



รายงานการวิจัย

การวางแผนเส้นทางอพยพคนออกจากอาคาร
พื้นที่ใช้สอยไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร
Evacuation Route Planning from a Building
with the Utility Space Less than 10,000 Square meters

ชลัท ทิพากรเกียรติ

รองศาสตราจารย์จรรยา เจริญเนตรกุล

รองศาสตราจารย์มนัส อนุศิริ

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้/งบประมาณ ประจำปี พ.ศ. 2559



รายงานการวิจัย

การวางแผนเส้นทางอพยพคนออกจากอาคาร

พื้นที่ใช้สอยไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร

**Evacuation Route Planning from a Building
with the Utility Space Less than 10,000 Square meters**

ชลัท ทิพากรเกียรติ

รองศาสตราจารย์จรูญ เจริญเนตรกุล

รองศาสตราจารย์มนัส อนุศิริ

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้/งบประมาณ ประจำปี พ.ศ. 2559

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	๗
สารบัญตาราง	๘
สารบัญรูป	๑
บทที่ 1	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่	3
1.3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	4
2.1 Pedestrian behavior model (Multi-grid CA)	6
2.2 Departure time model	6
2.3 Route choice model	7
2.4 Velocity model	8
2.5 Shortest path	9
2.6 การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด	10
บทที่ 3	12
3.1 กำหนดขอบเขตทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา	13
3.2 กำหนดจุดเข้าและออกอาคารของประชากร	23

หน้า

3.3 แบบจำลองบุคคล (Agent Based Model)	24
บทที่ 4	26
4.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการอพยพออกจากอาคาร	26
4.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทำนายการวางแผนเส้นทางการอพยพคนออกจากอาคาร	28
4.1.1 การสร้างแบบจำลองสิ่งแวดล้อม	28
4.1.2 การสร้างจุดเข้าและออกของบุคคล (Entering and Exiting)	32
4.1.3 การสร้างแบบจำลองการวางแผนเส้นทางการเดินทาง	33
4.1.4 ผลการวิเคราะห์	33
บทที่ 5	55
บรรณานุกรม	58



สารบัญตาราง

	หน้า
1. 1 มูลค่าความเสียหาย 10 อันดับแรกจากภัยพิบัตินับแต่ปี 1970	2
4. 1 ข้อมูลอาคาร	30
4. 2 กรณีศึกษา	33
4. 3 ระดับการให้บริการของความหนาแน่นของกลุ่มคน	34
4. 4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในภาพรวม	53



สารบัญรูป

	หน้า
1. 1 แผนผังการศึกษารูปแบบพฤติกรรมการเดินทาง	4
2. 1 เปรียบเทียบ Traditional และ Multi-grid CA	7
2. 2 Departure time ของประชากรในเทศบาลเมืองป่าตอง [31]	7
2. 3 การแทนค่าระยะทาง เวลาของเที่ยวบินและค่าโดยสารบนกราฟ	9
2. 4 ผลต่างระหว่างจุดยอดของระยะทาง เวลา และราคา	10
3. 1 กรอบแนวคิดการวิจัย	13
3. 2 อาคารศรีวิศวรวิทยา	14
3. 3 อาคารศรีวิศวรวิทยา	14
3. 4 ชั้น 10	15
3. 5 ชั้น 9	16
3. 6 ชั้น 8	17
3. 7 ชั้น 7	18
3. 8 ชั้น 6	19
3. 9 ชั้น 5	20
3. 10 ชั้น 4	21
3. 11 ชั้น 3	21
3. 12 ชั้น 2	22
3. 13 ชั้น 1	22
3. 14 ประตูห้องเรียน	23
3. 15 ทางออกฉุกเฉินส่วนหน้าอาคาร	24
3. 16 ทางออกฉุกเฉินบริเวณส่วนท้ายอาคาร	24
4. 1 บริเวณทางเดินในอาคารเรียน	28
4. 2 ทางออกฉุกเฉินส่วนท้ายอาคาร	29
4. 3 ทางออกฉุกเฉินส่วนหน้าอาคาร	29
4. 4 แบบจำลองแปลนพื้นที่ใช้สอยชั้น 10 ใน 3 มิติ มุมมองด้านหน้าอาคาร	30
4. 5 แบบจำลองแปลนพื้นที่ใช้สอยชั้น 10	31

4. 6	แบบจำลองแปลนพื้นที่ใช้สอยชั้น 10 ใน 3 มิติ มุมมองด้านหลังอาคาร	32
4. 7	แบบจำลองช่องทางเข้า ออก และอพยพของห้องเรียนภายในอาคาร	32
4. 8	ลักษณะคอคบดของประตูที่กลุ่มคนแย่งกันออกจากประตู	33
4. 9	แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 1	35
4. 10	เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 1	36
4. 11	ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 1	36
4. 12	ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 1	37
4. 13	ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 1	37
4. 14	แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 2	38
4. 15	เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 2	39
4. 16	ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 2	39
4. 17	ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 2	40
4. 18	ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 2	40
4. 19	แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 3	41
4. 20	เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 3	42
4. 21	ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 3	42
4. 22	ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 3	43
4. 23	ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 3	43
4. 24	แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 4	44
4. 25	เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 4	44
4. 26	ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 4	45
4. 27	ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 4	45
4. 28	ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 4	46
4. 29	แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 5	47
4. 30	เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 5	48
4. 31	ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 5	48
4. 32	ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 5	49
4. 33	ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 5	49

4. 34 แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 6	50
4. 35 เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 6	51
4. 36 ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 6	51
4. 37 ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 6	52
4. 38 ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 6	52
4. 39 การกระจุกกลุ่มคนบริเวณทางเดินส่วนกลาง ทางออกจากห้องและบริเวณทางออก ฉุกเฉิน	54
5. 1 การชี้แนะทางในอาคาร	55
5. 2 ทางเดินในอาคารพร้อมป้ายบอกเส้นทางหนี	56
5. 3 ตัวอย่างอย่างง่ายในการนำแผนที่นำทางไปยังประตูที่ใกล้ที่สุด	57



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ภัยพิบัติ คือ ภัยที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สิน โดยส่งผลกระทบต่อภาวะ เศรษฐกิจ และวิถีชีวิตของผู้คนในสังคมทั้งในระยะสั้น และระยะยาว ภัยพิบัติแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ภัยพิบัติทางธรรมชาติ และภัยพิบัติที่มนุษย์สร้างขึ้น ภัยพิบัติทางธรรมชาติ คือ ภัยที่มีสาเหตุมาจากธรรมชาติ อาทิ แผ่นดินไหว อุทกภัย อัคคีภัย พายุ การระเบิด โดยการระเบิดที่กล่าวถึงนี้คือการระเบิดของแก๊สที่มีความไวไฟสูงที่ธรรมชาติปล่อยออกมาสู่ภายนอก นอกจากนี้ภัยพิบัติทางธรรมชาติยังรวมถึงภัยจากนอกโลกด้วย เช่น อุกกาบาต ภัยพิบัติที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ ภัยพิบัติที่มีสาเหตุมาจากมนุษย์ เช่น การสูบน้ำใต้ดินปริมาณมากจนส่งผลให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดิน การปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณมากจากโรงงานอุตสาหกรรมจนส่งผลให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นและท่วมพื้นที่ในระดับต่ำ การเปลี่ยนทางน้ำจนทำให้เกิดภัยแล้งในบางพื้นที่ เป็นต้น รวมถึงการทดลองทางวิทยาศาสตร์ เช่น การทดลองระเบิดนิวเคลียร์ใต้ดิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อชั้นหินใต้เปลือกโลก โดยอาจมีผลกระทบต่อโลกในระยะยาว เป็นต้น

ประเทศไทยได้รับผลกระทบจากการเกิดภัยพิบัติอยู่ตลอดเวลา ที่ทำความเสียหายบ่อยครั้ง แต่ที่ทำเสียหายจำนวนมากคือ ภัยจากมนุษย์ ได้แก่ อุบัติเหตุการจราจร อัคคีภัย จะมีทุกชั่วโมง และภัยจากอุบัติเหตุในโรงงาน ภัยในที่ทำงาน ที่พักอาศัย ในโรงเรียน ภัยจากการ ลัก วิ่ง ชิง ปล้น ภัยจากการก่อการร้าย ก่อวินาศกรรมในพื้นที่สาธารณะต่าง ๆ เราจึงควรจะสนใจศึกษาเรื่องที่เกี่ยวข้องกับภัยพิบัติให้มากขึ้น เพื่อให้เกิดความรู้และแนวความคิดในการช่วยเหลือตนเองและผู้อื่น เพื่อลดอันตราย และความเสียหายที่เกิดจากภัยพิบัติดังกล่าว [1]

ภัยพิบัติ (Disaster) เป็นภัยที่เกิดขึ้นแก่สาธารณชน ซึ่งมีความหมายตาม มาตรา 4 ของพระราชบัญญัติป้องกันฝ่ายพลเรือน พ.ศ. 2550 คำนิยาม “สาธารณภัย” หมายความว่า อัคคีภัย วาดภัย อุทกภัย ภัยแล้ง โรคระบาดในมนุษย์ โรคระบาดสัตว์ โรคระบาดสัตว์น้ำ การระบาดของศัตรูพืช ตลอดจนภัยอื่น ๆ อันมีผลกระทบต่อสาธารณชน ไม่ว่าจะเกิดจากธรรมชาติ มีผู้ทำให้เกิดขึ้น อุบัติเหตุ หรือเหตุอื่นใด ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายแก่ชีวิต ร่างกายของประชาชน หรือความเสียหายแก่ทรัพย์สินของประชาชน หรือของรัฐ และให้หมายความรวมถึงภัยทางอากาศและการก่อวินาศกรรม [2] ซึ่งความเสียหายจากภัยพิบัติ 10 อันดับแรกนับแต่ปี 1970 ได้แก่

ตาราง 1.1 มูลค่าความเสียหาย 10 อันดับแรกจากภัยพิบัตินับแต่ปี 1970

อันดับที่	เหตุการณ์	ความเสียหาย (เหรียญสหรัฐ)
10	เฮอริเคน Charley (ชาร์เลย์)	9.29 พันล้าน
9	เฮอริเคน Rita (ริต้า)	1.126 หมื่นล้าน
8	เฮอริเคน Wilma (วิวมา)	1.402 หมื่นล้าน
7	เฮอริเคน Ivan (ไอเวน)	1.487 หมื่นล้าน
6	เฮอริเคน Ike (ไอค์)	2.048 หมื่นล้าน
5	แผ่นดินไหวที่ Northridge (นอร์ทริคจ์)	2.06 หมื่นล้าน
4	11 กันยายน 2001	2.313 หมื่นล้าน
3	เฮอริเคน Andrew (แอนดริว)	2.487 หมื่นล้าน
2	เฮอริเคน Katrina (คาทรีนา)	7.23 หมื่นล้าน
1	แผ่นดินไหว สีนามิ และภัยพิบัติจากนิวเคลียร์ ที่ประเทศญี่ปุ่น	2.35 แสนล้าน

ซึ่งความเสียหายจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว สีนามิ และภัยพิบัติจากนิวเคลียร์สร้างมูลค่าความเสียหายมากที่สุดในโลก โดยสาเหตุหลักของการสูญเสียนี้มีที่มาจากเหตุการณ์แผ่นดินไหววัดแรงสั่นสะเทือนได้ขนาด 9.0 อยู่นอกชายฝั่งตะวันออกของคาบสมุทรโอซึกะ โตโฮะกุถึงลงไปใต้พื้นดิน 32 กิโลเมตร นับได้ว่าเป็นเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ที่สุดในประวัติศาสตร์ญี่ปุ่น และรุนแรงเป็นอันดับสี่ของโลก

สำหรับในประเทศไทยเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งรุนแรงที่สุด ขนาด 6.3 แมกนิจูด เมื่อ 5 พฤษภาคม 2557 ที่จังหวัดเชียงราย ส่งผลให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารออกจากอาคารผู้โดยสารในท่าอากาศยานนานาชาติเชียงรายทันทีเพราะตั้งอยู่จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว [3] นอกจากนี้ยังพบว่ามีการอพยพคนออกจากอาคารอีกหลายแห่ง อาทิ ห้างสรรพสินค้า โรงพยาบาล และอาคารสูง

แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ในประเทศมีโอกาสเกิดขึ้นอีกแน่นอนในอนาคต [4] ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นการเตรียมตัวโดยการวางแผนเส้นทางอพยพด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องนำผลลัพธ์จากการวิจัยไปปรับใช้เพื่อช่วยในการวางแผนเส้นทางอพยพคนออกจากอาคารต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการอพยพออกจากอาคาร
- 2) เพื่อสร้างแบบจำลองทำนายการวางแผนเส้นทางการอพยพคนออกจากอาคาร

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

ในการศึกษานี้มุ่งศึกษาการอพยพคนออกจากอาคารขนาดไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร ไม่เกิน 1 ชั้น โดยจำลองสถานการณ์ว่าเกิดแผ่นดินไหว มีคนอยู่ภายในมากที่สุด

1.3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

- 1) ศึกษาปัจจัยและตัวแปร ที่เกี่ยวข้องกับการพฤติกรรมของมนุษย์ในการอพยพ เมื่อเกิดแผ่นดินไหว
- 2) ศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการจำลองพฤติกรรมของมนุษย์ในการอพยพ เมื่อเกิดแผ่นดินไหว
- 3) จัดทำแบบจำลองวางแผนเส้นทางการอพยพหนีภัยออกจากอาคาร โดยใช้ปัจจัย ตัวแปร และที่ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ในการอพยพออกจากอาคารเมื่อเกิดแผ่นดินไหว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบตัวแปรและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการอพยพออกจากอาคาร
- 2) มีแบบจำลองทำนายการวางแผนเส้นทางการอพยพคนออกจากอาคาร
- 3) ลดจำนวนผู้เสียชีวิต และบาดเจ็บ

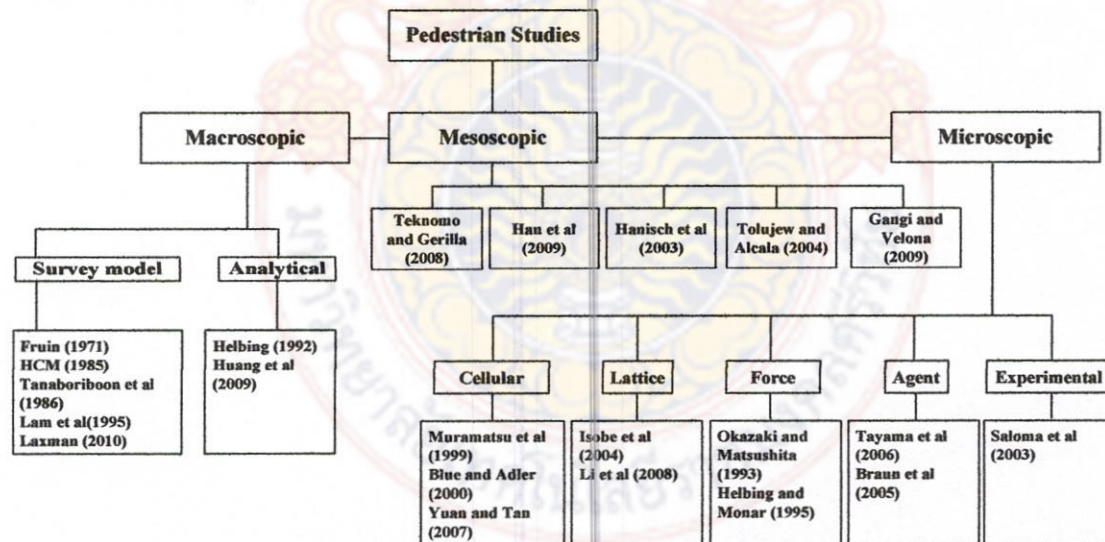
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การฝึกซ้อมมี 2 ประเภท คือ การฝึกซ้อมเชิงอภิปราย ที่เน้นการหารือ อภิปรายแผนและมาตรการหรือวิธีการปฏิบัติ การฝึกซ้อมประเภทนี้เน้นประเด็นด้านยุทธศาสตร์และนโยบายเป็นสำคัญ การฝึกซ้อมอีกประเภทหนึ่ง คือ การฝึกซ้อมเชิงปฏิบัติการ เป็นการนำแผน นโยบาย และมาตรการไปสู่การปฏิบัติจริงในภาคสนาม แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ การฝึกปฏิบัติ การฝึกซ้อมเฉพาะหน้าที่ และการฝึกซ้อมเต็มรูปแบบ [5] ซึ่งเห็นได้ว่าการวางแผนที่ดีย่อมนำไปสู่การปฏิบัติที่ดีในสถานการณ์จริง ในการฝึกซ้อมเชิงอภิปรายนั้นจะมีการสร้างโจทย์ กำหนดจำนวนประชากร และข้อจำกัดของเส้นทางอพยพ เช่น ความกว้างของถนน ความกว้างไหล่ทาง ความกว้างทางเดินเท้า การปิดการจราจร เป็นต้น

ในงานวิจัยชิ้นนี้แบบจำลองประกอบด้วย 4 โมเดลย่อย คือ Pedestrian behavior model (Multi-grid CA), Departure time model, Route choice model และ Velocity model

[6] ได้ศึกษาด้านแบบจำลองการเดินเท้าแบ่งได้ 3 ระดับ คือ Macroscopic, Mesoscopic และ Microscopic ดังรูป 1. 1



รูป 1.1 แผนผังการศึกษารูปแบบพฤติกรรมกรรมการเดินเท้า

แบบจำลอง microscopic สามารถแสดงรายละเอียดการเคลื่อนไหวของมนุษย์ซึ่งจะถูกพิจารณาเป็นในลักษณะของ agent, cell, หรือ molecule ซึ่งขึ้นกับนิยามของแบบจำลองนั้น ๆ ในปัจจุบันแบบจำลองการเคลื่อนไหวของมนุษย์ที่เป็นที่นิยมใช้ได้แก่ Traditional cellular automaton

(CA) ซึ่งรูปร่างของคนจะถูกนำเสนอในลักษณะของรูปสี่เหลี่ยม (grid) โดยทิศทางเคลื่อนไหวของคนจะขึ้นกับสิ่งแวดล้อมรอบข้าง [7], Social force model ที่อธิบายว่าองค์ประกอบที่ส่งผลต่อทิศทาง ความเร่ง และความเร็วของคนเดินเท้านี้ประกอบแรงผลักดันภายในของตนเอง และระยะทางระหว่างกลุ่มคนและสิ่งแวดล้อม [8], Lattice gas model คือ โมเดลย่อยของ CA ที่จำลองรูปร่างของมนุษย์จากพื้นที่สี่เหลี่ยมเป็นจุดตัดบนโครงข่าย (fine-grid network) [9] [10], ในขณะที่ Agent-based model คือ แบบจำลองที่พิจารณารายละเอียดเชิงลึกของแต่ละบุคคลเพื่อนำมาประกอบหาความน่าจะเป็นในการเดินทางอพยพ [11] [12] นอกจากนี้ยังมีแบบจำลองที่อาศัยการทดลองจากสัตว์ทดลองซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกับ CA [13] ซึ่งหลักการสำคัญของแบบจำลองระดับนี้คือรายละเอียดของการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ภายใต้ระดับการรับรู้ของแต่ละบุคคล

แบบจำลอง Macroscopic จะเน้นไปที่การวิเคราะห์ความหนาแน่นของฝูงชนที่มาตามลำดับในส่วนใดส่วนหนึ่งของทางเดินในลักษณะการไหลอย่างต่อเนื่อง (Continuum flow) โดยใช้ Fundamental diagram ซึ่งได้แก่ ความเร็ว อัตราการไหล และความหนาแน่น งานวิจัยด้านนี้เริ่มขึ้นโดย Older [14] และ Fruin [15] ในช่วงปี 1970 ได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ความหนาแน่น และอัตราการไหลของคนเดินเท้าในประเทศอังกฤษและสหรัฐอเมริกาตามลำดับ

ในเวลาต่อมาได้มีงานวิจัยในลักษณะที่คล้ายคลึงกันในสิงคโปร์ [16] ฮองกง [17] อินเดีย [18] และปักกิ่ง [19] ซึ่ง Antonini et al, [20] ได้ตั้งข้อสังเกตว่า อัตราการไหลอย่างต่อเนื่องของคนเดินเท้าในระดับความหนาแน่นปานกลางถึงสูงมีลักษณะคล้ายคลึงกับการไหลของของเหลว อย่างไรก็ตามการแสดงผลสัมพัทธ์ และการเคลื่อนไหวไม่ได้ถูกพิจารณาใน macroscopic ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ระดับการให้บริการของสิ่งอำนวยความสะดวกของคนเดินเท้า

แบบจำลอง Mesoscopic จะอยู่กึ่งกลางระหว่างแบบจำลองทั้ง 2 แบบที่กล่าวมาแล้ว คือ จะพิจารณาการเคลื่อนไหวของกลุ่มแทนที่จะพิจารณาในลักษณะของปัจเจกชนหรือจำนวนคนทั้งหมด หรืออาจพิจารณาแยกกลุ่มคนออกเป็นจำนวนคนในแต่ละช่วงทางเดินซึ่งจะเรียงต่อเนื่องจากพื้นที่หนึ่งสู่อีกพื้นที่หนึ่งของระบบ [21] [22] เช่น ทางเชื่อมของระบบขนส่งสาธารณะ บันได [23]- [24] สำหรับแบบจำลองประเภทนี้จะมีฟังก์ชันความเร็ว-ความหนาแน่น แยกเป็นเอกเทศของแต่ละกลุ่มคนหรือพื้นที่

จากที่กล่าวมาในข้างต้น CA สามารถสะท้อนถึงพฤติกรรมตาม การเกาะกลุ่ม การแซง ของแต่ละบุคคล อีกทั้งนำเสนอการเคลื่อนไหวในรูปแบบ discrete หรือ continuous ได้ทั้งคู่ อีกประเด็นคือเรื่องความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง CA

2.1 Pedestrian behavior model (Multi-grid CA)

แบบจำลองการเดิน 2 มิติของคนด้วยวิธี CA นั้นอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งตามลำดับเหตุการณ์ในพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (cell) จะเกิดขึ้นพร้อมกันในแต่ละช่วงเวลา เช่น 1 วินาที การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจะขึ้นกฎการเคลื่อนที่โดยขึ้นกับสิ่งรอบข้างเป็นสำคัญ อันได้แก่ คนอื่น (ความหนาแน่น) และสิ่งแวดล้อม ซึ่งความขัดแย้งหรือการชนจะขึ้นทุกครั้งที่เกิดการเคลื่อนที่ [25] [26] ได้อธิบายว่า traditional CA หรือ single-grid model นั้นมีข้อบกพร่องในเรื่องของ timescale ที่มีขนาดใหญ่เกินไปที่จะพิจารณาถึงการเคลื่อนไหวแบบพลวัตของบุคคลอย่างละเอียดในสภาวะความหนาแน่นของประชากรสูง นอกจากนั้นระยะห่าง (gap) ระหว่างบุคคลใน traditional CA มีขนาดใหญ่กว่าความเป็นจริงอีกทั้งทุกเซลล์ยังมีค่า gap เท่ากันซึ่งขัดกับความเป็นจริงอีกเช่นกัน Multi-grid CA คือ ส่วนขยายของ traditional CA ที่ถูกพัฒนาเพื่อลดข้อจำกัดของแบบจำลองเดิม นอกจากนั้น timescale ของแบบจำลอง CA เดิมมีระยะเวลามากเกินไปที่จะศึกษาการเคลื่อนไหวในระดับ microscopic ข้อดีอีกประการของ multi-grid CA คือ ขนาดของวัตถุและสิ่งแวดล้อมที่มีความละเอียดเชิงมิติมากยิ่งขึ้น สำหรับประเด็นด้านความเร็วของแต่ละบุคคลในแบบจำลอง multi-grid CA แต่ละบุคคลสามารถเลือกความเร็วได้หลายระดับซึ่งขึ้นกับความหนาแน่น ซึ่งจะตรงกันข้ามกับแบบจำลองเดิมที่ความเร็วมีเพียงแค่ 2 ระดับคือ ความเร็วสูงสุดและความเร็วต่ำสุด อย่างไรก็ตามแบบจำลอง multi-grid CA ใช้เวลาในการคำนวณนานกว่าแบบจำลองเดิม

2.2 Departure time model

Departure time ของผู้อพยพนั้นมีความแตกต่างจากการอพยพแบบเป็นลำดับขั้น (staged evacuation) [27] กล่าวว่าการอพยพแบบเป็นลำดับขั้นนั้นคือการบังคับให้ประชาชนในแต่ละพื้นที่อพยพในเวลาที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามไม่พบถึงความแตกต่างระหว่างการอพยพแบบพร้อมเพียงหรืออพยพแบบเป็นลำดับขั้นบนโครงข่ายถนนวงแหวนและโครงข่ายถนนในสภาพการณ์จริงของเมือง San Marcos รัฐ Texas Departure time หรือ traffic loading ใช้อธิบายเวลาที่ผู้อพยพใช้ในการออกจากที่พักหรืออาคารเข้าสู่โครงข่ายถนน [28] กล่าวว่า ลักษณะความสัมพันธ์ของจำนวนผู้อพยพ (%) และเวลา แสดงด้วยสมการที่ (1) [29] [30] ซึ่ง

$D_{pref}^r(k)$ คือ เปอร์เซนต์สะสมของจำนวนผู้อพยพจากจุดเริ่มต้น r ณ เวลา k

α^r คือ ความชันของเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพและเวลา

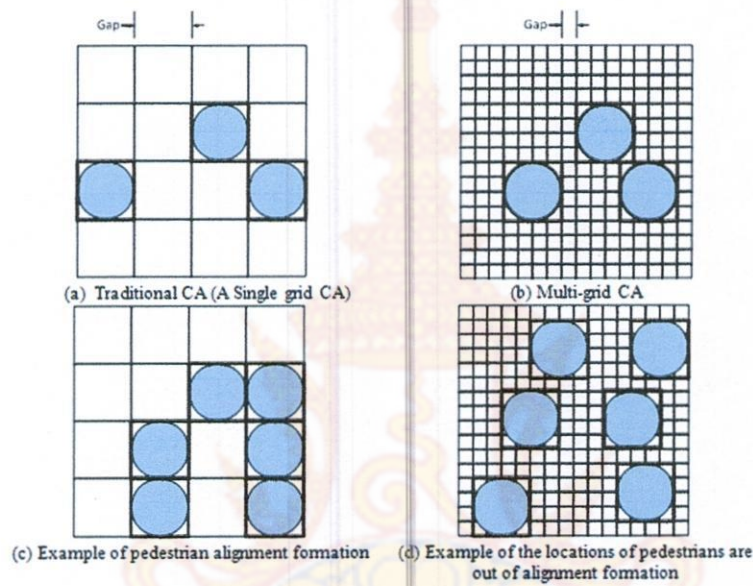
h^r คือ จุดกึ่งกลางของเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้อพยพและ

เวลา หรือจุดที่จำนวนผู้อพยพครึ่งหนึ่งได้เข้าสู่โครงข่ายถนน

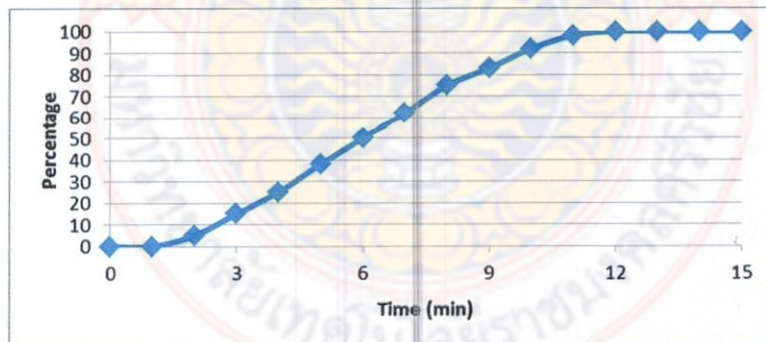
$$D_{\text{pref}}^r(k) = \frac{1}{\left(1 + e^{\left[-\alpha^r(k-h^r)\right]}\right)}$$

2.1

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์สะสมของจำนวนผู้อพยพและเวลาของประชากรในเทศบาลเมืองป่าตองแสดงได้ดังรูปด้านล่าง



รูป 2.1 เปรียบเทียบ Traditional และ Multi-grid CA



รูป 2.2 Departure time ของประชากร ในเทศบาลเมืองป่าตอง [31]

2.3 Route choice model

การเลือกเส้นทางขึ้นกับลักษณะของถนน เช่น รูปแบบของถนน การจราจร และลักษณะทางสังคมและเศรษฐกิจของผู้อพยพเอง ลักษณะทางสังคมและเศรษฐกิจ เช่น อายุ บุคลิกภาพ

วัตถุประสงค์การเดินทาง รายได้ ความพึงพอใจ ประสิทธิภาพ และความคุ้นเคย [32] [34] [35] [36] [37]

โดยปกติผู้อพยพมักจะเลือกเส้นทางที่เร็วที่สุด สั้นที่สุดและมีการจราจรติดขัดน้อยที่สุด เป็นประเด็นหลัก [38] [39] [40] นอกจากนี้ตัวแปรด้านความสะดวกสบาย ความตรง การเข้าถึง [41] ความปลอดภัยจากอันตราย ข้อมูลของเส้นทางอพยพ ก็ยังมีส่วนสำคัญในการเลือกเส้นทาง [42] ในงานวิจัยชิ้นนี้การเลือกเส้นทางของผู้อพยพใช้แบบจำลอง Multinomial-socioeconomic interaction model [43] [44] เป็นแบบจำลองกำหนดเส้นทางของการอพยพ ซึ่งสร้างขึ้นจากข้อมูลที่ได้จากเทศบาลเมืองปาดอง ดังสมการที่ 2.2

$$V_{ij} = \sum_a \left(\alpha_{ao} + \sum_l \alpha_{al} s_{lj} \right) r_{aij} \quad 2.2$$

- เมื่อ V_{ij} คือ อรรถประโยชน์ของเส้นทาง j ของผู้อพยพ i
 r_{aij} คือ ตัวแปรลักษณะของถนนเส้น j ของผู้อพยพ i ของตัวแปรลำดับที่ a
 s_{lj} คือ ตัวแปรคุณลักษณะทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของผู้อพยพ i บนเส้นทาง j ของตัวแปรลำดับที่ a
 α_{ao} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร r_{aij}
 α_{al} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร s_{lj}

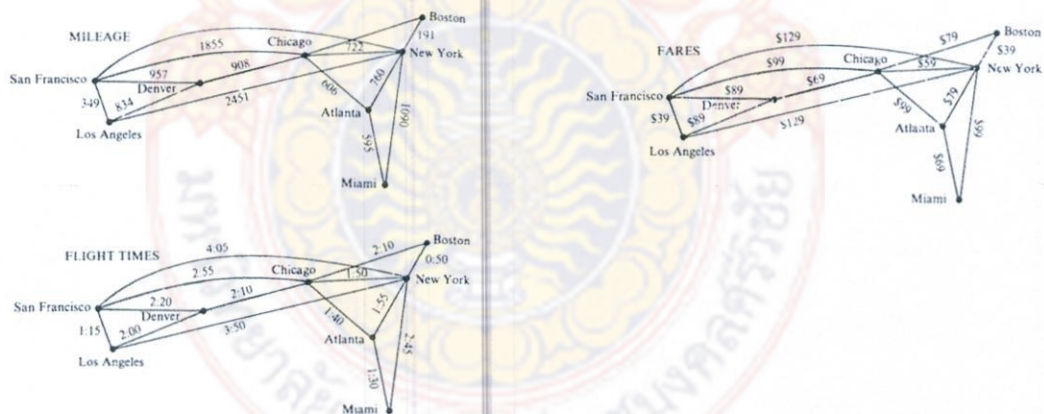
2.4 Velocity model

จากที่กล่าวมาแล้วว่าความเร็วของแต่ละบุคคลขึ้นอยู่กับบุคคลรอบข้างและสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาพบว่า ในการทำแบบจำลองการอพยพของคนนิยมใช้แบบจำลองเชิงเส้นของความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น-ความเร็ว หรืออัตราการไหล-ความเร็ว สำหรับแบบจำลอง CA ซึ่งพบว่า [45] ได้แนะนำให้ใช้ความเร็ว free flow ที่ 1.2 m/s ขณะที่ [46] ได้กำหนดความเร็ว free flow ที่ 1.34 m/s อย่างไรก็ตามในงานวิจัยแบบจำลอง CA ที่ผ่านมายังพบว่า มีการใช้ความเร็วสูงสุดที่ 1 m/s [47] [48] ถึงแม้จะมีบางงานวิจัยแนะนำให้ใช้ความเร็วมากสูงสุดที่ 3 m/s แต่ก็เป็นการศึกษาในพื้นที่ขนาดเล็ก [49] ในขณะที่ [50] แนะนำให้ใช้ความเร็ว 1 m/s สำหรับสถานการณ์ปกติ และ 1.5 m/s สำหรับการอพยพ

โดยสรุปแล้ว การศึกษาการอพยพของคนหนีภัยพิบัติทางธรรมชาตินั้นยังมีความจำเป็นอยู่มาก เพื่อช่วยลดจำนวนผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บ การประยุกต์ใช้แบบจำลอง Multi-grid CA จะมีส่วนช่วยในการจำลองพฤติกรรมการอพยพในอย่างสมเหตุสมผลมากยิ่งขึ้นดังที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้น ประกอบกับการใช้ข้อมูลที่ได้จากวิจัยในเขตเทศบาลเมืองป่าตองที่ผ่านมาอันได้แก่ แบบจำลอง departure time ของประชากร การเลือกเส้นทางหนีภัยของประชาชนในเขตเทศบาลป่าตองที่ได้จากการสำรวจในภาคสนาม รวมไปถึงแบบจำลองด้านความเร็วของผู้อพยพที่ได้รับการยอมรับ

2.5 Shortest path

หลายๆปัญหาสามารถนำมาจำลองโดยใช้กราฟ และน้ำหนักที่ถูกกำหนดใส่ในแต่ละด้าน ในการยกตัวอย่างนี้จะพิจารณาระบบสายการบินที่ถูกจำลองขึ้นมาเราได้กำหนดแบบจำลองกราฟพื้นฐานโดยการแทนเมืองด้วยจุดยอด และสายการบินด้วย ด้านปัญหาเกี่ยวกับระยะทางสามารถจำลองโดยการกำหนดระยะทางระหว่างเมืองแทน ด้านปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเวลาของเที่ยวบินสามารถจำลองโดยการกำหนดเวลาของเที่ยวบินแทน ด้านปัญหาที่เกี่ยวข้องกับค่าโดยสารสามารถจำลองโดยการกำหนดค่าโดยสารแทนในค่าน รูป 2. 3 แสดงให้เห็นการกำหนดที่แตกต่างกัน 3 แบบของน้ำหนักบนด้านของกราฟที่แทนด้วยระยะทาง เวลาของเที่ยวบินและค่าโดยสารตามลำดับ

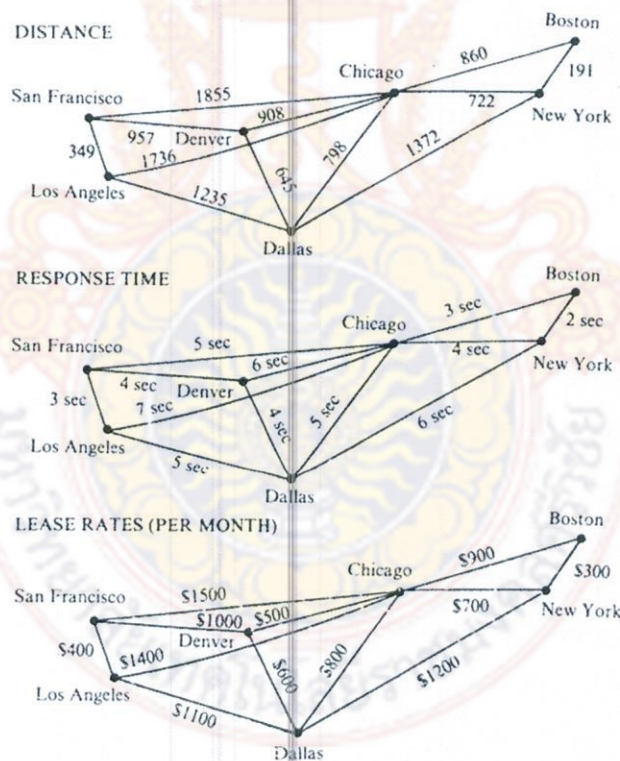


รูป 2.3 การแทนค่าระยะทาง เวลาของเที่ยวบินและค่าโดยสารบนกราฟ

กราฟซึ่งมีตัวเลขที่ถูกกำหนดในแต่ละด้าน จะเรียกว่า กราฟมีน้ำหนัก กราฟนี้จะถูกใช้เพื่อจำลองเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ค่าใช้จ่ายการสื่อสาร (เช่น ค่าเช่าสาย โทรศัพท์รายเดือน) เวลาตอบสนองของคอมพิวเตอร์บนเส้นพวกนี้ หรือระยะทางระหว่างคอมพิวเตอร์เป็นต้น พวกนี้ทั้งหมดสามารถนำมาศึกษาโดยใช้กราฟมีน้ำหนัก ปัญหาหลายๆ แบบจะเกี่ยวข้องกับกราฟมีน้ำหนักบ่อยๆ การกำหนดเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่าง 2 จุดยอดบนเครือข่ายเป็นปัญหาหนึ่ง เราให้ความหมาย

ของเส้นทางในกราฟมีน้ำหนักเป็นผลรวมทั้งหมดของน้ำหนักบนด้านของเส้นทางนั้น มีคำถามว่าอะไรเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่าง 2 จุดยอดที่ให้ ตัวอย่างเช่น ในระบบสายการบินที่ถูกแทนด้วยกราฟมีน้ำหนักใน รูปที่ 4 อะไรเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างบอสตันกับลอสแอนเจลิส การรวมกันของเที่ยวบินอะไรที่มีเวลา บินรวมน้อยที่สุดระหว่างบอสตันและลอสแอนเจลิส อะไรเป็นค่าโดยสารที่ถูกที่สุดระหว่าง 2 เมืองนี้ ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์แสดงในรูปที่ 5 อะไรเป็นกลุ่มของสายเช่าโทรศัพท์ที่แพงสุดที่ต้องการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ในชั้นฟานซิสโกกับนิวยอร์ก ชุดของสายโทรศัพท์ไหนที่ให้เวลาตอบสนองที่เร็วสุด ในการติดต่อสื่อสารระหว่างชั้นฟานซิสโกกับนิวยอร์ก และชุดของโทรศัพท์อันไหนที่มีระยะทางโดยรวมสั้นที่สุด

ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดมีอัลกอริทึมหลายแบบที่แตกต่างกันที่ใช้หาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่าง 2 จุดยอดในกราฟมีน้ำหนัก เราจะแสดงขั้นตอนที่ค้นพบโดย E. Dijkstra ในปี 1959 ในรูปกราฟมีน้ำหนัก ไม่มีทิศทาง ซึ่งน้ำหนักทั้งหมดเป็นค่าบวกง่ายที่จะปรับเข้ากับปัญหาระยะทางที่สั้นที่สุดในกราฟ



รูป 2.4 ผลต่างระหว่างจุดยอดของระยะทาง เวลา และราคา

2.6 การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

E. Dijkstra ได้ค้นพบวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในปี 1959 โดยวิธีกราฟมีน้ำหนัก ไม่มีทิศทาง ซึ่งน้ำหนักทั้งหมดเป็นค่าบวกง่ายที่จะปรับเข้ากับปัญหาระยะทางที่สั้นที่สุดในกราฟ

วิธีการของ Dijkstra จะทำให้ได้สิ่งที่เรียกว่า single-source shortest path หรือเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดเดียว โดยใช้ priority queue ช่วยในการทำงาน มีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกจุดเริ่มต้น
2. ตรวจสอบค่าน้ำหนักกับจุดที่เชื่อมต่อกทุกจุด นำค่าน้ำหนักเก็บใน priority queue แล้วเลือกเส้นที่มีค่าต่ำสุด

3. เชื่อมจุดที่เลือกใหม่ แล้วทำซ้ำ 2-3 จนกว่าจะเยี่ยมชมครบทุกจุด

ข้อกำหนด : การนำข้อมูลเก็บในคิว เป็นไปตาม priority นั่นคือ ค่าน้ำหนักน้อย มี priority สูงกว่า



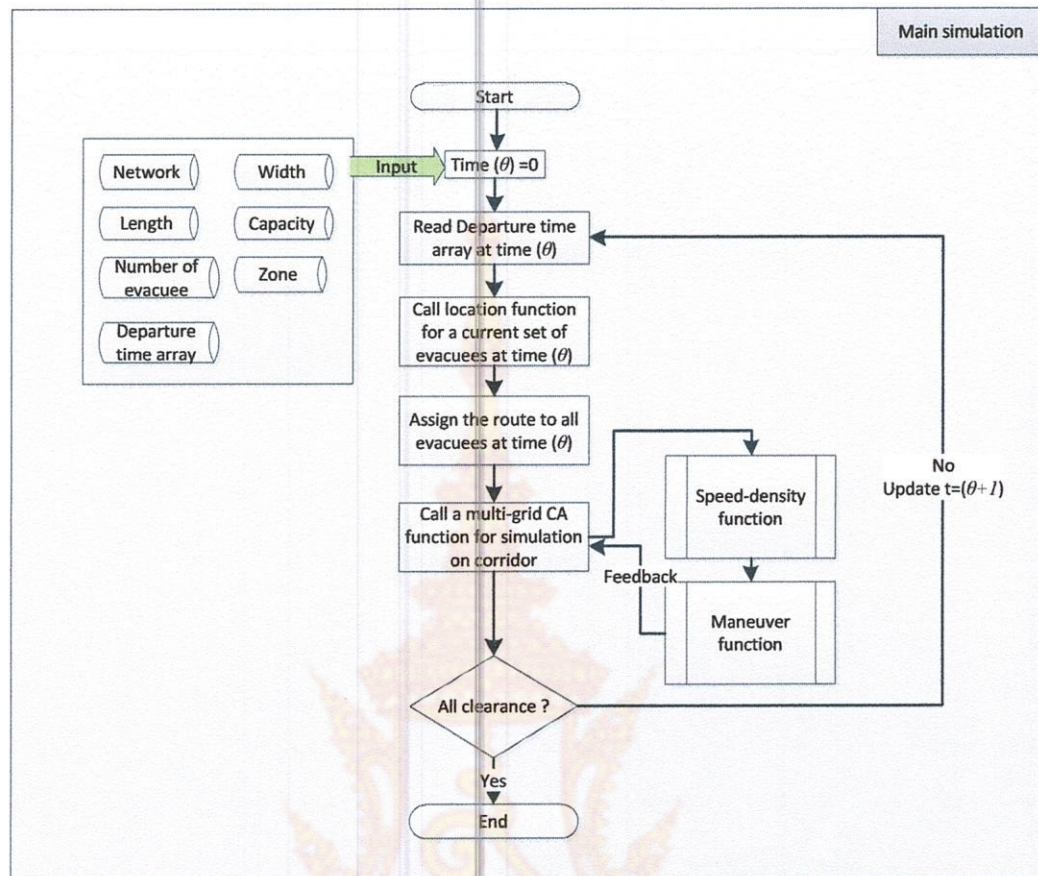
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย การตั้งเป้าหมายเพื่อลดความสูญเสียของมนุษย์โดยประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อวางแผนและคาดการณ์สถานการณ์ต่าง ๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในโลกแห่งความจริง ซึ่งกำหนดไว้ 6 สถานการณ์หลัก คือ

1. สถานการณ์ปกติ (Normal Situations)
 - 1.1 จำนวนประชากรน้อย (Low population)
 - 1.2 จำนวนประชากรปานกลาง (Middle Population)
 - 1.3 จำนวนประชากรมาก (High Population)
2. สถานการณ์การอพยพจากอาคาร (Evacuation Situations)
 - 2.1 จำนวนประชากรน้อย (Low population)
 - 2.2 จำนวนประชากรปานกลาง (Middle Population)
 - 2.3 จำนวนประชากรมาก (High Population)

แบบจำลองจะอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ได้แก่ โครงข่ายทางเดิน ความกว้าง ความยาว ความจุ จำนวนคนอพยพ (ประชากรท้องถิ่นและนักท่องเที่ยว) โชน และข้อมูลความสัมพันธ์ของ departure time array ซึ่งในแต่ละเวลาที่เพิ่มขึ้นจะมีประชากรเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากฟังก์ชัน departure time กระบวนการถัดไปคือ การกำหนดตำแหน่งของประชากรในพื้นที่โดยอาศัยฟังก์ชันกระจายตัวแบบ Normal distribution เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของประชากรลงในโชนที่กำหนด กระบวนการต่อไปคือ การกำหนดเส้นทางการอพยพของแต่ละบุคคลโดยอาศัยสมการที่ 2 อันประกอบด้วยตัวแปรของถนนและคุณลักษณะด้านเศรษฐกิจและสังคมของผู้อพยพซึ่งได้การเก็บข้อมูลภาคสนาม ประเด็นสำคัญถัดมาคือ แบบจำลองด้านความเร็วของผู้อพยพ ซึ่งในงานวิจัยใช้แบบจำลองความเร็ว-ความหนาแน่นของหัวหน้าโครงการ



รูป 3. 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

แบบจำลองประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 กำหนดขอบเขตทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา

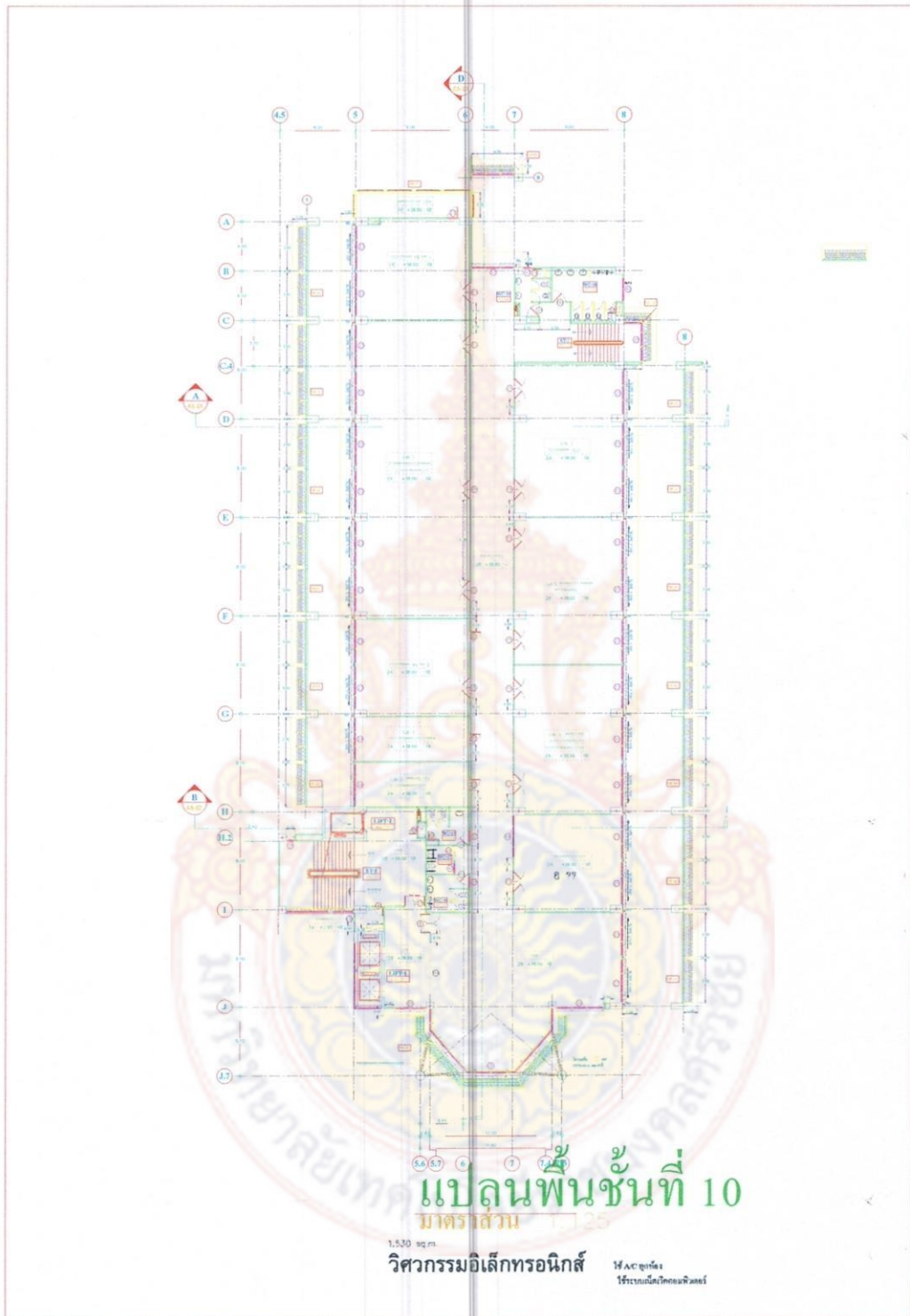
กำหนดให้ใช้อาคารศรีวิศวรวิทยา เป็นต้นแบบการศึกษา โดยอาคารมีจำนวน 10 ชั้น มีอุปสรรค (Obstacles) กีดขวางการเดินทางเล็กน้อย ดังแสดงในรูป 3. 2



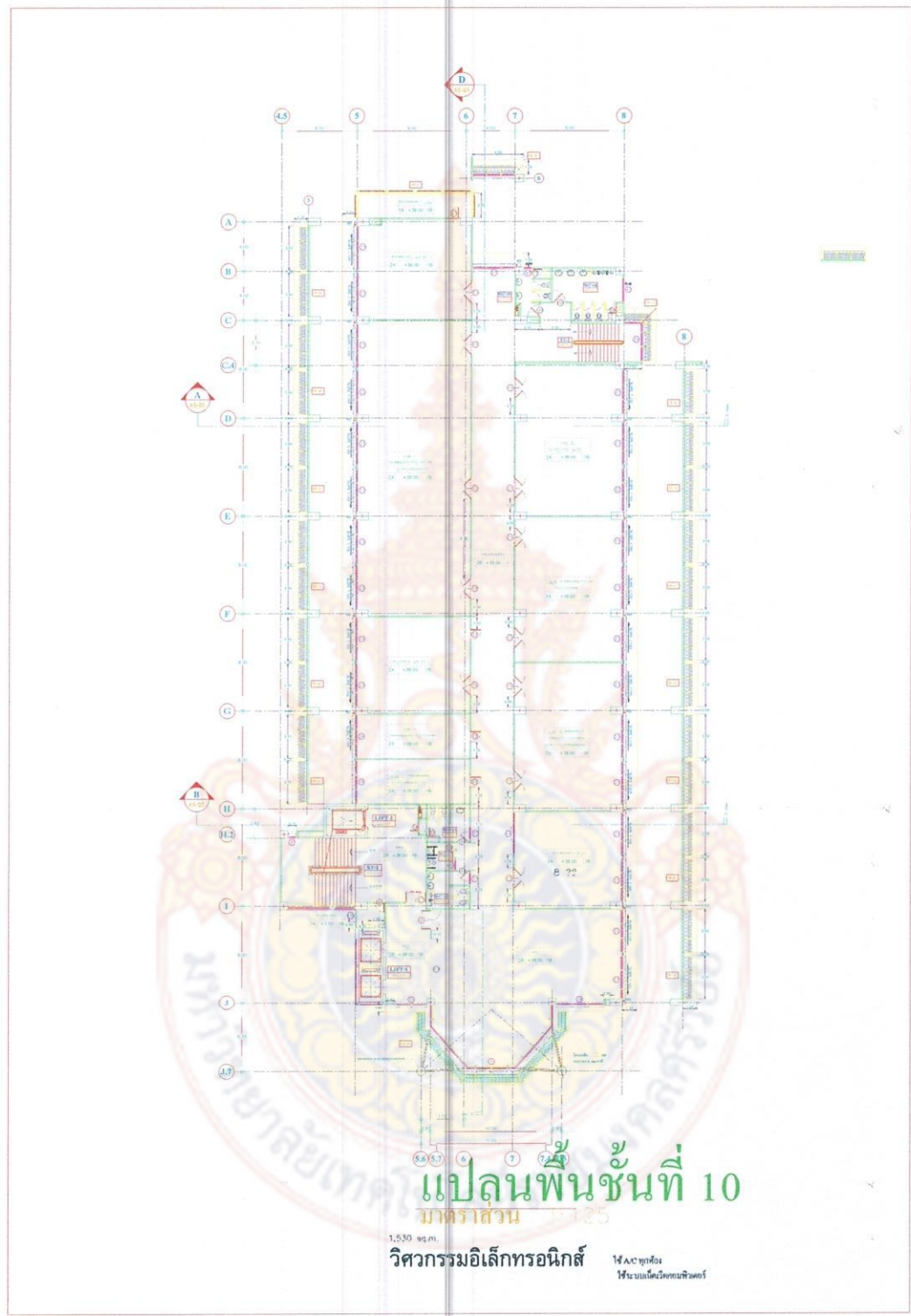
รูป 3.2 อาคารศรีวิศวรวิทยา



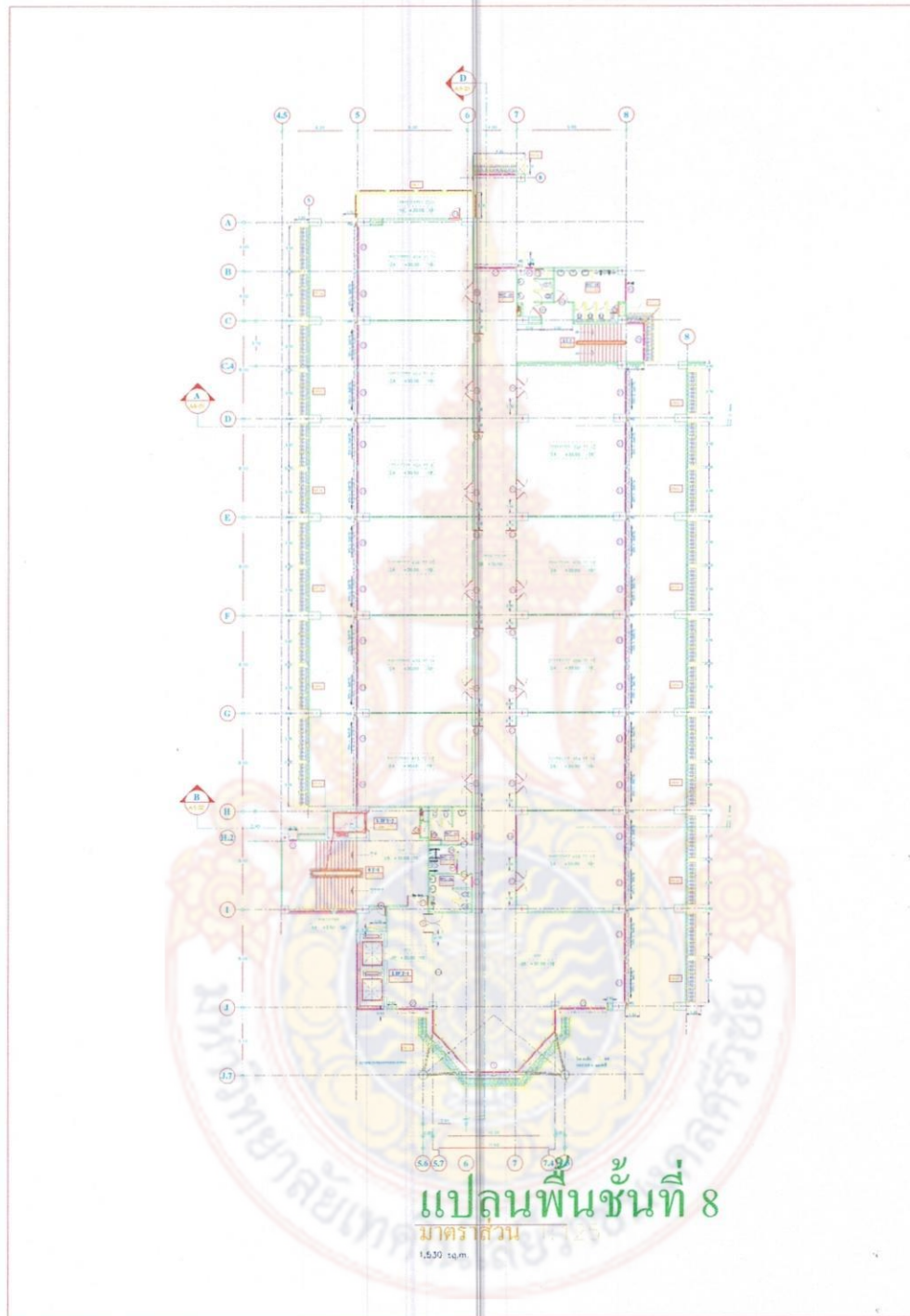
รูป 3.3 อาคารศรีวิศวรวิทยา



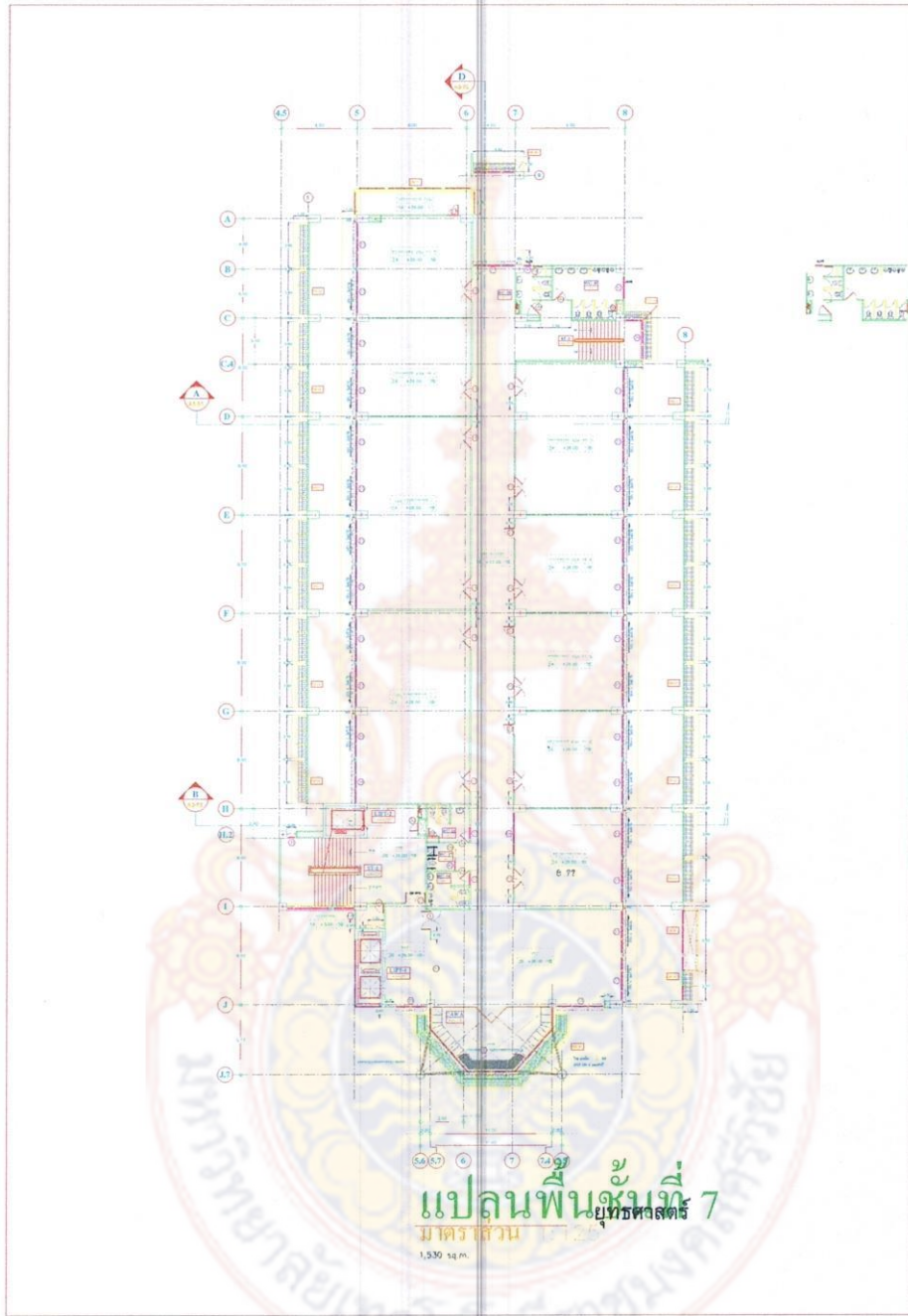
รูป 3.4 ชั้น 10



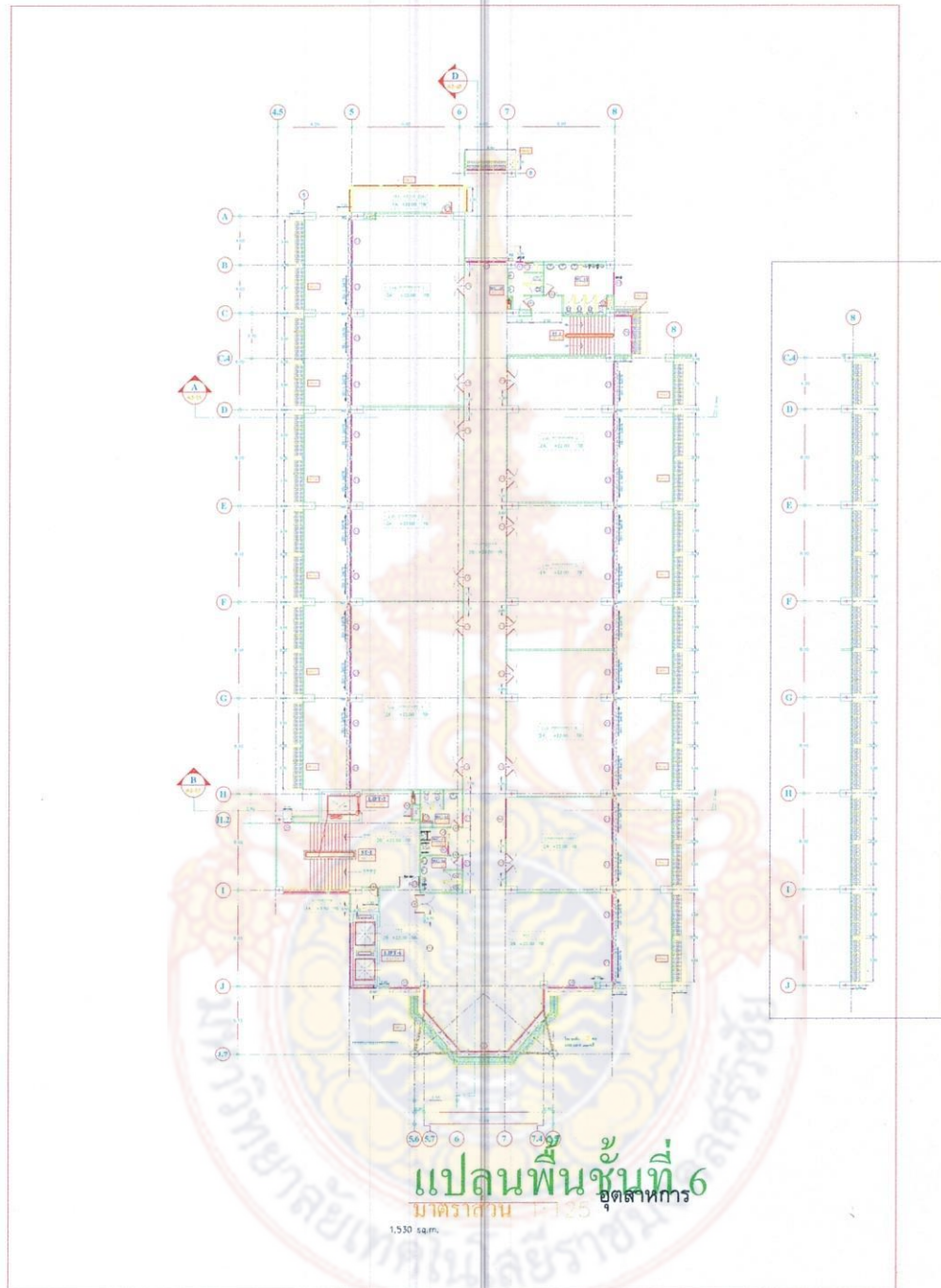
รูป 3.5 ชั้น 9



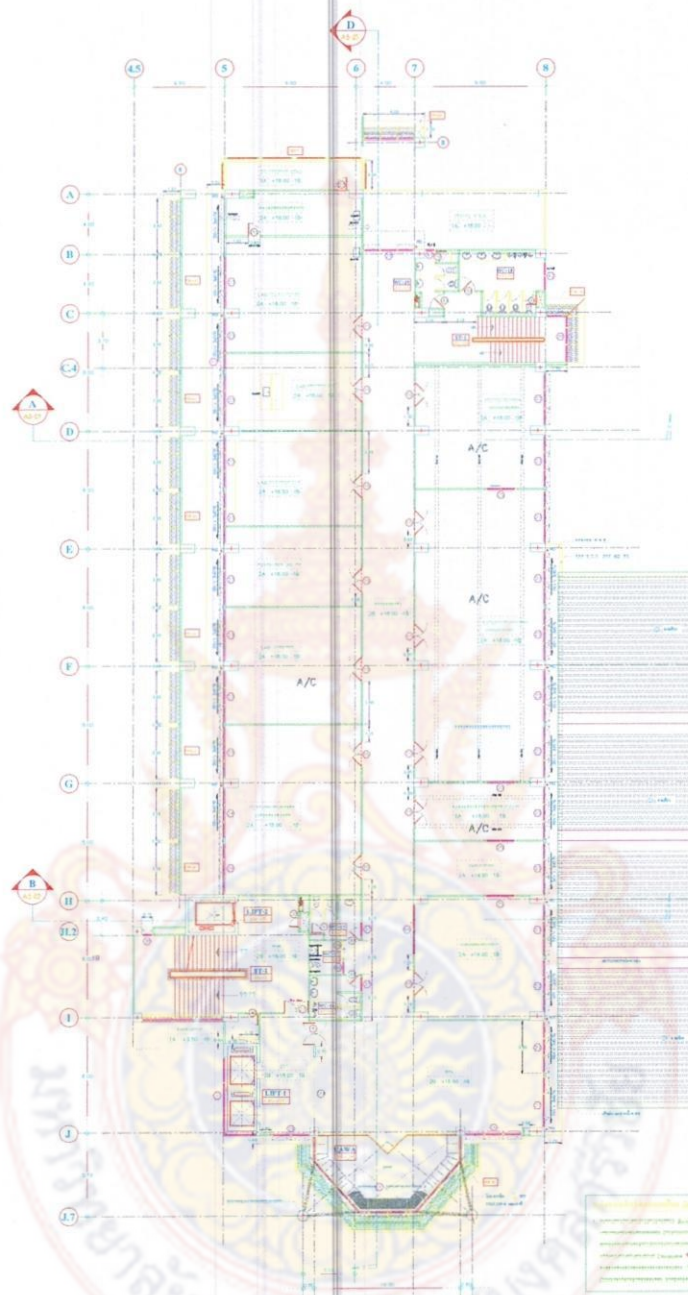
รูป 3.6 ชั้น 8



รูป 3.7 ชั้น 7



รูป 3.8 ชั้น 6



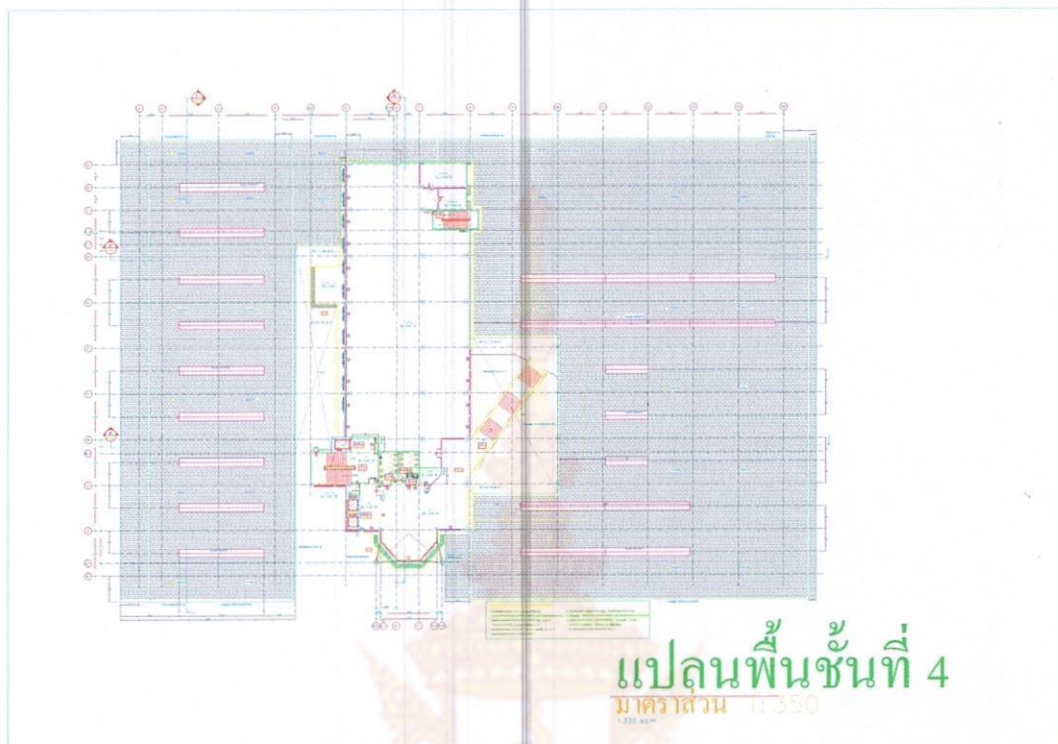
แปลนพื้นที่ 5

มาตราส่วน 1:25

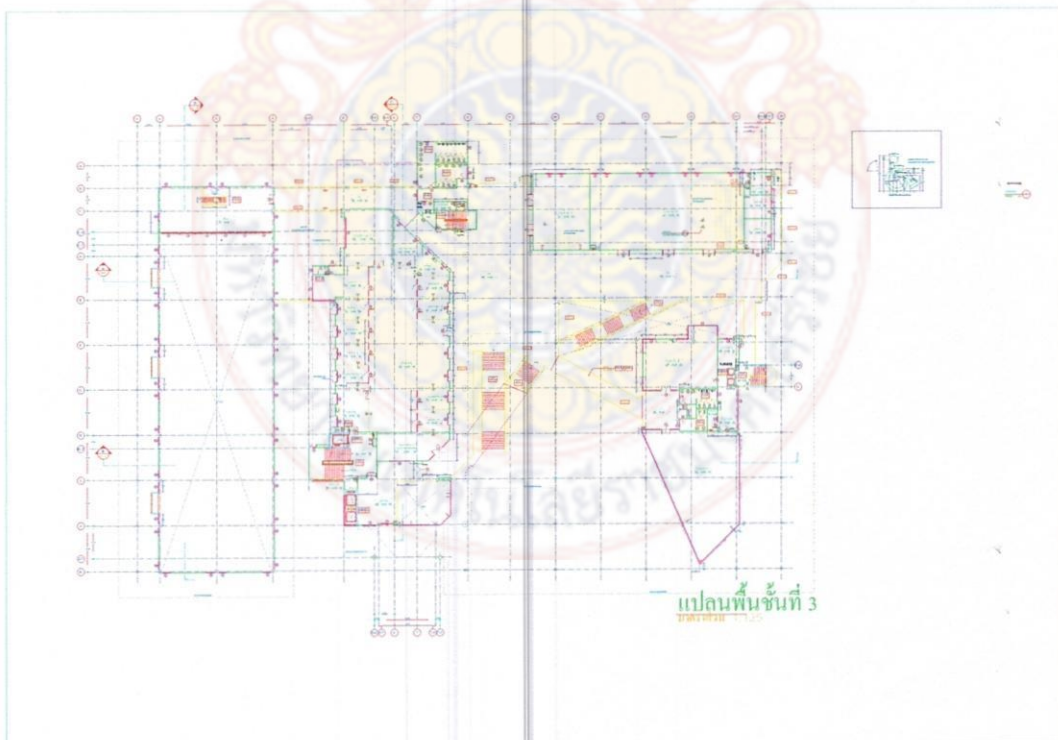
1,530 sq.m.

วิศวกรรมเครื่องนึ่งห่ม

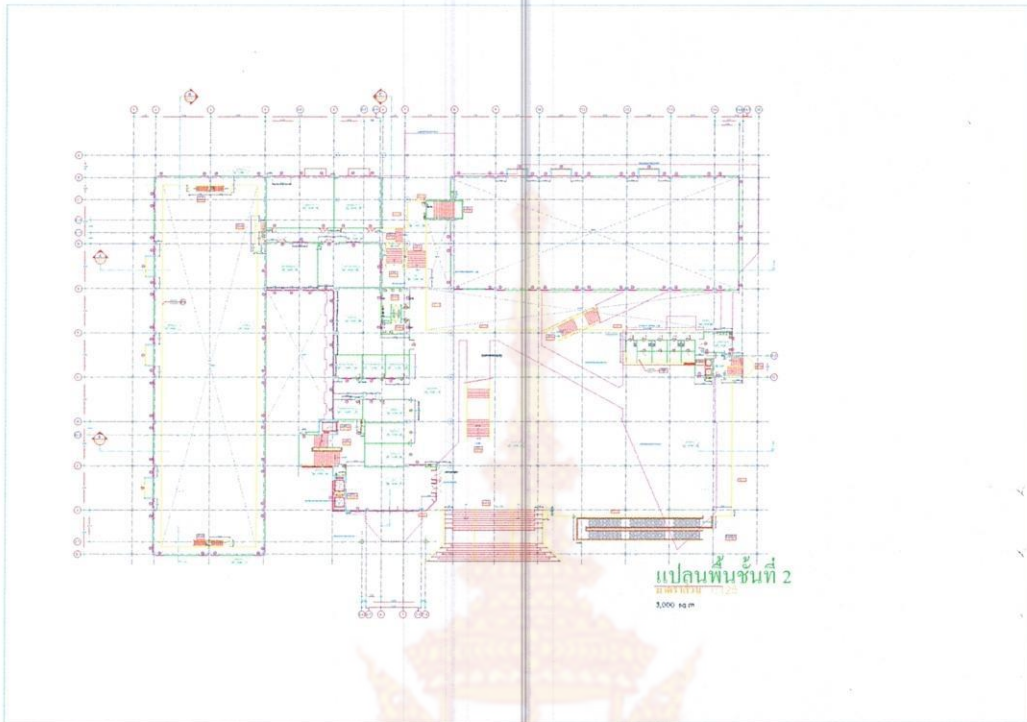
รูป 3.9 ชั้น 5



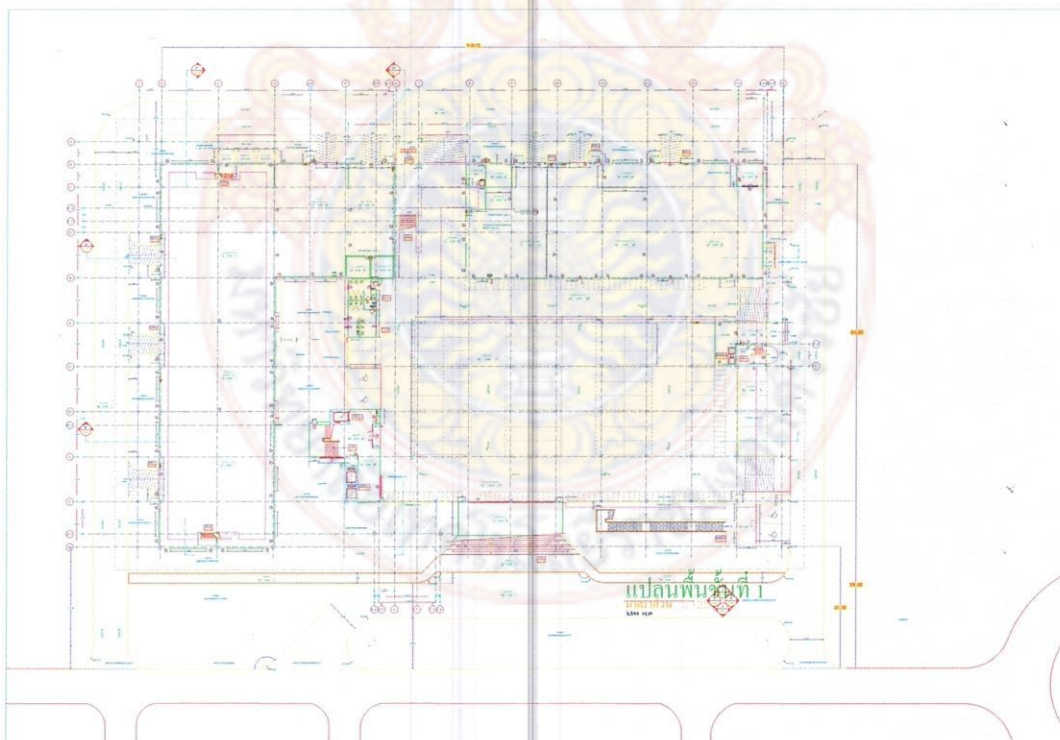
รูป 3.10 ชั้น 4



รูป 3.11 ชั้น 3



รูป 3.12 ชั้น 2



รูป 3.13 ชั้น 1

3.2 กำหนดจุดเข้าและออกอาคารของประชากร

ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ประชากรอยู่ภายในอาคาร 3 ระดับคือ น้อย (Low population) ปานกลาง (Middle Population) และมาก (High Population) โดยกำหนดให้จุดเข้าและออกคือ ประตูทุกประเภทภายในอาคาร

จากแบบแปลนจะมีความแตกต่างการเรียกชื่อกับสภาพปัจจุบันเล็กน้อย โดย ชั้นใต้ดิน คือ ชั้น 1 ชั้น 2 คือ โถง ชั้น 3 คือ ส่วนเจ้าหน้าที่ ชั้น 4 คือ ห้องประชุม ชั้น 5 -10 ห้องเรียนห้องพักอาจารย์



รูป 3.14 ประตูห้องเรียน



รูป 3.15 ทางออกฉุกเฉินส่วนหน้าอาคาร



รูป 3.16 ทางออกฉุกเฉินบริเวณส่วนท้ายอาคาร

3.3 แบบจำลองบุคคล (Agent Based Model)

แบบจำลองใช้ Agent based model โดยกำหนดความละเอียดในระดับรายบุคคลที่มีบุคลิกคล้ายคลึงกัน สิ่งสำคัญที่มีผลต่อการเดินทางของบุคคล (Agent) ดังนี้

1) Radius คือ รัศมีของบุคคล ซึ่งกำหนดเป็นลักษณะรูปพื้นวงกลม ตามสูตรพื้นที่วงกลม $A = \pi R^2$ เช่น รัศมี R ของบุคคลคือ 0.239 m พื้นที่ คือ 0.18 m²

2) Max Speed คือ ความเร็วสูงสุดที่บุคคลเดินได้ โดยในสถานการณ์ปกติ ความเร็วสูงสุด คือ 1.4 m/s 4. แบบจำลองการกระจายประชากร

3) Min Speed คือ ความเร็วต่ำสุดที่บุคคลยอมได้ โดยในสถานการณ์ปกติจะมากกว่าศูนย์เสมอ

4) Fixed Speed factor คือ ค่าตัวคูณความเร็วคงที่ ใช้สำหรับกรณีบุคคลอยู่บนวัตถุเคลื่อนที่ เช่น ลิฟต์ ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดให้เป็นศูนย์ แต่ในบางกรณีอาจจะมีเคลื่อนที่บ้าง ในขณะที่ลิฟต์เคลื่อน ให้เราสามารถกำหนดค่าตัวคูณได้

5) Route planning คือ การวางแผนเส้นทาง เพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด เมื่อบุคคลต้องการเดินทางจากจุด A ไปจุด B จะต้องทำการหาเส้นทางที่บ่งชี้ว่าเส้นทางที่สั้นที่สุด (Indicative Global Smooth Path: IRM) โดยสมการที่ใช้คำนวณหาเส้นทาง ดังนี้

$$\text{total cost} = \text{normal time} + \text{weighted density delay} + \text{normal time} \times E_{\text{dis}} \times W_{\text{dis}} \quad 3.1$$

เมื่อ

$$\text{normal time} = \frac{D}{S \times E_{\text{sm}} + E_{\text{fs}}} \quad \text{และ}$$

$$\text{weighted density delay} = \left(\frac{D}{S_L \times E_{\text{sm}} + E_{\text{fs}}} - \text{normal time} \right) \times D_w$$

$$D = \text{Distance} \times (1 + \text{random}(0.05))$$

$$S = \text{Maximum speed of an agent}$$

$$E_{\text{sm}} = \text{Speed multiplier of an edge}$$

$$E_{\text{fs}} = \text{Fixed speed of an edge}$$

$$S_L = \text{Local Speed depending on the density at the edge and used formula}$$

$$D_w = \text{Delay weight of an agent}$$

$$E_{\text{dis}} = \text{Discomfort factor of an edge}$$

$$W_{\text{Dis}} = \text{Discomfort weight of an agent}$$

นอกจากนี้พฤติกรรมการเลือกเส้นทางของบุคคลมีสองลักษณะ คือ หลีกเลียงฝูงชน หรือ เดินฝ่าเข้าไปกลางฝูงชน

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย

4.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการอพยพออกจากอาคาร

- 1) การสำรวจสภาพปัจจุบันของเส้นทางการเดินในอาคาร
กำหนดขนาดสภาพปัจจุบันของอาคารเรียน ปัจจัยสำคัญคือขนาดความกว้างของทางเดิน ประตู บันได บันไดหนีไฟ ความลาดชัน อุปสรรคของเส้นทางการเดิน เช่น กำแพง เสา วัตถุ ตามสภาพความเป็นจริง
- 2) การจัดรูปแบบอาคารที่เอื้อต่อการเดิน การมองเห็นของทาง
- 3) ตำแหน่งของประตูที่ที่บุคคลสามารถมองเห็นและรับรู้ถึงตำแหน่ง ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปแล้วสามารถเดินกลับมา ณ จุดเดิมได้
- 4) การกำหนด Profile ของกลุ่มบุคคลในอาคาร โดยปัจจัยประกอบด้วย
 - รัศมีของบุคคล = 0.239 m
 - ความเร็วสูงสุดของบุคคล = 1.75 m/s
 - ความเร็วเฉลี่ย = 1.35 m/s
 - ความเร็วต่ำสุด = 0.06 m/s
- 5) การวางแผนเส้นทาง (Route Planning) มีสองรูปแบบ คือ Least Effort และ Shortest Distance ซึ่ง Least Effort คือ การเลือกเส้นทางที่ใช้ความพยายามน้อยที่สุดเพื่อให้ถึงจุดหมายโดยอาศัยปัจจัยจากความหนาแน่นของกลุ่มบุคคลเป็นถึงถูกนำมาพิจารณา ดังแสดงในสมการ (3. 1) ส่วนวิธี Shortest Distance จะพิจารณาจากระยะทางที่สั้นที่สุดเพียงอย่างเดียว ไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยความหนาแน่นของกลุ่มคนเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยวิธี Least Effort จะให้ผลการคำนวณที่ใกล้ความเป็นจริงมากที่สุด
- 6) ระยะการมอง (Viewing Distance) คือระยะการมองเห็นของบุคคลที่มองเห็นขอบของความหนาแน่นของกลุ่มคน (Density Edge) ในบริเวณอาคารที่พิจารณา ค่าระยะการมองเห็นที่น้อยหมายถึงบุคคลต้องมีการเปลี่ยนแผนหรือเส้นทางบ่อยกว่าปกติ โดยปกติกำหนดให้บุคคลมองเห็นประมาณ 60 เมตร ภายในอาคาร เพื่อวางแผนเส้นทางการเดินทางในอาคาร
- 7) การเปลี่ยนเส้นทาง (Re – Route Periodically) คือ การกำหนดให้บุคคลมีการวางแผนเส้นทางซ้ำ แบ่งได้ 2 กรณี คือ บุคคลอาจจะใช้เส้นทางเดิมเพื่อยืนรออยู่ ณ จุดเดิมในกรณีที่ติดอยู่

ในกลุ่มคนหนาแน่น หรือมีอุปสรรคอยู่ข้างหน้า เช่น ประตูปิด แต่บางบุคคลจะมีการเปลี่ยนแปลงเส้นทาง (Re - Route) หาเส้นทางใหม่ที่เหมาะสมกว่าเดิม

โดยปกติบุคคลจะใช้เวลารอประมาณ 40 วินาทีเพื่อการรอก่อนมีการตัดสินใจเปลี่ยนเส้นทางใหม่ แต่อย่างไรก็ตามในกรณีฉุกเฉินจะใช้เวลาน้อยกว่านั้นมาก

8) History Penalty คือ การให้ค่า Penalty กับเส้นทางที่เดินผ่านมาแล้ว ถ้ากำหนดให้เป็นศูนย์ หมายความว่า บุคคลไม่สนใจว่าเส้นทางที่ผ่านมามีปัญหาอย่างไร พร้อมเต็มใจที่จะกลับไปใช้เส้นทางเดิม

9) ค่าตัวคูณความไม่สะดวก (Discomfort Multiplier) คือ ค่าตัวคูณความไม่สะดวกเพื่อสื่อถึงโครงสร้างพื้นฐาน ได้แก่ บันได ระเบียง ซึ่งระบุถึงความน่าใช้งานของโครงสร้างพื้นฐานนั้น

ถ้าค่าเป็นศูนย์ คือ บุคคลไม่สนใจว่าโครงสร้างมีความสะดวกสบายในการใช้งานอย่างไร พร้อมเต็มใจจะใช้เส้นทางนั้นต่อไป

ถ้าค่าเป็นบวก คือ บุคคลจะให้ความสนใจน้อยที่จะใช้งาน โครงสร้างพื้นฐานเดิมนั้นเพื่อการเดิน

ถ้าค่าเป็นลบ คือ บุคคลมีความตั้งใจที่จะใช้โครงสร้างนั้นเป็นพิเศษ เช่น การใช้บันไดเพื่อเดินขึ้นอาคารแทนลิฟต์ เป็นต้น

10) การเดินตาม (Route Following) คือ บุคคลโดยปกติจะเดินตามบุคคลที่เดินนำหน้าไม่พยายามเดินไปบนเส้นทางที่ไม่มีคั่นหิน ระยะทางที่เดินตามที่ยอมให้น้อยที่สุด คือ 0.3 m

11) มุมการมอง (Field of View) คือ การกำหนดมุมมองการมองเห็นของบุคคลโดยระบุให้แนวกึ่งกลางสายตามองไปด้านหน้าคือศูนย์กลาง และมุมมองทางด้านซ้ายและขวาด้านละ 75 องศา รวมเป็นกรวยการมองเห็น 140 องศา

12) Field of View Density Range คือ ช่วงการมองเห็นเพื่อคำนวณค่าความหนาแน่นของกลุ่มคนที่อยู่ข้างหน้าบุคคล โดยกำหนดให้มีระยะ 2 เมตร ด้านด้านของบุคคลนั้น ๆ

13) การหลีกเลี่ยงการชน (Agent Collision Avoidance) คือ ระยะที่บุคคลใช้พิจารณาในการหลบหลีกจากอุปสรรค โดยทั่วไปกำหนดให้ใช้ 8 m

14) ระยะห่างระหว่างบุคคล (Personal Distance) คือ ระยะที่บุคคลในกลุ่มคนจะเว้นช่องว่างห่างไว้ประมาณ 0.5 m

15) การกระจายบุคคลลงตำแหน่ง (Location Distribution) คือ วิธีการกระจายบุคคลไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่

1) วิธี Uniform คือ การกระจายกลุ่มบุคคลลงแต่ละตำแหน่งที่ต้องการกำเนิดการเดินทางและจุดหมายปลายทางให้เท่า ๆ กัน

2) วิธี Empirical คือ การกระจายกลุ่มบุคคล โดยตัวเลขอยู่ในรูปร้อยละ ซึ่งได้จากการสำรวจหรือคาดการณ์ถึงความเหมาะสม

3) วิธี OD Matrix คือ การกระจายกลุ่มบุคคลลงในแต่ละตำแหน่งตามค่าที่ได้จากการสำรวจจุดกำเนิด – จุดปลายทาง (Origin – Destination Matrix)

4) วิธี Least Effort คือ การกระจายกลุ่มบุคคลลงในแต่ละตำแหน่งโดยพิจารณาจากจุดปลายทางที่ง่ายในการเข้าถึง ซึ่งอธิบายได้จากสมการที่ (3. 1) ซึ่งบุคคลจะใช้ความพยายามน้อยที่สุดให้ถึงจุดปลาย อาทิ เส้นทางที่มีความหนาแน่นน้อย เส้นทางที่ใกล้ ผสมผสานกันอย่างเหมาะสม

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทำนายการวางแผนเส้นทางการอพยพคนออกจากอาคาร

4.2.1 การสร้างแบบจำลองสิ่งแวดล้อม

พื้นที่ใช้สอยชั้น 10 แบ่งออกเป็น 9 ห้องหลัก ประกอบด้วยห้องเรียน จำนวน 8 ห้องเรียน 1 ห้องอาจารย์ และ 1 ห้องโถงบริเวณส่วนหน้าอาคาร มีบันไดหนีไฟ 2 ช่องทาง สำหรับห้องน้ำจำนวน 2 ห้องนั้น จะไม่นำมาพิจารณา เนื่องจากไม่ใช่จุดกำเนิดการเดินทางหลัก มีพื้นที่ใช้สอยรวม 1,530 ตารางเมตร ดังแสดงในรูปด้านล่างและตาราง 4. 1



รูป 4.1 บริเวณทางเดินในอาคารเรียน



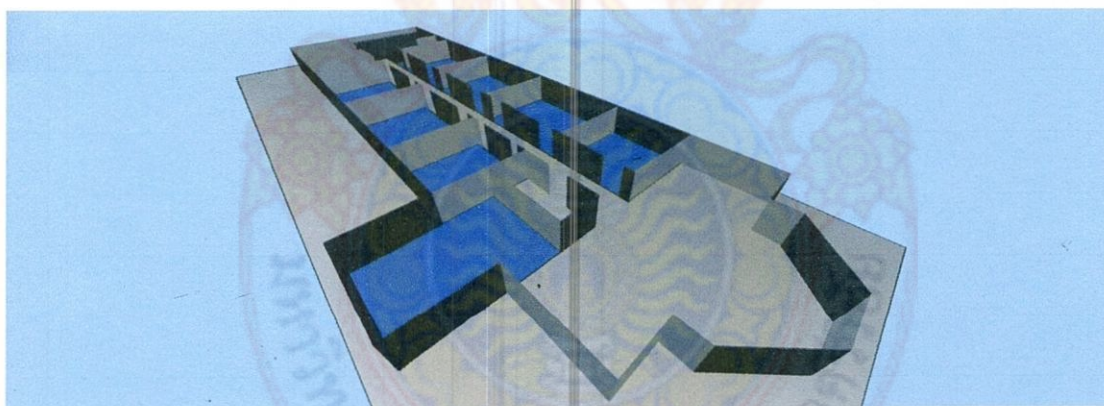
รูป 4.2 ทางออกฉุกเฉินส่วนท้ายอาคาร



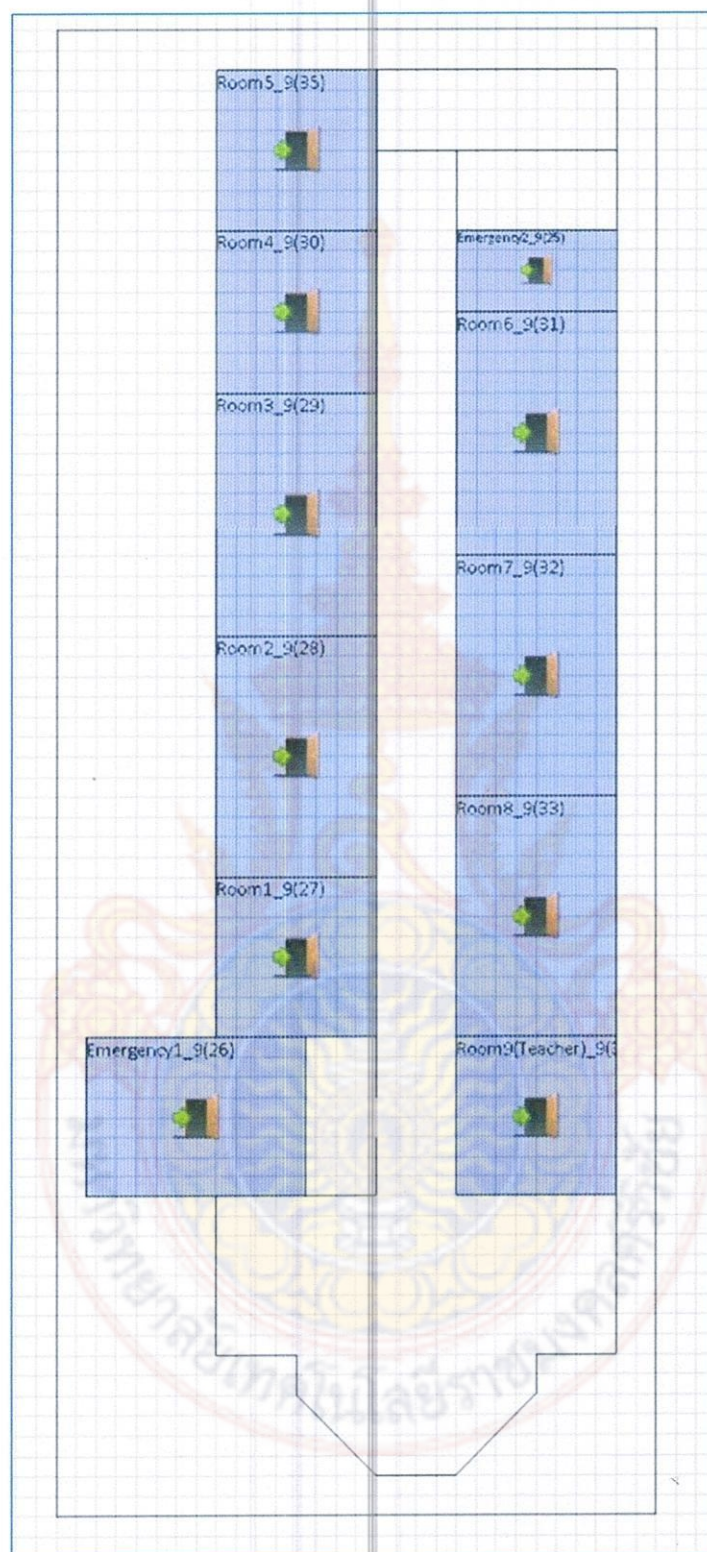
รูป 4.3 ทางออกฉุกเฉินส่วนหน้าอาคาร

ตาราง 4.1 ข้อมูลอาคาร

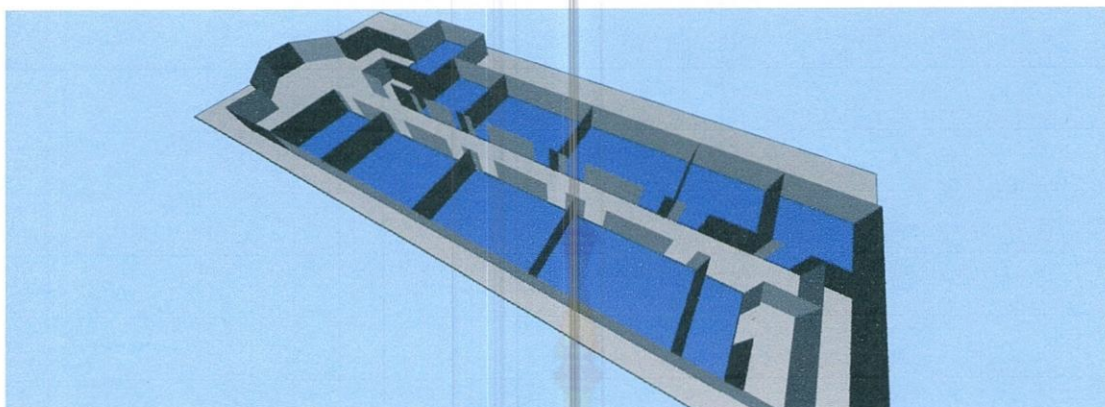
เลขห้อง	จำนวนผู้ใช้อาคาร ที่คาดการณ์ (คน/คาบ)	ร้อยละ	มิติห้อง (กว้าง×ยาว) (m×m)
1	40	12	8×8
2	40	12	8×12
3	40	12	8×12
4	40	12	8×8
5	40	12	8×8
6	40	12	8×12
7	40	12	8×12
8	40	12	8×12
9	10	3	8×8
รวม	330	100	



รูป 4.4 แบบจำลองแปลนพื้นที่ใช้สอยชั้น 10 ใน 3 มิติ มุมมองด้านหน้าอาคาร



รูป 4. 5แบบจำลองแปลนพื้นที่ใช้สอยชั้น 10



รูป 4. 6แบบจำลองแปลนพื้นที่ใช้สอยชั้น 10 ใน 3 มิติ มุมมองด้านหลังอาคาร

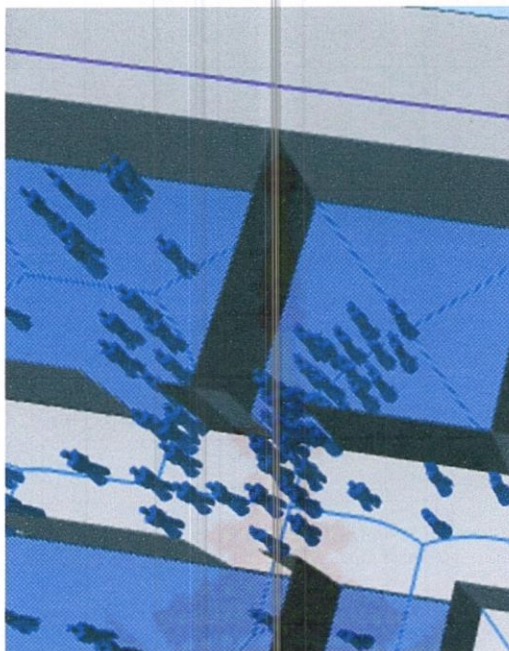
แบบจำลองสามารถขึ้นรูปแบบสองมิติและสามมิติ เพื่อการนำเสนอให้เห็นภาพการทำงานได้อย่างสะดวก เพื่อให้ฝ่ายวางแผนใช้พิจารณาถึงลักษณะเส้นทางการเดินอย่างเป็นรูปธรรมมากกว่าการดูจากตัวเลขจากผลการวิเคราะห์อย่างละเอียด

4.1.2 การสร้างจุดเข้าและออกของบุคคล (Entering and Exiting)

สิ่งสำคัญของการสร้างแบบจำลองการเดินทางของคนภายในอาคารลำดับถัดมาก็คือลักษณะทางกายภาพที่เป็นปัจจัยหลักแล้ว คือ จุดเข้าและออกของบุคคลหรือกลุ่มบุคคลทุกเพศวัยและช่วงอายุ จุดเข้าออกหลักของอาคารที่ได้จากการสำรวจ คือ ประตูและบันได ดังแสดงในรูป 4. 7 แต่ในกรณีสถานการณ์ฉุกเฉินที่มีโอกาสการวิบัติของฝูงชน คือ ในกลุ่มคนที่อยู่นั้นภายในอาคารเนื่องจากกลุ่มคนเหล่านั้นจะต้องแย่งกันออกจากประตูอาคารที่มีขนาดจำกัดเป็นลักษณะคอขวดดังแสดงในรูป 4. 8 สำหรับประตูของชั้นนี้มีขนาด 1.6 m × 2 m (กว้าง × สูง) และ 0.8 m × 2 m (กว้าง × สูง)



รูป 4. 7แบบจำลองช่องทางเข้า ออก และอพยพของห้องเรียนภายในอาคาร



รูป 4. 8 ลักษณะคอคบวคของประตูที่กลุ่มคนแย่งกันออกจากประตู

4.1.3 การสร้างแบบจำลองการวางแผนเส้นทางการเดินทาง

ในที่นี้กำหนดให้ขนาดของบุคคล มีพื้นที่ส่วนตัว 0.1795 m^2 มีความเร็วเดินสูงสุด 1.75 m/s กำหนดการวางแผนเส้นทางการเดินทางได้สองวิธี คือ แบบ Least Effort และ Shortest Distance ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 3 เรื่องแบบจำลองบุคคล

4.1.4 ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 4 สถานการณ์ ดังนี้ เพื่อหาเวลาการอพยพ (วินาที) ความหนาแน่น (คนต่อตารางเมตร) ระยะทางการอพยพ (เมตร) และความล่าช้าในการเดินทาง (วินาที)

ตาราง 4. 2 กรณีศึกษา

สถานการณ์	วิธีวางแผนเส้นทาง	ร้อยละของกลุ่มคนที่หนีเลือกทางออกฉุกเฉิน (หน้า : หลัง)
1	Least Effort	50 : 50
2		70 : 30
3		30 : 70
4	Shortest Distance	50 : 50
5		70 : 30
6		30 : 70

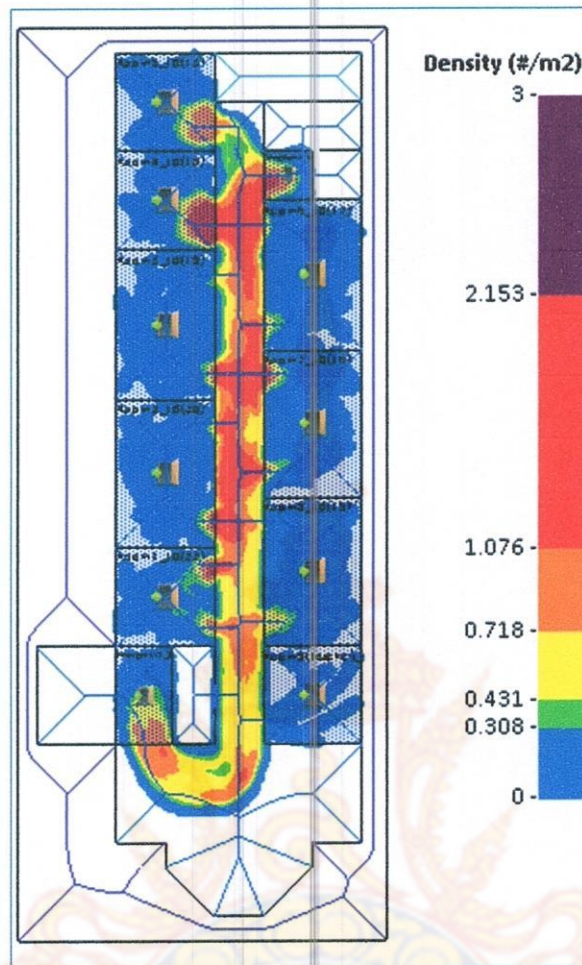
สิ่งสำคัญ คือ เวลาที่ใช้ในการอพยพ เพราะส่งผลต่อการสูญเสียชีวิต ซึ่งในหัวข้อที่ 5 จะมีการนำเสนอแนวทางการจัดการจัดการกลุ่มคนให้มีโอกาสรอดชีวิตมากที่สุด ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

ตาราง 4.3 ระดับการให้บริการของความหนาแน่นของกลุ่มคน

ที่	ระดับการให้บริการ	ความหนาแน่น (person/m ²)	คำอธิบาย
1	A	≤ 0.308	Few
2	B	≤ 0.431	Few/Medium
3	C	≤ 0.718	Medium
4	D	≤ 1.076	Busy
5	E	≤ 2.153	Very Busy
6	F	> 2.153	Congested

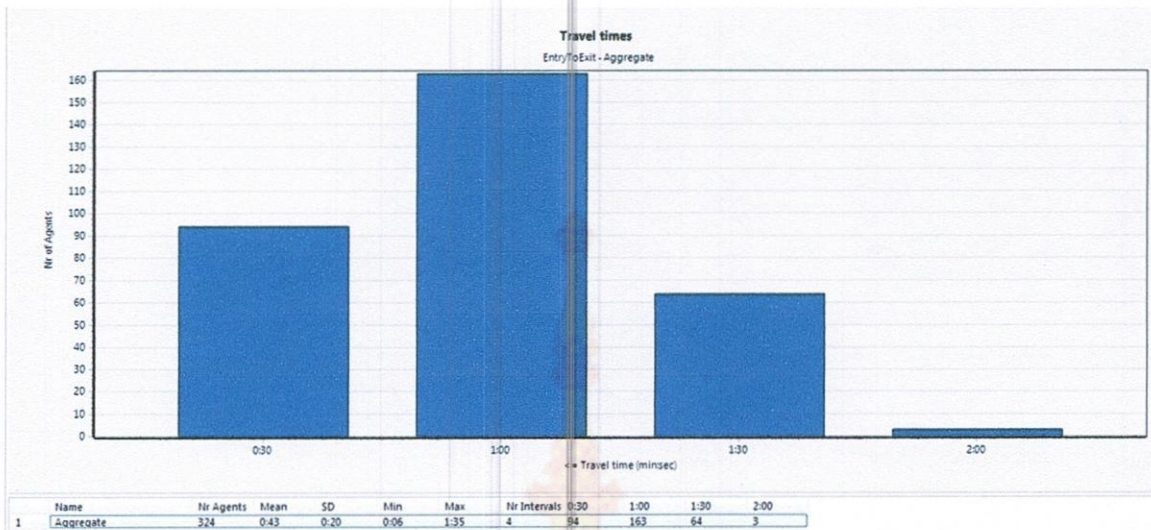
สถานการณ์ 1

ทำการศึกษาผลการวิเคราะห์ประกอบแผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคนโดยกำหนดให้บุคคลเลือกใช้วิธีการ Least Effort เลือกเส้นทางการอพยพออกจากอาคาร โดยแบ่งกลุ่มคนออกเป็นร้อยละ 50 : 50 เลือกทางออกฉุกเฉินส่วนหน้าและส่วนหลังตามลำดับ



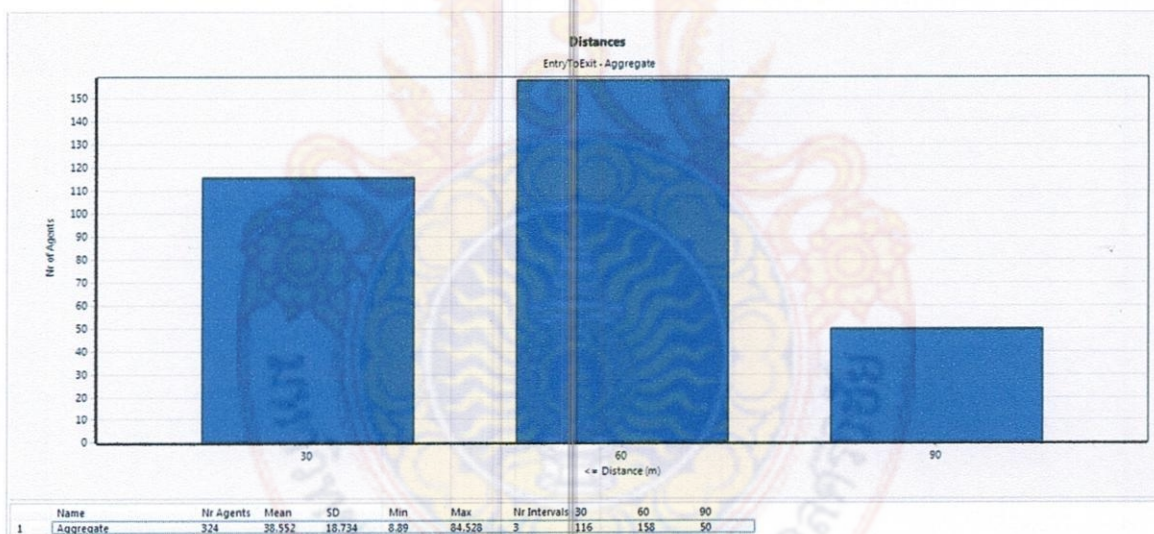
รูป 4. 9 แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 1

จากรูป 4. 9 แสดงความหนาแน่นของคนกลุ่มในชั้นเรียนจะพบว่า จะเกิดความหนาแน่นระดับ (Very Busy) มากสุดที่บริเวณ ใกล้ทางออกฉุกเฉินส่วนหลังและทางเดินตรงกลางอาคาร แล้วทยอยลดระดับความหนาแน่นลงไปจนถึงบริเวณทางออกฉุกเฉินส่วนหน้า จากกรณีศึกษาี้ จะพบปัญหาการกระจุกตัวของกลุ่มคนที่ส่วนหลังของอาคารเป็นหลัก เนื่องจากเป็นเส้นทางที่แคบ และอยู่ใกล้กับประตูห้องเรียนที่ซึ่งสามารถสังเกตได้ง่าย และน่าจะถูกละเลือกใช้เป็นทางหนีภัยหลัก



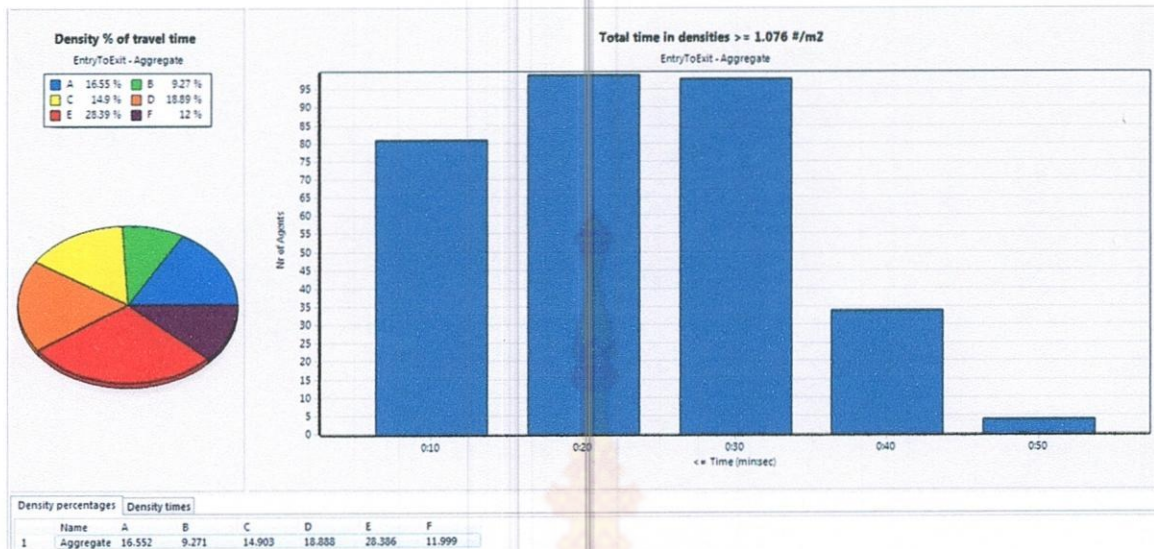
รูป 4. 10 เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 1

จากรูป 4. 10 แสดงเวลาการเดินทางในภาพรวมของกลุ่มคนเฉลี่ย 43 วินาที ระยะเวลาการเดินทางมากที่สุด 1:35 นาที ระยะเวลาการเดินทางสั้นที่สุด 6 วินาที



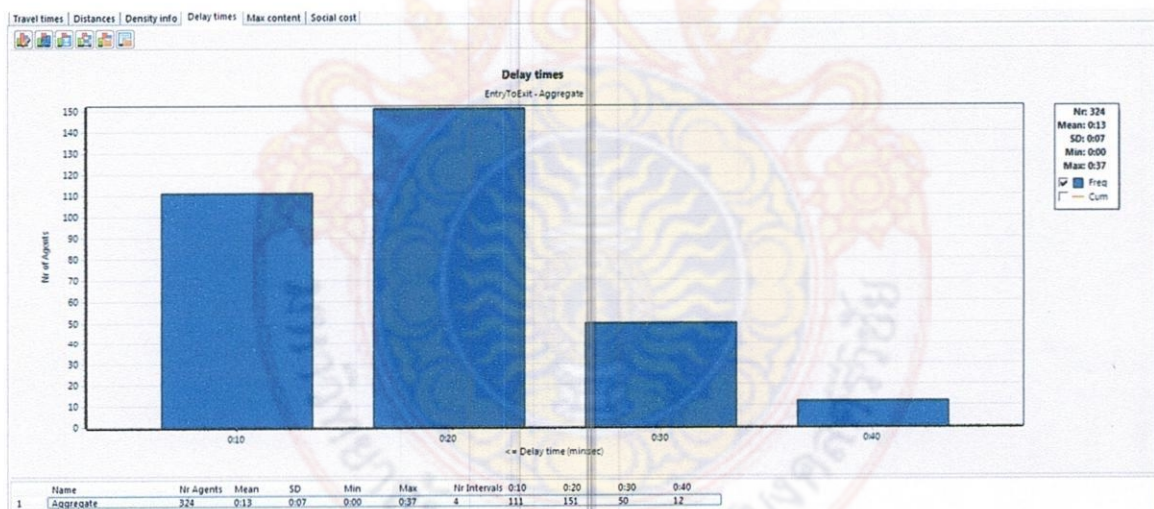
รูป 4. 11 ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 1

รูป 4. 11 แสดงระยะการเดินทางเพื่อหาเส้นทางอพยพของกลุ่มคนด้วยวิธี Least Effort พบว่า จะใช้ระยะทางมากที่สุด 84.528 m ระยะทางสั้นสุด 8.89 m



รูป 4. 12 ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 1

จากรูป 4. 12 แสดงความหนาแน่นของการเดินทาง พบว่า มีค่าความหนาแน่นระดับ E และ F อยู่ร้อยละ 40 ของบริเวณอาคารทั้งหมด

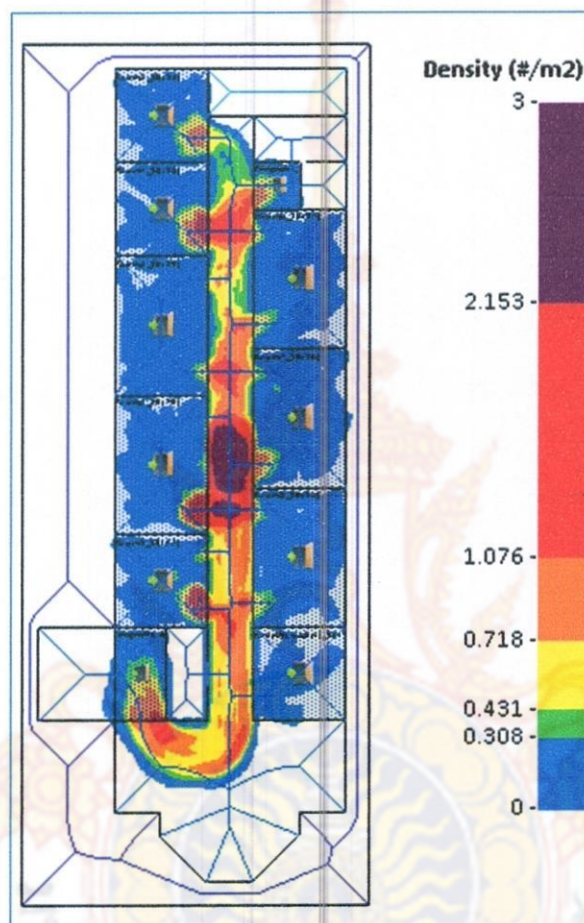


รูป 4. 13 ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 1

รูป 4. 13 แสดงความล่าช้าในการเดินทางเนื่องจากสาเหตุความหนาแน่นของกลุ่มคนเป็นหลัก โดยมีความล่าช้ามากที่สุด 37 วินาที

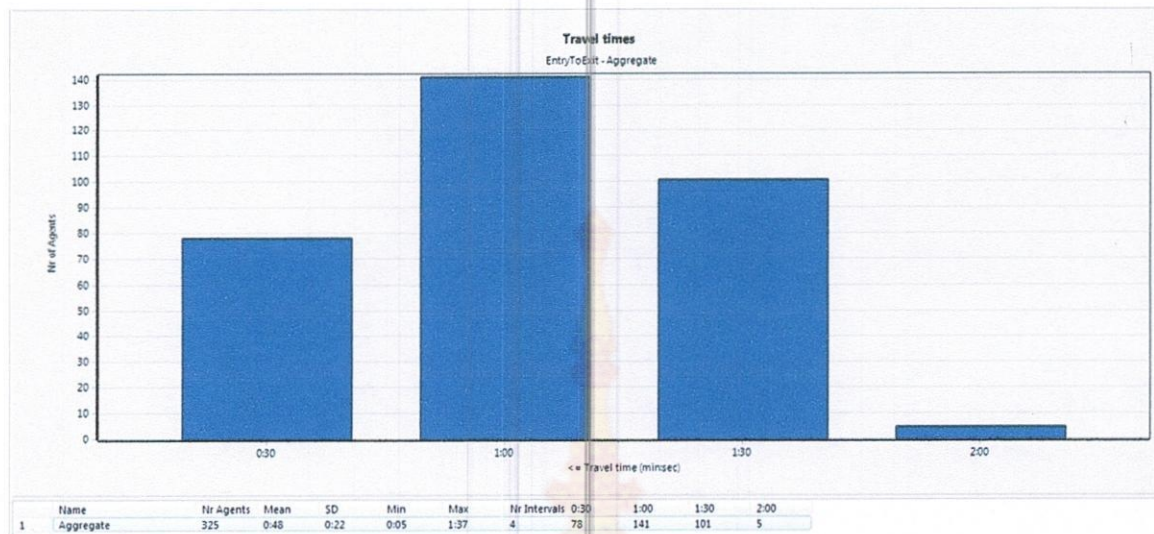
สถานการณ์ 2

ทำการศึกษาผลการวิเคราะห์ประกอบแผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน โดยกำหนดให้บุคคลเลือกใช้วิธีการ Least Effort เลือกเส้นทางการอพยพออกจากอาคาร โดยแบ่งกลุ่มคนออกเป็น ร้อยละ 70 : 30 เลือกทางออกฉุกเฉินส่วนหน้าและส่วนหลังตามลำดับ



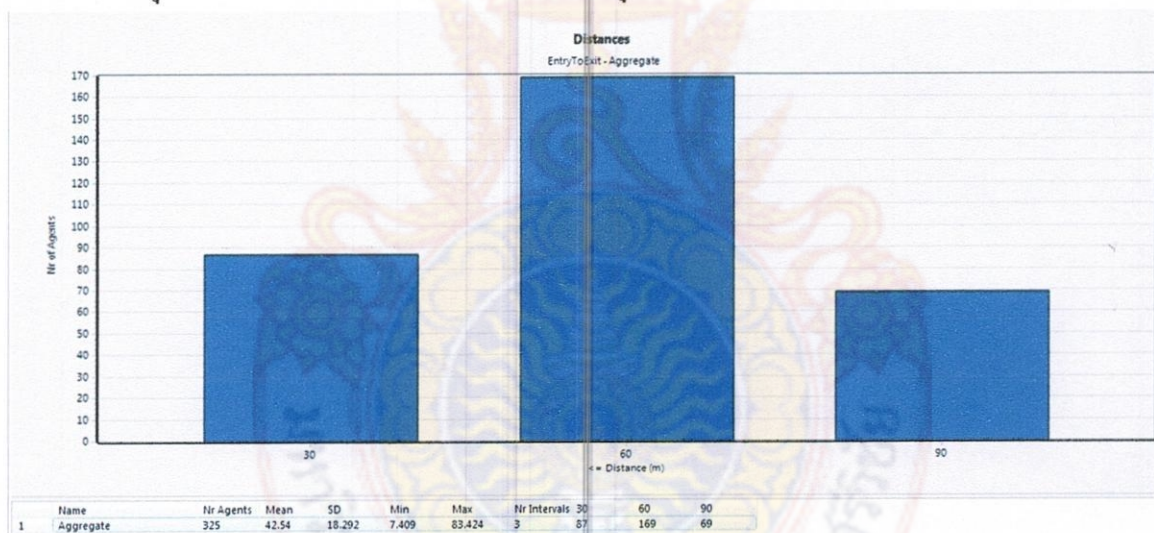
รูป 4. 14 แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 2

จากรูป 4. 9 แสดงความหนาแน่นของคนกลุ่มในชั้นเรียนจะพบว่า จะเกิดความหนาแน่นระดับ (Very Busy) มากสุดที่บริเวณส่วนกลางทางเดินของอาคาร ทางออกฉุกเฉินด้านหลัง และส่วนหน้าตามลำดับ จากกรณีศึกษานี้ จะพบปัญหาการกระจุกตัวของกลุ่มคนที่ส่วนกลางเป็นหลัก เนื่องจากกำหนดสถานการณ์ให้กลุ่มคนส่วนใหญ่ร้อยละ 70 มีประสงค์เลือกเส้นทางฉุกเฉินประตูส่วนหน้าเป็นหลัก จากตรงนี้จะสื่อให้เห็นถึงนโยบายการควบคุมฝูงชนที่ต้องแบ่งกระจายปริมาณกลุ่มคนให้เหมาะสม มิให้เทน้ำหนักไปทางใดทางหนึ่ง เนื่องจากคนที่อยู่บริเวณส่วนหลังก็จะพยายามเลือกใช้ทางออกฉุกเฉินด้านหน้า ทำให้เกิดการกระจุกตัวของกลุ่มตัวบริเวณทางเดินกลางอาคาร



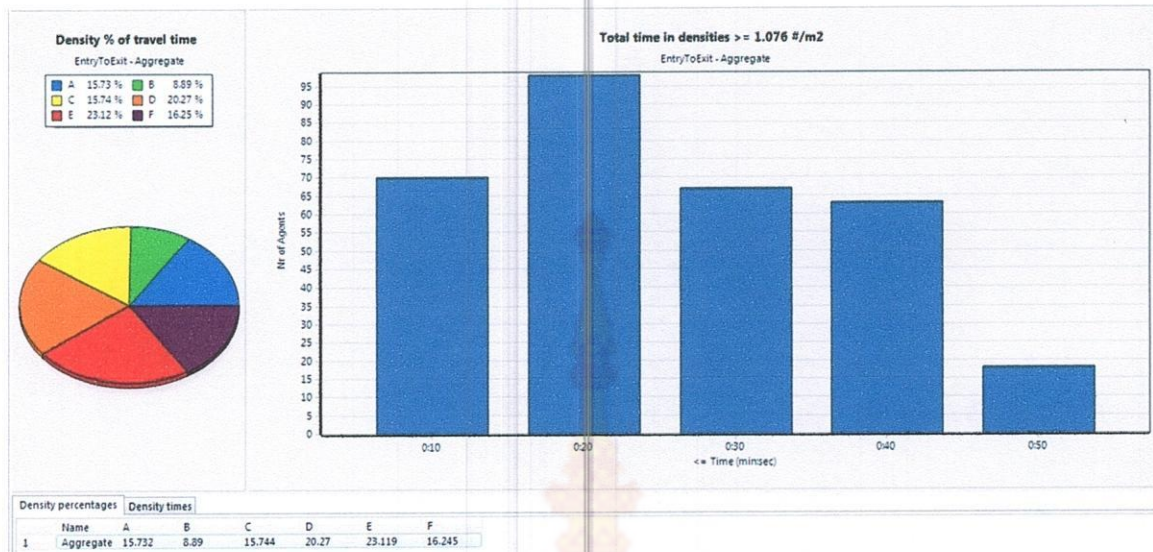
รูป 4.15 เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 2

จากรูป 4.10 แสดงเวลาการเดินทางในภาพรวมของกลุ่มคนเฉลี่ย 48 วินาที ระยะเวลาการเดินทางมากที่สุด 1:37 นาที ระยะเวลาการเดินทางสั้นที่สุด 5 วินาที



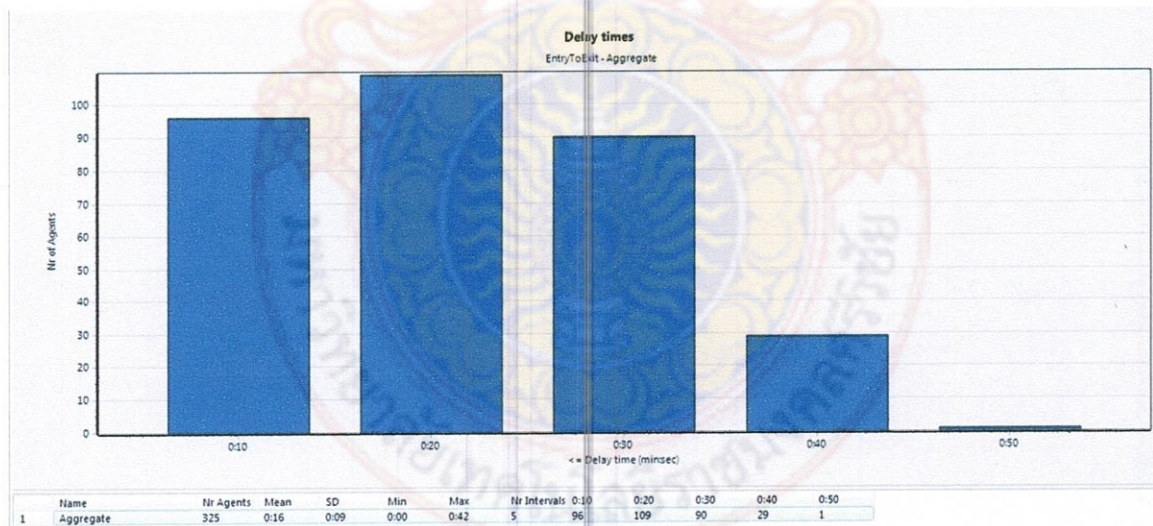
รูป 4.16 ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 2

รูป 4.11 แสดงระยะการเดินทางเพื่อหาเส้นทางอพยพของกลุ่มคนด้วยวิธี Least Effort พบว่า จะใช้ระยะทางมากที่สุด 83.424 m ระยะทางสั้นสุด 7.409 m



รูป 4. 17 ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 2

จากรูป 4. 12 แสดงความหนาแน่นของการเดินทาง พบว่า มีค่าความหนาแน่นระดับ E และ F อยู่ร้อยละ 39 ของบริเวณอาคารทั้งหมด และระดับ D ร้อยละ 20 ซึ่งส่วนใหญ่จะกระจุกตัวอยู่บริเวณส่วนกลางของอาคารตามเงื่อนไขที่ต้องการทดสอบสถานการณ์การอพยพของคน โดยกำหนดให้ควบคุมให้คนร้อยละ 70 มุ่งไปทิศทางด้านหน้าของอาคาร

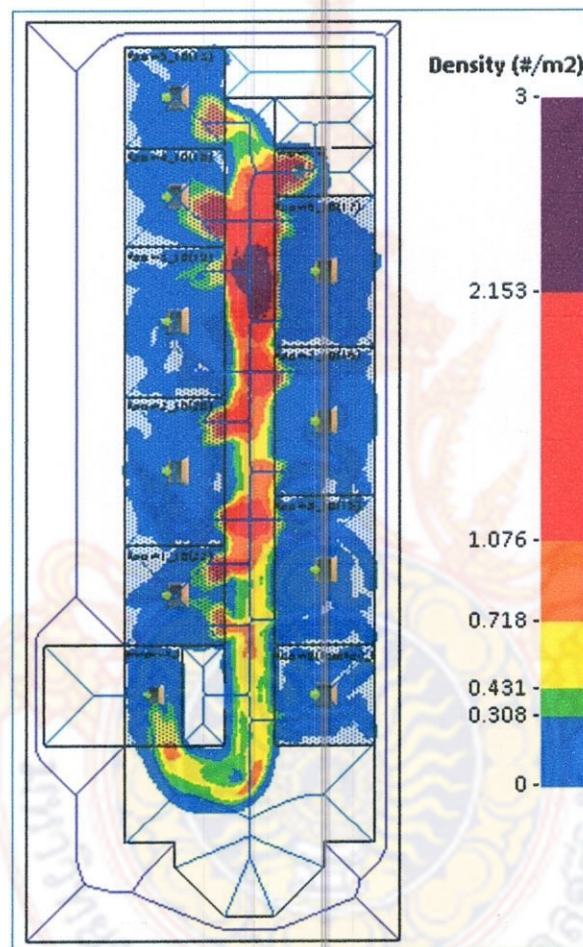


รูป 4. 18 ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 2

รูป 4. 13 แสดงความล่าช้าในการเดินทางเนื่องจากสาเหตุความหนาแน่นของกลุ่มคนเป็นหลัก โดยมีความล่าช้าสูงสุด 42 วินาที

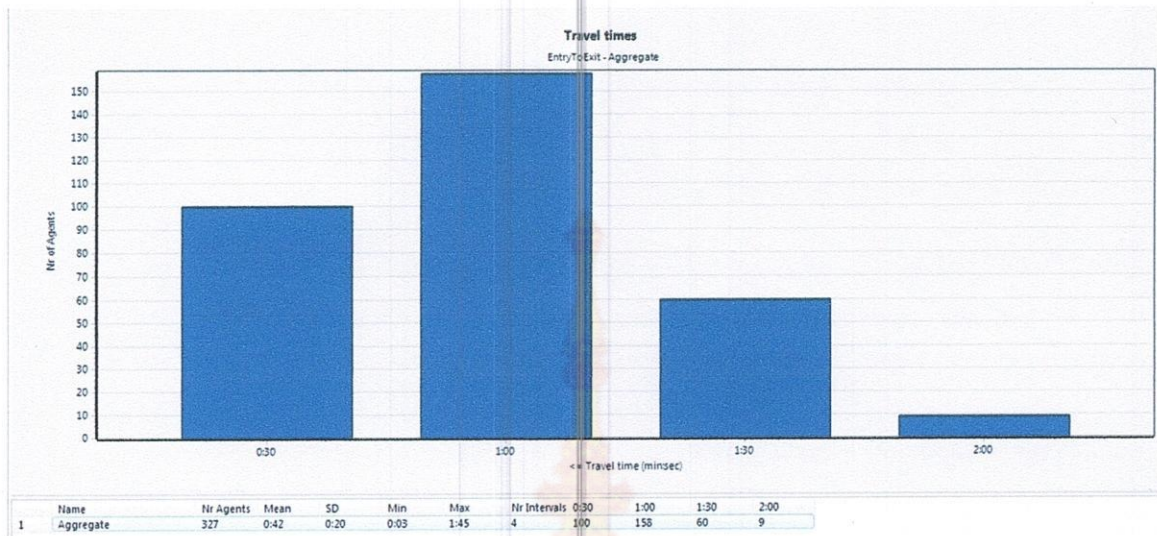
สถานการณ์ 3

ทำการศึกษาผลการวิเคราะห์ประกอบแผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคนโดยกำหนดให้บุคคลเลือกใช้วิธีการ Least Effort เลือกเส้นทางการอพยพออกจากอาคาร โดยแบ่งกลุ่มคนออกเป็นร้อยละ 30 : 70 เลือกทางออกฉุกเฉินส่วนหน้าและส่วนหลังตามลำดับ ซึ่งเป็นกรณีที่เป็นไปได้ยาก แต่ก็สมควรนำเสนอให้รอบด้านให้ครบองค์ประกอบการวิจัยอย่างรอบด้าน



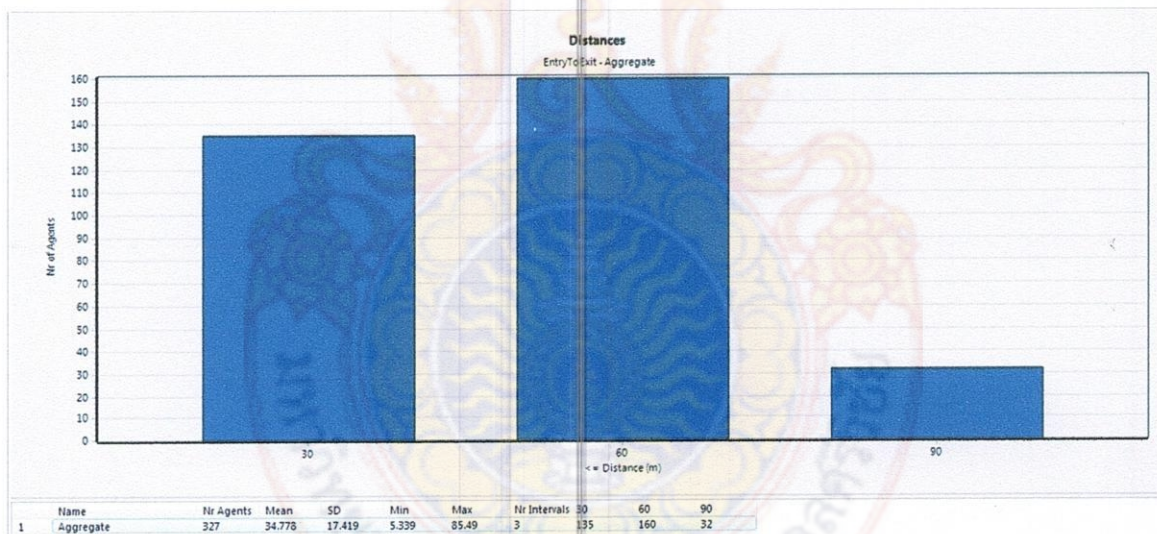
รูป 4.19 แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 3

จากรูป 4.9 แสดงความหนาแน่นของคนกลุ่มในชั้นเรียนจะพบว่า จะเกิดความหนาแน่นส่วนท้ายของอาคารและบริเวณทางออกฉุกเฉินด้านหลัง เนื่องจากกำหนดให้กลุ่มคนร้อยละ 70 ประสงค์ใช้ทิศทางด้านหลังของอาคารเป็นทางหนีภัยหลัก



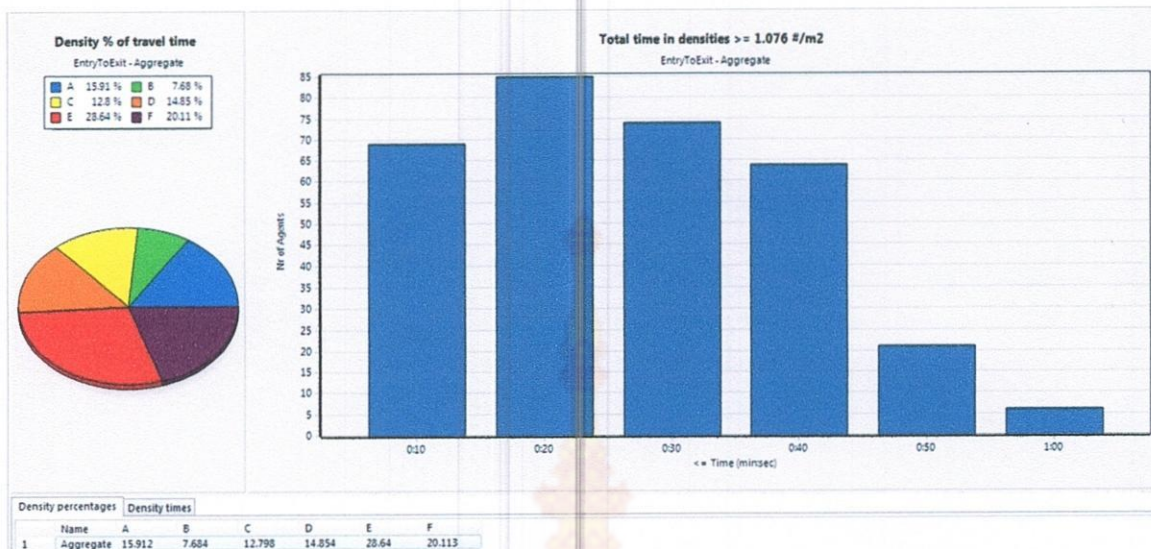
รูป 4. 20 เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 3

จากรูป 4. 10 แสดงเวลาการเดินทางในภาพรวมของกลุ่มคนเฉลี่ย 42 วินาที ระยะเวลาการเดินทางมากที่สุด 1:45 นาที ระยะเวลาการเดินทางสั้นที่สุด 3 วินาที



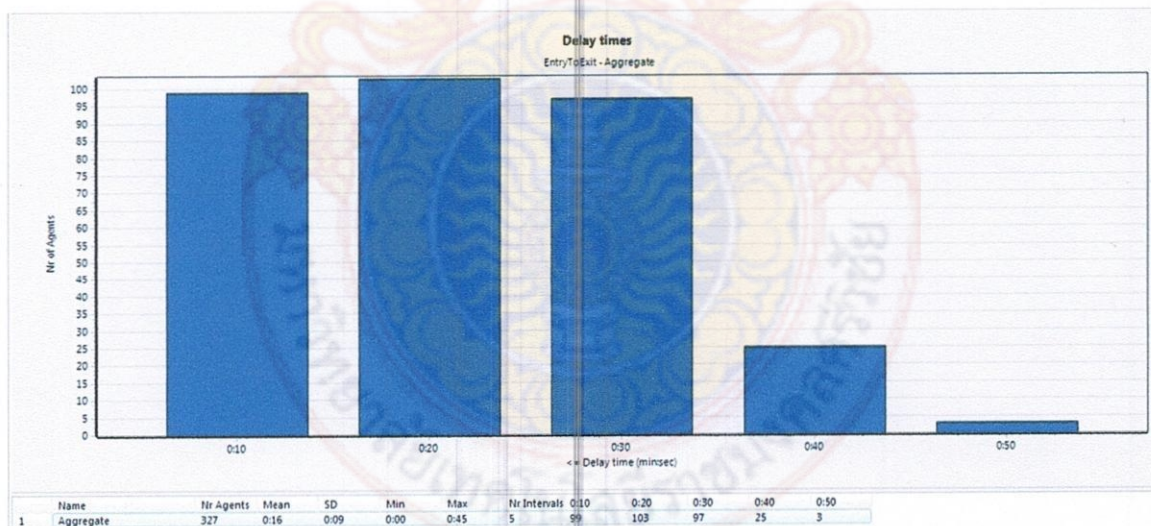
รูป 4. 21 ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 3

รูป 4. 11 แสดงระยะการเดินทางเพื่อหาเส้นทางอพยพของกลุ่มคนด้วยวิธี Least Effort พบว่า จะใช้ระยะทางมากที่สุด 85.49 m ระยะทางสั้นสุด 5.339 m



รูป 4. 22 ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 3

จากรูป 4. 12 แสดงความหนาแน่นของการเดินทาง พบว่า มีค่าความหนาแน่นระดับ E และ F อยู่ร้อยละ 48 ของบริเวณอาคารทั้งหมด และระดับ D ร้อยละ 15 ซึ่งส่วนใหญ่จะกระจุกตัวอยู่บริเวณส่วนกลางของอาคารตามเงื่อนไขที่ต้องการทดสอบสถานการณ์การอพยพของคน โดยกำหนดให้ควบคุมให้คนร้อยละ 70 มุ่งไปทิศทางด้านหลังของอาคาร

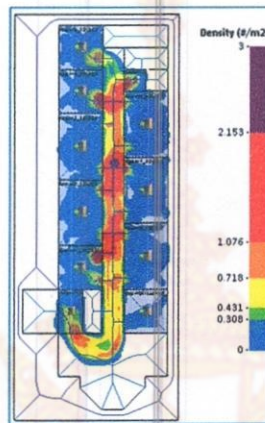


รูป 4. 23 ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 3

รูป 4. 13 แสดงความล่าช้าในการเดินทางเนื่องจากสาเหตุความหนาแน่นของกลุ่มคนเป็นหลัก โดยมีความล่าช้ามากที่สุด 45 วินาที

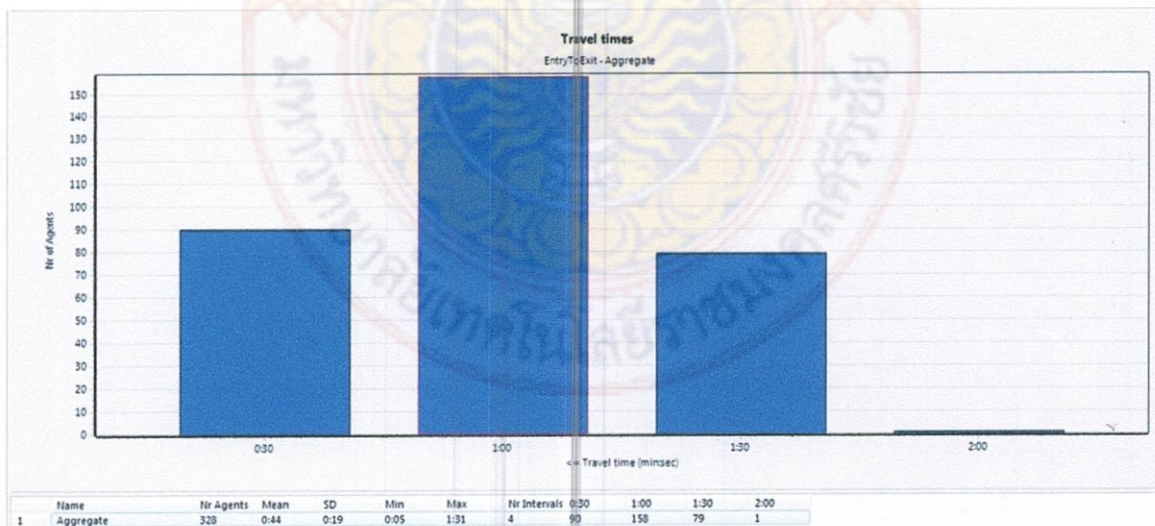
สถานการณ์ 4

ทำการศึกษาผลการวิเคราะห์ประกอบแผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน โดยกำหนดให้บุคคลเลือกใช้วิธีการ Shortest Distance เลือกเส้นทางการอพยพออกจากอาคาร โดยแบ่งกลุ่มคนออกเป็นร้อยละ 50 : 50 เลือกทางออกฉุกเฉินส่วนหน้าและส่วนหลังตามลำดับ ซึ่งจะคล้ายคลึงกับสถานการณ์ที่ 1 แต่ต่างตรงที่วิธีการค้นหาต้นเส้นทางเดิน



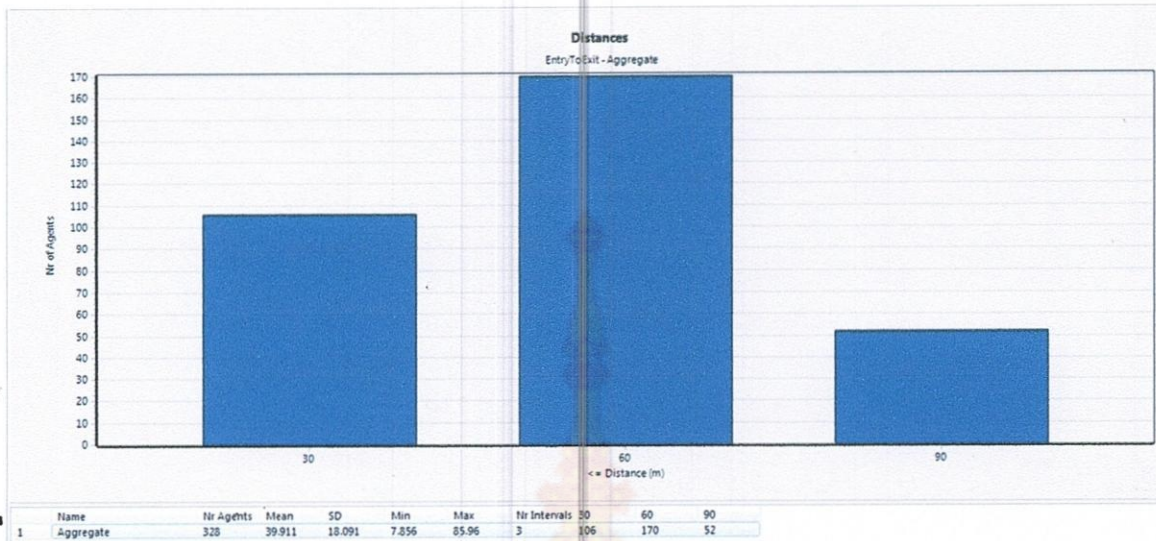
รูป 4. 24 แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 4

จากรูป 4. 9 แสดงความหนาแน่นของคนกลุ่มในชั้นเรียนจะพบว่า จะเกิดความหนาแน่นส่วนท้ายของอาคารและบริเวณทางออกฉุกเฉินด้านหลัง เนื่องจากกำหนดให้กลุ่มคนร้อยละ 70 ประสงค์ใช้ทิศทางด้านหลังของอาคารเป็นทางหนีภัยหลัก



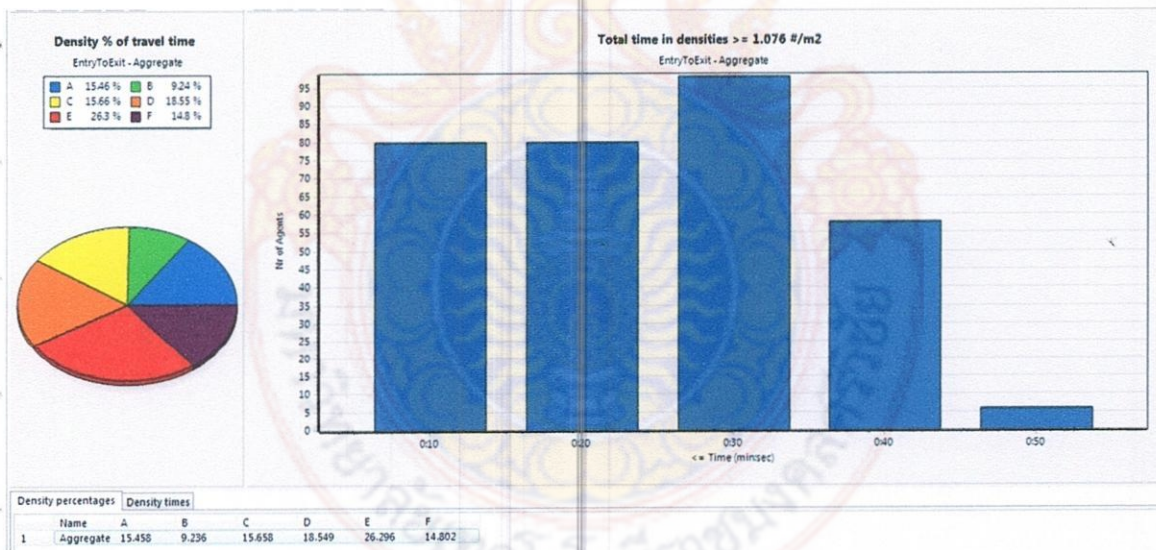
รูป 4. 25 เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 4

จากรูป 4. 10 แสดงเวลาการเดินทางในภาพรวมของกลุ่มคนเฉลี่ย 44 วินาที ระยะเวลาการเดินทางมากที่สุด 1:31 นาที ระยะเวลาการเดินทางสั้นที่สุด 5 วินาที



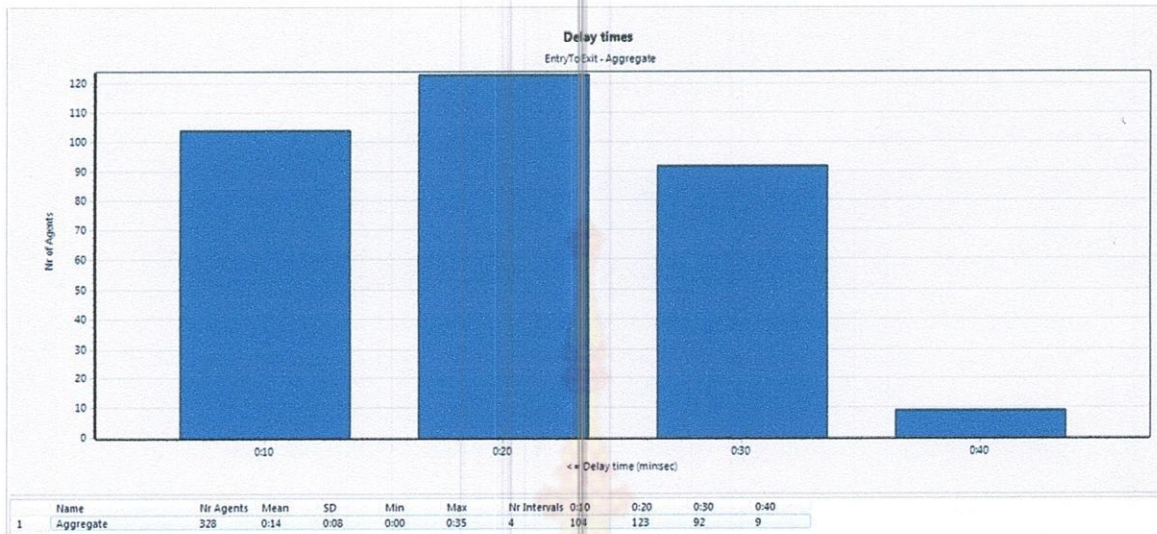
รูป 4. 26 ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 4

รูป 4. 11 แสดงระยะการเดินทางเพื่อหาเส้นทางอพยพของกลุ่มคนด้วยวิธี Shortest Distance พบว่า จะใช้ระยะทางมากที่สุด 85.96 m ระยะทางสั้นสุด 7.856 m



รูป 4. 27 ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 4

จากรูป 4. 12 แสดงความหนาแน่นของการเดินทาง พบว่า มีค่าความหนาแน่นระดับ E และ F อยู่มากกว่า 40 ของบริเวณอาคารทั้งหมด และระดับ D อยู่มากกว่า 19 ซึ่งส่วนใหญ่จะกระจุกตัวอยู่บริเวณส่วนกลางของอาคารตามเงื่อนไขที่ต้องการทดสอบสถานการณ์การอพยพของคน โดยกำหนดให้ควบคุมให้คนร้อยละ 50 มุ่งไปทิศทางด้านหน้าของอาคาร และร้อยละ 50 มุ่งไปทางด้านหลังของอาคาร

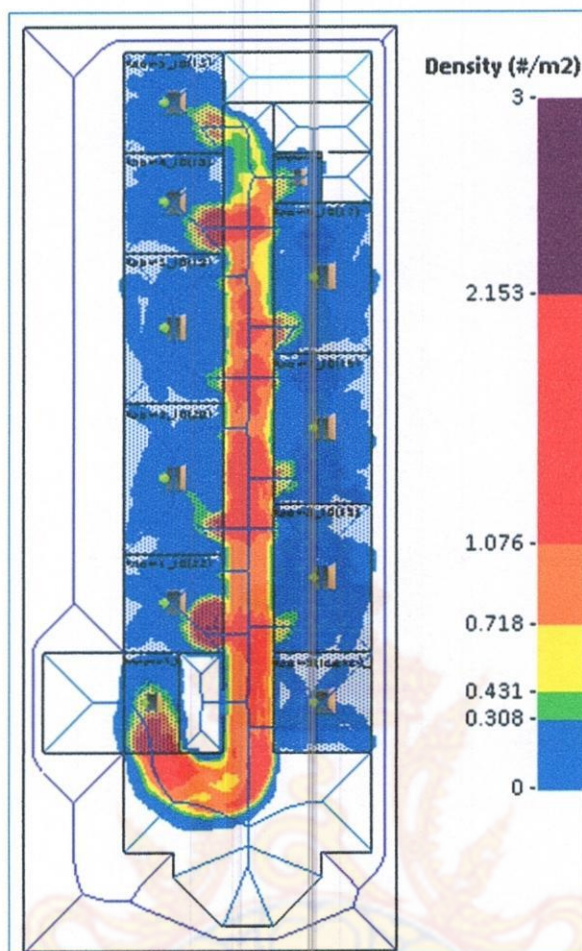


รูป 4. 28 ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 4

รูป 4. 13 แสดงความล่าช้าในการเดินทางเนื่องจากสาเหตุความหนาแน่นของกลุ่มคนเป็นหลัก โดยมีความล่าช้าสูงสุด 35 วินาที

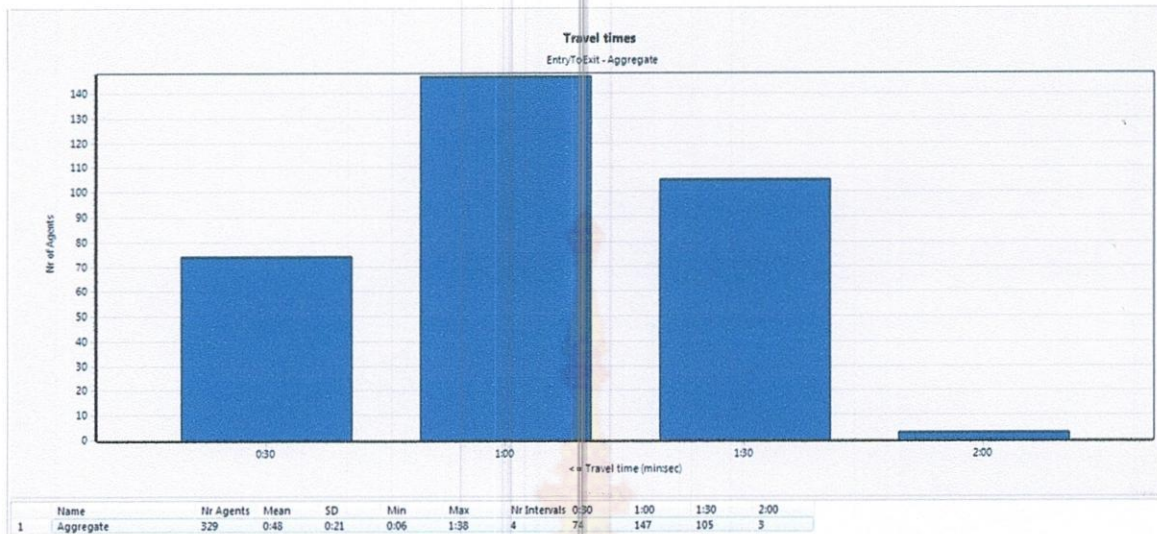
สถานการณ์ 5

ทำการศึกษาผลการวิเคราะห์ที่ประกอบแผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน โดยกำหนดให้บุคคลเลือกใช้วิธีการ Shortest Distance เลือกเส้นทางการอพยพออกจากอาคาร โดยแบ่งกลุ่มคนออกเป็นร้อยละ 70 : 30 เลือกทางออกฉุกเฉินส่วนหน้าและส่วนหลังตามลำดับ ซึ่งจะคล้ายคลึงกับสถานการณ์ที่ 2 แตกต่างตรงที่วิธีการค้นหาต้นเส้นทางเดิน



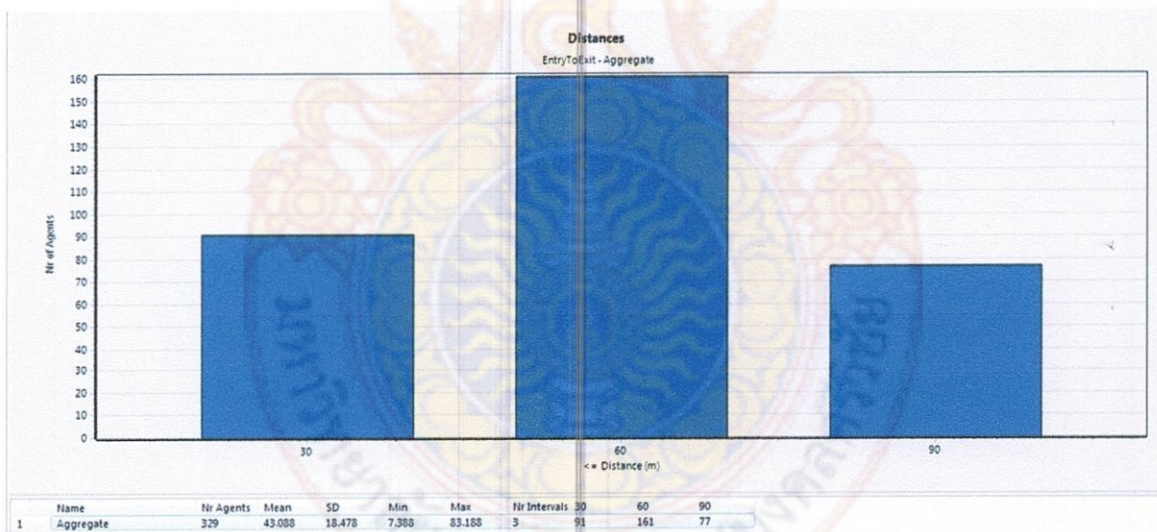
รูป 4. 29 แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 5

จากรูป 4. 9 แสดงความหนาแน่นของคนกลุ่มในชั้นเรียนจะพบว่า จะเกิดความหนาแน่นมากบริเวณส่วนกลางตลอดแนวอาคาร เนื่องจากกลุ่มคนประสงค์เลือกใช้เส้นทางที่สุด โดยไม่ได้พยายามที่จะเปลี่ยนแนวเส้นทาง หรือหลบหลีกอุปสรรคจากความหนาแน่นของกลุ่มคน ทำให้เกิดการกระจุกตัวบริเวณส่วนกลางอาคารมากผิดปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี 2 ซึ่งให้สมมติฐานที่คล้ายคลึงกัน จากผลลัพธ์ตรงนี้จะสื่อให้ถึงกรณีที่กรณีที่บุคคลส่วนใหญ่ขาดวุฒิภาวะในการวางแผนการเดินทางหรือเลือกเส้นทาง โดยไม่ได้คิดถึงทางเลือกอื่น ๆ ที่อาจจะใช้ระยะเวลาเดินทางมากกว่า แต่เสียเวลาน้อยกว่า ซึ่งลักษณะแบบจำลองอาจเกิดขึ้นได้



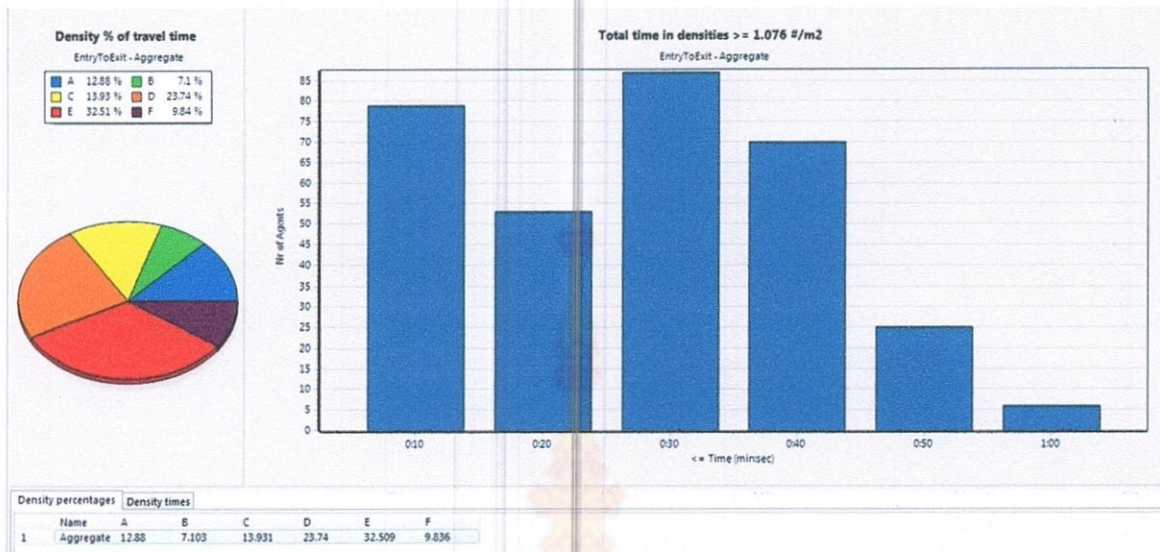
รูป 4. 30 เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 5

จากรูป 4. 10 แสดงเวลาการเดินทางในภาพรวมของกลุ่มคนเฉลี่ย 48 วินาที ระยะเวลาการเดินทางมากที่สุด 1:38 นาที ระยะเวลาการเดินทางสั้นที่สุด 6 วินาที



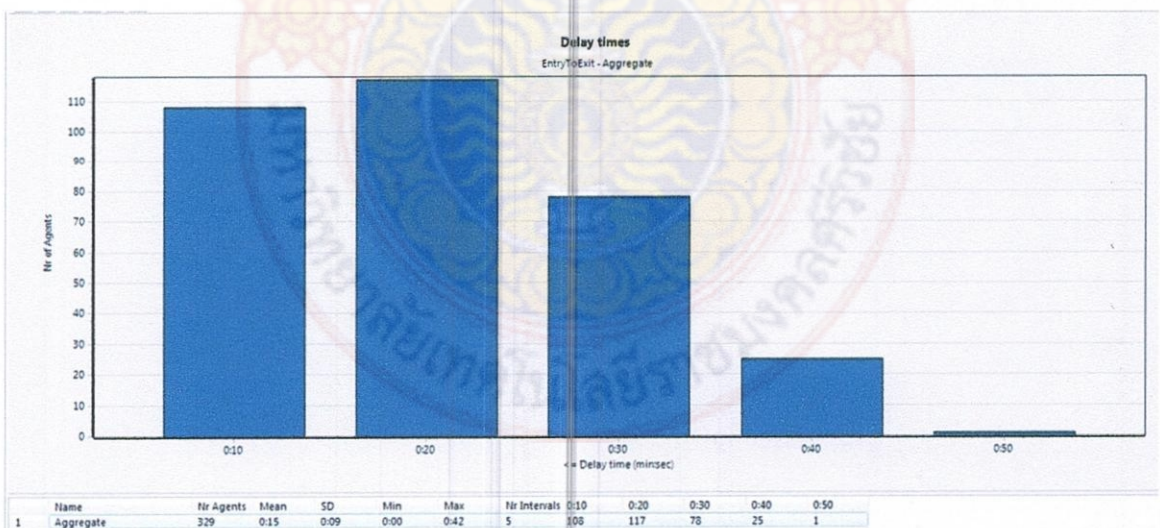
รูป 4. 31 ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 5

รูป 4. 11 แสดงระยะการเดินทางเพื่อหาเส้นทางอพยพของกลุ่มคนด้วยวิธี Shortest Distance พบว่า จะใช้ระยะทางมากที่สุด 83.188 m ระยะทางสั้นที่สุด 7.388 m



รูป 4.32 ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 5

จากรูป 4.12 แสดงความหนาแน่นของการเดินทาง พบว่า มีค่าความหนาแน่นระดับ E และ F อยู่ร้อยละ 42 ของบริเวณอาคารทั้งหมด และระดับ D ร้อยละ 24 ซึ่งส่วนใหญ่จะกระจุกตัวอยู่บริเวณส่วนกลางของอาคารตามเงื่อนไขที่ต้องการทดสอบสถานการณ์การอพยพของคนที่กำหนดให้ควบคุมให้คนร้อยละ 70 มุ่งไปทิศทางด้านหน้าของอาคาร และร้อยละ 30 มุ่งไปทางด้านหลังของอาคาร

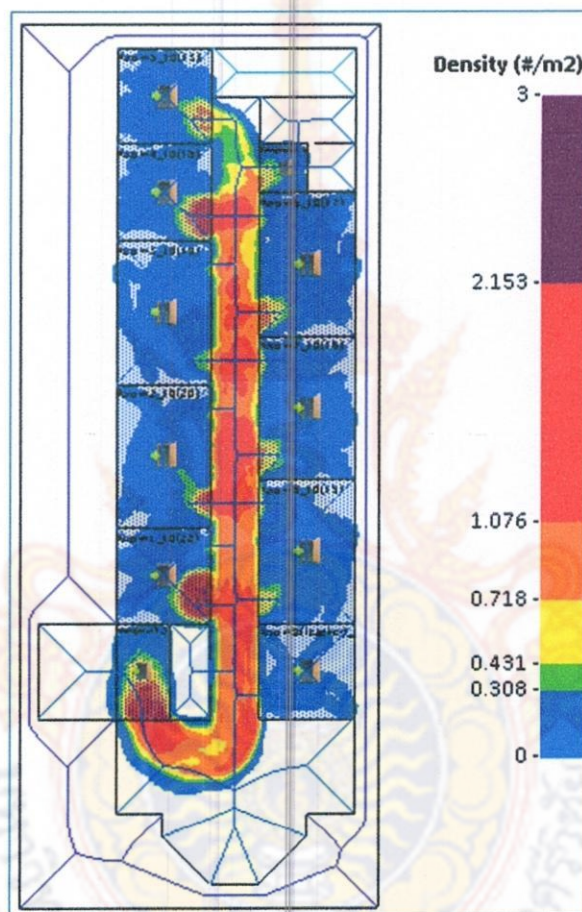


รูป 4.33 ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 5

รูป 4.13 แสดงความล่าช้าในการเดินทางเนื่องจากสาเหตุความหนาแน่นของกลุ่มคนเป็นหลัก โดยมีความล่าช้าสูงสุด 42 วินาที

สถานการณ์ 6

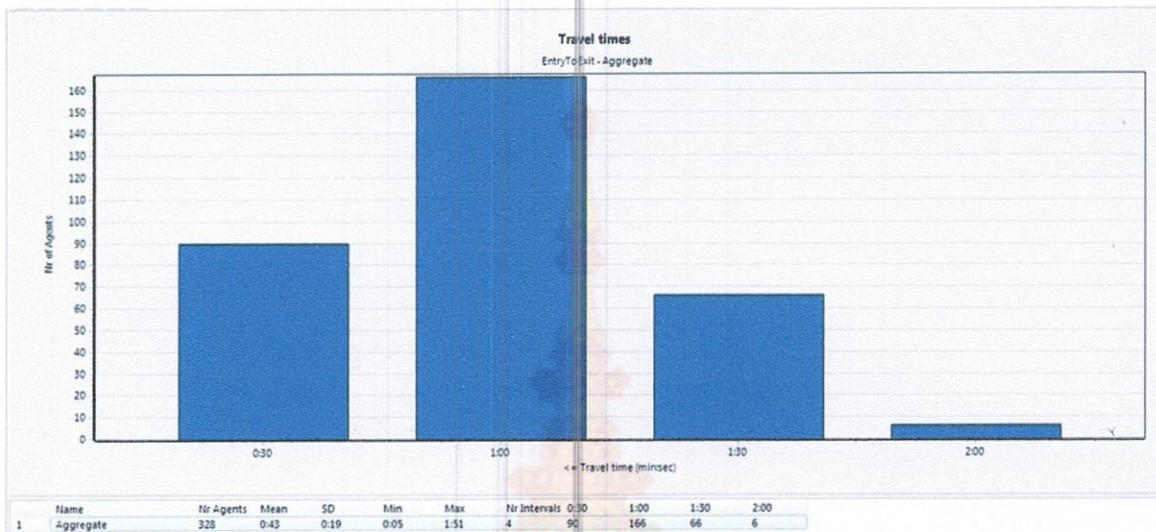
ทำการศึกษาผลการวิเคราะห์ประกอบแผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน โดยกำหนดให้บุคคลเลือกใช้วิธีการ Shortest Distance เลือกเส้นทางการอพยพออกจากอาคาร โดยแบ่งกลุ่มคนออกเป็นร้อยละ 30 : 70 เลือกทางออกฉุกเฉินส่วนหน้าและส่วนหลังตามลำดับ ซึ่งจะคล้ายคลึงกับสถานการณ์ที่ 3 แตกต่างตรงที่วิธีการค้นหาต้นเส้นทางเดิน



รูป 4.34 แผนที่ความหนาแน่นของกลุ่มคน สถานการณ์ 6

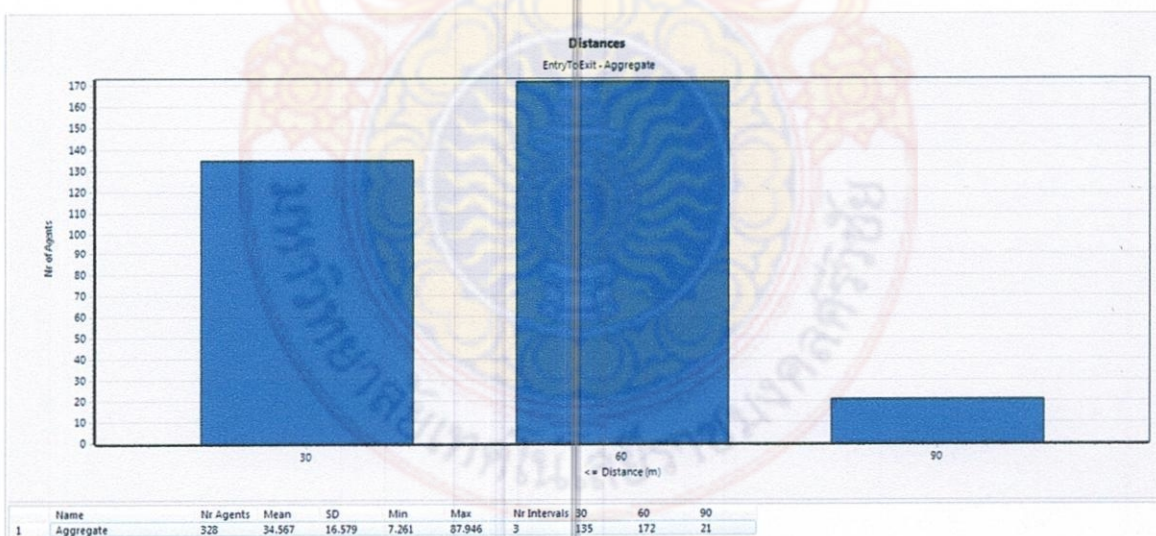
จากรูป 4.9 แสดงความหนาแน่นของคนกลุ่มในชั้นเรียนจะพบว่า จะเกิดความหนาแน่นมากบริเวณส่วนกลางตลอดแนวอาคาร เนื่องจากกลุ่มคนประสงค์เลือกใช้เส้นทางที่สั้นที่สุด โดยไม่ได้พยายามที่จะเปลี่ยนแนวเส้นทาง หรือหลบหลีกอุปสรรคจากความหนาแน่นของกลุ่มคน ทำให้เกิดการกระจุกตัวบริเวณส่วนกลางอาคารมากผิดปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี 2 ซึ่งให้สมมติฐานที่คล้ายคลึงกัน จากผลลัพธ์ตรงนี้จะสื่อให้ถึงกรณีที่กรณีที่บุคคลส่วนใหญ่ขาดวุฒิภาวะในการวาง

แผนการเดินทางหรือเลือกเส้นทาง โดยไม่ได้คิดถึงทางเลือกอื่น ๆ ที่อาจจะใช้ระยะเวลาเดินทางมากกว่า แต่เสียเวลาน้อยกว่า ซึ่งลักษณะแบบจำลองอาจเกิดขึ้นได้



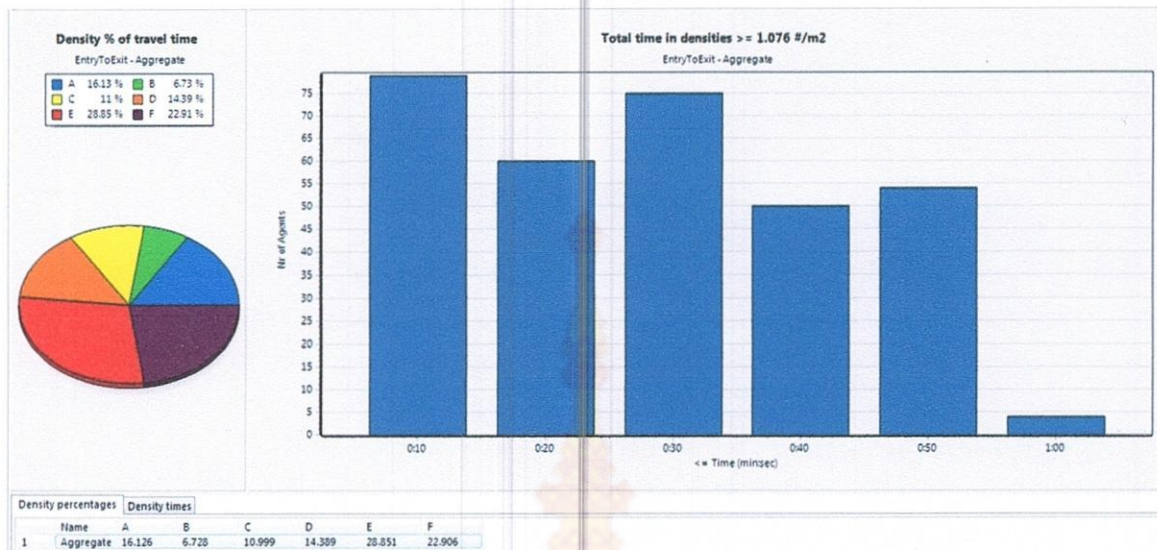
รูป 4. 35 เวลาการเดินทาง (Travel time) สถานการณ์ 6

จากรูป 4. 10 แสดงเวลาการเดินทางในภาพรวมของกลุ่มคนเฉลี่ย 43 วินาที ระยะเวลาการเดินทางมากที่สุด 1:51 นาที ระยะเวลาการเดินทางสั้นที่สุด 5 วินาที



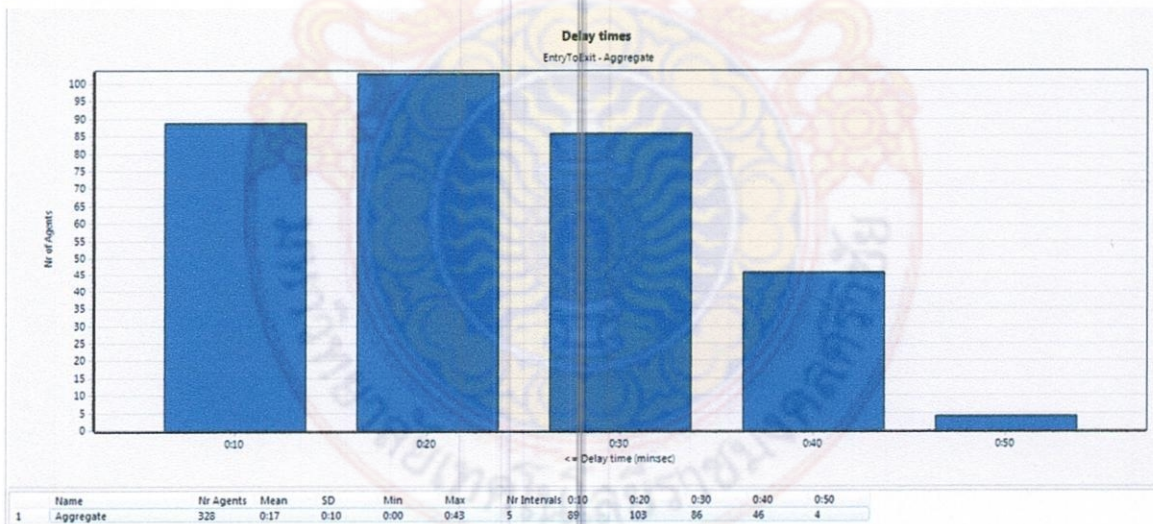
รูป 4. 36 ระยะการเดินทาง (Distance) สถานการณ์ 6

รูป 4. 11 แสดงระยะการเดินทางเพื่อหาเส้นทางอพยพของกลุ่มคนด้วยวิธี Shortest Distance พบว่า จะใช้ระยะทางมากที่สุด 87.946 m ระยะทางสั้นสุด 7.261 m



รูป 4. 37 ความหนาแน่น (Density) สถานการณ์ 6

จากรูป 4. 12 แสดงความหนาแน่นของการเดินทาง พบว่า มีค่าความหนาแน่นระดับ E และ F อยู่ร้อยละ 50 ของบริเวณอาคารทั้งหมด และระดับ D ร้อยละ 14 ซึ่งส่วนใหญ่จะกระจุกตัวอยู่บริเวณส่วนกลางของอาคารตามเงื่อนไขที่ต้องการทดสอบสถานการณ์การอพยพของคน โดยกำหนดให้ควบคุมให้คนร้อยละ 30 มุ่งไปทิศทางด้านหน้าของอาคาร และร้อยละ 70 มุ่งไปทางด้านหลังของอาคาร



รูป 4. 38 ความล่าช้า (Delay) สถานการณ์ 6

รูป 4. 13 แสดงความล่าช้าในการเดินทางเนื่องจากสาเหตุความหนาแน่นของกลุ่มคนเป็นหลัก โดยมีความล่าช้าสูงสุด 43 วินาที

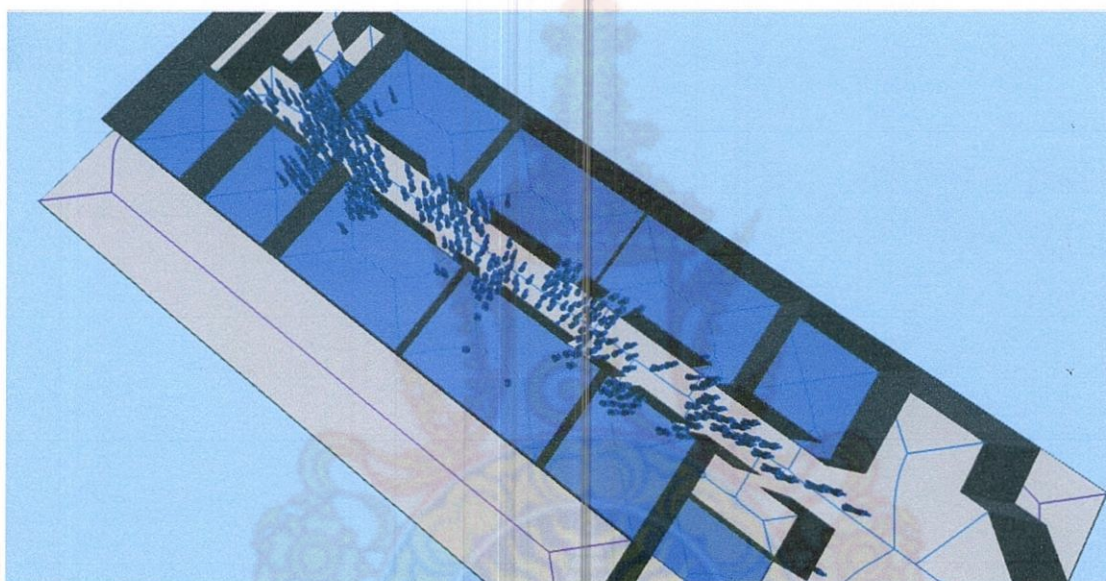
ตาราง 4.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในภาพรวม

สถานการณ์	วิธีวางแผนเส้นทาง	ร้อยละของกลุ่มคนที่หนีเลือกทางออกฉุกเฉิน (หน้า : หลัง)	เวลาเฉลี่ยการอพยพ (min)	ระยะทางการอพยพ (m)	ความหนาแน่นระดับ E และ F (%)	ความล่าช้า (seconds)
1	Least Effort	50 : 50	Max = 1:35	Max = 84.528	40	37
			Avg = 0:43	-		
			Min = 0:06	Min = 8.89		
2		70 : 30	Max = 1:37	Max = 83.424	39	42
			Avg = 0:48	-		
			Min = 0:05	Min = 7.409		
3		30 : 70	Max = 1:45	Max = 85.49	48	45
			Avg = 0:44	-		
			Min = 0:05	Min = 5.339		
4	Shortest Distance	50 : 50	Max = 1:31	Max = 85.96	40	35
			Avg = 0:48	-		
			Min = 0:06	Min = 7.856		
5		70 : 30	Max = 1:38	Max = 83.188	42	42
			Avg = 0:48	-		
			Min = 0:06	Min = 7.388		
6		30 : 70	Max = 1:51	Max = 87.946	50	43
			Avg = 0:43	-		
			Min = 0:05	Min = 7.261		

จากตาราง 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบในภาพรวมของแต่ละสถานการณ์จะพบว่าถ้าให้กรณีที่เลวร้ายสุด (Worst Case Scenario) นั้นเวลาในการการอพยพของกลุ่มบุคคลทั้งชั้นจะใช้เวลา 1:51 นาที และบริเวณส่วนกลางของอาคารซึ่งเป็นทางเดินนั้นจะเต็มไปด้วยกลุ่มคนที่อลหม่านวุ่นวาย เนื่องจากความไม่เข้าใจในการวางแผนการอพยพในกรณีฉุกเฉิน จากการเปรียบเทียบค่าเวลาการเดินทางมากที่สุดของแต่ละกรณี จะพบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 1:31 – 1:35 นาที ซึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มคนออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กันแยกไปทางด้านหน้าและด้านหลัง ส่วนกรณีที่สร้างปัญหาในอพยพมากที่สุดคือ กลุ่มคนส่วนใหญ่มุ่งหน้าไปทางออกฉุกเฉินด้านหลังของอาคาร ซึ่งก็มีโอกาสเกิดขึ้นได้ ถ้ากลุ่มคนตื่นตระหนกจนไม่สามารถควบคุมสติได้ จนนำไปสู่การเกาะกลุ่มกระจุกตัวของกลุ่มคนบริเวณทางออกและเข้าของห้องได้

สำหรับระยะทางการอพยพนั้นจะมีค่าที่อยู่ใกล้เคียงประมาณ 85 เมตร ความหนาแน่นที่อยู่ในระดับสูงมาก (E และ F) จะเกิดขึ้นบริเวณกลางอาคาร และบริเวณส่วนหน้าของทางออกฉุกเฉิน โดยจะมีความหนาแน่นมากสุดในกรณีที่กลุ่มบุคคลส่วนใหญ่มุ่งหน้าไปทางด้านหลังของอาคาร

สำหรับเวลาความล่าช้าเป็นผลเนื่องจากการติดขัดของกลุ่มคนที่มีความหนาแน่น จากตัวเลขความล่าช้าจะอยู่ที่ประมาณ 37 – 45 วินาที โดยค่าความล่าช้าที่สั้นที่สุด คือ กรณีที่ 1 ที่มีการควบคุมกลุ่มคนให้แบ่งกันออกไปทางฉุกเฉินด้านหน้าและด้านหลังอย่างละเท่า ๆ กัน ซึ่งมีบางทฤษฎีได้แนะนำให้แบ่งกันกระจายการออกจากห้อง เพื่อลดความแออัดบริเวณทางเดิน ยกตัวอย่างกรณีการอพยพของผู้โดยสารบนเครื่องบิน ที่พนักงานจะพยายามควบคุมกลุ่มคนให้ทยอยออกจากที่นั่งอย่างเป็นระเบียบ แต่สำหรับตัวอาคารเปิดโล่งจะพบว่าค่อนข้างควบคุมได้ยากที่จะบังคับให้คนค่อยทยอยออกจากที่ตั้งปัจจุบัน ดังแสดงรูป 4.39



รูป 4.39 การระจุกกลุ่มคนบริเวณทางเดินส่วนกลาง ทางออกจากห้องและบริเวณทางออกฉุกเฉิน

บทที่ 5

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การฝึกซ้อมอพยพกลุ่มคนเป็นงานที่ค่อนข้างยาก ในการเรียกระดมคนเพื่อฝึกซ้อมให้ครบถ้วนเสมือนจริงมากที่สุด การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานพฤติกรรมของมนุษย์ ได้แก่ ความเร็วการเดินทาง จุดเริ่มต้น จุดปลายทาง การเลือกเส้นทาง การกระจายการเดินทาง การหลบหลีก การมองเห็น และการตัดสินใจ จะเป็นเครื่องมือช่วยการวางแผน คาดการณ์ปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้น นำไปสู่การคิดค้นมาตรการกำกับดูแลกลุ่มคนที่จะต้องอพยพออกจากอาคารในกรณีฉุกเฉินได้

จากการวิจัย ผู้วิจัยได้กำหนดสถานการณ์การอพยพไว้ 6 สถานการณ์ที่มีสมมติฐานคล้ายคลึงกัน แตกต่างกันเพียงวิธีการค้นหาทางเดิน (Route selection) การกระจายจำนวนกลุ่มคนไปยังทางออกฉุกเฉิน พบว่า กรณีที่จะทำให้ระยะเวลาการอพยพออกจากชั้นได้เร็วที่สุด คือ การแบ่งจำนวนคนออกอย่างละเท่ากันแยกไปทั้งสองทิศทาง แต่สิ่งสำคัญคือ ทำอย่างไรเราจะควบคุมทิศทางของกลุ่มคนให้ได้ตามแบบจำลองที่คาดการณ์ไว้



รูป 5.1 การขึ้นทางในอาคาร [50]

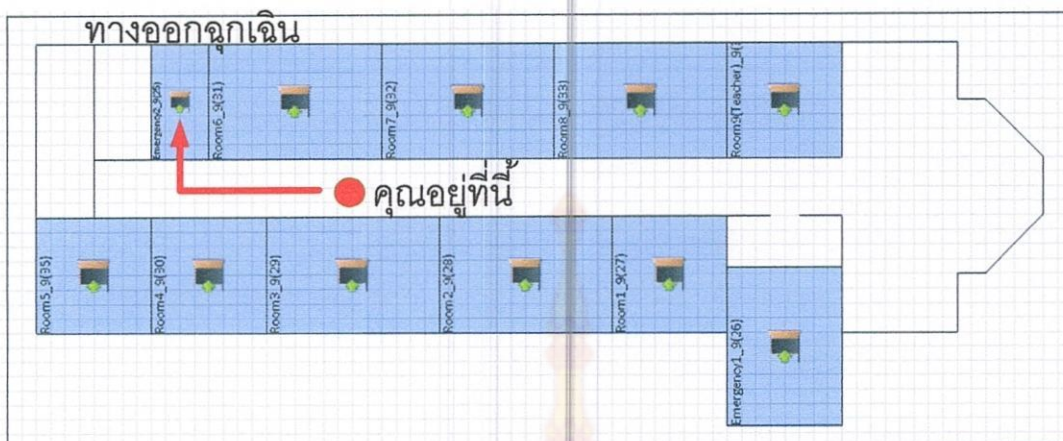
สำหรับการควบคุมการอพยพในบางอาคารที่มีเจ้าหน้าที่รักษาการณ์ดูแลความเรียบร้อยภายในอาคารนั้นจะมีความคล่องตัวกว่า เพราะมีผู้รับผิดชอบชัดเจนในแต่ละโซน แต่สำหรับอาคารเรียนเกือบทั้งหมด ยังขาดผู้รับผิดชอบส่วนนี้

ระเบียบแบบแผนการอพยพจะมี 5 ขั้นตอนหลัก คือ 1) หยุดการทำงานทุกอย่าง 2) ออกจากห้องไปยังประตูฉุกเฉินที่ใกล้ที่สุด โดยสังเกตป้ายนำทางเป็นหลัก 3) รายงานเหตุการณ์ ซึ่งได้แก่การนับจำนวนคน การรายงานคนสูญหาย และการส่งข้อมูลย้อนกลับไปยังผู้ดูแลการอพยพถึงสิ่งบกพร่องที่ควรปรับปรุงเพื่อรองรับการอพยพครั้งต่อไปในอนาคต และ 4) รอผู้ดูแลการอพยพชี้คำแนะนำที่เหมาะสมและห้ามกลับเข้าไปในอาคารอีกเด็ดขาด ดังนั้น สิ่งสำคัญสำหรับนักศึกษาและผู้ที่อยู่ภายในอาคาร คือ การรับรู้ทางออกฉุกเฉินที่ใกล้เคียงที่สุด



รูป 5.2 ทางเดินในอาคารพร้อมป้ายบอกเส้นทางหนี

จากรูป 5.2 แสดงให้เห็นแนวทางการขึ้นทางสู่ทางออกฉุกเฉิน เนื่องจากบริเวณผนังฝ้าเพดาน ยังมีพื้นที่ว่างเปล่า เพียงพอที่จะทำเครื่องมือขึ้น ในรูปแบบของแผนที่ที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ซึ่งแนะนำว่าควรติดที่หน้าประตู ผนังนอกห้องเรียนเป็นช่วง ๆ และบริเวณหน้าชั้นเรียนเพื่อให้นักศึกษาได้สังเกต



รูป 5.3 ตัวอย่างอย่างง่ายในการนำแผนที่นำทางไปยังประตูที่ใกล้ที่สุด

สำหรับงานวิจัยที่เสนอแนะในขั้นต่อไป ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงองค์ประกอบของอาคารทั้งหมด และการศึกษาการเดินทางของคนในเขตเมือง เพราะการอพยพเป็นสิ่งที่วิกฤติที่จริงแต่โอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก ในขณะที่การเดินทางในเขตเมือง สมควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อวางผังเมืองให้เหมาะสมกับชีวิตคนเมืองที่เปลี่ยนแปลงไปที่เน้นการเดินทางมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการเชื่อมต่อจากระบบขนส่งหนึ่งสู่อีกระบบหนึ่ง

บรรณานุกรม

- [1] พงศ์กฤษณ์ เสนีวงศ์. (2554) เราพร้อมก่อนภัยพิบัติมาเยือน.
- [2] พระราชบัญญัติป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. พ.ศ.2550, "พระราชบัญญัติป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. ลงวันที่ 28 สิงหาคม 2550.
- [3] Wikipedia. (2014) แผ่นดินไหวที่อำเภอพาน พ.ศ. 2557.
- [4] จารุศิริ, ปัญญา. (2555) ความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับแผ่นดินไหวในประเทศไทย. <http://www.cicc.chula.ac.th/th/current-campaign/203-likelihood-of-earthquakes-in-thailand.html>.
- [5] กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, "คู่มือการฝึกซ้อมแผนป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย," 2555.
- [6] C. Tipakornkiat, H. Kim and T. Limanond, "Method to Estimate The Speed and Density of The Pedestrian Sidewalk," Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, pp. 1100-1114, 2011.
- [7] W. Yuan and K. Tah, "An evacuation model using cellular automata," Physica A, vol. 384, pp. 549-566, 2007.
- [8] D. Helbing and P. Monar, "Social force model for pedestrian dynamics," Physical Review E, vol. E 51, pp. 4282-4286, 1995.
- [9] X. Li and T. Chen, "Lattice gas simulation and experiment study of evacuation dynamics," Physica A, vol. 387, pp. 5457-5465, 2008.
- [10] M. Isobe, T. Adachi and T. Nagatani, "Experiment and simulation of pedestrian counter flow," Physica A, 2004.
- [11] M. Toyama, A. C. Bazzan and R. Silva, "An agent-based simulation of pedestrian dynamcis: from lane formation to auditorium evacuation," Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems, pp. 108-110, 2006.
- [12] A. Braun, B. J. Bodmann and S. Musse, "Simulating virtual crowds in emergency situations," Proceeding of the ACM symposium on virtual reality software and technology, VRST'05, pp. 244-252, 2005.

- [13] C. Saloma, G. Perez, G. Tapang, M. Lim and C. Palmes-Saloma, "Self-organized queuing and scale-free behavior in real escape panic," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, PNAS 100, vol. 21, 2003.
- [14] S. Older, "Movement of pedestrians on footways in shopping streets," *Traffic Engineering & Control*, vol. 10, pp. 160-163, 1968.
- [15] J. Fruin, *Pedestrian planning and design*, Elevator world, 1971.
- [16] Y. . Tanaboriboon, S. Hwa and C. Chor, "Pedestrian characteristics study in Singapore," *Journal of transportation engineering*, vol. 112, no. 3, pp. 229-235, 1986.
- [17] W. K. Lam, J. Morrall and H. Ho., "Pedestrian flow characteristics in Hong Kong," *Transportation research record*, vol. 1487, pp. 56-62, 1995.
- [18] K. Laxman, R. Rastogi and S. Chandra, "Pedestrian flow characteristics in mixed traffic conditions," *Journal of urban planning and development*, pp. 23-33, 2010.
- [19] Y. Tanaboriboon and Q. Jing, "Chinese pedestrians and their walking characteristics: case study in Beijing," *Transportation research record*, vol. 1441, 1994.
- [20] G. Antonini, M. Bierlaire and M. Weber, "Discrete choice models of pedestrian walking behavior," *Transportation research part B*, vol. 40, pp. 667-687, 2006.
- [21] A. Braun, B. J. Bodmann and S. Musse, "Simulating virtual crowds in emergency situations," *Proceeding of the ACM symposium on virtual reality software and technology*, VRST'05, pp. 244-252, 2005
- [22] A. Hanisch, J. Tolujew, K. Richter and T. Schulze, "Online simulation of pedestrian flow in public buildings," *Proceedings of the 2003 winter simulation conference*, 2003.
- [23] M. Han, D. Nam, Y. Kang and Y. Lee, "Development of pedestrian simulation for transfer center operation analysis," *2nd joint student seminar on civil infrastructures*, 2009.
- [24] M. Gangi and P. Velona, "Multimodal mesoscopic approach in modelling pedestrianb evacuation," *Transportation research record*, vol. 2090, pp. 51-58, 2009.
- [25] K. Kitazawa and T. Fujiyama, "Pedestrian vision and collision avoidance behavior: investigation of the information process space of pedestrians using an eye tracker.," *Pedestrian and evacuation dynamics 2008*, pp. 107-108, 2008.

- [26] X. Xu, W. Song and H. Zheng, "Discretization Effect in A Multi-Grid Egress Model.," *Physica A*, vol. 387, pp. 5567-5574, 2008.
- [27] X. Chen and F. Zhan, "Agent-Based Modeling and Simulation of Urban Evacuation: Effectiveness of Simultaneous and Staged Evacuation strategies.," *Transportation Research Record 83rd Annual Meeting*, 11-15 January 2004.
- [28] H. Fu, "Development of Dynamic Travel Demand Models for Hurricane Evacuation.," Baton Rouge, LA, 2004.
- [29] R. Alsnih and P. Stopher, "A Review of the Procedures Associated with Devising Emergency Evacuation Plans.," *Transportation Research Record* , 11-15 January 2004.
- [30] F. Southworth, *Regional Evacuation Modeling: A State of the Art Review.*, Oak Ridge: ORNL/TM-11740 Oak Ridge National Laboratory (ORNL), 1991.
- [31] T. Charnkol, "Evacuation Behavioural Analysis for Tsunami Disaster: Transportation Disaster Response.," *Asian Institute of Technology*, 2006, 2006.
- [32] L. . Jan , A. J. Horowitz and Z.-R. Peng , "Using global positioning system data to understand variations in path choice.," *Transportation research record*, vol. 1725, 2000.
- [33] A. Khattak , J. Schofer and F. Koppelman , "Factors influencing commuters' en-route diversion behavior in response to delay.," *Transportation research record*, vol. 1318, pp. 125-136, 1991.
- [34] A. Polydoropoulou , M. Ben-Akive and I. Kaysi , "Influence of traffic information on drivers' route choice behaviour.," *Transportation research record*, vol. 1453, pp. 56-65, 1994.
- [35] S. Madanat , C. David Yang and Y. Yen , "Analysis of stated route diversion intentions under advanced travel information systems using latent variable modeling," *Transportation research record*, vol. 1485, pp. 10-17, 1995.
- [36] M. Abdel-Aty , R. . Kitamura and P. . Jovanis , "Using stated preference data for studying the effect of advanced traffic information on drives' route choice.," *Transportation research C*, vol. 5, no. 1, pp. 39-50, 1997.
- [37] J. Duffel and A. Kalombaris , "Empirical studies of car driver route choice in Hertfordshire.," *Traffic Engineering and Control*, vol. 27, no. 7, pp. 398-408, 1988.

- [38] M. Abel-Aty , K. Vaughn , R. Kitamura , P. Jovanis and F. Mannering , "Models of commuters' information use and route choice: initial results based on southern california commuter route choice survey," *Transportation research record*, vol. 1453, pp. 46-55, 1994.
- [39] A. Khattak , J. Schofer and F. Koppelman , "Effect of traffic information on commuters' propensity to change route and departure time," *Journal of advanced transportation*, vol. 29, no. 2, pp. 193-212, 1995.
- [40] D. Huchingson , R. McNees and C. . Dudek , "Survey of motorist route-selection criteria," *Transportation research record*, vol. 643, pp. 45-48, 1977.
- [41] B. Barrett , B. Ran and R. Pillai , "Developing a dynamic traffic management modelling framework for hurricane evacuation.," *Transportation research record: Journal of the transportation research board*, vol. 1733, pp. 115-121, 2000.
- [42] P. Iraguen and J. d. D. Ortuzar , "Willingness-to-pay for reducing fatal accident risk in urban areas: an Internet-based Web page stated preference survey," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 36, pp. 513-524, 2004.
- [43] L. I. Rizzi and J. d. D. Ortuzar , "Stated preference in the valuation of interurban road safety," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 35, pp. 9-22, 2003.
- [44] British Standards Institute, *The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings: Part 6: Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)*, Institute British Standards, 2004.
- [45] A. Borrmann, A. Kneidl, G. Koster, S. Ruzika and M. Thiemann, "Bidirectional Coupling of Macroscopic and Microscopic Pedestrian Evacuation Models.," *Safety Science*, vol. 50, pp. 1695-1703, 2012.
- [46] D. Zhao, L. Yang and J. Li, "Occupants' Behavior of going with the crowd based on cellular automata occupant evacuation model.," *Physica A*, vol. 387, pp. 3708-3718, 2008.
- [47] Z. Xiaoping, Z. Tingkuan and L. Mengting, "Modeling Crowd Evacuation of a Building Based on Seven Methodological Approaches," *Building and Environment*, vol. 44, pp. 437-445, 2009.

- [48] X. Zheng and Y. Cheng, "Conflict Game in Evacuation Process: A Study Combining Cellular Automata Model.," *Physica A*, vol. 390, pp. 1042-1050, 2011.
- [49] D. Helbing, I. Farkas, P. Molnar and T. Vicsek, "Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Simulations in Antonini, G., Bierlaire. M., and Weber, M. Discrete Choice Models of Pedestrian Walking Behaviour," *Transportation Research Part B*, vol. 40, pp. 667-687, 2002.
- [50] Building and Office Evacuation Training Video - Safetycare Workplace Fire Safety



