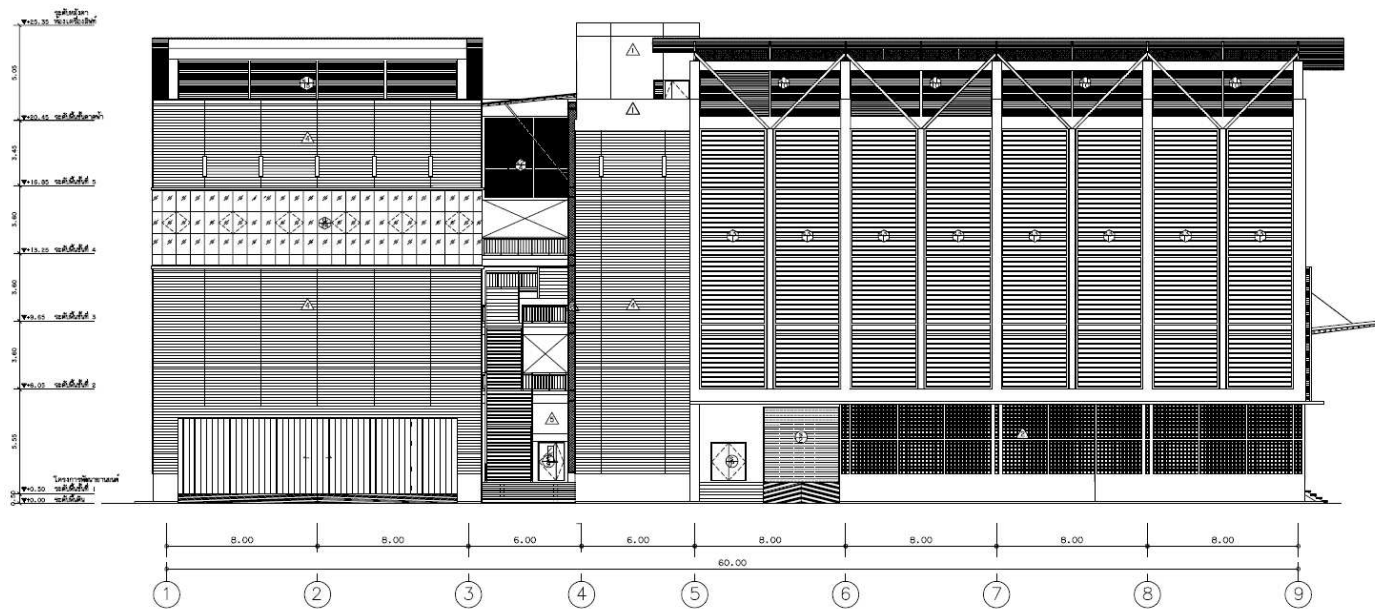
- วงกลม ทาสี , ไม้ตีพื้นไม้
- ① ฝ้าฉาบฉวย cell ceiling 0.60 x 0.60 ม.
- ② ฝ้าฉาบ Aluminium Alloy ฝ้าฉาบ acoustic 0.60 x 0.60 ม.
- ③ ฝ้าฉาบ Aluminium Linear
- ④ ฝ้าฉาบ ไม้ตีพื้นไม้ ฉาบสีทาสี
- ⑤ ฝ้าฉาบ ไม้ตีพื้นไม้ ฝ้าฉาบ acoustic
- ⑥ ฝ้าฉาบฉวย ไม้ตีพื้นไม้ ฉาบสีทาสี ฝ้าฉาบฉวย ไม้ตีพื้นไม้ ฉาบสีทาสี
- ⑦ ฝ้าฉาบฉวย ไม้ตีพื้นไม้ ฉาบสีทาสี ฝ้าฉาบฉวย ไม้ตีพื้นไม้ ฉาบสีทาสี



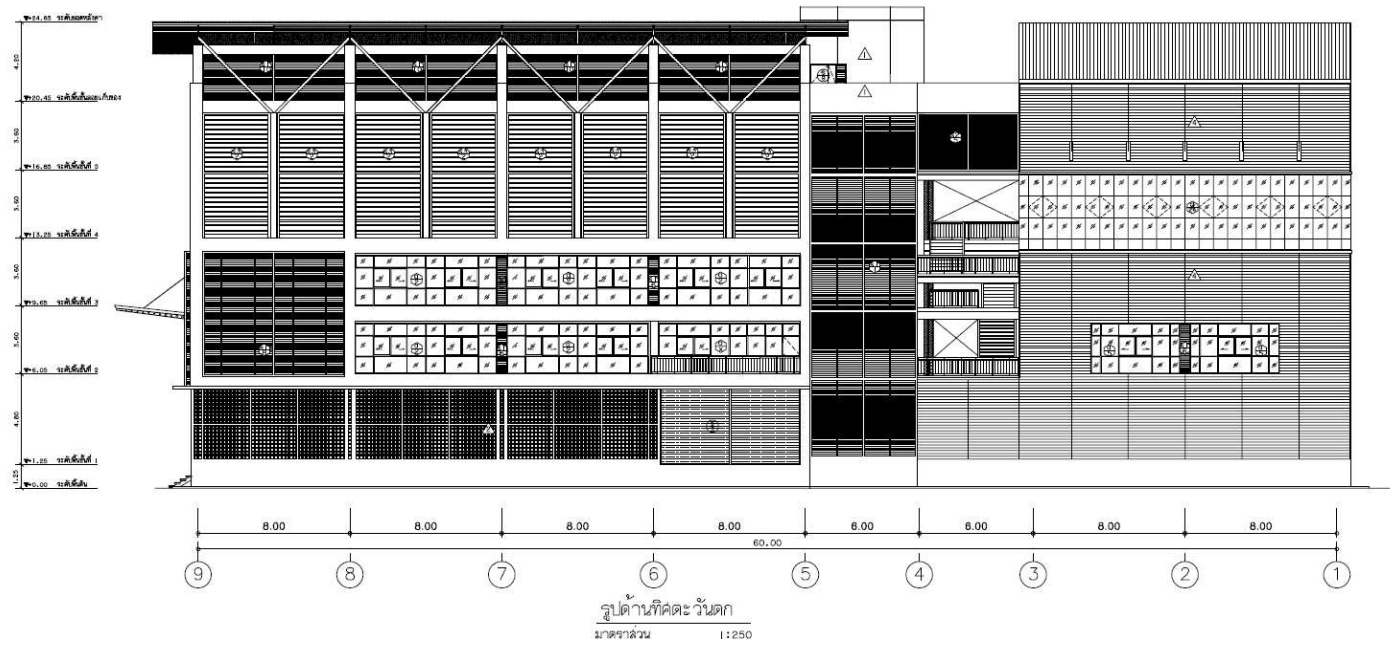
แปลนฝ้าเพดานชั้นคาเฟ่และชั้นลอย
มาตราส่วน 1:250

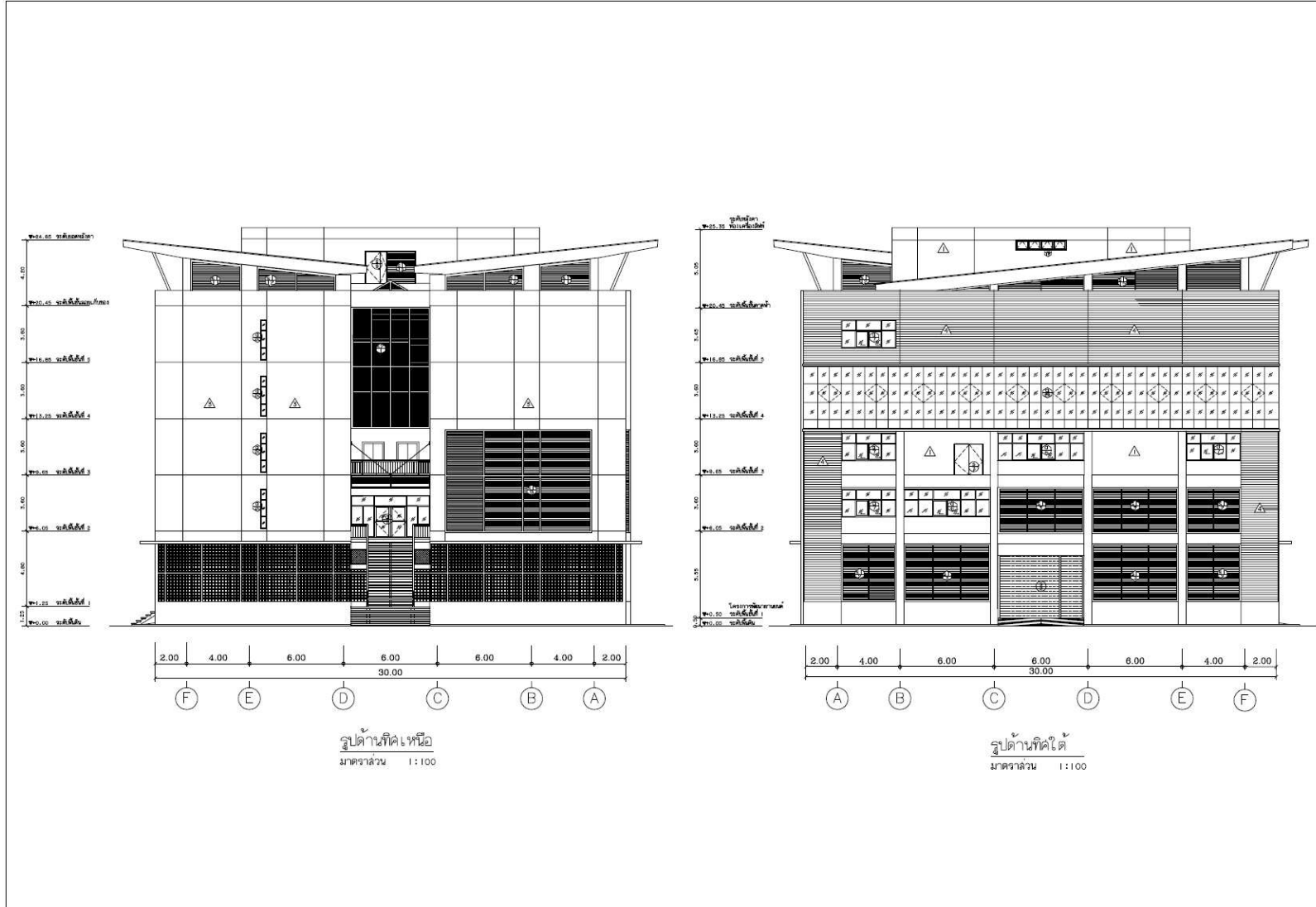


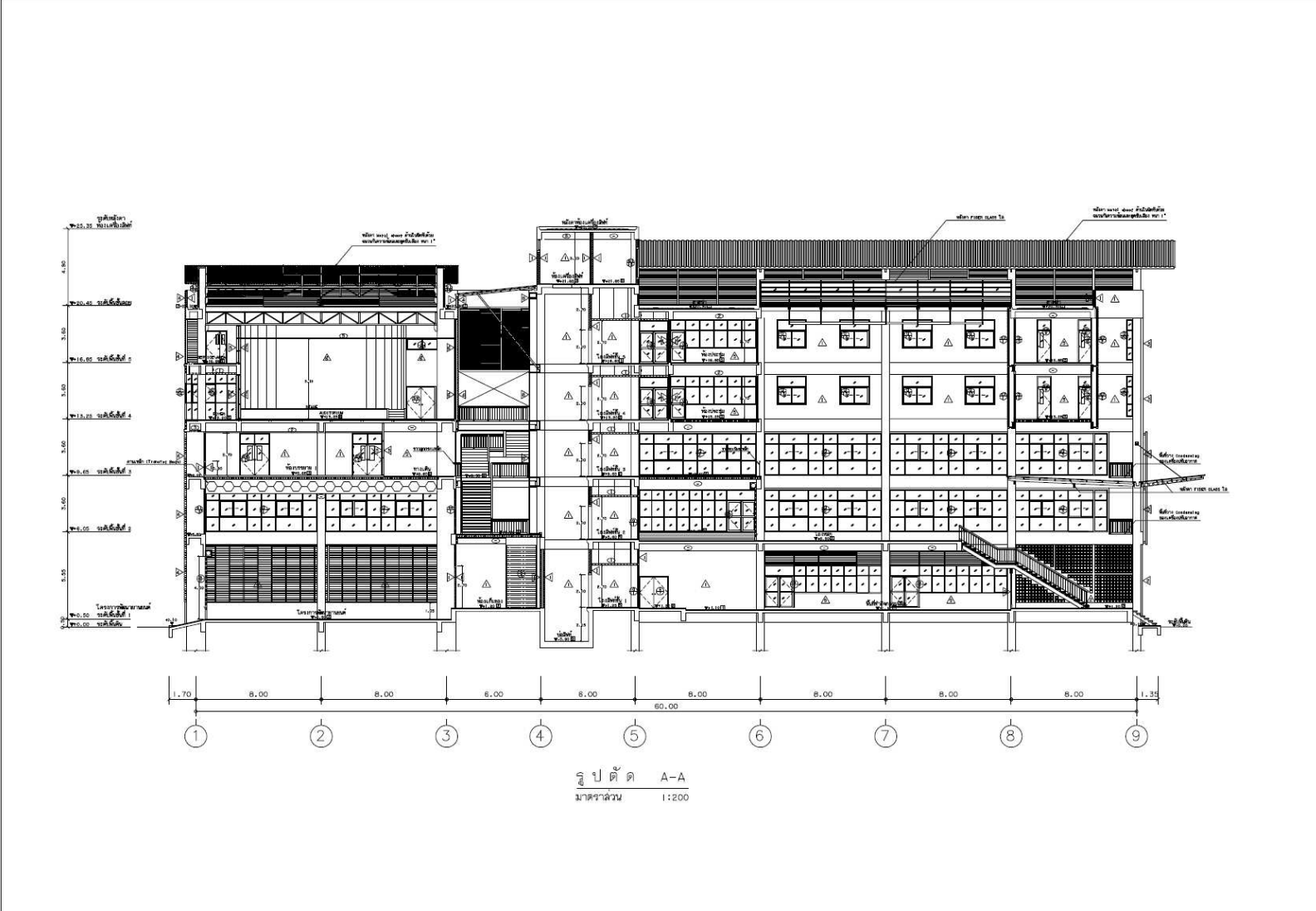
- ① ฝ้าผิว ทาสี , โปติคสีน้ำ
- ② ฝ้าผิวโพลีเอสเตอร์ cell ceiling 0.80 x 0.80 m.
- ③ ฝ้าผิว: Aluminium Alloy ฝ้า acoustic 0.60 x 0.60 m.
- ④ ฝ้าผิว: Aluminium Linear
- ⑤ ฝ้าผิว: ฝ้าซี่ไม้อัด ฉาบเรียบ ทาสี
- ⑥ ฝ้าผิว: ฝ้าซี่ไม้อัด ฝ้า acoustic
- ⑦ ฝ้าผนัง: ฝ้าซี่ไม้อัดและฉาบเรียบ ทาสี 1" ฝ้าผนัง: ฝ้าซี่ไม้อัด ฉาบเรียบ
- ⑧ ฝ้าผนัง: ฝ้าซี่ไม้อัดและฉาบเรียบ ทาสี 1"

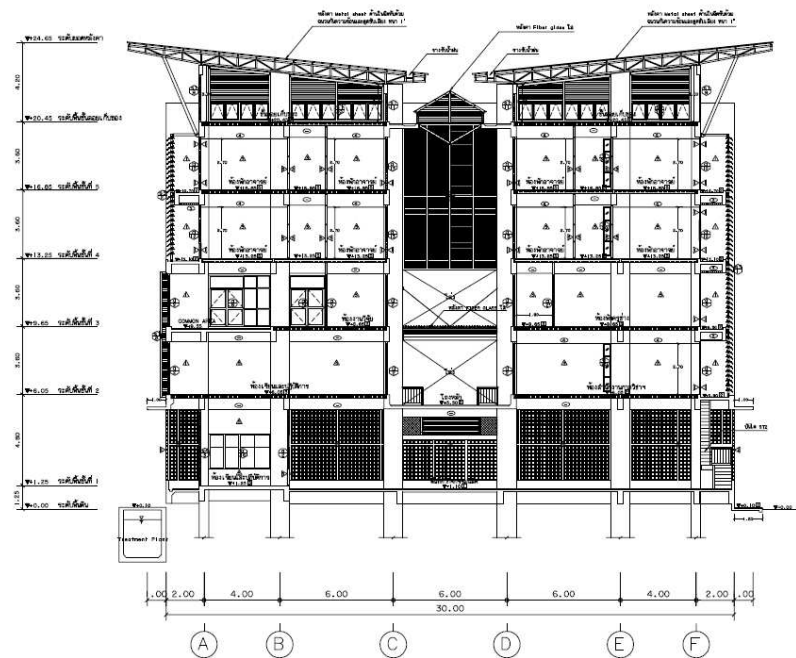


รูปด้านทิศตะวันออก
มาตราส่วน 1:200

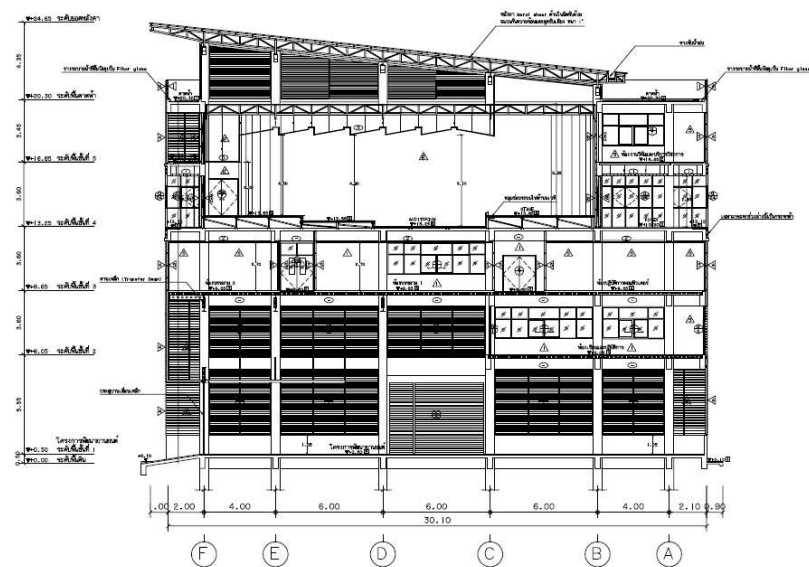








รูปตัด B-B
มาตราส่วน 1:150



- ▲ FIBER GLASS ใยแก้วเสริมแรง 10 มม. สำหรับผนังภายนอก
- ▲ ใยแก้วเสริมแรง 6 มม. สำหรับผนังภายใน

รูปตัด D-D
มาตราส่วน 1:150

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายสุรพงษ์ สุประดิษฐอาภรณ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	10 มีนาคม พ.ศ. 2531
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-