

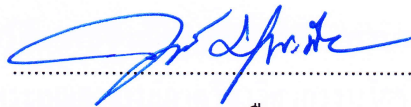
การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
ในประเทศไทย


ธนา น้อยเรือน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มีนาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ ธนา น้อยเรือน ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

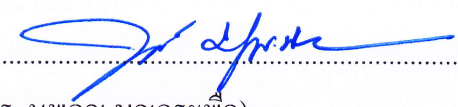
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร. นพคุณ บุญกระพือ)

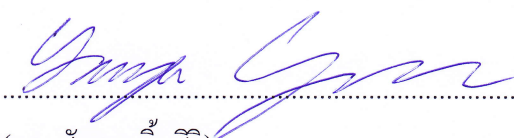

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ฉกร อินทร์พุง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สโรช บุญศิริพันธ์)


..... กรรมการ
(ดร. นพคุณ บุญกระพือ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ฉกร อินทร์พุง)


..... กรรมการ
(ดร. สัญญา ยิ้มศิริ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 29 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร. นพคุณ บุญกระพือ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร. ฉกร อินทร์พุง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่กรุณาให้ความรู้ และให้คำแนะนำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำแก้ไข และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพ จึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยเมืองอัจฉริยะ คณะโลจิสติกส์ ที่อนุเคราะห์เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการดำเนินการ และการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) ที่อนุเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อมณี คุณแม่สมศรี น้อยเรือน และพี่น้องทุกคนที่ให้อกำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ธนา น้อยเรือน

57910225: สาขาวิชา: วิศวกรรมโยธา; วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา)

คำสำคัญ: การอพยพ/ สถานีรถไฟใต้ดิน/ แบบจำลองคนเดินเท้า

รนา น้อยเรือน: การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินในประเทศไทย (APPLYING PEDESTRIAN SIMULATION TO ANALYSIS THE EVACUATION AT UNDERGROUND RAILWAY STATION IN THAILAND) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: นพคุณ บุญกระพือ, Ph.D., ณคร อินทร์พุง, Ph.D. 228 หน้า. ปี พ.ศ. 2560

การศึกษาศึกษาสนใจพฤติกรรมเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟใต้ดินในประเทศไทย เพื่อใช้พัฒนา ปรับเทียบแบบจำลอง และวิเคราะห์อัตราการไหลออกของผู้อพยพที่มีผลจากขนาดและรูปแบบของบันได รวมถึงเวลาการอพยพผู้โดยสารจากชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินของสถานีรถไฟใต้ดิน โดยวิเคราะห์รูปแบบการอพยพ 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้นบันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดใช้งาน กรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง และกรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง พร้อมแปรเปลี่ยนจำนวนผู้โดยสารที่รอนบนชานชาลา แบบจำลองถูกปรับเทียบกับข้อมูลการสำรวจ ผลที่ได้จะถูกเปรียบเทียบกับค่าเวลาการอพยพตามมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA 130) พบว่าพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้โดยสารเพศชายมีความเร็วมากกว่าเพศหญิง และที่ช่วงอายุผู้โดยสารเดียวกันจะมีความเร็วในการเดินใกล้เคียงกัน ความลาดชันของบันไดมีผลกระทบต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ แต่อัตราการระบายการอพยพไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากความลาดชันถูกชดเชยด้วยความยาวของบันได และความสบายในการเดินบนบันได การระบายผู้อพยพจะแปรผันตามความกว้างของบันได และเวลาการอพยพผู้โดยสารที่สถานีรถไฟใต้ดินที่มีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกันพบว่ากลุ่มรูปแบบสถานีห้วยขวางการอพยพกรณีที่ 1-3 จำนวนผู้อพยพที่มากกว่า 2,350, 3,150 และ 3,500 คน ตามลำดับ กลุ่มรูปแบบสถานีสุขุมวิท ที่กรณีที่ 1-3 จำนวนผู้อพยพไม่เกิน 2,600, 2,850 และ 2,950 คน ตามลำดับ กลุ่มรูปแบบสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย ในกรณีที่ 1-3 จะสามารถระบายผู้อพยพได้ไม่เกิน 2,300, 3,050 และ 3,650 คน ตามลำดับ และรูปแบบสถานีสีลมในกรณีที่ 1-3 จะต้องมีจำนวนผู้โดยสารในการอพยพไม่เกิน 1,300, 1,850 และ 2,200 คน ตามลำดับ ถ้าหากจำนวนผู้โดยสารมีมากกว่าที่กล่าวมาเวลาการอพยพผู้โดยสารจากชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยจะใช้เวลามากกว่า 6 นาที และเวลาการอพยพขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการระบายของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ เช่น บันไดกว้าง 1.80 เมตร และบันไดเลื่อน 1 เครื่อง สามารถระบายผู้อพยพได้ประมาณ 120 และ 80-100 คนต่อนาที ตามลำดับ และการเปิดบันไดเลื่อน 1 เครื่อง จะเพิ่มประสิทธิภาพการอพยพได้เฉลี่ยประมาณ 13-16 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางพื้นฐานในการพิจารณาออกแบบ วางแผน และจัดการการอพยพภายในสถานีรถไฟใต้ดินในประเทศไทยในการระบายผู้โดยสารออกจากสถานี เพื่อให้ไม่ทำให้ผู้โดยสารภายในสถานีมีปริมาณที่มากกว่าค่าดังกล่าว

57910225: MAJOR: CIVIL ENGINEERING; M.Eng. (CIVIL ENGINEERING)

KEYWORDS: EVACUATION/ UNDERGROUND RAILWAY STATION/ PEDESTRIAN
SIMULATION

TANA NOIRUEAN: APPLYING PEDESTRIAN SIMULATION TO ANALYSIS THE
EVACUATION AT UNDERGROUND RAILWAY STATION IN THAILAND. ADVISORY

COMMITTEE: NOPPAKUN BOONGRAPUE, Ph.D., NAKORN INDRA-PAYOONG, Ph.D. 228 P. 2017

This study is to investigate the moving behaviors of pedestrians in underground railway stations in Thailand. These behaviors data were used in pedestrian model development and calibration process in order to analysis the evacuation time in different scenarios. Different sizes of staircase that effects to the pedestrian evacuation flow rate were explored as well. The evacuation of travel times between platform and safe area on the ground level with three different evacuation scenarios were compared and analyzed. The evacuation scenarios were following cases; case 1: using only staircase, case: 2 using staircase and one escalator, and case 3: using staircase and two escalators. The simulation models were calibrated by using the real data set collected at the underground railway station. Then, the results were compared to the standard evacuation time used by National Fire Protection Association (NFPA 130). The results reveal that male pedestrians walk a bit faster than the female and a passenger of the same age tends to have similar walking speed. Regarding the width and slope of stairs, they significantly affect the moving speed but do not significantly influence the evacuation flow rate (at significance level 0.05). It is because compensation by the stair length and other convenient facilities. The wider the stairs the greater the number of evacuees can be. The results of evacuation at underground railway stations with the basis of different structural characteristics for the case study were found following; HuaiKhwang station, the evacuation of case 1- 3 can carry 2,350, 3,150 and 3,500 evacuees, respectively. Sukhumvit station, the evacuation of case 1-3 can carry 2,600, 2,850 and 2,950 evacuees, respectively. Thailand Cultural Centre station, the evacuation of case 1-3 can carry 2,300, 3,050 and 3,650 evacuees, respectively. Silom station, the evacuation of case 1-3 can carry 1,300, 1,850 and 2,000 evacuees, respectively. The evacuation time will be more than six minutes when the number of evacuees exceeds a certain value. The effectiveness of the evacuation facilities is the determinant of the evacuation speed. For instance, one 1.8 m. width stairs and one escalator achieve a maximum one-way pedestrian evacuation flow of 120 and 80-100 ped/min. respectively. If one more escalator is in operation, the effectiveness of pedestrian evacuation will increase by approximately 13-16 percent. The obtained pedestrian simulation evacuation model can be used as a basic guideline for designing, planning, and operating pedestrian evacuation at Thailand's underground railway stations.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	5
ขอบเขตของการวิจัย	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
คนเดินเท้า.....	7
สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนเดินเท้า	8
การเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า	24
การเคลื่อนที่ของฝูงชนคนเดินเท้า	28
การเคลื่อนที่ของการอพยพ.....	31
มาตรฐานที่เกี่ยวกับงานวิจัย.....	43
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของคนเดินเท้า	62
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	73
การสำรวจพื้นที่และเก็บข้อมูล.....	73
การคัดเลือกแบบจำลอง	75
การเก็บข้อมูล	75
การสร้างแบบจำลอง.....	79
การเปรียบเทียบแบบจำลอง	88
การวิเคราะห์ผลของแบบจำลอง	90
การอภิปรายและสรุปการศึกษา	92

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 การพัฒนาแบบจำลองคนเดินเท้า.....	93
การพัฒนาแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์ขนาดของบันได.....	93
การพัฒนาแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์การอพยพบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน	97
5 การเปรียบเทียบแบบจำลอง	125
6 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	137
การสำรวจลักษณะ โครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน.....	137
สัดส่วนผู้ใช้บริการสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินโดยแบ่งเพศและอายุ.....	139
พฤติกรรมคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย	141
ประสิทธิภาพของขนาดและรูปแบบของบันไดภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน.....	143
เวลาการอพยพผู้โดยสารของรูปแบบโครงสร้างสถานีแบบต่าง ๆ.....	151
อภิปรายผล	183
7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	194
สรุปผลการวิจัย.....	194
ข้อเสนอแนะ.....	197
บรรณานุกรม	198
ภาคผนวก	205
ประวัติย่อของผู้วิจัย	228

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	ปัจจัยการปรับแก้ของสิ่งกีดขวางที่ถูกติดตั้งไว้ของทางเดิน 13
2-2	ค่าเฉลี่ยการไหลของระดับการให้บริการทางเดิน และทางเดินด้านข้าง 16
2-3	ระดับการให้บริการของทางเดิน 16
2-4	ความสามารถบันไดเลื่อน 21
2-5	รายชื่อของภัยพิบัติของฝูงชนขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ปี 1970 32
2-6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองการอพยพสำหรับคนเดินเท้า 55
2-7	ตัวเลือกประเภทของคนเดินเท้าใน Legion for Aimsun 67
3-1	ตัวอย่างตารางการตรวจสอบลักษณะ โครงสร้างทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน. 76
3-2	แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมคนเดินเท้าบนพื้นราบ ทิศทางการเดินขึ้น และลงบันได ภายในสถานีรถไฟฟ้าจากภาพถ่าย VDO 79
3-3	เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลอง 89
4-1	ความเร็วของคนเดินเท้าแต่ละประเภทจากข้อมูลการสำรวจ 94
4-2	การแบ่งกลุ่มประเภทของคนเดินเท้าในการสร้างแบบจำลอง 94
4-3	รายละเอียดการกำหนดประเภทคนเดินเท้าในแบบจำลอง 95
4-4	ปริมาณคนเดินเท้าสำหรับการจำลองการอพยพผู้โดยสารสถานีห้วยขวาง 110
4-5	คนเดินเท้าสำหรับการจำลองการอพยพผู้โดยสารสถานีสุขุมวิท 112
4-6	ปริมาณคนเดินเท้าสำหรับการจำลองการอพยพผู้โดยสารสถานีศูนย์วัฒนธรรม แห่งประเทศไทย 117
4-7	ปริมาณคนเดินเท้าสำหรับการจำลองการอพยพผู้โดยสารสถานีสีลม 122
5-1	ผลการปรับเทียบแบบจำลองบริเวณทางเดินปกติสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท 128
5-2	ผลการปรับเทียบแบบจำลองบริเวณบันไดทิศทางขึ้นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท 131
5-3	ผลการปรับเทียบแบบจำลองบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สุขุมวิท 135
6-1	คุณลักษณะของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล 138
6-2	สัดส่วนเพศและอายุของผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าใต้ดินที่ให้บริการปัจจุบัน 140

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6-3 ผลการสำรวจความเร็วของผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในสถานการณัปกติ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	142
6-4 เวลาการอพยพของคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 1 บันไดทางตรง	144
6-5 เวลาการอพยพของคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 2 บันไดทางตรงคู่.....	147
6-6 เวลาการอพยพของคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 3 บันไดแบบหักกลับ	149
6-7 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง กรณีที่ 1.....	153
6-8 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง กรณีที่ 2.....	156
6-9 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง กรณีที่ 3.....	159
6-10 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท กรณีที่ 1.....	163
6-11 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท กรณีที่ 2.....	165
6-12 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท กรณีที่ 3.....	167
6-13 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรม แห่งประเทศไทย กรณีที่ 1.....	170
6-14 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรม แห่งประเทศไทย กรณีที่ 2.....	172
6-15 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรม แห่งประเทศไทย กรณีที่ 3.....	174
6-16 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลม กรณีที่ 1.....	177
6-17 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลม กรณีที่ 2.....	179
6-18 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลม กรณีที่ 3.....	181
6-19 เวลาการเดินทางเฉลี่ยในการอพยพผู้โดยสารในแต่ละสถานี	188
6-20 ประสิทธิภาพเวลาการอพยพสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง	189
6-21 ประสิทธิภาพเวลาการอพยพสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย	190
6-22 ประสิทธิภาพเวลาการอพยพสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท	192
6-23 ประสิทธิภาพเวลาการอพยพสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลม	193
7-1 จำนวนผู้โดยสารที่อพยพมากที่สุดในการอพยพที่ปลอดภัยและอัตราการไหลออก	195

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 จำนวนผู้โดยสารรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนเฉลี่ยต่อวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2542-2557	2
1-2 ผลการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสาร (คน-เที่ยว/วัน) ตามแผนแม่บทในปี พ.ศ. 2572	3
2-1 พื้นที่ที่ต้องการรูปวงรีของคนเดินเท้า	9
2-2 รูปแบบตามหลักทฤษฎีการไหลของคนเดินเท้าในทางเดียว.....	9
2-3 ความเร็วกับความหนาแน่นของคนเดินเท้า	10
2-4 ความเร็วกับการไหลของคนเดินเท้า.....	11
2-5 การไหลกับพื้นที่ของคนเดินเท้า	11
2-6 ความเร็วกับพื้นที่ของคนเดินเท้า.....	12
2-7 ผลของความกว้างทางเดิน	14
2-8 ความเร็วการเดินของคนเดินเท้า.....	15
2-9 ความเร็วการเดินและชนิดของคนเดินเท้า	15
2-10 อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยที่จะหยุดของบันไดเลื่อน	22
2-11 การจัดเรียงตัวของฝูงชนคนเดินเท้าที่เกิดการบิดตัว	31
2-12 การออกจากห้องในสถานการณ์ที่มองเห็นได้ดี และทางออกไม่สามารถมองเห็นได้	37
2-13 สถานการณ์การหยุดการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าที่ใช้ทางเดินเท้าในทิศทางตรงข้ามกัน .	39
2-14 เซลล์จำลองสถานการณ์ที่หลายคนเดินเท้ามีการประชันหน้ากันสำหรับช่องว่าง	41
2-15 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับเวลาของการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าที่ความหนาแน่น แตกต่างกัน	42
2-16 ผังความหนาแน่นของแบบจำลอง LIGION SPACE WORKS.....	69
3-1 ขั้นตอนการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์โดยสรุป	74
3-2 การเก็บความเร็วของคนเดินเท้าบนพื้นราบ	77
3-3 การเก็บความเร็วของคนเดินเท้าในทิศทางขึ้นและลงบันได	78
3-4 การเก็บการไหลของคนเดินเท้าที่ AFG gate.....	78
3-5 บันไดแบบที่ 1 บันไดทางตรง (STRAIGHT RUN).....	80
3-6 บันไดแบบที่ 2 บันไดทางตรงคู่ (DOUBLE STRAIGHT RUN)	81
3-7 บันไดแบบที่ 3 บันไดหักกลับ (RETURN STAIR)	81

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-8 สถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างแบบจำลองการอพยพ	82
3-9 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเบื้องต้น	85
3-10 ตัวแปรพื้นฐานในการวิเคราะห์ด้านการจราจรของคนเดินเท้าจากแบบจำลอง	91
4-1 การกำหนดประเภทของคนเดินเท้าในแบบจำลอง	94
4-2 การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ขนาดของบันไดรูปแบบทางตรง	96
4-3 การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ขนาดของบันไดรูปแบบทางตรงคู่	96
4-4 การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ขนาดของบันไดรูปแบบหักกลับ	97
4-5 แนวทางการพิจารณาเวลาการอพยพบริเวณสถานีรถไฟฟ้่า	98
4-6 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง	99
4-7 การสร้างประเภทคนเดินเท้า	100
4-8 การสร้างพื้นที่และอุปสรรคสำหรับคนเดินเท้า	101
4-9 การสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนเดินเท้า	101
4-10 การสร้างจุดกำเนิดและสิ้นสุดการเดินทาง การกำหนดเส้นทางการเดิน และปริมาณการ เดินทางของคนเดินเท้า	102
4-11 การสร้างการขนส่งสาธารณะ	104
4-12 สร้างสถานการณ์การจำลอง	106
4-13 การวัดความหนาแน่นของผู้โดยสารจากสถานการณ์จริงพื้นที่วัดขนาด 3.60x4.80 เมตร	107
4-14 แปลนสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินห้วยขวาง	108
4-15 รูปแบบสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินห้วยขวาง	109
4-16 พื้นที่สำหรับคำนวณปริมาณผู้โดยสารบนชานชาลาสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินห้วยขวาง	109
4-17 การกำหนดเส้นการอพยพของผู้โดยสารและจุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลอง บนชั้นชานชาลาสถานีห้วยขวาง	111
4-18 การกำหนดเส้นการอพยพของผู้โดยสารและจุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลอง บนชั้นออกบัตรโดยสารสถานีห้วยขวาง	111
4-19 พื้นที่สำหรับคำนวณปริมาณผู้โดยสารบนชานชาลาสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินสุขุมวิท	112
4-20 แปลนสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินสุขุมวิท	113

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่	
4-21 การกำหนดเส้นการอพยพของผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลอง บนชั้นชานชาลาสถานีสุขุมวิท.....	114
4-22 การกำหนดเส้นการอพยพของผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลอง บนชั้นออกบัตรโดยสารสถานีสุขุมวิท	114
4-23 การกำหนดเส้นการอพยพของผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลองบนชั้นรวม ผู้โดยสารสถานีสุขุมวิท	115
4-24 แปลนสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย	116
4-25 พื้นที่สำหรับคำนวณปริมาณผู้โดยสารบนชานชาลาสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย	117
4-26 การกำหนดเส้นการอพยพผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลอง บนชั้นชานชาลาสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย.....	118
4-27 การกำหนดเส้นการอพยพผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลอง บนชั้นสายสีส้มสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย.....	118
4-28 การกำหนดเส้นการอพยพ จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลองบนชั้นออกบัตร โดยสารสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย.....	118
4-29 แปลนสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลม	120
4-30 รูปแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลม.....	121
4-31 พื้นที่สำหรับคำนวณปริมาณผู้โดยสารบนชานชาลาชั้นล่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลม....	121
4-32 พื้นที่สำหรับคำนวณปริมาณผู้โดยสารบนชานชาลาชั้นบนสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลม	121
4-33 การกำหนดการใช้ของเครื่องมือและการติดตั้งในแบบจำลองบนชั้นชานชาลาชั้นล่าง	123
4-34 การกำหนดการใช้ของเครื่องมือและการติดตั้งในแบบจำลองบนชั้นห้องเครื่อง.....	123
4-35 การกำหนดการใช้ของเครื่องมือและการติดตั้งในแบบจำลองบนชั้นชานชาลาชั้นบน.....	124
4-36 การกำหนดการใช้ของเครื่องมือและการติดตั้งในแบบจำลองบนชั้นออกบัตรโดยสาร ...	124
5-1 การเก็บข้อมูลพฤติกรรมเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าบริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท	126

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5-2 การเปรียบเทียบแบบจำลองคนเดินเท้าบริเวณชั้นออกบัตรโดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สุขุมวิท	127
5-3 การเปรียบเทียบเวลาการเดินทางของคนเดินเท้าบริเวณทางเดินปกติ.....	129
5-4 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของคนเดินเท้าบริเวณทางเดินปกติ	129
5-5 การเก็บข้อมูลพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าบริเวณบันไดทิศทางขึ้นสถานี รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท.....	130
5-6 การเปรียบเทียบแบบจำลองคนเดินเท้าบริเวณบันไดทิศทางขึ้นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สุขุมวิท	131
5-7 การเปรียบเทียบเวลาการเดินทางของคนเดินเท้าบริเวณบันไดทิศทางขึ้น	132
5-8 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของคนเดินเท้าบริเวณบันไดทิศทางขึ้น	133
5-9 การเก็บข้อมูลพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน.....	134
5-10 การเปรียบเทียบแบบจำลองคนเดินเท้าบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สุขุมวิท	134
5-11 การเปรียบเทียบเวลาการเดินทางของคนเดินเท้าบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น	136
5-12 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของคนเดินเท้าบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น	136
6-1 สัดส่วนผู้ใช้บริการบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย.....	140
6-2 การวัดความเร็วผู้โดยสารบริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร	141
6-3 การวัดความเร็วผู้โดยสารบริเวณบันได	141
6-4 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันได รูปแบบที่ 1 บันไดทางตรง.....	146
6-5 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันได รูปแบบที่ 2 บันไดทางตรงคู่	148
6-6 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันได รูปแบบที่ 3 บันไดแบบหักกลับ	151
6-7 การกำหนดสมมติฐานการอพยพสถานีห้วยขวางทั้ง 3 กรณี	152

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6-8 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสารกรณีที่ 1.....	154
6-9 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยัง จุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 1	154
6-10 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 1	155
6-11 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสารกรณีที่ 2.....	157
6-12 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยัง จุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 2	157
6-13 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 2	158
6-14 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสารกรณีที่ 3.....	160
6-15 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยัง จุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 3	160
6-16 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 3	161
6-17 การกำหนดสมมติฐานการอพยพสถานีสุขุมวิททั้ง 3 กรณี	162
6-18 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 1	164
6-19 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 2	166
6-20 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 3	168
6-21 การกำหนดสมมติฐานการอพยพสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยทั้ง 3 กรณี	169

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6-22 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยจาก ชั้นชานชาลา ไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 1	171
6-23 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยจาก ชั้นชานชาลา ไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 2	173
6-24 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยจาก ชั้นชานชาลา ไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดิน กรณีที่ 3	175
6-25 การกำหนดสมมติฐานการอพยพสถานีสีลมทั้ง 3 กรณี	176
6-26 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินสีลมจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 1	178
6-27 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินสีลมจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 2	180
6-28 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินสีลมจากชั้นชานชาลาไปยัง ชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดิน กรณีที่ 3	182
6-29 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันได รูปแบบที่ 1 บันไดทางตรง.....	185
6-30 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันได รูปแบบที่ 2 บันไดทางตรงคู่	185
6-31 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันได รูปแบบที่ 3 บันไดแบบหักกลับ.....	186

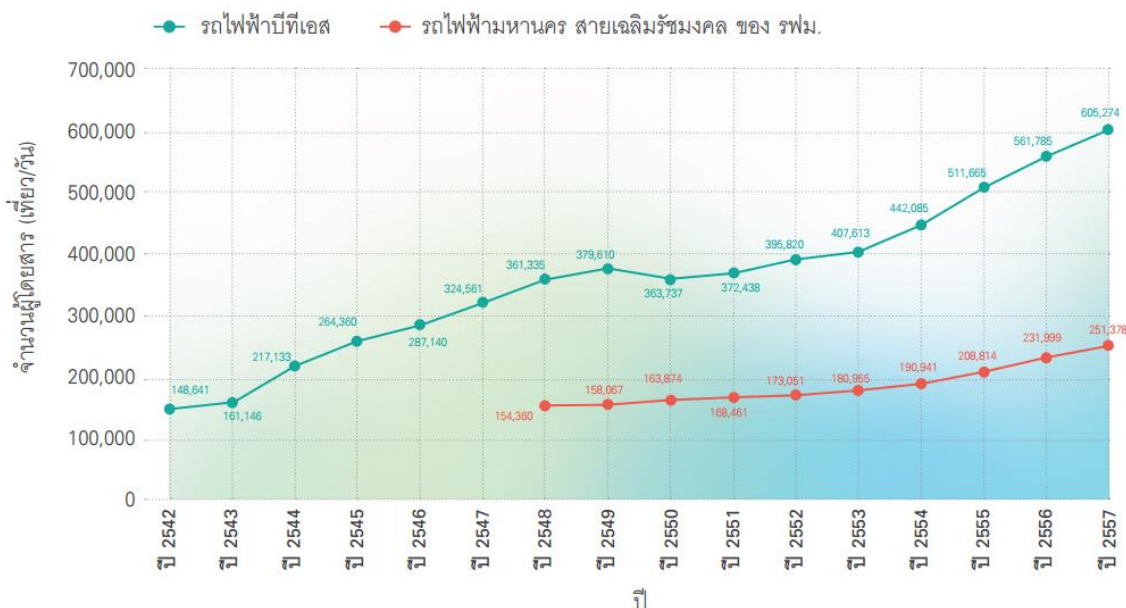
บทที่ 1

บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้มุ่งเน้นในการศึกษาพฤติกรรมการเดินทางของคนเดินเท้า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของทุกระบบการขนส่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากคนเดินเท้าเป็นตัวขับเคลื่อนหลักของระบบขนส่งที่ทำให้เกิดความสมบูรณ์ โดยวิทยานิพนธ์นี้เป็นการคาดการณ์และเปรียบเทียบผลจากการสร้างแบบจำลองคนเดินเท้าภายในสถานีขนส่งสาธารณะ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ และวางแผน ในอนาคตต่อไป

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อกล่าวถึงหัวใจของการขนส่งมักจะมุ่งเน้นการเคลื่อนที่ของคนมากกว่าการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งปัญหาด้านการจราจรในเมืองหลวงหรือพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นของประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้คนบางส่วนเปลี่ยนไปใช้ระบบขนส่งสาธารณะมากขึ้น ซึ่งระบบขนส่งสาธารณะของประเทศไทยในปัจจุบันมีให้เลือกหลายทาง เช่น ระบบการขนส่งทางถนน ทางน้ำ ทางอากาศ การขนส่งระบบราง และรวมทั้งการขนส่งรูปแบบอื่น ความต้องการเดินทางที่มีปริมาณสูงขึ้นของผู้คนในเขตเมืองที่มีประชากรหนาแน่นนั้น ระบบขนส่งที่สำคัญคงหนีไม่พ้นการขนส่งระบบราง เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถเคลื่อนย้ายคนและสินค้าได้จำนวนมากต่อเที่ยวการเดินทาง โดยจากข้อมูลของการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ได้ระบุปริมาณผู้โดยสารต่อตู้ของรถไฟฟ้าที่ประมาณ 700-1,000 คนต่อขบวน (3 ตู้) (บริษัทการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย, 2558) โดยโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นในการดำเนินการสำหรับการขนส่งระบบราง เพื่อรองรับการใช้บริการแก่ผู้โดยสาร คือ ชานชาลา (Platform) โดยพื้นที่ดังกล่าวเป็นที่รวมตัวของผู้ใช้บริการจำนวนมากที่รอขึ้น และลงจากระบบขนส่งนั้น ๆ และเมื่อพิจารณาถึงจำนวนผู้โดยสารที่ใช้ระบบขนส่งสาธารณะในส่วนของรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เฉลี่ยต่อวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2557 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 จำนวนผู้โดยสารรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนเฉลี่ยต่อวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2557 (บริษัท การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย, 2558)

สำหรับในส่วนของรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ในปีงบประมาณ 2548 มีจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย 154,360 คน-เที่ยว/วัน และเพิ่มขึ้นเป็น 251,378 คน-เที่ยว/วัน ในปีงบประมาณ 2557 เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 5.61 ต่อปี ทั้งนี้จากการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารกรณีมีโครงการตามแผนแม่บทระบบขนส่งมวลชนทางรางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลพบว่าปริมาณผู้โดยสารรถไฟฟ้าโดยรวมในปี พ.ศ. 2557 มีประมาณ 1,840,000 คน-เที่ยว/วัน เพิ่มขึ้น 4,384,000 คน-เที่ยว/วัน ในปี พ.ศ. 2562 และ 7,680,000 คน-เที่ยว/วัน ในปี พ.ศ. 2572 คิดเป็นอัตราการเพิ่มเฉลี่ยร้อยละ 8.22 ต่อปี ทั้งนี้สัดส่วนของปริมาณผู้โดยสารจากการเปลี่ยนถ่ายระบบ (Transfer) โดยรวมในปี พ.ศ. 2557 จะมีค่าประมาณร้อยละ 14.89 เพิ่มขึ้นร้อยละ 26.98 และ 34.86 ของปริมาณผู้โดยสารรถไฟฟ้าทั้งหมด ในปี พ.ศ. 2562 และ 2572 ตามลำดับ โดยโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน ช่วงบางซื่อ-ท่าพระ และหัวลำโพง-บางแค เป็นเส้นทางที่มีสัดส่วนการเปลี่ยนถ่ายระบบมากที่สุดประมาณร้อยละ 31-40 ของปริมาณผู้โดยสารรถไฟฟ้าทั้งหมดสอดคล้องกับผลสำรวจข้อมูลการเดินทางที่ผู้เดินทางส่วนใหญ่ต้องการเดินทางเข้าสู่ใจกลางเมือง (บริษัทการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย, 2558) ดังแสดงในภาพที่ 1-2 ด้วยเหตุนี้สิ่งที่ควรถูกพิจารณาอย่างรอบคอบในการออกแบบ และวางแผน นั่นคือ เรื่องของความปลอดภัยของผู้โดยสารในระบบขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขนส่งระบบรางที่มีการเข้าออกและรูปแบบของพื้นที่ปดมี

ทางเข้าและออกที่จำกัด เช่น รถไฟฟ้าใต้ดิน ด้วยผู้ให้บริการที่มาก หากมีเหตุการณ์ฉุกเฉินเกิดขึ้น เช่น ระเบิด ไฟไหม้ การแพร่กระจายของแก๊สพิษ หรืออุบัติเหตุอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดความสูญเสียที่ร้ายแรงต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้โดยสารที่เข้ามาใช้บริการ ดังนั้นการออกแบบและการวางแผนที่ดีของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะช่วยลดความรุนแรงในกรณีของเหตุการณ์ฉุกเฉินที่เกิดขึ้นได้

สาย	แผน 5 ปี พ.ศ. 2557			แผน 10 ปี พ.ศ. 2562			แผน 20 ปี พ.ศ. 2572		
	Boarding	Transfer	Total	Boarding	Transfer	Total	Boarding	Transfer	Total
สายสีแดงเข้ม	110,000	12,000	122,000	357,000	119,000	476,000	518,000	204,000	722,000
สายสีแดงอ่อน	38,000	12,000	50,000	145,000	83,000	228,000	253,000	218,000	471,000
ARL	119,000	9,000	128,000	144,000	33,000	177,000	161,000	59,000	220,000
สายสีเขียวเข้ม	600,000	55,000	655,000	721,000	165,000	886,000	1,038,000	410,000	1,448,000
สายสีเขียวอ่อน	376,000	40,000	416,000	246,000	132,000	378,000	272,000	168,000	440,000
สายสีน้ำเงิน	254,000	119,000	373,000	673,000	301,000	974,000	974,000	562,000	1,536,000
สายสีม่วง	69,000	27,000	96,000	372,000	132,000	504,000	490,000	225,000	715,000
สายสีส้ม	-	-	-	377,000	165,000	542,000	521,000	291,000	812,000
สายสีชมพู	-	-	-	166,000	53,000	219,000	233,000	121,000	354,000
สายสีเหลือง	-	-	-	-	-	-	175,000	139,000	314,000
สายสีเทา	-	-	-	-	-	-	206,000	136,000	342,000
สายสีฟ้า	-	-	-	-	-	-	162,000	144,000	306,000
รวมทั้งสิ้น	1,566,000	274,000	1,840,000	3,201,000	1,183,000	4,384,000	5,003,000	2,677,000	7,680,000

ภาพที่ 1-2 ผลการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสาร (คน-เที่ยว/วัน) ตามแผนแม่บทในปี พ.ศ. 2572
(บริษัท การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย, 2558)

อุบัติการณ์ (Incident) ที่เกิดขึ้นภายในสถานีรถไฟฟ้า เช่น ระเบิด ไฟไหม้ และอุบัติเหตุอื่น ๆ ไม่ได้เป็นเหตุการณ์ใหม่ที่เกิดขึ้น โดยจากข้อมูลในอดีตจะพบว่าเหตุการณ์เหล่านี้เคยเกิดขึ้นมาแล้วหลายครั้งในหลาย ๆ ประเทศ ทั้งที่เกิดขึ้นจากความตั้งใจของคน และที่เป็นอุบัติเหตุ ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้สร้างความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินจำนวนมากในการเกิดแต่ละครั้ง สำหรับมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย NFPA 103 Standard for fixed guideway transit and passenger rail systems (National Fire Protection Association, 2007) เป็นมาตรฐานหลักที่ประเทศไทยใช้ในการออกแบบโครงสร้างของสถานี แบบสถาปัตยกรรม ระบบอำนวยความสะดวกภายในอาคาร (Building services) รวมถึงแนวทางการอพยพคนในระบบรถไฟฟ้าใต้ดินในปัจจุบัน โดย NFPA 130 ได้กำหนดระยะเวลาในการอพยพจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นถัดไปต้องไม่เกิน 4 นาที ในระยะทางที่ใกล้ที่สุด ณ จุดใด ๆ บนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยต้องไม่เกิน 300 ฟุต (91.4 เมตร)

และระยะเวลาในการการอพยพจากจุดที่ใกล้สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยต้องทำได้ภายในเวลาไม่เกิน 6 นาที การวิเคราะห์เวลาการอพยพผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟใต้ดินเนื่องจากเหตุการณ์ฉุกเฉินเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อนมาก รวมถึงปัจจัยหลาย ๆ ประการที่ควรมีการคำนึงถึงรวมทั้งขนาดของอาคารสถานี ความซับซ้อนของการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวก เส้นทางหนีไฟ จำนวนผู้โดยสารที่รออยู่ภายในสถานี ความหลากหลายทางด้านกายภาพของผู้โดยสาร เช่น เพศ และอายุ ปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบอย่างมากต่อการวิเคราะห์เวลาในการอพยพ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำระบบโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาช่วยในการสร้างแบบจำลองของการอพยพที่ได้รับการยอมรับและถูกใช้อย่างกว้างขวางมากขึ้น เนื่องจากการจำลองการอพยพนั้นสามารถที่จะใช้ในการประเมินสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นภายในสถานี ทำให้เกิดความเข้าใจและสามารถที่จะเตรียมความพร้อมที่จะรับมือกับเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นดังกล่าว

การศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า จากพฤติกรรมการเดินของคนไทยจะช่วยให้มองเห็นแนวทางในการวางแผนและออกแบบในการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวก หรือสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการทั้งทางด้านสถาปัตยกรรม และด้านความปลอดภัยในการให้บริการในกรณีที่มีเหตุการณ์ฉุกเฉินที่ก่อให้เกิดการอพยพผู้โดยสารขึ้น โดยการวิจัยในครั้งนี้จะดำเนินการโดยสร้างแบบจำลองคนเดินเท้าระดับจุลภาค (Microscopic pedestrian simulation) โดยเลือกใช้โปรแกรม Legion for Aimsun (Version 8.1.3) ที่เป็น โปรแกรมแบบจำลองคนเดินเท้าระดับจุลภาค มีความเหมาะสมในการใช้ในการจำลองสถานการณ์ของคนเดินเท้า เป็นตัวช่วยในการประมวลผลของการสร้างแบบจำลอง โดยผลที่ได้จะช่วยในการตรวจสอบพฤติกรรมการเดินของคนไทยในสถานีรถไฟฟ้ที่ชั้นชานชาลา และชั้นออกบัตรโดยสาร อีกทั้งแนะนำความเหมาะสมของสิ่งอำนวยความสะดวกของคนเดินเท้าภายในสถานี คือ ขนาดของบันได ที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดคอขวด (Bottleneck) ภายในสถานีรถไฟฟ้ ซึ่งมีผลต่อเวลาการเดินทางและเวลาอพยพในกรณีฉุกเฉิน พร้อมทั้งเปรียบเทียบเวลาการอพยพของรูปแบบสถานีที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน โดยมีกรวิเคราะห์เปรียบเทียบรูปแบบของการอพยพผู้โดยสารได้มีการพิจารณาออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน 2) ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง และ 3) ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง พร้อมทั้งมีการแปรเปลี่ยนระดับความหนาแน่นหรือจำนวนของผู้โดยสารที่รออพยพที่ชานชาลาแตกต่างกัน เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ วางแผน และการจัดการส่วนของโครงสร้างพื้นฐานของสถานีขนส่งระบบรางที่เป็นรูปแบบของสถานีขนส่งสาธารณะที่ฝังอยู่ใต้พื้นดิน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

สำหรับงานวิทยานิพนธ์เรื่องการประยุกต์ใช้แบบจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟ กรณีศึกษา รถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย ได้มีการกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเดินทางของคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟแบบบันไดขึ้นชานชาลา (Platform) และชั้นออกบัตรโดยสาร (Concourse) สำหรับใช้พัฒนาและเปรียบเทียบแบบจำลอง
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองในการวิเคราะห์ขนาดและรูปแบบของบันไดในสถานีรถไฟใต้ดิน ที่มีความสามารถระบายผู้โดยสารในสถานการณ์ฉุกเฉิน
3. วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟใต้ดิน ที่มีรูปแบบลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของสถานีแตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

ในงานวิทยานิพนธ์เรื่องการประยุกต์ใช้แบบจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟ กรณีศึกษา รถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย มีความคาดหวังว่างานวิทยานิพนธ์นี้จะมีประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. ทราบพฤติกรรมเดินทางของคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟ ที่สอดคล้องกับพฤติกรรมเดินทางของคนไทย เพื่อใช้ในการพัฒนาและเปรียบเทียบแบบจำลอง
2. ได้แนวทางที่ใช้ในการพิจารณาการออกแบบขนาดของบันไดที่ช่วยเพิ่มการระบายผู้โดยสาร และลดการเกิดคอขวด เวลาการเดินทาง และเวลาการอพยพภายในสถานีรถไฟใต้ดินในอนาคต
3. สามารถระบุประสิทธิภาพการอพยพของโครงสร้างสถานีรถไฟใต้ดินที่มีลักษณะโครงสร้างทางกายภาพทางสถานีที่แตกต่างกัน เพื่อพิจารณาคำเนินการหรือกำหนดมาตรการ ให้เกิดความปลอดภัยในกรณีการอพยพ

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิทยานิพนธ์เรื่องการประยุกต์ใช้แบบจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟ กรณีศึกษา รถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย ได้มีการกำหนดขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์ เพื่อให้การดำเนินการไปสู่บรรลุเป้าหมายดังต่อไปนี้

1. ศึกษาพฤติกรรมเดินทางเท้าของคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟใต้ดินเท่านั้น

2. ศึกษาพฤติกรรมการเดินทางของคนไทยที่ตำแหน่งต่าง ๆ คือ ความเร็วในการเดินบริเวณพื้นที่ราบ ที่ประกอบด้วยลานชาลา และชั้นออกบัตรโดยสาร และบนบันไดทั้งในทิศทางขึ้นและลง โดยแบ่งตาม ช่วงอายุ และเพศ

3. พิจารณานาขนาดและรูปของบันไดภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน 3 แบบ คือ บันไดทางตรง บันไดทางตรงคู่ และบันไดหักกลับ

4. เลือกใช้แบบจำลองคนเดินเท้าระดับจุลภาค Legion for Aimsun ในการสร้างแบบจำลองการอพยพผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน โดยสนใจเวลาออกไปยังปลายทางที่ไม่เกิดความตื่นตระหนกหวาดกลัวและเกิดการผลักดัน

5. การจำลองการอพยพคนเดินเท้าบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย กำหนดให้ผู้โดยสารที่อพยพเลือกใช้ทางออกที่มีอยู่อย่างเต็มประสิทธิภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อกล่าวถึงระบบการจัดการ วางแผน และออกแบบระบบการขนส่ง ในหลายทศวรรษที่ผ่านมา มีความสนใจอยู่ 2 แบบ คือ ขนาดของเมือง และขนาดของพื้นที่ที่จะช่วยลดการบริโภคพลังงาน ที่เกี่ยวข้องกับการติดขัดของการจราจร โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการปรับปรุงยานพาหนะในพื้นที่ศูนย์กลางย่านธุรกิจ การสนับสนุนการเดินทางเท้าและการใช้จักรยาน และการปรับปรุงประสิทธิภาพลานจอดรถ อย่างไรก็ตามส่วนที่แยกออกมาจากระบบการจัดการของระบบขนส่งที่ผ่านมามีส่วนที่ไม่ค่อยถูกสนใจ คือ การเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า และในสองทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีความสนใจในการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก

คนเดินเท้า

หลักการโดยทั่วไปของการวางแผน และออกแบบในทางวิศวกรรมจราจร เป็นการนำการวางแผนไปใช้ในเชิงพื้นที่ ซึ่งหลายพื้นที่ที่ไม่ได้รับความสำคัญในการวางแผนในระดับจุลภาค (Microscopic) ของคนเดินเท้า เพื่อความเข้าใจตรงกันของงานวิทยานิพนธ์นี้จะได้อธิบายคำศัพท์เบื้องต้นที่ใช้ในวิศวกรรมของคนเดินเท้าดังนี้

1. คำศัพท์

คำศัพท์สำหรับการวิเคราะห์หรือออกแบบที่เกี่ยวข้องกับคนเดินเท้าที่ถูกใช้ในงานวิศวกรรมจราจรโดยทั่วไปมีดังต่อไปนี้ (Khisty & Lall, 2003)

1.1 ความเร็วของคนเดินเท้า (Pedestrian speed) เป็นความเร็วในการเดินเฉลี่ย มีหน่วยเป็นระยะทางต่อเวลา เช่น ped/min/m

1.2 อัตราการไหลของคนเดินเท้า (Pedestrian flow rate) เป็นจำนวนคนเดินเท้าที่ผ่านจุดจุดหนึ่งบนพื้นที่ต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นคนเดินเท้าต่อเวลา โดยจุดอ้างอิงจะเป็นเส้นตั้งฉากกับความกว้างของทางเดินเช่น ped/h หรือ ped /15 min

1.3 การไหลต่อหน่วยความกว้าง (Unit width flow) เช่น ped/min/m

1.4 การเดินติดตามกัน (Platoon) จำนวนของคนเดินเท้าที่เดินอย่างไม่มีการสลับกันในกลุ่มที่เกิดขึ้นแบบไม่ได้ตั้งใจ

1.5 ความหนาแน่นของคนเดินเท้า (Pedestrian density) เป็นจำนวนเฉลี่ยของคนเดินเท้าต่อหน่วยพื้นที่ ภายในทางเดินหรือพื้นที่ มีหน่วยเป็นคนเดินเท้าต่อหน่วยพื้นที่ เช่น ped/m²

1.6 พื้นที่ของคนเดินเท้า (Pedestrian space) พื้นที่ที่ได้รับสำหรับแต่ละคนของคนเดินเท้า ที่ซึ่งเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น แสดงในหน่วยพื้นที่ต่อคนเดินเท้า เช่น m^2/ped

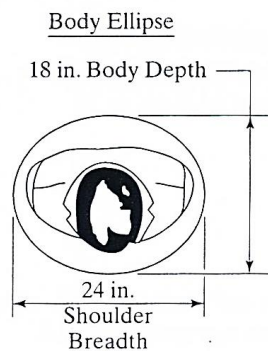
สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนเดินเท้า

สิ่งอำนวยความสะดวกคนเดินเท้าที่มีอยู่ในปัจจุบันมักถูกวางแผนและจัดการตามโครงการต่าง ๆ ที่ได้รับการพิจารณา โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะพยายามที่จะเพิ่มสิ่งอำนวยความสะดวกให้กับคนเดินเท้า เช่น ทางเดิน สะพาน บันได บันไดเลื่อน และอื่น ๆ ในโครงสร้างใหม่ที่จะเกิดขึ้นหรืออาจจะเพิ่มในส่วนที่เกี่ยวข้อง โดยอาศัยลักษณะพื้นฐานของคนเดินเท้าที่นำไปใช้ในการออกแบบ และวางแผนสิ่งอำนวยความสะดวกให้กับคนเดินเท้า โดยมาจากแนวคิดระดับการให้บริการ (Level-Of-Service, LOS) ที่ถูกใช้ในการออกแบบถนน และนำมาใช้ในการออกแบบทางของคนเดินเท้า

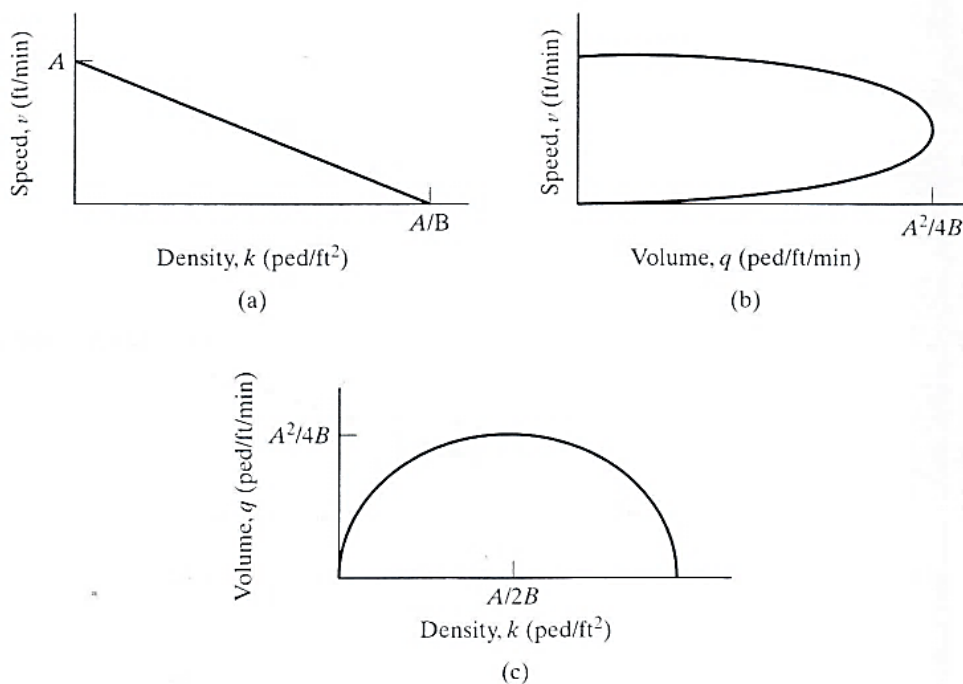
1. ความต้องการพื้นที่ของคนเดินเท้า

คนแต่ละคนมีความต้องการพื้นที่เฉลี่ยน้อยที่สุดเมื่อยืน ซึ่งอยู่ในรูปของวงรี (Body ellipse) ที่มีความหนาอยู่ประมาณ 0.46 m. (18 in) และช่วงไหล่ประมาณ 0.61 m (24 in) (Khisty & Lall, 2003) ดังแสดงในภาพที่ 2-1 พื้นที่ที่ต้องการน้อยที่สุดประมาณ $0.22 m^2/ped$ ซึ่งไม่เพียงพอถ้าคนเริ่มมีสัมภาระหรือกระเป๋า โดยพื้นที่ที่เกิดความสะดวกสบายอยู่ที่ประมาณ $0.65-0.93 m^2/ped$ ความต้องการพื้นที่ดังกล่าวถูกนำมาใช้สำหรับคนที่ยืนนอกเหนือจากการเคลื่อนที่เท่านั้น (Fruin, 1971; Khisty & Lall, 2003)

1.1 ความสัมพันธ์ความเร็ว การไหล และความหนาแน่นของคนเดินเท้า (Pedestrian Speed-Flow-Density Relationship) การไหลของคนเดินเท้าถูกอธิบายในเทอมของความเร็วและการไหล ซึ่งสามารถที่จะประมาณได้จากเส้นโค้งที่คล้ายกับการไหลของยานพาหนะของ Greenshields (Transportation Research Board [TRB], 2000) ตามทฤษฎีความสัมพันธ์ความเร็ว การไหล และความหนาแน่น (S-F-D) ดังแสดงในภาพที่ 2-2 อธิบายความสัมพันธ์ของการไหล คือ ภาพที่ 2-2 (a) เป็นความสัมพันธ์ความเร็วกับความหนาแน่น ภาพที่ 2-2 (b) ความสัมพันธ์ความเร็วกับปริมาณคนเดินเท้า และภาพที่ 2-2 (c) ความสัมพันธ์ปริมาณคนเดินเท้ากับความหนาแน่น จะเห็นได้ว่าที่ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นความเร็วของคนเดินเท้าในกระแสการจราจรจะลดลง อย่างไรก็ตามความหนาแน่นเป็นแนวคิดที่ไม่ค่อยสะดวกต่อการใช้งาน ที่สอดคล้องกับหนึ่งข้อเท็จจริงที่เป็นสัดส่วนของคนเดินเท้า ดังนั้นความสอดคล้องของความหนาแน่นหรือความสามารถในการใช้พื้นที่ของคนเดินเท้าจะถูกใช้ดังสมการ 2-1 และ 2-2 (TRB, 2000)



ภาพที่ 2-1 พื้นที่ที่ต้องการรูปวงรีของคนเดินเท้า (Khisty & Lall, 2003)



ภาพที่ 2-2 รูปแบบตามหลักทฤษฎีการไหลของคนเดินเท้าในทางเดียว (Khisty & Lall, 2003)

$$V = S \times D \quad (2-1)$$

เมื่อ V = การไหลคนเดินเท้า (ped/min/m)

S = ความเร็วคนเดินเท้า (m/min)

D = ความหนาแน่นของคนเดินเท้า (ped/m²)

$$\text{หรือ } V = \frac{S}{M} \quad (2-2)$$

เมื่อ M = พื้นที่ของคนเดินเท้า (m^2/ped)

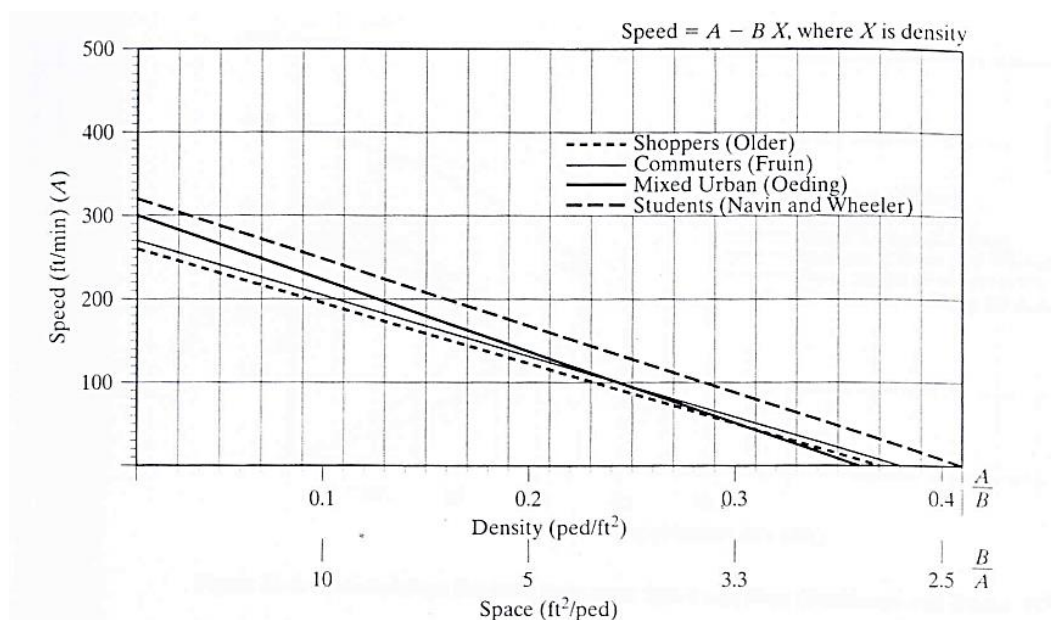
ดังนั้นการไหลของคนเดินเท้าอาจจะถูกแสดงที่ $\text{ped}/15 \text{ min}$ โดยใช้ 15 นาทีที่สูงสุดของช่วงเวลาการไหล เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยการไหลของคนเดินเท้าจะถูกคำนวณดังสมการที่ 2-3

$$v = \frac{V}{15W_E} \quad (2-3)$$

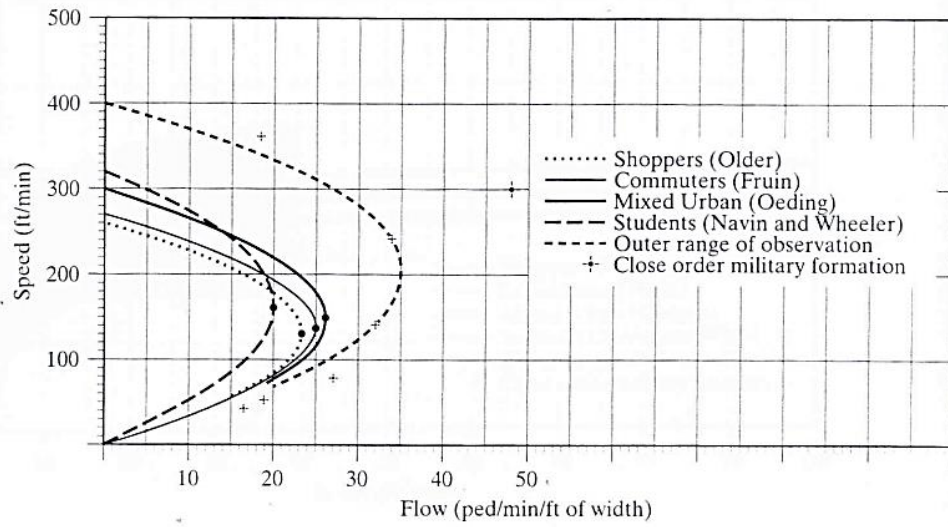
เมื่อ v = การไหลของคนเดินเท้าสูงสุด ($\text{ped}/15 \text{ min}$)

W_E = ผลกระทบความกว้างของทางเดิน (m)

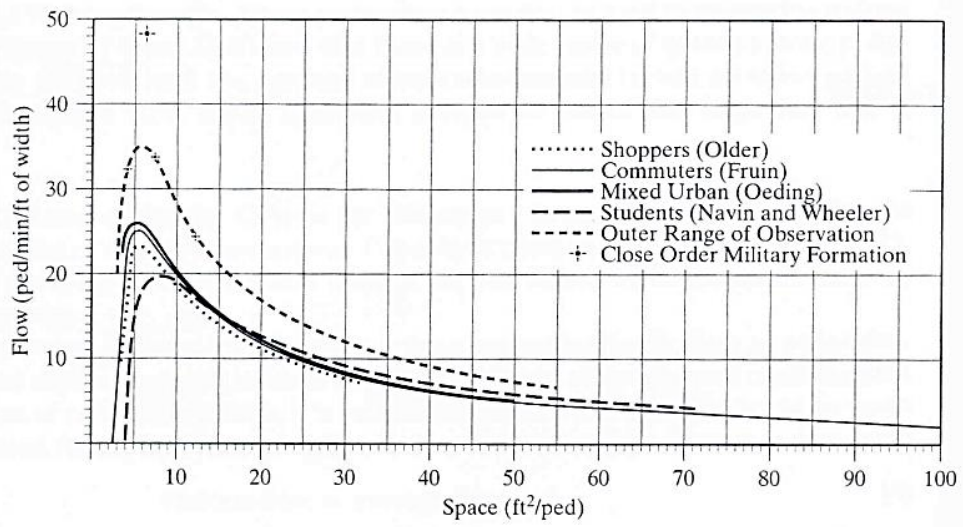
ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่นของคนเดินเท้า ความเร็วกับการไหลของคนเดินเท้า และการไหลกับพื้นที่ของคนเดินเท้า ถูกแสดงในภาพที่ 2-3 2-4 และ 2-5 ตามลำดับ และความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเดินกับพื้นที่ที่ได้รับจะถูกแสดงดังภาพที่ 2-6



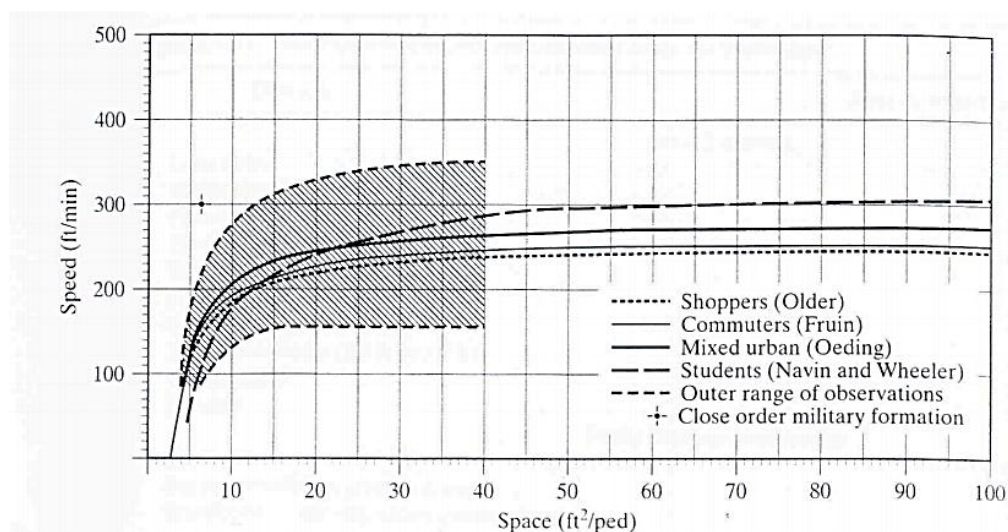
ภาพที่ 2-3 ความเร็วกับความหนาแน่นของคนเดินเท้า (Khisty & Lall, 2003)



ภาพที่ 2-4 ความเร็วกับการไหลของคนเดินเท้า (Khisty & Lall, 2003)



ภาพที่ 2-5 การไหลกับพื้นที่ของคนเดินเท้า (Khisty & Lall, 2003)



ภาพที่ 2-6 ความเร็วกับพื้นที่ของคนเดินเท้า (Khisty & Lall, 2003)

จากภาพที่ 2-6 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่เฉลี่ยของคนเดินเท้าอยู่ที่ประมาณ $1.39 \text{ m}^2/\text{ped}$ แม้ว่าคนเดินเท้าจะเดินช้าหรือความเร็วในการเดินลดลงทำให้ไม่สามารถมาถึงปลายทางตามต้องการ โดยคนเดินเท้าจะพยายามใช้ความเร็วในการเดินที่อิสระที่สามารถใช้ได้ในพื้นที่นั้น ๆ แต่ในความเป็นจริงมันมีความซับซ้อนมากที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้พื้นที่รวมทั้งข้อจำกัดของ LOS

1.2 ผลกระทบของความกว้างทางเดิน (Effective walkway width) แนวคิดของคนเดินเท้าถูกกำหนดไว้โดยเลนที่ถูกใช้ในการจราจรของยานพาหนะ ซึ่งไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์การไหลของคนเดินเท้าได้ โดยคนเดินเท้าที่ผ่านคนอื่น โดยทั่วไปจะใช้ตัวคนกว้าง 0.76 m คนเดินเท้าที่เดินผ่านกันอาจต้องการความกว้าง 0.67 m โดยสามารถเป็นไปได้ทุกทิศทางที่ต่อเนื่องกันในการแกว่งตัวของคนเดินเท้า ซึ่งความกว้างของทางเดินที่มีอิทธิพลกับคนเดินเท้า ที่เรียกว่า “Clear walkway width” ตัวอย่างการลดผลกระทบความกว้างของทางเท้าที่ถูกครอบครอง แสดงในตารางที่ 2-1 และภาพที่ 2-7 แสดงตัวอย่างความกว้างของทางเดินที่ถูกลดทอนโดยขอบทาง และโครงสร้างสิ่งกีดขวางต่าง ๆ

ตารางที่ 2-1 ปัจจัยการปรับแก้ของสิ่งกีดขวางที่ถูกติดตั้งไว้ของทางเดิน^a (TRB, 2000)

Obstacle	Approximate Width Preempted ^b (ft)
Street Furniture	
Light poles	2.5-3.5
Traffic signal poles and boxes	3.0-4.0
Fire alarm boxes	2.5-3.5
Fire hydrants	2.5-3.0
Traffic signal	2.0-2.5
Parking meters	2.0
Mailboxes (1.7 ft by 1.7 ft)	3.2-3.7
Telephone booths (2.7 ft by 2.7 ft)	4.0
Wastebaskets	3.0
Benches	5.0
Public Underground Access	
Subway stairs	5.5-7.0
Subway ventilation gratings (raised)	6.0+
Transformer vault ventilation gratings (raised)	5.0+
Landscaping	
Trees	2.0-4.0
Planting boxes	5.0
Commercial Uses	
Newsstands	4.0-13.0
Vending stands	Variable
Advertising displays	Variable
Store displays	Variable
Sidewalk cafes (two rows of tables)	Variable, Try 7.0

หมายเหตุ: ^aใช้สำหรับการเกิดการหลีกเลี่ยงของระยะทั่วไประหว่างคนเดินเท้าและสิ่งกีดขวาง ที่เพิ่มขึ้น

1.0-1.5 ft. จะถูกเพิ่มเมื่อการครอบครองความกว้างของสิ่งกีดขวางแต่ละอัน

^b ระยะจาก Curb ถึงขอบของวัตถุ หรือ โครงสร้างถึงขอบของวัตถุ

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

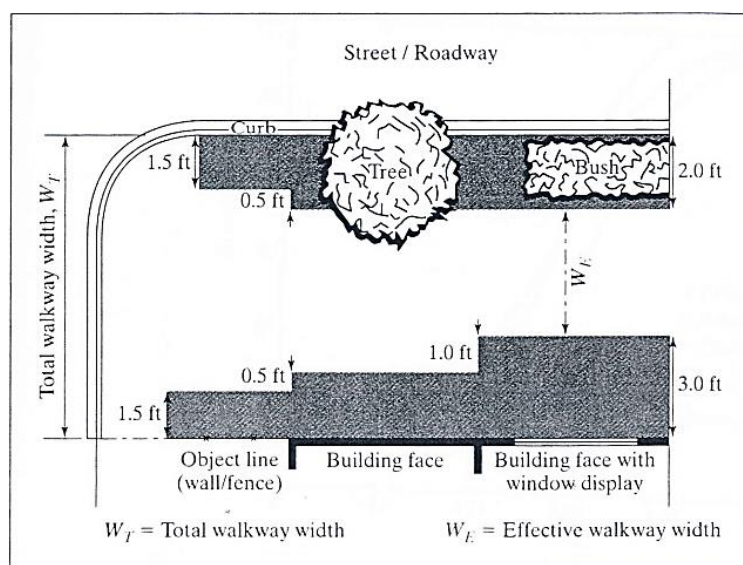
Obstacle	Approximate Width Preempted ^b (ft)
Building Protrusions	
Columns	2.5-3.0
Stoops	2.0-6.0
Cellar doors	5.0-7.0
Standpipe connections	1.0
Awning poles	2.5
Truck docks (trucks protruding)	Variable
Garage entrance/exit	Variable
Driveways	Variable

หมายเหตุ: ^a ใช้สำหรับการเกิดการหลีกเลี่ยงของระยะทั่วไประหว่างคนเดินเท้าและสิ่งกีดขวาง ที่เพิ่มขึ้น

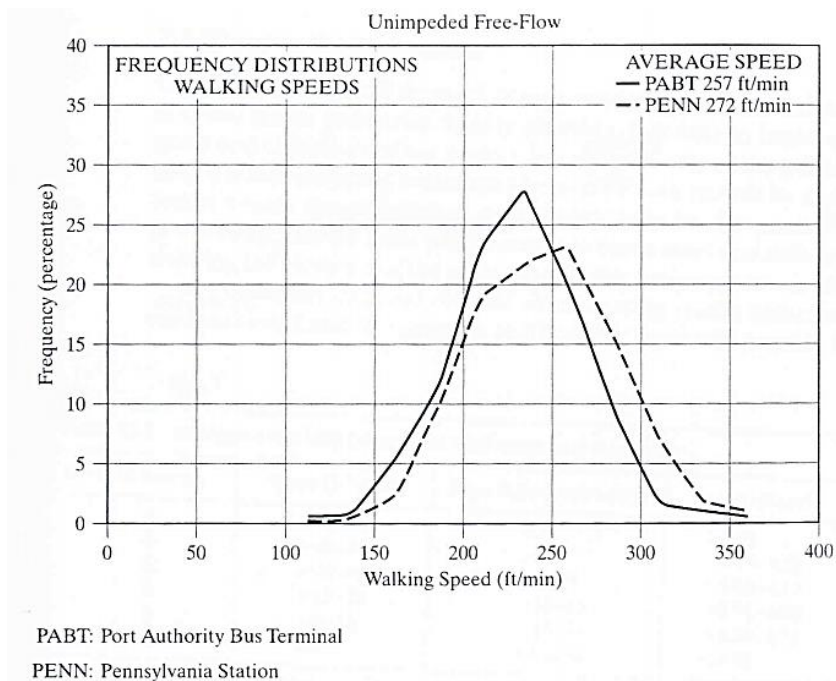
1.0-1.5 ft. จะถูกเพิ่มเมื่อการครอบครองความกว้างของสิ่งกีดขวางแต่ละอัน

^b ระยะจาก Curb ถึงขอบของวัตถุ หรือ โครงสร้างถึงขอบของวัตถุ

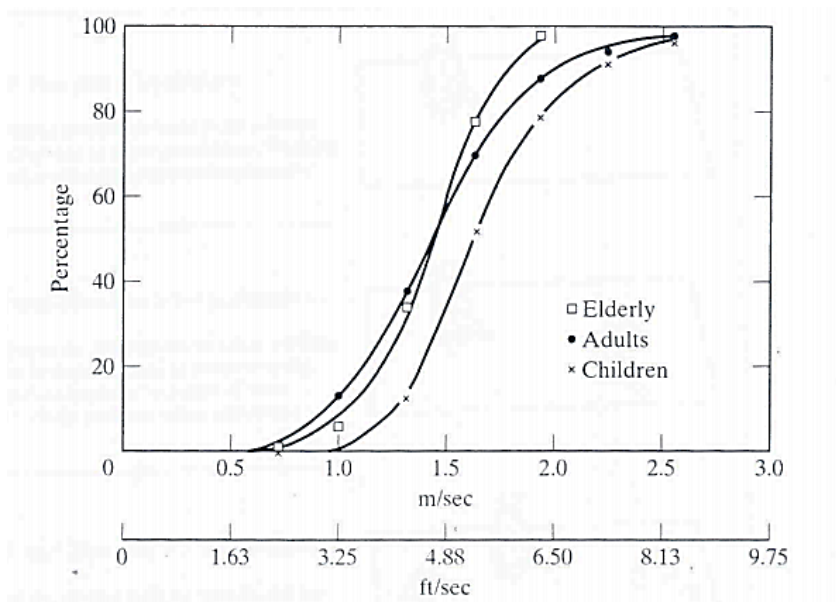
1.3 ความเร็วการเดิน (Walking speed) ที่ซึ่งหลายหน่วยงานวิจัยมีการร่วมกันวัดความเร็วคนเดินเท้า ตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 2-8 และ 2-9



ภาพที่ 2-7 ผลของความกว้างทางเดิน (TRB, 2000)



ภาพที่ 2-8 ความเร็วการเดินทางของคนเดินเท้า (Khisty & Lall, 2003)



ภาพที่ 2-9 ความเร็วการเดินทางและชนิดของคนเดินเท้า (Khisty & Lall, 2003)

1.4 เกณฑ์ของระดับการให้บริการของทางเดินของคนเดินเท้า (Level-of-service Criteria for Walkways) ในการออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกของคนเดินเท้า การวัดประสิทธิภาพ

พื้นฐานในพื้นที่ให้บริการ โดยความจุที่นำมาใช้ในการออกแบบ คือ 25 ped/min/ft. ดังแสดงในตารางที่ 2-2 และระดับการให้บริการของทางเดินถูกแสดงและอธิบายในตารางที่ 2-3

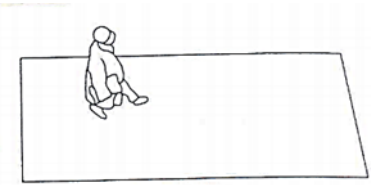
ตารางที่ 2-2 ค่าเฉลี่ยการไหลของระดับการให้บริการทางเดิน และทางเดินด้านข้าง^a (TRB, 2000)

Level of Service	Space (ft ² /ped)	Flow Rate (ped/min/ft)	Speed (ft/sec)	v/c Ratio
A	> 60	≤ 5	> 4.25	≤ 0.21
B	40-60	5-7	4.17-4.25	0.21-0.31
C	24-40	7-10	4.00-4.17	0.31-0.44
D	15-24	10-15	3.75-4.00	0.44-0.65
E	8-15	15-23	2.5-3.75	0.65-1.0
F	≤ 8	Variable	≤ 2.50	Variable

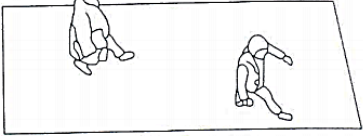
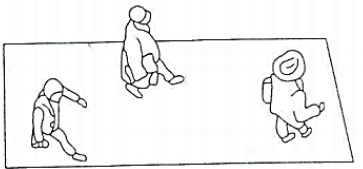
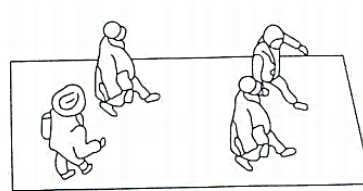
หมายเหตุ: ^a สถานการณ์เฉลี่ยสำหรับ 15 นาที

ความผันผวนระยะสั้นสามารถเกิดขึ้นในการไหลของคนเดินเท้าที่มีจำนวนมากในการเข้าและออกเบย์สุด ความสัมพันธ์ของการไหลของกลุ่มคนที่มากที่สุดเป็นค่าอัตราการไหลเฉลี่ยคือ Platoon flow = average flow + 4 เมื่อการไหลทั้งสองถูกแสดงในหน่วย ped/min/m

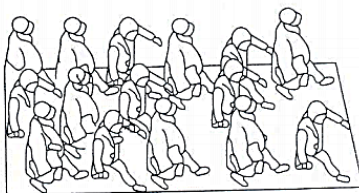
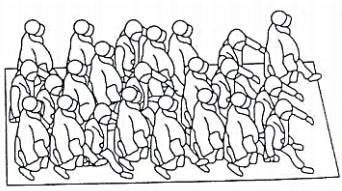
ตารางที่ 2-3 ระดับการให้บริการของทางเดิน (TRB, 2000)

LOS	รายละเอียด	ภาพตัวอย่าง
A	ที่ทางเดินระดับการให้บริการ A คนเดินเท้าจะเคลื่อนที่ในเส้นทางที่ต้องการนอกเหนือจากทางเลือกในการเคลื่อนที่มีอยู่ของพวกเข้าในการตอบสนองกับคนเดินเท้าอื่น ๆ ความเร็วในการเดินจะถูกเลือกอย่างอิสระ และความขัดแย้งระหว่างคนเดินเท้าจะไม่มีอย่างแน่นอน	

ตารางที่ 2-3 (ต่อ)

LOS	รายละเอียด	ภาพถ่ายอย่าง
B	<p>ที่ระดับการให้บริการ B พื้นที่เพียงพอสำหรับคนเดินเท้าในการที่จะเลือกความเร็วในการเดินได้อย่างอิสระ และผ่านคนเดินเท้าอื่น ๆ และหลีกเลี่ยงการตัดที่ขัดแย้งกัน ที่ระดับนี้ คนเดินเท้าจะเริ่มที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับคนเดินเท้าอื่น ๆ และแสดงการตอบสนองเมื่อเลือกเส้นทางการเดิน</p>	
C	<p>ที่ระดับการให้บริการ C พื้นที่ยังมีเพียงพอสำหรับความเร็วการเดินปกติ และสำหรับผ่านคนเดินเท้าอื่น ๆ ในกระแสการเดินทิศทางเดียว ในทิศทางตรงกันข้ามหรือการเคลื่อนที่ที่ตัดกันสามารถที่จะเกิดความขัดแย้งและความเร็วและอัตราการไหลค่อนข้างที่จะต่ำ</p>	
D	<p>ที่ระดับการให้บริการ D อิสระในการเลือกความเร็วแต่ละบุคคลและการผ่านคนเดินเท้าอื่น ๆ เป็นไปอย่างคับแคบ การเคลื่อนที่ที่ตัดกันหรือการไหลสวนทางกันจะเป็นไปได้สูงสำหรับการเกิดความขัดแย้งกัน ความต้องการการเปลี่ยนความเร็วและตำแหน่งถี่ขึ้น ที่ระดับนี้การไหลมีความเหมาะสมแต่แรงสียดทานและปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนเดินเท้าจะเกิดขึ้น</p>	

ตารางที่ 2-3 (ต่อ)

LOS	รายละเอียด	ภาพตัวอย่าง
E	<p>ที่ระดับการให้บริการ E คนเดินเท้าทุกคนเกือบจะถูกจำกัดความเร็วในการเดินปกติ มีการเปลี่ยนการเดินที่ถี่ขึ้น ที่ช่วงของการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าลดลงเพียงพอที่จะไปได้เท่านั้น พื้นที่ไม่เพียงพอที่คนเดินเท้าจะผ่านกันช้าลง การเคลื่อนที่ของไหลที่ตัดกัน หรือสวนทางกันจะมีความลำบากเป็นอย่างมาก เป็นปริมาณที่ใช้ออกแบบที่เหมาะสมที่ซึ่งข้อจำกัดของความจุทางเดิน กับทำให้เกิดการหยุดหรือชะงักของการไหล</p>	
F	<p>ที่ระดับการให้บริการ F ทุกความเร็วการเดินถูกจำกัดอย่างมาก และการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะได้เพียงเท่าที่ได้เท่านั้น โดยไม่ได้รับอย่างต่อเนื่อง การไหลที่เคลื่อนที่ตัดกัน หรือการสวนทางกันแทบจะไม่สามารถทำได้ การไหลไม่ต่อเนื่อง พื้นที่ที่มีลักษณะที่หลากหลายจะเกิดแถวคอยของคนเดินเท้ามากกว่าการเคลื่อนที่ของกระแสคนเดินเท้า</p>	

2. สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย

2.1 การออกแบบ บริหาร และดำเนินงานตามมาตรฐาน NFPA และกฎหมายต่าง ๆ ของไทย (กฎหมาย ชาติการุณ, 2546) สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินแต่ละสถานีจะมีห้องปฏิบัติการควบคุมการเดินรถทุกสถานี ที่เรียกว่า SOR (Station operation room) ภายในห้องดังกล่าวจะมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในห้องควบคุมเพื่อรับ Command จาก OCC หรือศูนย์ควบคุมการเดินรถ รวมทั้งติดตั้งประตูชานชาลา (Platform screen door) เพื่อป้องกันอุบัติเหตุควบคู่กับการ ประหยัดพลังงาน ในลักษณะของ Energy conservation เนื่องจากสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินมีการติดตั้งระบบปรับอากาศ จึงต้องป้องกันไม่ให้แอร์ออกไปสู่ระบบราง การดำเนินการดังกล่าวถือเป็นหนึ่งในมาตรฐานที่ NFPA (National Fire Protection Association) ได้กำหนดขึ้น อีกทั้งการบริหารและดำเนินงานต่าง ๆ ของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินยังต้องคำนึงถึงแนวนโยบายที่สอดคล้องกับมาตรฐาน NFPA ตลอดจนมาตรฐานหรือกฎหมาย และพระราชบัญญัติต่าง ๆ ที่ประเทศไทยได้กำหนดขึ้น เนื่องจากเป็น

โครงการที่ดำเนินงานก่อสร้างในประเทศไทย และยังเป็น โครงการสาธารณูปโภคขนาดใหญ่ที่ต้อง
รองรับการใช้บริการจากภาคประชาชนอย่างต่อเนื่อง การดำเนินการตามมาตรฐานต่าง ๆ จึงเป็น
สิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้โครงการมีความมั่นคงและปลอดภัย

2.2 ระบบป้องกันอัคคีภัยตามมาตรฐานที่ประยุกต์ใช้ (กฎหมาย ชาติการุณ, 2546)

โครงการรถไฟฟ้าใต้ดินจำเป็นต้องมีระบบสัญญาณเตือนภัย เช่น Fire Detection หรือ Fire Alarm
เช่นเดียวกับการออกแบบอาคารสูงทั่วไป ซึ่งตามมาตรฐานได้กำหนดให้มีอุปกรณ์สำหรับระงับ
อัคคีภัย หรือ Fire protection ได้แก่ ระบบน้ำดับเพลิง Sprinkle ซึ่งเป็นระบบอัตโนมัติติดตั้งอยู่ใน
พื้นที่ทั่วไป รวมทั้งบริเวณบันไดเลื่อนด้วย นอกจากนี้ ยังมีอุปกรณ์สำหรับระงับอัคคีภัยอื่น ๆ อีก
อาทิ หัวจ่ายน้ำดับเพลิง ท่อ Hydrant ต่าง ๆ และระบบดับเพลิงด้วยก๊าซ เช่น Emergency lighting
โดยทำการติดตั้งไว้ทุกจุดที่ผู้โดยสารต้องเดินผ่าน หรือใช้ในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน ตลอดจนระบบ
ควบคุม และละลายควัน ซึ่งถือเป็นระบบที่สำคัญมาก เพราะการระบายอากาศจะต้องมี
ความสัมพันธ์กับการระบายควัน ส่วนระบบเตือนภัยออกแบบให้อุปกรณ์ทุกตัวสามารถสั่งการได้
โดยออกแบบและเขียนซอฟต์แวร์ให้มีลักษณะเป็น Synchronize กัน แต่ยังคงต้องมีส่วนของ Fire
alarm panel และตัวจับสัญญาณ หรืออุปกรณ์การตรวจจับความร้อนหรือควันไฟที่ติดตั้งไว้
เนื่องจากมาตรฐานได้ออกแบบให้มีอุณหภูมิจากการเดินรถ หรือ Heat detection ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น
ภายในอุโมงค์ไม่เกิน 40 °C จึงได้ทำการติดตั้ง Heat detector ไว้ในอุโมงค์ทางวิ่ง โดยมี
สายสัญญาณติดตั้งไว้เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผนังอุโมงค์และ ตัวรถไฟฟ้า ทำให้สามารถ
ประหยัดพลังงานได้

2.3 การจำลองการควบคุมควันภายใต้การทำงานในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน (กฎหมาย การุณ ชาติการุณ, 2546) การดำเนินงานต่าง ๆ ของระบบจะต้องขึ้นอยู่กับตำแหน่งของการเกิดเพลิง ไหม้ ดังนั้น การควบคุมควันจึงต้องกำหนดวิธีการทำงานของพัดลมต่าง ๆ เพื่อให้ได้วิธีการควบคุม ควันที่เหมาะสม หลักเกณฑ์สำคัญ คือ ผู้โดยสารจะต้องถูกอพยพไปในทิศทางตรงกันข้ามกับจุดเกิด เหตุหรือกลุ่มควัน โดยจุดรองรับผู้โดยสารที่อพยพต้องมี Fresh air และมีการ Return air ทั้งนี้ ได้ทำ การ Simulate ในส่วนของ Ventilation fan หรือพัดลมระบายอากาศไว้ 3 Mode คือ Mode 1) Normal Mode เป็นการเดินรถไฟฟ้าตามปกติ มีลักษณะ เหมือน Natural ventilation โดยใช้หลัก Piston effect เป็นการระบายความร้อนออกจากอุโมงค์ โดยรักษาอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 40 °C ส่วน Mode 2) เรียกว่า Congested mode จำลองการทำงานในขณะที่มี Traffic busy จำนวนมาก หรืออาจ กล่าวได้ว่าเป็นการเดินรถไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่ง โดยเฉพาะในช่วง Peak hour จะต้องจัดให้มี Head way การเดินรถไฟฟ้าสองนาทิต่อขบวน ขณะที่การเดินรถในช่วงเวลาปกติ Head way จะอยู่ที่ประมาณ 4-5 นาที/ขบวน โดย Congested mode จะมี Linear heat detector หรือเคเบิล

ตรวจจับความร้อน และส่งสัญญาณไปให้ระบบควบคุมพัดลมโดยอัตโนมัติ เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิ มี Maximum ที่ 45 °C สุดท้าย Mode 3) คือ Emergency mode การระบายและควบคุมควันในกรณี ที่เกิดเหตุฉุกเฉิน การทำงานของ Emergency mode ต้องอาศัย Linear heat detector เป็นตัวตรวจจับ สัญญาณความร้อน เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินพัดลมระบายอากาศในอุโมงค์จะทำงานที่ความเร็วรอบสูง และมีการสั่งการผ่านคอมพิวเตอร์ได้ทันที ซึ่งแต่ละอุโมงค์ได้มีการออกแบบ เพื่อเตรียมเส้นทาง การอพยพที่ใกล้ที่สุด โดยกำหนดทิศทางของลมให้เป็นทิศทางที่ตรงกันข้ามกับจุดเกิดเหตุ มีความเร็วลมไม่ต่ำกว่า 2.5 เมตร/วินาที เพื่อป้องกันมิให้เกิดสภาวะ Back Layering ดังนั้น การทำงานใน Emergency mode จึงต้องพิจารณาถึงความร้อนและความเร็วของลมด้วย

2.4 บันไดเลื่อน (Escalator) คือ เครื่องจักรกลที่ออกแบบให้ใช้งานง่าย และไม่มี ความซับซ้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อในการขนส่งคน โดยใช้ขั้นบันไดในการลำเลียงคนจำนวนมากด้วย ความเร็วที่เหมาะสมและคงที่ (บุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย, 2558) สำหรับประเทศไทยใช้บันไดเลื่อนมา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2507 มาตรฐานบันไดเลื่อนที่ถือเป็นต้นแบบ และนิยมใช้กันหลายประเทศ คือ

2.4.1 ประเทศแถบยุโรป เป็นกฎความปลอดภัยในการออกแบบ และติดตั้งบันได เลื่อน และลิฟต์ ตาม BS EN 115 (European Standard BS EN 115 Safety rules for the Construction and Installation Escalators and Passenger Conveyors)

2.4.2 ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นข้อบังคับสำหรับลิฟต์และบันไดเลื่อนตาม ASME A17.1 (Safety Code for Elevators and Escalators American Standard)

2.4.3 ประเทศญี่ปุ่น เป็นมาตรฐานการตรวจสอบลิฟต์ บันไดเลื่อน และลิฟต์ส่ง ของ (Inspection standard of elevator, escalator and dumbwaiter)

2.4.4 ประเทศไทย โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ได้จัดทำมาตรฐานไว้สองเล่ม คือ มาตรฐานระบบเครื่องกลขนส่งในอาคาร (เรียบเรียงตาม ASME A17.1) และมาตรฐานระบบลิฟต์ (เรียบเรียงตาม BS EN 115) ทั้งมาตรฐานยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น ล้วนมีใช้ในประเทศไทย และอีกหลายประเทศในเอเชีย

2.4.5 ชนิดและความสามารถของบันไดเลื่อน และทางเลื่อน ความสามารถของ บันไดเลื่อน ในการขนส่งผู้โดยสาร แปรตามความกว้างของขั้นบันได และความเร็วที่ปกติจะใช้ 30 เมตรต่อนาที (1.80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ตามมาตรฐาน EN 115-1 2008 Annex H (บุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย, 2558) กำหนดความสามารถบันไดเลื่อนดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ความสามารถบันไดเลื่อน

ความกว้าง (เมตร)	ความเร็ว (เมตรต่อนาที)		
	30	40	45
0.60	3,600	4,400	4,900
0.80	4,800	5,900	6,600
1.00	6,000	7,300	8,200

โดยทั่วไปบันไดเลื่อน จะเลือกใช้ที่ความกว้างของบันได 0.80 เมตร สามารถลำเลียงคนได้ 4,800 คน/ชั่วโมง ขึ้นแบบหลวม ๆ กรณีของบันไดเลื่อนจะถูกวางเอียงที่มุม 30 องศา แต่หากมีความจำเป็น หรือข้อจำกัดของสถานที่ บันไดเลื่อนอาจถูกวางมุมเอียงที่ 35 องศา ทั้งนี้ ที่มุมดังกล่าวจะต้องได้รับการรับรองจากวิศวกรด้วยความปลอดภัย อีกทั้งบันไดเลื่อนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 เมตรต่อนาที สำหรับการโดยสารทั่วไป ส่วนการโดยสารที่ต้องขนส่งคนจำนวนมากในช่วงเวลาเร่งด่วน เช่น ในรถไฟฟ้าใต้ดิน ความเร็วบันไดอาจเคลื่อนที่ได้กว่า 45 เมตรต่อนาที

2.4.6 อุปกรณ์ความปลอดภัยเพื่อหยุดการทำงานของบันไดเลื่อน เป็นเครื่องจักรกลที่ออกแบบให้มีความปลอดภัยในการใช้งาน เพราะเป็นเครื่องจักรกลที่ทำงานโดยมีผู้โดยสาร ดังนั้นผู้ผลิตบันไดเลื่อน จะติดตั้งอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยไว้ที่จุดต่าง ๆ ของบันไดเลื่อน และทางเลื่อนเพื่อหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติ และโดยคน ดังแสดงในภาพที่ 2-10 และอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.4.6.1 ราวบันได เกิดการขัดตัว ขาดจากกัน ถูกกระแทกอย่างแรง มีของกีดขวางที่ช่องทางเข้า และออกของราวบันได และเคลื่อนที่เร็วหรือช้ากว่ากำหนด

2.4.6.2 โซ่ขับบันได เกิดการขัดตัว ขาดจากกัน และเคลื่อนที่เร็วหรือช้ากว่ากำหนด

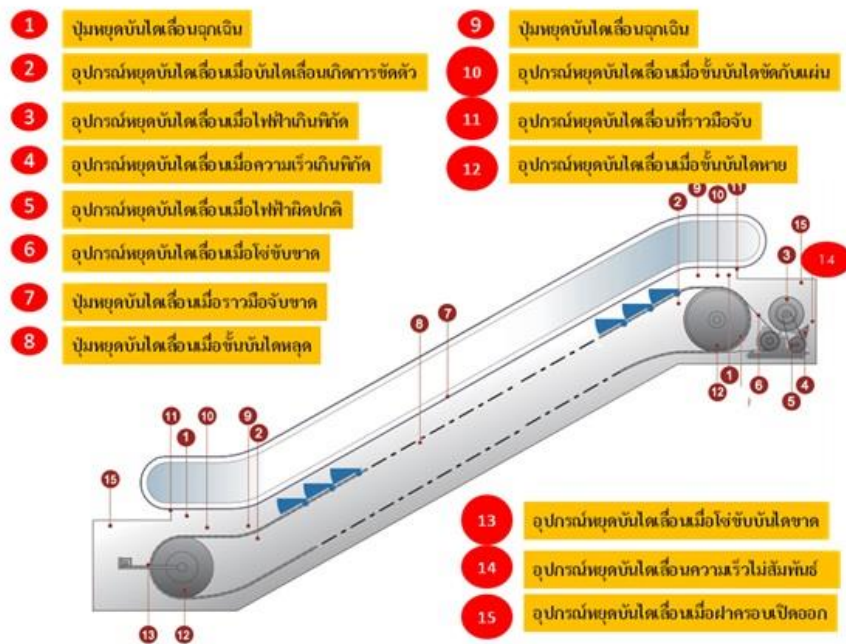
2.4.6.3 ชั้นบันไดเลื่อน และทางเลื่อน เกิดการขัดตัว ล้อบันไดหลุดจากราง บันไดตกหล่นหายไป ชั้นบันไดเอียง ชั้นบันไดกระดก ถูกกระแทกอย่างแรง รับน้ำหนักมากกว่าปกติ มีสิ่งของกีดขวางที่ช่องทางเข้า และออกของบันได และเคลื่อนที่เร็ว หรือช้ากว่ากำหนด

2.4.6.4 แผ่นพื้นปิดห้องเครื่องบันไดเลื่อน และทางเลื่อนเปิดขณะใช้งาน

2.4.6.5 ระบบไฟฟ้าผิดปกติ และใช้ไฟฟ้าเกินขีดจำกัด

2.4.6.6 ปุ่มฉุกเฉินเพื่อหยุดบันไดเลื่อน และทางเลื่อน

2.4.6.7 กุญแจสำหรับการเปิด และหยุดการใช้งาน



ภาพที่ 2-10 อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยที่จะหยุดของบันไดเลื่อน (บุญพงษ์ กิจวัฒน์นาชัย, 2558)

ทั้งนี้ยังมีการควบคุมการทำงานของบันไดเลื่อนผ่านห้องควบคุมได้โดยการควบคุม ซึ่งการควบคุมเพื่อความปลอดภัยจะประกอบไปด้วยระบบเบรก ที่เป็นระบบเบรกแบบ แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic brake) จะทำงานทันทีเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน และระบบควบคุม จะเป็นแบบใช้สวิตช์ควบคุม (Key switch operation) และสามารถเปลี่ยนทิศทางการขับเคลื่อนให้ขึ้น และลงได้ พร้อมทั้งปุ่มหยุดฉุกเฉินเพื่อหยุดบันไดเลื่อนในกรณีฉุกเฉิน

3. ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ควรถูกพิจารณาในการออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับ คนเดินเท้ามีดังต่อไปนี้ (TRB, 2000)

3.1 ความสบาย (Comfort) เช่น มีการป้องกันตามฤดูกาล ศูนย์ควบคุมอากาศ ที่พัก อาศัยที่สถานีขนส่ง เป็นต้น

3.2 ความสะดวก (Convenience) เช่น ระยะทางการเดินที่ตรงไม่อ้อม ความลาดชัน ทางลาดไม่มากเกินไป ความเหมาะสมของบันไดสำหรับผู้สูงอายุ เอกสารแนะนำเกี่ยวกับแผนที่ที่ เกี่ยวข้อง และปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า

3.3 ความปลอดภัย (Safety) การแยกการจราจรของคนเดินเท้าออกจากจราจรของ ยานพาหนะ เป็นการป้องกันชีวิตของคนเดินเท้า

3.4 การรักษาความปลอดภัย (Security) เช่น สิ่งแวดล้อมที่ปราศอาชญากรรม

3.5 ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economy) การลดความล่าช้าของการเดินทาง

4. การวางแผนสำหรับคนเดินเท้า

ข้อควรระมัดระวังด้านการประเมินความต้องการ มาตรฐานการออกแบบ การใช้งาน และการออกแบบ ที่ใช้สำหรับการวางแผนสิ่งอำนวยความสะดวกของคนเดินเท้า เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของโครงการ ซึ่งความปลอดภัยอาจเป็นวัตถุประสงค์หลัก ความต้องการของคนเดินเท้าประกอบด้วย การประมาณค่าปริมาณจราจร รูปแบบการจราจร และองค์ประกอบรูปแบบการใช้พื้นที่และชนิดของ โครงสร้าง ข้อมูลเกี่ยวกับเที่ยวการเดินทาง ผลของการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า ขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลที่ได้รับ หรือการเกิดการเดินทางที่มีผลต่อความต้องการการเดินทางตามฤดูกาล การออกแบบพื้นที่ที่ดีที่สุดอาจจะต้องพิจารณาเรื่องการพัฒนาพื้นที่ที่สามารถใช้งานได้ดีที่สุด ซึ่งมีผลมากในด้านของเศรษฐศาสตร์ ประสิทธิภาพ และความปลอดภัย ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า โดยทั่วไปแล้วจะมีการใช้ระบบที่เหมาะสมภายใต้ความเข้าใจและการปรับใช้หลักการของการออกแบบคนเดินเท้าในทุกปัญหาของคนเดินเท้าที่เกิดขึ้น

การวิเคราะห์ที่เหมาะสมถูกนำเสนอโดย Fruin (1992) นำไปสู่การใช้งานที่สถานะสมดุล ระหว่างเวลาและพื้นที่ว่าง การวิเคราะห์ T-S เป็นการใช้งานที่สอดคล้องกับความเป็นจริงกับกรณีที่มีความซับซ้อนของการครอบครองพื้นที่ของแต่ละบุคคลที่เกี่ยวกับกิจกรรมของคนเดินเท้า T-S เป็นผลของการวิเคราะห์เวลาและพื้นที่ว่าง ในทำนองเดียวกัน ความต้องการ T-S เป็นผลของจำนวนของคนเดินเท้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ช่วงห่างและเวลาของการครอบครอง วัตถุประสงค์หลักเป็นการพัฒนาเพื่อให้เพียงพอพื้นที่ว่างที่ได้รับกับความต้องการช่วงเวลาสูงสุดที่คาดการณ์ไว้ และเวลาที่ใช้ในการครอบครองหรือการรอของคนเดินเท้าในพื้นที่ช่องว่างนั้น โดยความต้องการ T-S ในพื้นที่เฉลี่ยที่ถูกครอบครองต่อคนเดินเท้า และสอดคล้องกับ LOS ที่สามารถหาได้จากสมการที่ 2-4

$$a = \frac{T-S \text{ Supply}}{T-S \text{ Demand}} = \frac{TS}{ht} \quad (2-4)$$

เมื่อ, a = พื้นที่เฉลี่ยต่อคนเดินเท้าภายในพื้นที่ของช่วงเวลารวิเคราะห์ (ft^2/ped)

T = เวลาของช่วงเวลารวิเคราะห์ (min)

S = ประสิทธิภาพพื้นที่สุทธิของพื้นที่การวิเคราะห์ (ft^2)

n = จำนวนของคนเดินเท้าที่ครอบครองภายในพื้นที่ (เดิน รอ ยืน อื่น ๆ)

t = เวลาครอบครองที่ถูกปรับของคนเดินเท้าในการใช้งานช่วงของเวลาที่วิเคราะห์

การเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า

ความรู้หรือพฤติกรรมเชิงลึกที่มีความซับซ้อนถูกรวบรวม และได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์จำนวนมาก ซึ่งทำให้เกิดจากการสำรวจที่แสดงให้เห็นว่ามนุษย์มีการใช้ความฉลาดหรือสัญชาตญาณแรกในการได้รับสิ่งที่มีความซับซ้อน แต่ปฏิสัมพันธ์อย่างง่ายสามารถที่จะนำไปสู่รูปแบบของการเคลื่อนที่ เนื่องจากสมมติฐานที่เหมาะสมเป็นผลที่ได้รับจากกระบวนการถูกเพิ่มประสิทธิภาพของผลแบบอัตโนมัติในส่วนของการลดการชนกันและความล่าช้าของคนเดินเท้า

1. ความเป็นมาโดยย่อของแบบจำลองคนเดินเท้า

คนเดินเท้ามีการถูกศึกษาทดลองมากกว่าสี่ทศวรรษที่ผ่านมา วิธีการประเมินแรกถูกปรับใช้บนพื้นฐานของการสังเกตจากภาพถ่าย และ Time-lapse films โดยตรง โดยเป้าหมายหลักของการศึกษานำไปสู่การพัฒนาแนวคิด LOS (Fruin, 1971) ในการออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกคนเดินเท้า (Helbing, Buzna, Johansson, & Werner, 2005) หรือแนวทางการวางแผน (TRB, 1985) ในระยะหลังมีการใช้ผลที่ได้จากความสัมพันธ์เชิงถดถอย (Regression relations) อย่งไรก็ตามเป็นการศึกษาที่ไม่ค่อยประสบความสำเร็จเท่าที่ควร สำหรับการคาดการณ์การไหลของคนเดินเท้าในเชิงพื้นที่ และภายในโครงสร้างของคนเดินเท้ากับที่มีรูปร่างทางสถาปัตยกรรมที่พิเศษออกไป หรือในสถานการณ์การอพยพที่มีความเสี่ยงสูง ดังนั้นแบบจำลองคนเดินเท้าจึงถูกนำเสนอขึ้น เช่น Queuing models, Transition matrix models และ Stochastic models นอกจากรูปแบบแบบจำลองที่กล่าวมายังมีรูปแบบสำหรับพฤติกรรมทางเลือกเส้นทาง (Route choice behavior) ของคนเดินเท้าด้วย (Helbing & Johansson, 2010)

แนวคิดเหล่านี้ไม่มีการนำไปปรับใช้สู่การใช้งาน ผลกระทบที่เกิดขึ้นของการจัดเรียงตัวเอง (Self-organization) ในฝูงชนคนเดินเท้า ซึ่งเป็นหลักของการศึกษาทดลองในช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมา (Helbing et al., 2005; Helbing, Isobe, Nagatani, & Takimoto, 2003; Isobe, Helbing & Nagatani, 2004) แบบจำลองคนเดินเท้าจำนวนมากได้เกิดขึ้น วิธีการสร้างแบบจำลองแรกที่เกิดขึ้นถูกศึกษาซ้ำ ๆ ในรูปแบบ Spatio-temporal ของการเคลื่อนที่ เสนอโดย Henderson ในปี 1974 ที่ได้คาดคะเนพฤติกรรมของฝูงชนคนเดินเท้าที่เปรียบเสมือนแก๊สหรือของเหลว (Gases or Fluids) แต่ความเหมือนของทฤษฎีการแพร่กระจายของแก๊สหรือการเคลื่อนที่ของของเหลว (Gas-kinetic or fluid-dynamic) สำหรับคนเดินเท้ามีการแก้ไขข้อจำกัดจำนวนมากทั้งที่มีปฏิสัมพันธ์ที่สอดคล้องกัน เนื่องจากมันไม่เป็นไปตามกฎโมเมนตัมและกฎการอนุรักษ์พลังงาน (Momentum and energy conservation) ดังนั้นทฤษฎีดังกล่าวสามารถที่จะทำให้เกิดขึ้นจริง (Helbing, 1992) ในการใช้งานในทางปฏิบัติและการจำลองโดยตรงของการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าของแต่ละบุคคลได้ เป็นเป็นอย่างดี ซึ่งมีความยืดหยุ่นมาก ผลที่ได้ของคนเดินเท้าให้ความสำคัญใน Agent-based model

ของฝูงชนคนเดินเท้า ที่ซึ่งหนึ่งอย่างที่ได้รับการพิจารณา คือ ปัญหาการประสานงานในพื้นที่ ต่อมา Social force model (Helbing, 1991; Helbing & Molnár, 1995) ที่อาจเรียกได้ว่าเป็นความรู้ที่ตีความของแบบจำลอง แต่ยังคงอ้างอิงถึง Cellular automata ของการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า (Burststedde, Klauck, Schadschneider, & Zittartz, 2001) และ AI- based model (Reynolds, 1994)

2. แนวคิด *Social Force*

ส่วนนี้เป็นการแนะนำเบื้องต้นแบบสั้น ๆ ของแนวคิด Social force ซึ่งมีการสังเกตและทดลองซ้ำ ๆ ในทางเดินโดยทั่วไปและเป็นธรรมชาติของพฤติกรรมของมนุษย์ ผลที่ได้จะเสมือนกับความปั่นป่วน ความไม่สม่ำเสมอ และการไม่สามารถคาดการณ์ได้ การพบกับสิ่งที่ปรากฏขึ้นของการเคลื่อนที่ในบางพื้นที่ที่เสมือนจะต่อเนื่องกัน ที่ซึ่งอาจจะเป็นเช่นเดียวกันที่เกิดช่องว่างของพฤติกรรมโดยรวม อย่างเช่น ขนาดของความเชื่อ ซึ่งเป็นความสามารถที่ดีในระบบ เมื่อเกิดความผันผวนเนื่องจากอิทธิพลที่ไม่ทราบที่ไม่ใหญ่มาก เมื่อถูกเทียบกับทั้งระบบของการกำหนดการเคลื่อนที่ ซึ่งมันถูกใช้ในกรณีของการจราจรของคนเดินเท้า เมื่อผู้คนถูกทำให้เผชิญหน้ากันในสถานการณ์ปกติ และการตอบสนองอย่างอัตโนมัติค่อนข้างที่จะดีกว่าการนำไปสู่การตัดสินใจที่ซับซ้อน เช่น ถ้ามีสิ่งหนึ่งเกิดขึ้นจะนำไปสู่การหลีกเลี่ยง พฤติกรรมแบบอัตโนมัติที่สามารถที่จะตีความได้ว่าเป็นผลของกระบวนการเรียนรู้ (Learning process) ที่อยู่บนพื้นฐานของการลองผิดลองถูก (Trial and error) (Helbing, Molnár, Farkas, & Bolay, 2001) ที่ซึ่งสามารถที่จะถูกจำลองกับวิธีการที่มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง (Evolutionary algorithms) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องของพฤติกรรมด้านประเพณี ระเบียบแบบแผน สามารถที่จะอธิบายได้โดยความหมายของพัฒนาการของทฤษฎี Game (Helbing, 1991; Helbing, 1992)

อีกประการหนึ่งของรายละเอียดการแบ่งแรงในเทรมที่มีผลกระทบเนื่องจากอิทธิพลของความแตกต่างของสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำได้โดยการประมาณค่า แต่มันต้องมีความสอดคล้องกับผลการทดลองที่อยู่บนพื้นฐานของการวัดประสิทธิภาพสำหรับการทดสอบสัตว์และคน ที่มีสาระสำคัญแยกออกจากกัน หรือการนำไปใช้งานพร้อมกันของสิ่งเร้าที่มีความแตกต่างกันในเรื่องความเป็นธรรมชาติและความแข็งแรง หนึ่งอย่างที่ควรแสดงซึ่งพฤติกรรมในสถานการณ์ที่มีการขัดแย้งกันสามารถที่จะอธิบายโดยความซับซ้อนของแรง ที่ความพอดีนนำไปสู่แนวคิดโดย Lewin ในปี 1951 ที่ เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมที่ถูกแนะนำโดยเรียกว่า Social fields หรือ Social force (Helbing et al., 2010) ในขณะที่ภายหลังมีการพัฒนาเพื่อนำไปสู่ทอมของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Helbing, 1991) ที่เป็นการกำหนดกลุ่มและทิศทางของระบบการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ที่สามารถจะแสดงเป็นลำดับขั้นของการเคลื่อนที่ที่มีศักยภาพมากขึ้น และสะท้อนผลจากสภาวะสังคมหรือผลการสังเกตจากภาคสนาม ผลจากปฏิกิริยาของการมีปฏิสัมพันธ์ของแต่ละบุคคล และเป็น

ความสำเร็จโดยเฉพาะในเชิงการอธิบายของพฤติกรรมโดยรวมที่ปรากฏของคนเดินเท้า (Helbing et al., 2005; Helbing, 1991; Helbing & Molnár, 1995; Helbing et al., 2001)

สำหรับความน่าเชื่อถือของแบบจำลองของฝูงชนคนเดินเท้า เป็นการมองภาพรวมว่าเพียงพอที่จะประมาณค่าได้ดี ในขณะที่เปอร์เซ็นต์สามารถถูกวัดจากการทดลอง หรือประมาณโดยค่าเฉลี่ยของ Route choice models (Borgers & Timmermans, 1986) ในบางครั้งความไม่แน่นอนของกลุ่มพฤติกรรมแต่ละบุคคลจะถูกเฉลี่ยที่แตกต่างจากระดับมหภาค (Macroscopic level) แต่จะใช้แบบจำลองระดับจุลภาค (Microscopic simulation) ที่มีความยืดหยุ่นมากกว่า ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของแนวคิด Social force ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น การเปลี่ยนแปลงแบบชั่วขณะของสถานที่ $r_\alpha(t)$ ของคนเดินเท้า α ตามสมการของการเคลื่อนที่ที่ 2-5

$$\frac{dr_\alpha(t)}{dt} = v_\alpha(t) \quad (2-5)$$

อย่างไรก็ตามถ้า $f_\alpha(t)$ หมายถึงผลรวมอิทธิพลของ Social force คนเดินเท้า α และถ้า $\xi_\alpha(t)$ เป็นอิทธิพลของแต่ละบุคคลที่สะท้อนถึงความแปรปรวนของพฤติกรรมทั้งระบบ การเปลี่ยนแปลงความเร็วถูกให้โดยสมการของความเร่ง (Acceleration equation) ดังสมการที่ 2-6

$$\frac{dv_\alpha}{dt} = f_\alpha(t) + \xi_\alpha(t) \quad (2-6)$$

ข้อดีของวิธีการนี้นำไปสู่การใช้งานที่ยืดหยุ่นของระยะห่างระหว่างคนเดินเท้า ความต้องการที่จะรักษาความต่อเนื่องของการเคลื่อนที่ ซึ่งถูกเปลี่ยนที่จากจุดที่ใช้ในการสังเกตและทดลอง ในธรรมชาติและความแข็งแรง ซึ่ง Social force model สามารถที่จะตีความที่คล้ายคลึงกับ differential game เช่น การเคลื่อนที่ได้มาจากการลดลงของฟังก์ชันค่าอรรถประโยชน์ที่พิเศษ (Helbing et al., 2010)

3. รายละเอียดของ Social Force Model

Social force model ใช้สำหรับเป็นสมมติฐานของคนเดินเท้าที่แต่ละคนเดินเท้า α เป็นการสุ่มการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ต้องการ e_α^0 กับความเร็วที่ต้องการ v_α^0 และซึ่งมันมีการปรับความเร็วที่เกิดขึ้นจริง v_α ไปถึงความเร็วที่ต้องการหนึ่ง ๆ $v_\alpha^0 = v_\alpha^0 e_\alpha^0$ ภายในบางช่วงเวลาผ่อนคลาย (Relaxation time) τ_α ส่วนของระบบแรงทั้งหมด $f_\alpha(t)$ ของการเร่งความเร็วของคนเดินเท้า α ที่ซึ่งถูกให้โดยสมการที่ 2-7

$$f_\alpha(t) = \frac{1}{\tau_\alpha} (v_\alpha^0 e_\alpha^0 - v_\alpha) + \sum_{\beta(\neq\alpha)} f_{\alpha\beta}(t) + \sum_i f_{\alpha i}(t) \quad (2-7)$$

เมื่อ $f_{\alpha\beta}(t)$ และ $f_{\alpha i}(t)$ หมายถึง แรงที่ผลักดันคนเดินเท้าหรืออธิบายได้ว่าเป็นแรงที่คนเดินเท้าพยายามที่จะไปยังระยะที่ปลอดภัยจากคนเดินเท้าคนอื่น ๆ β และสิ่งกีดขวาง (Obstacles) i ในสถานการณ์ที่มีฝูงชนจำนวนมาก นอกจากนี้ลักษณะแรงทางกายภาพบางแรงนำไปสู่การใช้งาน แรงต่อไปอาจจะเพิ่มในผลของแรงดึงดูดระหว่างจำนวนของกลุ่มหรืออิทธิพลอื่น ๆ (Helbing et al., 2001) ซึ่งพวกเขาได้สมมติฐานแรงปฏิสัมพันธ์ที่เรียบง่ายดังสมการที่ 2-8

$$f_{\alpha\beta}(t) = f(d_{\alpha\beta}(t)) \quad (2-8)$$

เมื่อ $d_{\alpha\beta} = r_\alpha - r_\beta$ เป็นเวกเตอร์ระยะทางจากจุดของคนเดินเท้า β ไป α ขึ้นอยู่กับผลกระทบของมุมที่เกิดการบดบัง โดยปัจจัยอิสระอธิบายถึงปฏิริยาการตอบสนองที่ไม่ค่อยสม่ำเสมอของสถานการณ์ของแรงในการถูกเปรียบเทียบกับคนเดินเท้าที่อยู่ข้างหลัง (Helbing & Molnár, 1995; Johansson et al., 2007) โดยเริ่มกำหนดเป็นแบบวงกลม (Circular specification)

3.1 การกำหนดรูปร่างคนเดินเท้ารูปวงรี (Elliptical specification) ถูกแสดงในสมการที่ 2-9 มีความไม่เป็นระนาบของเนื้อที่ที่ถูกแทนที่ที่อาจเกิดขึ้น $V_{\alpha\beta}$ ที่ซึ่งในกรณีนี้สามารถที่จะถูกใช้งานที่ถูกสร้างขึ้น แรงปฏิริยารูปวงรีที่อาจเกิดขึ้นคือ

$$V_{\alpha\beta}(b_{\alpha\beta}) = ABe^{-b_{\alpha\beta}/B} \quad (2-9)$$

เมื่อตัวแปร $b_{\alpha\beta}$ หมายถึง กึ่งกลางแนวแกนด้านน้อย $b_{\alpha\beta}$ เส้นสมคักซ์ของรูปวงรี ที่ซึ่งจะถูกกำหนดดังสมการที่ 2-10 ดังต่อไปนี้

$$2b_{\alpha\beta} = \sqrt{\left(\|d_{\alpha\beta}\| + \|d_{\alpha\beta} - (v_\beta - v_\alpha)\Delta t\|\right)^2 - \left(\|(v_\beta - v_\alpha)\Delta t\|\right)^2} \quad (2-10)$$

ดังนั้นคนเดินเท้า α และ β ทั้งสองนี้จะถูกเก็บไว้ในระบบ ที่ซึ่งแรงที่ผลักดันคนเดินเท้าถูกทำให้มีความเกี่ยวข้องกับสิ่งที่อาจเกิดขึ้นในก่อนหน้าผ่านทางสมการที่ 2-11

$$f_{\alpha\beta}(d_{\alpha\beta}) = -\nabla_{d_{\alpha\beta}} V_{\alpha\beta}(b_{\alpha\beta}) = -\frac{dV_{\alpha\beta}(b_{\alpha\beta})}{db_{\alpha\beta}} \nabla_{d_{\alpha\beta}} b_{\alpha\beta}(d_{\alpha\beta}) \quad (2-11)$$

เมื่อ $\nabla_{d_{\alpha\beta}}$ เป็นความลาดชันกับความเครพของ $d_{\alpha\beta}$ การพิจารณาของเงื่อนไข

$\|z\| = \sqrt{z^2}$ และ $\nabla_z \|z\| = \frac{z}{\sqrt{z^2}} = z/\|z\|$ ที่เป็นไปตามสมการที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 12

$$f_{\alpha\beta}(d_{\alpha\beta}) = A_\alpha e^{-d_{\alpha\beta}/B_\alpha} \cdot \frac{\|d_{\alpha\beta}\| + \|d_{\alpha\beta} - y_{\alpha\beta}\|}{2b_{\alpha\beta}} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{d_{\alpha\beta}}{\|d_{\alpha\beta}\|} + \frac{d_{\alpha\beta} - y_{\alpha\beta}}{\|d_{\alpha\beta} - y_{\alpha\beta}\|} \right) \quad (2-12)$$

เมื่อ $y_{\alpha\beta} = (v_\beta - v_\alpha) \Delta t$ และพวกเขาใช้ $\Delta t = 0.5s$ สำหรับ $\Delta t = 0$ จะกลับไปสู่สมการที่ 2-10

การกำหนดรูปร่างรูปวงรีมีสองข้อดีหลักเมื่อเปรียบเทียบกับรูปวงกลม คือ ข้อแรกแรงปฏิสัมพันธ์ที่ได้รับไม่ขึ้นอยู่กับระยะทางเท่านั้น แต่จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของความเร็ว ข้อที่สองแรงที่ถูกผลักจะไม่ถูกแสดงอย่างเคร่งครัดมากเกินไปจากคนเดินเท้า β ถึงคนเดินเท้า α แต่องค์ประกอบอีกด้านหนึ่ง ที่ผลพลอยได้หนึ่งนำไปสู่การเผชิญหน้ากันที่น้อยกว่า มีการหลีกเลี่ยงหลบหลีกที่มีความราบรื่นกว่า ซึ่งใช้ความเร็วต่อไปได้โดยการกำหนดของแรงปฏิสัมพันธ์ของคนเดินเท้าจะถูกนำเสนอ (Helbing, 1995; Helbing & Molnár, 1995) ที่มีข้อจำกัดในข้อกำหนดรายละเอียดก่อนหน้านี้ ที่เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นถึงวิธีการของการพัฒนาแบบจำลองที่ถูกเปรียบเทียบ

การเคลื่อนที่ของฝูงชนคนเดินเท้า

1. การเปรียบเทียบกับแก๊ส และการไหลของ Granular media

เมื่อมีความหนาแน่นของคนเดินเท้าต่ำ คนเดินเท้าสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และการเคลื่อนที่ของฝูงชนถูกสังเกตว่ามีบางส่วนสามารถที่จะเทียบได้กับพฤติกรรมการแพร่ของแก๊ส เมื่อความหนาแน่นของคนเดินเท้าระดับปานกลางและสูง จากการสังเกตค่อนข้างที่จะมีการเปรียบกับการเคลื่อนที่การไหลของ Granular โดยสรุปแล้วหนึ่งอย่างที่ควรจะต้องพิจารณาในการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของของเหลวที่มีความเหมาะสมในสถานการณ์ปกติ ในขณะที่ด้านการไหลของ Granular จะครอบคลุมถึงความหนาแน่นที่สูงมาก ๆ ตั้งแต่การเคลื่อนที่ที่มีการขับเคลื่อนด้วยตัวเองและการไม่เชื่อฟังกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมที่บอกถึงคุณสมบัติพิเศษของการไหลของคนเดินเท้า ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเกิดขึ้นในส่วนของเหลวปกติที่ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) สูงเพียงพอ

2. การจัดเรียงตัวของฝูงชนคนเดินเท้า

ในแบบจำลอง Social force ของการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า ที่อธิบายสิ่งที่ปรากฏจำนวนมากจากการสังเกตและค่อนข้างที่จะมีข้อผิดพลาดน้อยหรือแทบจะไม่มี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการได้รับการยอมรับในการอธิบายตัวแปรการจัดเรียงตัวด้วยตัวเอง ที่เป็นรูปแบบชั่วคราวในพื้นที่ ซึ่งไม่เป็นไปตามความผันผวนตามที่กำหนด หรือที่ถูกจัดไว้ เช่น โดยป้ายจราจร กฎข้อบังคับของพื้นที่ หรือพฤติกรรมโดยรวมของคนในพื้นที่ ที่รูปแบบชั่วคราวในพื้นที่ที่ถูกกล่าวข้างต้นนั้น เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) ของคนเดินเท้าแม้ว่าจะไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสมมุติฐานการพิจารณาเกี่ยวกับความสำคัญทางวัตถุประสงค์ หรือพฤติกรรมเลียนแบบของคนเดิน

เท้า โดยสามารถตีความได้จากรูปแบบของการประสานงานที่เกิดขึ้นในการสร้างทางสังคม เมื่อขนาดของช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าแปลกใจที่เกิดขึ้นจริงที่การประสานงานกับคนแปลกหน้ากับแต่ละคนเดินเท้าอื่น ภายในวินาทีนั้น ๆ ถ้ามีการเพิ่มขึ้นของคนเดินเท้าในสิ่งแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตามผู้คนจากประเทศที่แตกต่างกัน จะรู้สึกไม่คุ้นเคยเมื่ออยู่ในพื้นที่ ซึ่งสามารถบอกได้ว่าผลกระทบจากการเรียนรู้และพื้นฐานด้านวัฒนธรรมนั้นยังมีผลในรูปธรรมในการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมที่เป็นปกติในการเผชิญหน้าของคนเดินเท้าที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม อย่างไรก็ตามในเป้าหมายต้องการให้มันเป็นไปได้โดยปกติ ระหว่างผลความสามารถในการสังเกตซ้ำ ๆ

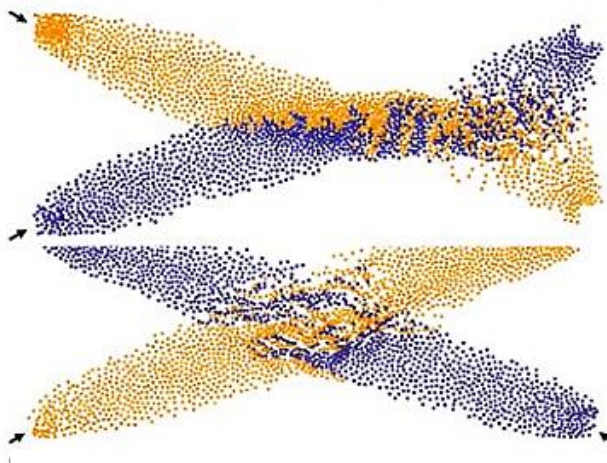
2.1 การเกิดเลน (Lane formation) ในการไหลของคนเดินเท้าได้รับการสังเกตที่ตำแหน่งหนึ่งการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าเป็นการเกิดเลนขึ้น แม้ว่าเลนที่เกิดขึ้นไม่มีระยะขนาดใหญ่ในการแยกแต่ละคนเดินเท้าออกจากกัน เช่น บนทางม้าลาย อย่างไรก็ตามความกว้างของเลนที่เพิ่มขึ้น และที่การลดลง ถ้าความต่อเนื่องของปฏิสัมพันธ์มีระยะที่กว้างใหญ่ครอบคลุมมากพอ และถ้าเกิดการรบกวน เช่น การไหลเข้าหรือการอยู่นิ่งในด้านข้างอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า หรืออื่น ๆ ที่ปรากฏการเกิดเลนอาจจะทำให้เลนสูญเสียดังไป (Helbing, Farkas, & Vicsek, 2000) การเกิดเลนอาจปรากฏที่การแยกกัน (Helbing & Platkowski, 2000) แม้ว่าจะเป็นการรบกวนที่บางเบาสำหรับหนึ่งทิศทาง การเดิน การสังเกตแสดงผลที่ดี เมื่อคนเดินเท้ามีการหลีกเลี่ยงการปฏิสัมพันธ์ที่นำไปสู่การใช้งานจริง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวนมากในการเกิดเลนที่ปรากฏมีความสัมพันธ์กับความเร็วของการเดินของคนเดินเท้าในทิศทางตรงข้ามเป็นอย่างมาก ซึ่งถูกเปรียบเทียบกับผู้คนที่ตามกันของแต่ละคนเดินเท้า ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าจะมีปฏิสัมพันธ์ที่มีความถี่สูง การแยกนำไปสู่การแบ่งเลนแบบก้าวต่อก้าว เมื่อใดก็ตามเมื่อคนเดินเท้าอื่นถูกพบ รูปแบบที่แข็งแกร่งของการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด จะเห็นได้ชัดเจน อย่างเช่น รูปแบบที่สอดคล้องกับเลน ที่ลดความถี่และความแข็งแกร่งของการหลีกเลี่ยงการปะทะกันของคนเดินเท้า ความสนใจถูกแสดงในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของการเกิดเลนที่เกิดขึ้นเมื่ออยู่ในการดำเนินการแบบหลายทิศทาง

ผลกระทบแรงเสียดทานของเลนที่ลดลง ความเร่ง การใช้พลังงาน และความล่าช้าในการเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามของฝูงชน ดังนั้นหนึ่งอย่างที่ควรพูดถึง คือ รูปแบบความฉลาดโดยรวม (Collective intelligence) ในความเป็นจริงเป็นไปได้ที่หนึ่งคนเดินเท้าที่จะเกิดขึ้น เช่น รูปแบบการปรากฏของการเคลื่อนที่ การเกิดเลนเป็นรูปแบบที่ทำงานร่วมกันกับการจัดเรียงตัวเองของการเคลื่อนที่ การจัดเรียงจากปฏิสัมพันธ์ของคนเดินเท้าโดยทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการกำหนดด้านข้าง กระแสของพฤติกรรมไม่สามารถที่จะเข้าใจในการเพิ่มขึ้นของพฤติกรรมของบุคคลหนึ่งคน ซึ่งเป็นไปตามคุณลักษณะที่ซับซ้อน ระบบการจัดเรียงตัวเอง และลักษณะการแพร่กระจายของระบบสังคมที่เป็นจริง อย่างไรก็ตามไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ค่าสถิติในพฤติกรรมที่

เกิดขึ้นของระเบียบทางสังคม เช่น การแบ่งการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าในทิศทางตรงข้ามกัน นำไปสู่การเกิดเลนที่เกิดขึ้นแบบอัตโนมัติ แม้ว่าผู้คนจำนวนมากไม่ได้ตระหนักถึงสิ่งที่ปรากฏนั้น

2.2 การแกว่งของการไหลที่คอขวด (Oscillatory flows at bottlenecks) ที่คอขวด การไหลแบบสองทิศทางของความหนาแน่นปานกลางมีลักษณะที่ได้รับการเปลี่ยนแปลงไปสู่การแกว่งในทิศทางของการไหล ในขณะที่การไหลที่แกว่งนั้นอาจจะถูกตีความได้ถึงผลกระทบของพฤติกรรมความเป็นกันเอง แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของ Social force model อธิบายพฤติกรรมที่ปรากฏซึ่งทำให้เกิดความเข้าใจใหม่ จากคนเดินเท้าอย่างง่ายในการมีปฏิสัมพันธ์ ที่เป็นการเกิดการไหลที่ไม่ราบเรียบ แม้ในกรณีที่ไม่มีการสื่อสารของกันและกัน ดังนั้นอาจจะมองได้ว่าที่การปรากฏของการจัดเรียงตัวเอง ที่ซึ่งความล่าช้า และผลกระทบของแรงเสียดทานจะลดลงอีกครั้ง ซึ่งการไหลที่แกว่งมีลักษณะเด่นที่ความฉลาดโดยรวม หนึ่งในสิ่งที่สามารถเห็นได้ชัดเจน คือ แกว่งที่เกิดขึ้นจากการถูกทำให้ผ่านโดยกลุ่มของผู้คนในทางที่แกว่งไปมาค่อนข้างที่จะดีกว่าแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (Helbing et al., 2005) ในขณะที่อาจจะบอกได้ว่าที่ผลของการเรียนรู้ของจำนวนขนาดใหญ่ของสถานการณ์ที่คล้ายคลึงกัน แม้แบบจำลองจะเรียบง่ายใช้งานได้จริงที่หลากหลาย อีกอย่างหนึ่งของหนึ่งคนเดินเท้าที่สามารถผ่านที่แคบ ๆ ของคนเดินเท้ากับทิศทางเดินที่เหมือนกันสามารถที่จะตามกันไปได้โดยง่าย ด้วยเหตุนี้จำนวนและแรงกดดันของการรอ การผลักคนเดินเท้าในด้านหนึ่งของคอขวดกลายเป็นส่วนน้อยกว่าในข้างอื่น ในที่สุดมันจะเพิ่มขึ้นและจะเปลี่ยนไปเกิดอีกทาง สุดท้ายความแตกต่างระหว่างแรงดัน จะสูงเพียงพอที่จะหยุดการไหลและเปลี่ยนทิศทางที่จะผ่านที่คอขวด ที่ซึ่งเป็นส่วนกลับของสถานการณ์และในที่สุดคนเดินเท้าจะเปลี่ยนทิศทางเดิน การไหล เมื่อแรงดันสูงขึ้นไปสู่การไหลที่แกว่งและไม่ราบเรียบ

2.3 การเกิดการบิดริ้วในการไหลที่ทางแยก (Stripe formation in intersecting flows) ในพื้นที่ทางแยกการไหลของผู้คนปรากฏความผิดปกติหรือวุ่นวายขึ้น ในความเป็นจริงสามารถที่จะแสดงได้หลากหลายรูปแบบของการปรากฏของการเคลื่อนที่ คนเดินเท้าแบบกลุ่มมีการไหลที่แกว่ง อย่างไรก็ตามรูปแบบการแย่งชิงที่ต่อเนื่องกับคนอื่น และรูปแบบการครอบครองชั่วขณะถูกทำลายหลังจากหนึ่งช่วงเวลาสั้น ๆ ที่เห็นได้ชัดเจน คือ ไม่มีการพัฒนาคุณภาพทางสังคมที่ควรจะถูกสร้างขึ้น ในการกำหนดและให้ประสิทธิภาพในการไหลที่ทางแยก การจำลองคนเดินเท้าเสมือน (Agent) ของสองกระแสการจราจรคนเดินเท้าที่ตัดกัน แสดงให้เห็นถึงการปรากฏการเกิดการบิดริ้ว (Stripe) ขึ้น ซึ่งรูปแบบการจัดเรียงตัวเองจะให้คนเดินเท้าผ่านไปยังกระแสอื่น ๆ ที่ไม่มีการหยุด กล่าวคือ จะมีการเคลื่อนที่ไปด้านข้างตามการเคลื่อนที่ที่เกิดการบิดริ้ว (Helbing et al., 2005) ดังแสดงในภาพที่



ภาพที่ 2-11 การจัดเรียงตัวของฝูงชนคนเดินเท้าที่เกิดการปิดรั้ว (Helbing et al., 2005)

รูปแบบการจัดเรียงตัวของ การเคลื่อนที่ ถูกพบในสถานการณ์เมื่อการไหลของคนเดินเท้าคนอื่น ที่เคลื่อนที่หนึ่งหรือสองทิศทาง ในสถานการณ์ เช่น การปรากฏของการเกิดการปิดรั้ว โดยการเกิดรั้วช่วยให้สองทิศทางรูปแบบการไหลไปสู่แบบอื่น โดยคนเดินเท้าที่จะไม่ต้องหยุด แต่ไม่อยู่กับที่ที่ใดที่หนึ่ง อีกทั้งการปิดรั้วจะเป็นคลื่นความหนาแน่นที่เคลื่อนที่ไปสู่ทิศทางของผลรวมของเวกเตอร์ทิศทางของการไหลของทางแยกทั้งสอง โดยธรรมชาติของรั้วจะขยายไปด้านข้าง นำไปสู่ทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของการเคลื่อนที่ ดังนั้นการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าจะไปตามรั้ว และที่ด้านข้างภายในรั้ว การเกิดเลนที่สอดคล้องกับกรณีที่คล้ายคลึงกันของการเกิดรั้วเมื่อทิศทางทั้งสองเป็นไปในทางตรงข้ามกันอย่างชัดเจน ในกรณีที่อยู่บนพื้นที่ที่เป็นทางแยก และรั้วไม่ทำให้การเคลื่อนที่เป็นระบบการเกิดเลน การเกิดรั้วช่วยให้เป็นการลดการกีดขวางที่ทางแยกและเพิ่มค่าเฉลี่ยความเร็วของคนเดินเท้า

การเคลื่อนที่ของการอพยพ

ส่วนก่อนหน้านี้นี้มุ่งเน้นการเคลื่อนที่ของฝูงชนคนเดินเท้าในสถานการณ์ปกติ ในหัวข้อนี้จะอธิบายสถานการณ์ที่ความหนาแน่นของฝูงชนที่สูงมาก อย่างเช่น สถานการณ์กิจกรรมขนาดใหญ่ที่อาจจะเกิดขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของการออกไปยังนอกพื้นที่ อย่างเร่งด่วนหรือการอพยพคนจำนวนมาก ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ที่ราบเรียบและละเอียดอ่อน ในสถานการณ์ที่อาจนำไปสู่การเกินความควบคุมและจบลงด้วยภัยพิบัติที่เกิดกับฝูงชนที่น่ากลัว ซึ่งจากการเกิดเหตุการณ์ที่เลวร้ายในอดีตที่ผ่านมาถูกแสดงในตารางที่ 2-5 แสดงสถานการณ์ตัวอย่างของภัยพิบัติของฝูงชนขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ปี 1970 จากไฟไหม้ การระเบิดก่อนการร้าย และการเกิดอุบัติเหตุ

ที่พื้นที่ของสถานีรถไฟ จำนวนของผู้ได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก สถานการณ์การอพยพหรือสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าความตื่นตระหนก (Panic) แม้ว่าจากมุมมองทางด้านวิทยาศาสตร์มีการใช้ของเทมดังกกล่าวค่อนข้างที่จะขัดแย้งกัน ซึ่งไม่ได้สนใจในคำถามที่ว่าความตื่นตระหนกที่แท้จริงเกิดขึ้นหรือไม่ แต่มุ่งเน้นในการออกไปยังนอกพื้นที่ของฝูงชนที่มีความหนาแน่นสูงและภายใต้ภาวะที่เกิดความเครียดภายในจิตใจ

ตารางที่ 2-5 รายชื่อของภัยพิบัติของฝูงชนขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ปี 1970 (Helbing & Johansson, 2010; Fridolf, 2010)

Date	Place	Venue	Deaths	Reason
1971	Ibrox, UK	Stadium	66	Collapse of barriers
1974	Cairo, Egypt	Stadium	48	Crowds break barriers
1982	Moscow, USSR	Stadium	340	Re-entering fans after last minute goal
1987	King's Cross Station, London	Subway Station	31	Fire startde in one of the escalators
1988	Katmandu, Nepal	Stadium	93	Stampede due to hailstorm
1990	New York City	Bronx	87	Illegal happy land social club
1991	ZÜRICH Metro	Metro	0	Fire occurred on a train
1994	Mena, Saudi Arabia	Jamarat Bridge	266	Overcrowding
1995	Baku's Metro	Metro	289	Electrical failure led to a file on one of the trains
1996	Guatemala City, Guatemala	Stadium	83	Fans trying to force their way into the stadium
1999	Kerala, India	Hindu Shrine	51	Collapse of parts of the shrine
1999	Minsk, Belarus	Subway Station	53	Heavy rain at rock concert

ตารางที่ 2-5 (ต่อ)

Date	Place	Venue	Deaths	Reason
1999	Kerala, India	Hindu Shrine	51	Collapse of parts of the shrine
2000	Kaprun, Austria	Underground station	155	Fire occurred in a funicular train
2001	Ghana, West Africa	Stadium	> 100	Panic triggered by tear gas
2003	Jungangno Station of the Daego Metropolitan, South Korea	Subway Station	189	Arsonist set fire to train that hed stopped
2004	Mena, Saudi Arabia	Jamarat Bridge	251	Overcrowding
2005	Wai, India	Religious Procession	150	Overcrowding (and fire)
2005	Bagdad, Iraque	Religious Procession	> 640	Rumors regarding suicide bomber
2005	Rinkeby, Sweden	Subway Station	12	Fire occurred in the undercarriage of train car
2005	Bagdad, Iraque	Religious Procession	> 640	Rumors regarding suicide bomber
2005	Chennai, India	Disaster Area	42	Rush for flood relief supplies
2006	Mena, Saudi Arabia	Jamarat Bridge	363	Overcrowding
2006	Pilippines	Stadium	79	Rush for game show tickets
2006	Ibb, Yemen	Stadium	51	Rally for Yemeni president

1. การอพยพและผลของความตื่นตระหนก

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้มีการถูกพัฒนาสำหรับสถานการณ์ฉุกเฉินและอพยพ (Keith, 2000; Hamacher & Tjandra, 2001) ผลการศึกษาที่ได้จำนวนมากนำไปสู่การศึกษาความตื่นตระหนก อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาของการทดลองตามธรรมชาติโดยทั่วไปถูกการดำเนินการแยกออกไปโดยนักสังคมจิตวิทยาและอื่น ๆ บางความตื่นตระหนกถูกสำรวจในกรณีของงานศึกษาที่น้อยมาก ซึ่งยังเป็นที่ต้องการสำหรับการประเมินหรือมุ่งเน้นในการศึกษา ที่เป็นการใช้ลักษณะเด่นของการหลีกเลี่ยงความตื่นตระหนกหรือความแตกตื่น (Stampedes) และการใช้พลังงานเนื่องจากการเกิดความตื่นตระหนกที่บ้าคลั่ง (Crazes) (Coleman, 1990) บางกรณีมีการแยกตามข้อสงสัยที่เกิดขึ้น (Johnson, 1987)

การศึกษาที่ผู้คนเกิดความตื่นตระหนก โดยสนใจในระยะสั้นของบุคคลที่ไม่มีการควบคุมโดยข้อจำกัดด้านสังคมและวัฒนธรรม ซึ่งความเป็นไปได้ของผลการลดความดึงดูดในสถานการณ์ของความกลัว นอกเหนือจากสาเหตุที่มีตัวเลือก อย่างเช่น ทางออกด้านข้างซึ่งส่วนใหญ่จะไม่ใช่ที่สนใจ (Elliott & Smith, 1993) อย่างไรก็ตามมันเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของการแพร่กระจายทางสังคม (Coleman, 1990; Johnson, 1987) เช่น จุดเปลี่ยนถ่ายจากที่ส่วนบุคคลเป็นที่ทางกายภาพขนาดใหญ่ ในที่ซึ่งการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของบุคคลครอบคลุมไปถึงการแสดงออกไปยังคนอื่น ๆ (Coleman, 1990) นำไปสู่การใช้มาตรการ ที่เป็นพฤติกรรมกวาดต้อน (Herding behavior) ในบางความรู้สึกที่ไม่เป็นปกตินำไปสู่การได้รับผลประโยชน์โดยรวม อย่างเช่น อันตรายจากการเกิดความหนาแน่นมากเกินไป และการหลีกเลี่ยงที่ซ้ำ (Elliott & Smith, 1993; Coleman, 1990; Johnson, 1987) ซึ่งพฤติกรรมกวาดต้อนสามารถลดการเสียชีวิตหรือความเสียหายในสถานการณ์พิเศษที่ต้องเผชิญมากกว่าปกติ

ตัวแปรทฤษฎีทางสังคมจิตวิทยาในการสมมติฐานการแพร่กระจายของผลกระทบ ความเชื่อ ความสามัคคี การกระตุ้นของสัญญาณแรก ปฏิกริยาโดยรอบ การอำนวยความสะดวกทางด้านสังคม การเกิดขึ้นของหลักเกณฑ์ที่รองรับของพฤติกรรมความเห็นแก่ตัว (Helbing et al., 2010) Coleman (1990) มีการเพิ่มคำอธิบายอื่นที่เกี่ยวข้องกับสถานะที่กลืนไม่เข้าคายไม่ออกของผู้คนที่อยู่ในสถานการณ์นั้น หรือคนที่พบกับสถานะที่กลืนไม่เข้าคายไม่ออก (Glance & Huberman, 1994) ที่แสดงถึงความเหมาะสมของหนึ่งปฏิกริยาภายหลังความผูกพันที่มีอยู่ของสิ่งอื่น อย่างไรก็ตามพฤติกรรมทางสังคมของการเดินจะเป็นไปด้วยดีเมื่อเข้าใจในกฎเกณฑ์ โดยทั่วไปความรอบคอบในการพิจารณาที่สามารถเข้ากันได้ดีกับด้านที่หลากหลายที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ และกับการทดลองขั้นพื้นฐาน ในขณะที่ความคิดชัดถูกแสดงในสถานการณ์ที่มีการหลีกเลี่ยงในส่วนของการกักขัง (Helbing et al., 2010)

2. สถานการณ์ของความตื่นตระหนก

การกระจายตัวของความตื่นตระหนกเป็นหนึ่งในพฤติกรรมที่ปรากฏที่น่าใจหายเป็นอย่างมาก (Coleman, 1990) ก่อให้เกิดการเสียชีวิตตามมา โดยการถูกกดทับในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งหรือการถูกเหยียบโดยคนเดินเท้าอื่น ๆ ในขณะที่พฤติกรรมอาจจะเข้าใจได้ว่าอยู่ในสถานการณ์ที่เป็นอันตรายถึงชีวิต เช่น ไฟไหม้ในโครงสร้างที่มีฝูงชนแออัด หรือจากเหตุผลอื่น แต่ที่น่าเศร้าที่ความถี่ของการเกิดภัยพิบัติที่เพิ่มขึ้นซึ่งสังเกตได้จากตัวอย่างตารางที่ 2-4 การรวมกันของความหนาแน่นของประชากรที่เพิ่มมากขึ้นกับการขนส่งที่นำไปสู่กิจกรรมขนาดใหญ่ที่ง่ายและเพิ่มมากขึ้น เช่น คอนเสิร์ต งานกีฬา และกิจกรรมอื่น ๆ อย่างไรก็ตามการศึกษาทดลองของความตื่นตระหนกเป็นสิ่งที่หายากและยังขาดแคลนในทฤษฎีในเชิงปริมาณในการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของฝูงชนที่มีความหนาแน่นมาก (Keith, 2000; Hamacher & Tjandra, 2001) ซึ่งเป็นไปตามลักษณะเด่นที่แสดงดังต่อไปนี้ (Helbing, Farkas, & Vicsek, 2000)

2.1 ในสถานการณ์ของการหลีกเลี่ยงความตื่นตระหนก แต่ละคนเกิดความวิตกกังวล เช่น การนำไปสู่สถานการณ์ที่เป็นลักษณะหุนหวนตาบอด

2.2 ผู้คนจะพิจารณาการเคลื่อนที่ที่เร็วกว่าปกติ

2.3 คนแต่ละคนจะเริ่มผลักและแรงปฏิสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของผู้คนกลายเป็นลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไป

2.4 การเคลื่อนที่และความถี่ของการผ่านของคอขวดจะเกิดการประสานงานกันขึ้น

2.5 ที่ทางออกความติดขัดจะเกิดขึ้น บางทีอาจเป็นการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ และมีการอุดตัน

2.6 ในปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพในฝูงชนที่ติดขัดเพิ่มขึ้น สามารถที่จะเกิดแรงผลักดันสูงถึง 4,500 N/m (Elliott & Smith, 1993) ซึ่งสามารถที่จะตัดเหล็กที่เป็นสิ่งกีดขวางให้โค้งงอ หรือทำลายกำแพงอิฐบล็อกจากได้

2.7 ความแข็งแรงและทิศทางของแรงที่แสดงออกในฝูงชนขนาดใหญ่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด (Helbing, Johansson, & Al-Abideen, 2007) การผลักของผู้คน โดยรอบไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งผู้คนอาจจะเกิดการตกลงสู่พื้นหรือหกล้มได้

2.8 การหลีกเลี่ยงหรือเห็นได้น้อยลงของผู้คนที่ตกลงสู่พื้นหรือได้รับบาดเจ็บกลายเป็นสิ่งกีดขวางแทน

2.9 ฝูงชนนำไปสู่พฤติกรรมการกวาดต้อน เช่น การทำในสิ่งที่คนเดินเท้าอื่นทำ

2.10 การเลือกทางที่มองเห็นอาจถูกบดบังหรือการไม่มีประสิทธิภาพในการหลีกเลี่ยง (Elliott & Smith, 1993)

3. รูปแบบของแรงสำหรับคนเดินเท้าที่ตีนตระหนก

แรงปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพ $f_{\alpha\beta}^{ph}$ นำมาใช้เมื่อคนเดินเท้าได้รับการบังคับจากคนเดินเท้าอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงที่มีการติดต่อกันทางกายภาพ เช่น $(d_{\alpha\beta} < r_{\alpha\beta} = r_{\alpha} + r_{\beta}$ เมื่อ r_{α} เป็นรัศมีของคนเดินเท้า α) ในกรณีนี้ซึ่งความสัมพันธ์ส่วนใหญ่ของสถานการณ์การเดินตระหนกจะถูกสมมติให้เป็นแรงของร่างกาย (Body force) $k(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})n_{\alpha\beta}$ ที่ต้านแรงบีบอัดของอัตร่างกาย และแรงเสียดทานเลื่อน (Sliding friction force) $k(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})\Delta v'_{\beta\alpha}t_{\alpha\beta}$ หมายถึง ความสัมพันธ์ของแรงเสียดทานเลื่อนที่สัมพันธ์กับแรง ที่ได้จากการการโต้ตอบของ Wolfgana, Stefan, and Peter (1997) ดังสมการที่ 2-13

$$f_{\alpha\beta}^{ph}(t) = k\Theta(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})n_{\alpha\beta} + k\Theta(r_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta})\Delta v'_{\beta\alpha}t_{\alpha\beta} \quad (2-13)$$

เมื่อฟังก์ชัน $\Theta(z)$ เท่ากับอาร์กิวเมนต์ Z ของมัน ถ้า $z \geq 0$ มิฉะนั้นจะเท่ากับ 0

นอกจาก $t_{\alpha\beta} = (-n_{\alpha\beta}^2, -n_{\alpha\beta}^1)$ ซึ่งหมายถึงทิศทางโดยรอบ และ $\Delta v'_{\beta\alpha} = (v_{\alpha} - v_{\beta}) \cdot t_{\alpha\beta}$ ความแตกต่างความเร็วโดยรอบ ในขณะที่ K และ k แทนค่าคงที่ขนาดใหญ่

ปฏิสัมพันธ์กับขอบเขตของผนังและอุปสรรคอื่น ๆ ได้รับการปฏิบัติที่คล้ายคลึงกันกับปฏิสัมพันธ์ของคนเดินเท้า เช่น ถ้า $d_{\alpha i}(t)$ หมายถึง ระยะทางที่เป็นอุปสรรคหรือขอบเขต i และ $n_{\alpha i}(t)$ หมายถึง ทิศทางที่ตั้งฉากกับคนเดินเท้า และ $t_{\alpha i}(t)$ เป็นทิศทางที่สัมพันธ์กับแรงปฏิสัมพันธ์ของคนเดินเท้าที่สอดคล้องกับขอบเขตที่ได้รับดังสมการที่ 2-14

$$f_{\alpha i} = \left\{ A_{\alpha} \exp\left[\frac{r_{\alpha} - d_{\alpha i}}{B_{\alpha}}\right] + k\Theta(r_{\alpha} - d_{\alpha i}) \right\} \times n_{\alpha i} - k\Theta(r_{\alpha} - d_{\alpha i})(r_{\alpha} \cdot t_{\alpha i})t_{\alpha i} \quad (2-14)$$

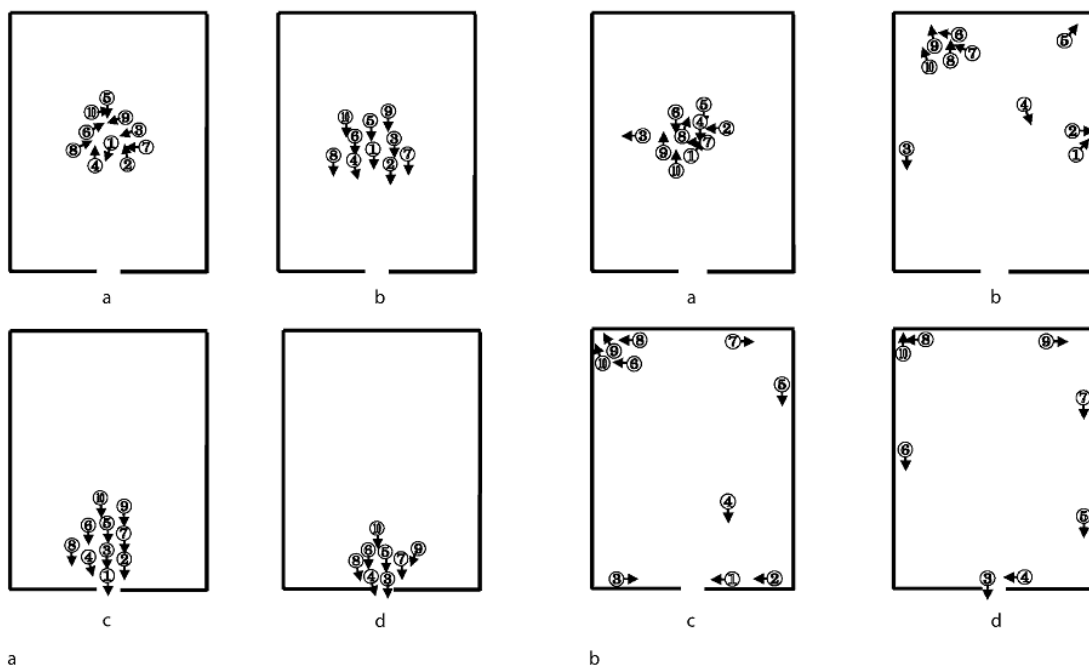
รูปแบบของไฟไหม้ถูกนำเสนอโดยแรงผลักดันของ Social forces คล้ายกัน แต่จะมีความเข้มแข็งมากขึ้นของแรงปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพ ที่จะแตกต่างกันในเชิงคุณภาพคือ คนที่เข้าไปในส่วนหน้าของไฟไหม้กลายเป็นการได้รับการบาดเจ็บและไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ($v=0$)

4. ปรากฏการณ์โดยรวมในสถานการณ์ความตื่นตระหนก

ในสถานการณ์ความตื่นตระหนก ในบางกรณีของการอพยพสถานการณ์ฉุกเฉิน คุณสมบัติลักษณะพฤติกรรมของคนเดินเท้าจะมีการตั้งข้อสังเกตดังต่อไปนี้ 1) คนจะได้รับความกังวลใจในระดับที่สูงขึ้นของความผันผวน 2) พวกเขาจะพยายามที่จะหนีออกมาจากแหล่งที่เกิดของความตื่นตระหนกซึ่งสะท้อนให้เห็นด้วยความเร็วที่ต้องการ v_{α}^0 ที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ 3) คนเดินเท้าในสถานการณ์ที่ซับซ้อน ที่ไม่ทราบสิ่งถูกต้องที่จะทำ จะมุ่งไปยังการกระทำของคนที่อยู่รอบข้าง เช่น การทำในสิ่งที่คนอื่นทำ

การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบที่เป็นกลุ่มความผันผวนพื้นฐาน การเพิ่มขึ้นของความเร็วที่ต้องการ และพฤติกรรมการเดินทางตามกัน โดยไม่คิดหรือหมายความว่าบุคคลที่อยู่ในความหวาดกลัวหรือสถานการณ์ฉุกเฉินจะปฏิบัติตัวอย่างไม่หยุดและตามสภาพสังคมรอบข้าง

4.1 การกวาดต้อนและความไม่รู้ของการออกจากที่อยู่ (Herding and Ignorance of available exits) ถ้าคนไม่แน่ใจว่าเป็นสิ่งที่ดีที่สุดที่สุดพวกเขาจะมีแนวโน้มที่จะแสดงพฤติกรรม การกวาดต้อน เช่น ที่จะเลียนแบบพฤติกรรมของคนอื่น ๆ ที่ทำเป็นส่วนใหญ่ การแพร่กระจายที่มากกว่าสิ่งที่เป็นอยู่ ปรากฏการณ์นี้ยังแสดงความผันผวนและความเด่นชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อคนมีความกังวลสถานการณ์ตัวอย่างเช่น ถ้าคนต้องหลบหนีจากห้องควัน การเปลี่ยนแปลงการอพยพที่แตกต่างกันมากกว่าจากปกติดังแสดงในภาพที่ 2-12 ซึ่ง (a) คนออกจากปกติของห้องพักเมื่อทางออกจะมองเห็นได้ดี และ (b) คนหนีออกมาจากห้องที่ไม่มีกรรมมองเห็นเนื่องจากควันหนาทึบ (Isobe et al., 2004)



ภาพที่ 2-12 การออกจากห้องในสถานการณ์ที่มองเห็นได้ดี และทางออกไม่สามารถมองเห็นได้ (Isobe et al., 2004)

ภายใต้การมองเห็นปกติทุกคนจะพบทางออกอย่างง่ายดาย และจะใช้เส้นทางที่สั้นมากที่สุด แต่เมื่อทางออกไม่สามารถมองเห็นได้ การอพยพจะมีประสิทธิภาพน้อยลงมากและอาจต้องใช้เวลานาน คนส่วนใหญ่มักจะเดินตรงไปในทิศทางที่พวกเขาสงสัยว่าจะเป็นทางออก แต่ส่วนใหญ่

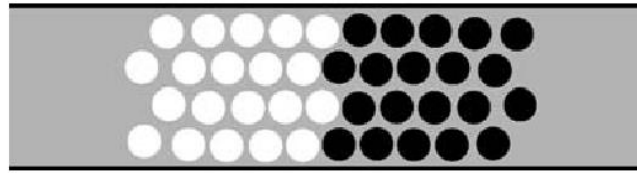
จะจบลงที่ผนัง จากนั้นจะเคลื่อนที่ไปตามในหนึ่งในสองทิศทางที่เป็นไปได้ จนกว่าพวกเขาจะพบทางออก (Isobe et al., 2004) หากพบคนอื่น ๆ จะมีแนวโน้มที่จะตัดสินใจในการกำหนดทิศทางหนึ่งทิศทางและเคลื่อนที่ไปรวมกัน นอกจากนี้ในกรณีของสัญญาณเสียงของคนอาจจะถูกดึงดูดเข้ามาในทิศทางเดียวกัน โดยนำไปสู่ทางออกที่มีความแออัดมากกว่าทางออกอื่น ๆ ที่ถูกละเลย เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในการมองเห็นปกติ เมื่อคนไม่คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมและไม่ตระหนักถึงทิศทางของการออกฉุกเฉิน

การจำลองทางคอมพิวเตอร์มีการแนะนำว่า ไม่ว่าพฤติกรรมส่วนบุคคลหรือการกวาดต้อนจะทำให้ไม่มีประสิทธิภาพที่ดี (Helbing et al., 2000) พฤติกรรมส่วนบุคคลอย่างเดียวหมายความว่าแต่ละคนเดินเข้าพบทางออกอย่างบังเอิญ ในขณะที่พฤติกรรมการกวาดต้อนอย่างเดียวหมายความว่าฝูงชนเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในทิศทางเดียวกันและอาจจะเกิดความแออัด เพื่อให้ทางออกฉุกเฉินที่มีอยู่ไม่ได้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ความเหมาะสมที่ดีที่สุดของการอยู่รอดที่คาดว่าจะเป็นส่วนหนึ่งของพฤติกรรมแต่ละคนและการกวาดต้อน ที่ช่วยให้การตรวจสอบทางออกของคนบางคน และการรองรับการกวาดต้อนที่มีการแก้ปัญหาที่ประสบความสำเร็จในการจำลองจากกลุ่มเล็ก ๆ ของคนอื่น ๆ (Helbing et al., 2000)

4.2 การหยุดการเคลื่อนที่เมื่อสวนทางกัน (Freezing by Heating) ผลอื่น ๆ ของความกังวลใจได้รับการตรวจสอบใน (Helbing et al., 2000) การสมมติความแข็งแรงของความผันผวนของแต่ละบุคคลจะได้ตามสมการที่ 2-15

$$n_\alpha = (1 - n_\alpha) \eta_0 + n_\alpha \eta_{\max} \quad (2-15)$$

ที่ n_α เมื่อ $0 \leq n_\alpha \leq 1$ หมายถึง ความกังวลใจของคนเดินเท้า α ตัวแปร η_0 หมายถึง ความแข็งแรงผันผวนปกติ และ η_{\max} หมายถึง ความแข็งแรงผันผวนสูงสุด แต่กลับกลายเป็นว่าที่ความหนาแน่นสูงพอเลนของเดินเท้าจะถูกทำลาย โดยการเพิ่มความแข็งแรงของความผันผวน แต่แทนที่จะถูกคาดการณ์ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของเลนที่จะมาจากสถานะของเหลวไปสู่สถานะการแพร่กระจายของก๊าซ ซึ่งสถานะของเหลวที่เกิดขึ้นมีลักษณะเด่น โดยถูกปิดกั้นแบบชั่วคราวที่เรียกว่าการหยุดการเคลื่อนที่ (Freezing) สถานการณ์นี้เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงที่สวนทางกัน ดังแสดงในภาพที่ 2-13 แสดงผลจากการเกิดการรบกวนที่เกิดจากสถานการณ์หยุดการเคลื่อนที่ ในการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าที่ใช้ทางเดินในทิศทางตรงข้าม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สถานการณ์ที่ปิดกั้นที่สูงขึ้นของความต้องการออก แม้ว่าพลังงานภายในเพิ่มขึ้นก็ตาม (Helbing et al., 2000)



ภาพที่ 2-13 สถานการณ์การหยุดการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าที่ใช้ทางเดินเท้าในทิศทางตรงข้ามกัน (Helbing et al., 2000)

ปัจจัยพื้นฐานสำหรับการเปลี่ยนแปลงการหยุดการเคลื่อนที่ที่สวนทางกันที่ผิดปกติ เป็นทอมการขับเคลื่อน $\frac{v_\alpha^0 e_\alpha^0}{\tau_\alpha}$ และแรงเสียดทานสถิต $\frac{-v_\alpha}{\tau_\alpha}$ ในขณะที่แรงเสียดทานเลื่อนไม่จำเป็นต้องใช้ ความไม่สม่ำเสมอในเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องหรือสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ซึ่งการชะลอตัวลงแบบชั่วคราวของคนเดินเท้าสามารถเปลี่ยนไปในพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง จนทราบการเปลี่ยนจากของเหลวไปสู่การไหลที่ถูกนับของคนเดินเท้าที่ถูกปิดกั้น เมื่อความหนาแน่นวิกฤตเกิน (Helbing et al., 2000)

4.3 การไหลที่ไม่ต่อเนื่อง ผลของการเดินเร็วขึ้น-ช้าลง และความกังวลเนื่องจากความตื่นตระหนก (Intermittent Flows, Faster-Is-Slower Effect, and Phantom Panic) หากการไหลเข้าที่ปรากฏนำไปสู่คอขวดที่สูงกว่าการไหลออกโดยรวม จะก่อให้เกิดแถวคอยของคนเดินเท้า (Helbing, Johansson, Mathiesen, Jensen, & Hansen, 2006) นอกจากนี้ฝูงชนที่รอจะอยู่ในส่วนหน้าของคอขวดส่งผลให้ความหนาแน่นที่สูงขึ้น ถ้าให้คนเดินเท้าไปข้างหน้าเช่นนี้ในที่สุดก็นำไปสู่การกีดกันที่สูงขึ้นและสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานการณ์ที่สำคัญอาจเกิดขึ้นหากการไหลมาถึงจะสูงกว่าการไหลออกของการเดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าคนกำลังพยายามที่จะไปสู่เป้าหมายที่ต้องการมาก หรืออยู่ห่างจากแหล่งที่รับรู้ถึงอันตราย (Escape panic) ด้วยการเพิ่มขึ้นแรงผลัก $\frac{v_\alpha^0 e_\alpha^0}{\tau_\alpha}$ ในสถานการณ์เช่นนี้จะมีความหนาแน่นสูงทำให้เกิดปัญหาการประสานงานปะทะกันกับ

หลายคนในช่องว่างเดียวกัน เหตุนี้ทำให้เกิดการตอบสนองของร่างกายและผลกระทบของแรงเสียดทาน ซึ่งจะชะลอการเคลื่อนที่ของฝูงชนหรือการอพยพ (Faster-Is-Slower Effect)

ผลที่ได้รับของปัญหาการประสานงานเป็นการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งในกรณีดังกล่าว การไหลออกจากคอขวดที่ไม่คงที่ ที่ถูกขัดจังหวะโดยทั่วไป ในขณะที่การกำเนิดของการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการอุดตัน และผลกระทบของทางโค้งจากกระแสของ Granular Media ผ่านช่องทางหรือกรวย (Wolfgana, Stefan, & Peter, 1997) คลื่นการหยุดและไป (Stop-and-Go) ได้รับ

การตั้งข้อสังเกต ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่คนไม่ได้เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง แต่ก้าวไปข้างหน้าน้อยที่สุด (Helbing, 1991) นั่นคือ เมื่อมีคนหยุด พวกเขาจะไม่เคลื่อนที่จนกว่าพื้นที่บางส่วนจะเปิดขึ้นในด้านหน้า แต่การขาดความอดทนที่เพิ่มขึ้นจนในที่สุดความอดทนก็จะลดต่ำลง เพื่อให้ผู้คนเริ่มเคลื่อนที่อีกครั้ง แม้ว่าการไหลออกผ่านคอขวดจะหยุด โดยสิ่งเหล่านี้จะนำไปสู่การบีบอัดที่แออัดของฝูงชนต่อไป

ในกรณีที่เลวร้ายที่สุดพฤติกรรมดังกล่าวสามารถทำให้เกิดความกังวลของความตื่นตระหนก เช่น ภัยพิบัติฝูงชนไม่ว่าด้วยเหตุผลใด ๆ ที่ร้ายแรง สำหรับตัวอย่าง เช่น เนื่องจากความตื่นตระหนกทำให้เกิดผลของการเคลื่อนที่เร็วขึ้นและช้าลง (Elliott & Smith, 1993) ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้ากับฝูงชนที่มีความประสงค์ที่จะออกจากที่แห่งนั้น ดังนั้นการหยุดของคนเดินเท้าในด้านหลังที่ไม่เห็นสาเหตุของการชะลอตัวแบบชั่วคราว ที่จะทำให้เกิดและมีความใจร้อนและผลึกเข้าไป (Helbing, 1998; Helbing, 1991) รูปแบบหนึ่งอาจเป็นไปได้โดยการเพิ่มความเร็วที่ต้องการ ตัวอย่างเช่นสมการที่ 2-16

$$v_{\alpha}^0(t) = [1 - n_{\alpha}(t)]v_{\alpha}^0(0) + n_{\alpha}(t)v_{\alpha}^{\max} \quad (2-16)$$

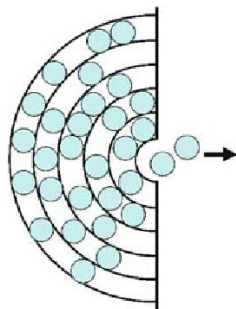
ในที่นี้ v_{α}^{\max} เป็นความเร็วสูงสุดที่ต้องการ และ v_{α}^0 เป็นความเร็วเริ่มต้น ที่สอดคล้องกับความเร็วที่ถูกคาดการณ์ไว้ของที่แสดงออกมา ที่ขึ้นกับเวลาดังสมการที่ 2-17

$$n_{\alpha}(t) = 1 - \frac{\bar{v}_{\alpha}(t)}{v_{\alpha}^0(t)} \quad (2-17)$$

ความกังวลใจสะท้อนให้เห็นถึงที่ $\bar{v}_{\alpha}(t)$ หมายถึง ความเร็วเฉลี่ยลงไปทิศทางที่ต้องการของการเคลื่อนที่ แม้กระทั่งเวลารอนานที่เพิ่มขึ้น ความเร็วที่ต้องการ v_{α}^0 หรือแรงขับเคลื่อน $\frac{v_{\alpha}^0(t)e^0}{\tau}$ ที่ซึ่งสามารถเกิดความหนาแน่นสูงและการเคลื่อนที่ที่ไม่มีประสิทธิภาพโดยลักษณะนี้จะเพิ่มเวลาในการรอและอื่น ๆ เพื่อให้แนวทางที่แยงนในที่สุดจะมีความกดดันสูงมากที่ผู้คนกำลังบดหรือตกลงไปและการเหยียบย่ำเกิดขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะมีการออกแบบที่กว้างเพียงพอของทางออกและเพื่อป้องกันการไหลเข้า เมื่อฝูงชนขนาดใหญ่ต้องการที่จะออกไปจากที่แห่งนั้น (Helbing et al., 2000)

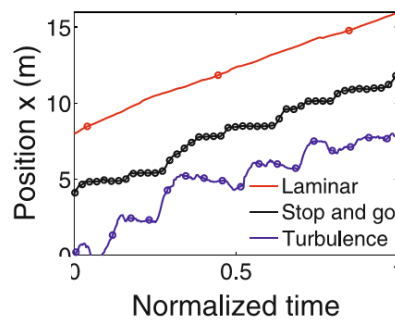
4.4 การเปลี่ยนแปลงไปสู่คลื่นการเคลื่อนที่แบบหยุดและไป (Transition to Stop-and-Go Waves) เป็นการไหลที่ไม่ต่อเนื่องที่ไม่เพียงจะเกิดขึ้น แต่เมื่อเกิดคอขวดที่เห็นได้ชัด โดยการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันที่เกี่ยวกับการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของการไหล เช่น ความรุนแรงของความแออัด (Helbing et al., 2007) ปรัชญาการณีนี้อาจเกิดขึ้นซ้ำ ๆ กับรูปแบบที่ผ่านมา ที่ขึ้นอยู่กับสองสมการความต่อเนื่อง คือ หนึ่งในสำหรับการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าไปข้างหน้า และสอง

สำหรับการแพร่กระจายช่องว่าง ไปด้วยด้านหลัง (Helbing et al., 2006) รูปแบบที่ได้จากการจำลอง แสดงในภาพที่ 2-14 แสดงเซลล์จำลอง โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่หลายคนเดินเท้ามีการประชัน หน้ากันในช่วงว่างเดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการประสานงาน (Helbing et al., 2007) และการ สลับกันระหว่างการแพร่กระจายย้อนกลับของช่องว่างและการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า ไปข้างหน้า



ภาพที่ 2-14 เซลล์จำลองสถานการณ์ที่หลายคนเดินเท้ามีการประชันหน้ากันสำหรับช่องว่าง (Helbing et al., 2007)

4.5 การเปลี่ยนไปสู่ความปั่นป่วนของฝูงชน (Transition to crowd turbulence) ที่ ความหนาแน่นสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจากคลื่นการเคลื่อนที่หยุดและไปกับการไหลที่ ผิดปกติแสดงในภาพที่ 2-15 ซึ่งแสดงการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าที่ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน เส้นสี แทนการเคลื่อนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับเวลาของคนเดินเท้าในช่วงราบเรียบ ช่วงการ เกิดการเคลื่อนที่หยุดและไป และช่วงการเกิดความปั่นป่วนของการเคลื่อนที่ที่ไหลเชี่ยว แต่ละเส้น การเคลื่อนที่มีช่วงความยาวมากกว่า 8 เมตร ในขณะที่เวลาให้เป็น 1 หน่วยที่เท่ากัน เพื่อบ่งบอกถึง ความเร็วที่แตกต่างกัน โดยจุดสัญลักษณ์ที่อยู่ในเส้นโค้งจะมีทุก 5 วินาที ในขณะที่การไหลแบบ รราบเรียบ (เส้นบนสุด) เป็นไปอย่างรวดเร็วและราบรื่น การเคลื่อนไหวถูกขัดจังหวะชั่วคราว ในการไหลแบบหยุดและไป (เส้นกลาง) และการเคลื่อนที่ย้อนกลับสามารถเกิดขึ้นในการไหลแบบ ปั่นป่วน (เส้นล่างสุด) กระแสที่ผิดปกติมีลักษณะที่เกิดขึ้นแบบการสุ่ม การกระจัดที่เป็นไปใน ทิศทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด ด้วยความน่าจะเป็นบางอย่างนี้ทำให้สะดุดของคนที่อยู่ข้างหลังที่ถูก เคลื่อนที่โดยฝูงชนเช่นกัน และไม่สามารถหยุดได้ บุคคลที่ตกลงพื้นถูกเหยียบย่ำ ถ้าพวกเขาไม่ลุก กลับขึ้นมาจากส่วนล่างของเท้าคนอื่น ได้อย่างรวดเร็วพอ แต่น่าเสียดายที่พื้นที่ของผู้คนที่เหยียบย่ำ ขยายตัวมากขึ้นในช่วงเวลาที่คนเดินเท้าตกลงพื้นจนกลายเป็นอุปสรรคสำหรับคนอื่น ๆ (Helbing et al., 2007)



ภาพที่ 2-15 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับเวลาของการเคลื่อนที่ของเดินเท้าที่ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน (Helbing et al., 2007)

จากการบันทึกวิดีโอเวลาที่คนถูกอัดแน่นอย่างมากซึ่งพวกเขาถูกทำให้เคลื่อนที่โดยไม่ได้ตั้งใจจากฝูงชน ที่เป็นภาพสะท้อนจากการจัดแบบสุ่มนำไปสู่ทิศทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด ที่จะแยกการไหลจากที่ติดปกติดจากการไหลที่ราบเรียบ และการไหลแบบหยุดและไป เนื่องจากลักษณะที่มองเห็น ที่เรียกว่า ความวุ่นวายของฝูงชน ในขณะที่บางการไหลของของเหลวที่มีความปั่นป่วน ในฝูงชนเป็นผลมาจากลำดับของความไม่เสถียรในรูปแบบการไหล นอกจากนี้ยังพบว่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นพุ่งขึ้นอย่างรวดเร็วในการเพิ่มขึ้นของความเร็วเป็นดังสมการที่ 2-18

$$v_x^T = V_x(r, t + \tau) - V_x(r, t) \quad (2-18)$$

ซึ่งเป็นเรื่องปกติสำหรับความปั่นป่วน ถ้าเปลี่ยนเวลาประมาณ τ มีค่าน้อยพอ (Helbing et al., 2007) อีกหนึ่งอย่างมีการสังเกตเห็นจากการปรับตามกฎของการกระจัดที่ระบุพฤติกรรมที่คล้ายกัน (Helbing et al., 2007) การเคลื่อนที่แบบวนขนาดใหญ่จะไม่ถูกพบ แต่คล้ายคลึงกันกับความปั่นป่วนของของเหลวถูกจำกัด แทนที่จะเหมือนกระแสน้ำวนของน้ำตกในการปั่นป่วนของของเหลว หนึ่งอย่างที่น่าสนใจพบการเคลื่อนที่ที่มีการกระจายตัวของลำดับชั้น ที่ความหนาแน่นมากของการเคลื่อนที่ของแต่ละบุคคลจะถูกแทนที่ด้วยการเคลื่อนที่ของมวลชน แต่มีความไม่แน่นอนของการสะดุดหรือลื่นล้มที่นำไปสู่การกระจาย เมื่อความเครียดในฝูงชนจะกลายเป็นสิ่งที่มีขนาดสูงเกินไป นั่นคือ ขนาดของมวลจะแยกออกเป็นกลุ่มที่มีขนาดแตกต่างกันกับความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งของความเร็วภายในและความสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างกลุ่ม

ความปั่นป่วนของฝูงชนมีคุณสมบัติเพิ่มเติมเฉพาะ (Helbing et al., 2007) เนื่องจากความสัมพันธ์ทางกายภาพในหมู่คนในฝูงชนที่หนาแน่นมาก โดยคาดว่าคนทั่วไปเหมือนกับ Granular media ในความเป็นจริงความหนาแน่นของขั้วเคลื่อนที่ของ Granular media อาจเกิดคลื่นความหนาแน่น ในขณะที่การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และสามารถแสดงให้เห็นถึงความปั่นป่วนใน

พื้นที่ที่เหมือนกัน นอกจากนี้ภายใต้สถานการณ์เสมือนคงที่แรงเชื่อมโยงถูกสร้างขึ้น ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่แข็งแกร่งในจุดและทิศทางของแรงในพื้นที่นำไปสู่เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันในการปลดปล่อยความเครียดที่ไม่สามารถควบคุมได้กับการกระจายของกฎการควบคุม (Helbing et al., 2007)

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1. มาตรฐาน NFPA 101 Life safety Code

มาตรฐาน NFPA 101 Life Safety Code (National Fire Protection Association [NFPA], 2003) เป็นมาตรฐานที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางซึ่งทำให้มั่นใจในวิธีการในการป้องกันผู้คนบนภาคพื้นที่ยุ่ซึ่งระบุความต้องการขั้นต่ำในการจัดเตรียมอาคาร และการป้องกัน ให้เกิดความปลอดภัยจากอันตรายหรือผลกระทบจากการเกิดไฟไหม้หรือเหตุการณ์ฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องหรือคล้ายคลึงกันที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ที่ซึ่งเกิดขึ้นไม่เหมือนกันในงานภาคสนามจริง โดยมาตรฐานนี้เป็นเอกสารที่ครอบคลุมความปลอดภัยในชีวิตภายใน โครงสร้างทั้งใหม่และที่มีอยู่แล้ว

2. มาตรฐาน NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems

NFPA 130 (National Fire Protection Association [NFPA], 2007) เป็นมาตรฐานความปลอดภัยด้านอัคคีภัยในระดับระหว่างประเทศที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการออกแบบระบบการขนส่ง ได้แก่ โครงสร้างของสถานี แบบสถาปัตยกรรม ส่วนประกอบสถานี ระบบอำนวยความสะดวกภายในอาคารสถานี ทางรถไฟ รวมถึงระบบการอพยพคนในระบบรถไฟไฟฟ้าใต้ดิน ขานพาหนะ การลดเหตุการณ์ฉุกเฉิน การคมนาคม และระบบการควบคุม NFPA 130 ควบคุมการเลือกการออกแบบที่ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุคุณสมบัติความปลอดภัยจากอัคคีภัย และอันตรายจากไฟไหม้ที่อาจเกิดขึ้น ข้อบังคับเหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมและหรือลดโอกาสของการเกิดไฟไหม้ ที่ซึ่งมันมีอัตราเติบโตและความรุนแรงมากขึ้น โดยเนื้อหาที่สำคัญเบื้องต้นของมาตรฐานมีการระบุดังต่อไปนี้

2.1 Occupant Load มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (NFPA 130, 2007)

2.1.1 จำนวนคนเดินเท้าที่ครอบครองบนสถานีจะต้องอยู่บนพื้นฐานของ จำนวนคนเดินเท้ารถไฟของรถไฟที่พร้อมกันเข้ามาที่สถานีในทิศทางจราจรปกติบวกกับ จำนวนคนเดินเท้าภายในพื้นที่รอขึ้นรถไฟ

2.1.2 จำนวนคนเดินเท้ารถไฟจะพิจารณาเพียงหนึ่งขบวนรถไฟที่ติดกัน

2.1.3 พื้นฐานสำหรับการคำนวณรถไฟและจำนวนคนเดินเท้าที่เข้ามาให้เป็นช่วงที่สูงที่สุดของจำนวนผู้โดยสารตามระยะเวลาที่คาดการณ์สำหรับการออกแบบของระบบใหม่หรือการปรับปรุงสำหรับระบบปฏิบัติการ

2.1.4 สถานีพื้นที่ให้บริการ เช่น civic centers, sports complexes, และ convention centers จำนวนผู้โดยสารสูงสุดจะพิจารณาจากเหตุการณ์ที่สร้าง จำนวนคนเดินเท้าที่ครอบครองไม่รวมผู้โดยสารตามปกติ

2.1.5 ในสถานีหลายหลายระดับ หลายเส้นทาง หรือหลายชานชาลา จำนวนคนเดินเท้าที่ครอบครองสูงสุดสำหรับแต่ละชานชาลาจะได้รับการพิจารณาแยกต่างหากสำหรับวัตถุประสงค์ของการปรับขนาดของการทางออกจากชานชาลาเฉลี่ย

2.1.6 ที่หลายสถานี หลายระดับ หรือชานชาลา จำนวนคนเดินเท้าจำนวนมากที่พร้อมกันจะได้รับการพิจารณาสำหรับเส้นทางทางออกทั้งหมดผ่านระดับของแต่ละสถานี

2.1.7 ในกรณีที่พื้นที่ภายในสถานีมีไว้สำหรับการใช้งานอื่น ๆ นอกเหนือจากผู้โดยสารหรือพนักงาน จำนวนคนเดินเท้าที่ครอบครองพื้นที่นั้นจะต้องถูกกำหนดให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของ NFPA 101 ตามความเหมาะสมกับระดับของอัตราการเข้าใช้งาน

2.1.8 จำนวนคนเดินเท้าที่ครอบครองเพิ่มจะถูกรวมอยู่ในการพิจารณาทางออกที่จำเป็นจากพื้นที่นั้น

2.1.9 จำนวนคนเดินเท้าที่ครอบครองเพิ่มจะได้รับอนุญาตให้ละเว้นจาก จำนวนคนเดินเท้าที่ครอบครองบนสถานีเมื่อพื้นที่มีทางที่เป็นอิสระจากทางออกของจำนวนและความจุที่เพียงพอ

2.1.10 การคำนวณ จำนวนคนเดินเท้าการครอบครองของชานชาลาสำหรับแต่ละชานชาลาในสถานีจะเป็นช่วงที่สูงสุดของเวลาการใช้งาน โดยคำนวณตามข้อที่ 11 ผ่านข้อที่ 17

2.1.11 ช่วงเวลาที่ จำนวนคนเดินเท้าที่ครอบครองสูงสุดสำหรับแต่ละชานชาลา จะต้องอยู่บนพื้นฐานของการอพยพพร้อมกันของจำนวนคนเดินเท้าที่ขึ้นรถไฟและบนรถไฟสำหรับชานชาลาที่ในช่วงเวลาสูงสุด

2.1.12 จำนวนคนเดินเท้าที่ขึ้นรถไฟสำหรับแต่ละชานชาลาจะเป็นผลรวมของจำนวนคนเดินเท้าที่ขึ้นรถไฟสำหรับแต่ละขบวนที่ให้บริการบนชานชาลา

2.1.13 จำนวนคนเดินเท้าที่ขึ้นรถไฟสำหรับแต่ละขบวนจะต้องอยู่บนพื้นฐานของจำนวนคนเดินเท้าที่ขึ้นรถไฟต่อเวลาห่างของรถไฟที่เป็นปัจจัยในการใช้งานสำหรับการหยุดชะงักของการบริการและการตอบสนองของระบบ

2.1.14 ที่การบริการที่ชานชาลามากกว่าหนึ่งเส้นทางในหนึ่งขบวนการคำนวณจำนวนคนเดินเท้าที่ขึ้นรถไฟ พิจารณาผลกระทบโดยรวมของการสะสมสำหรับแต่ละเส้นทาง

2.1.15 จำนวนคนเดินเท้าบนรถไฟสำหรับแต่ละชานชาลาจะเป็นผลรวมของจำนวนคนเดินเท้าบนรถไฟสำหรับแต่ละขบวนที่ให้บริการบนชานชาลา

2.1.16 จำนวนคนเดินเท้าบนรถไฟสูงสุดสำหรับแต่ละขบวนจะต้องอยู่บนพื้นฐานของจำนวนคนเดินเท้าบนรถไฟต่อช่วงเวลาห่างของรถไฟที่เป็นปัจจัยในการใช้งานสำหรับการหยุดชะงักของการบริการและการตอบสนองของระบบ

2.1.17 จำนวนคนเดินเท้าบนรถไฟสูงสุดที่แต่ละขบวนจะเป็นความจุผู้โดยสารสูงสุดสำหรับความจุมากที่สุดในการดำเนินการของรถไฟในขบวนที่มีผู้โดยสารในช่วงเวลาสูงสุด

2.2 Capacity and Location of Means of Egress มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (NFPA 130, 2007)

2.2.1 เวลาการอพยพจากชานชาลาให้มีขีดความสามารถเพียงพอกับความจุที่ออกไปในอพยพ จำนวนคนเดินเท้าที่ครอบครองบนชานชาลาตามที่กำหนดไว้ใน 2.2. (10) จากชานชาลาสถานีรถไฟภายใน 4 นาทีหรือน้อยกว่า

2.2.2 เวลาการอพยพไปยังจุดปลอดภัย สถานีจะได้รับการออกแบบมาเพื่ออนุญาตให้อพยพจากจุดที่ห่างไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยภายใน 6 นาทีหรือน้อยกว่า

2.2.3 สำหรับสถานีเปิดที่ขึ้นออกบัตรโดยสาร อยู่ด้านล่างหรือถูกป้องกันจากชานชาลาตามระยะทางหรือวัสดุที่กำหนดโดยการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ที่ออกบัตรโดยสารจะต้องได้รับอนุญาตให้เป็นจุดปลอดภัย

2.2.4 สำหรับสถานีที่ออกแบบมาพร้อมกับระบบระบายอากาศฉุกเฉิน ที่ระบบระบายอากาศฉุกเฉินให้ความคุ้มครองสำหรับฝูงชนจากการสัมผัสกับผลกระทบของการเกิดเพลิงไหม้รถไฟในชานชาลาได้รับการยืนยันจากการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมที่ฝูงชนให้เป็นจุดปลอดภัย

2.2.5 ระยะทางการเดินทางสูงสุดบนชานชาลาไปยังจุดที่เป็นทางของเส้นทางทางออกจากชานชาลาจะต้องไม่เกิน 100 เมตร (325 ฟุต)

2.2.6 เส้นทางปกติของการเดินทางจากขอบชานชาลาจะต้องไม่เกิน 25 เมตร (82 ฟุต) หรือความยาวรถคันหนึ่งแล้วแต่จำนวนใดสูงกว่า

2.2.7 ทางออกสำรอง อย่างน้อยสองทางของระยะไกลของทางออก ออกจากแต่ละการควบคุมอื่นและต้องจัดให้ออกจากแต่ละชานชาลา

2.2.8 วิธีการไปทางออกจากชานชาลาที่แยกต่างหากจะได้รับอนุญาตให้มาบรรจบ

2.2.9 ที่วิธีของเส้นทางทางออกที่แตกต่างหากจากชานชาลา รวมกับความจุของเส้นทางทางออกจะต้องเพียงพอที่จะรักษาเวลาอพยพที่ต้องการจากเหตุการณ์ที่ชานชาลา

2.2.10 การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม การปรับเปลี่ยนของเวลาการอพยพและระยะทางในการเดินทางจะอนุญาตให้อยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม โดยการประเมินอัตราการปล่อยความร้อนของวัสดุ ลักษณะทางเลขาคณิตของสถานี และระบบระบายอากาศฉุกเฉิน

2.3 Platform, Corridors and Ramps (NFPA 130, 2007)

2.3.1 ความกว้างทางเดินที่ปราศจากสิ่งกีดขวางอย่างน้อยที่สุด 1.12 m. จากขอบถึงขอบของสิ่งกีดขวาง

2.3.2 การคำนวณความจุจะต้องลดทอน 0.3 m. จากขอบของผนัง และ 0.45 m. จากขอบของชานชาลา

2.3.3 ค่าเฉลี่ยสูงสุดในการคำนวณความจุจะเท่ากับ 0.0819 ped/mm-min. หรือเท่ากับการไหลผ่านในพื้นที่กว้าง 1 เมตร ในช่วงเวลา 1 นาที เท่ากับ 81.9 คน

2.3.4 ค่าเฉลี่ยการเดินบนออกบัตรโดยสาร และพื้นที่ที่เกี่ยวข้องที่มีความหนาแน่นน้อยจะใช้ความเร็ว 61 m/min.

2.3.5 ค่าเฉลี่ยการเดินบน Platform, Corridors และ Ramps จำนวนที่ 38 m/min.

2.4 Stairs and Escalator (NFPA 130, 2007)

2.4.1 ความกว้างน้อยที่สุดของบันได 1.12 m.

2.4.2 ความจุในการคำนวณ 0.0555 ped/mm-mim หรือเท่ากับการไหลผ่านในพื้นที่กว้าง 1 เมตร ในช่วงเวลา 1 นาที เท่ากับ 55.5 คน ความเร็วการคำนวณ 15 m/min

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเกี่ยวกับการอพยพในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้สนใจในปัจจัยของมนุษย์และด้านจิตวิทยา การอพยพที่เกิดขึ้นจริงในอดีตที่ผ่านมาได้สอนความสำคัญของปัจจัยของมนุษย์ แม้แต่คุณภาพชีวิตทางกายภาพและด้านความว่างเปล่าของเส้นทางหลบหนีที่ไม่เป็นปัญหา และไม่ถูกดำเนินการแบบราบรื่นเสมอไป เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับที่ได้รับความสนใจมายาวนานในด้านธรรมเนียมของการวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมของมนุษย์ในการอพยพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการเกิดเพลิงไหม้ นักวิจัยมักจะมีการแก้ไขพฤติกรรมที่อาจจะดูเหมือนไม่สมเหตุสมผลหรือไม่เข้าใจ เช่น การอพยพที่ถูกทำให้ล่าช้า (Fridolf, Nilsson, & Frantzich, 2013) การอธิบายสรุปปัจจัยที่ยังไม่

ค่อยชัดเจนในการอพยพที่รถไฟ หรือสถานีรถไฟใต้ดิน การประมวลผลข้อมูลและอิทธิพลจากสังคมดูเหมือนจะเป็นหนึ่งสิ่งที่สำคัญที่สุด หลังจากใช้เวลานานกว่า 20 ปีในการวิจัย จึงทำให้เป็นที่รู้จักกันจำนวนมากเกี่ยวกับพฤติกรรมของมนุษย์ในเหตุการณ์จริง แต่ตัวเลือกแบบของคร่อมและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของแต่ละบุคคลหรือสาเหตุของเหตุการณ์จริงเป็นเรื่องยากและไม่ค่อยมีการพยายามทำการทดลองให้เห็น ซึ่งเป็นปัญหาที่ว่าผู้คนมักจะรู้ว่าไม่มีอันตราย การศึกษาภาคสนามบางครั้งดำเนินการกับการอพยพแบบไม่แจ้งให้ทราบล่วงหน้า (Schmidt & Galea, 2013) ในส่วนที่เป็นอันตรายที่แท้จริง แม้ในปัจจุบันจะอยู่ในประเภทของการทดลอง ผลกระทบของภัยคุกคามที่แท้จริง และอันตรายที่ไม่สามารถประเมินได้ นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ของเหตุการณ์และการศึกษาภาคสนามส่วนมากจะเป็นการสนใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของมนุษย์ที่ไม่ได้ครอบคลุมทั้งหมดของการวิเคราะห์ที่จะได้รับปรับใช้ในการวางแผนการอพยพและการสร้างแบบจำลอง

เนื่องจากปัญหาในทางปฏิบัติและจริยธรรมของการศึกษาข้อมูลการวิจัย

ความหลากหลายการอพยพได้รับการจำลองและการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีอื่น ๆ ในการเริ่มต้นของการวิจัยการสร้างแบบจำลองปัจจัยของมนุษย์ไม่ได้รับความสนใจ มนุษย์ถูกจำลองจำนวนมากหรือน้อยกว่าปริมาณที่เป็นหนึ่งเดียวกัน โดยมีอารมณ์ความรู้สึกของแต่ละบุคคล แรงจูงใจหรือความต้องการทางกายภาพ ปัจจัยของมนุษย์ที่ได้รับส่วนใหญ่นำเข้ามาใช้งานเป็นลักษณะทางกายภาพหรือความต้องการของพื้นที่ทางกายภาพ ลักษณะเหล่านี้รวมอยู่ในวิธีการคำนวณที่แตกต่างกันเมื่อเวลารวมที่จำเป็นสำหรับการอพยพถูกกำหนด (NFPA, 2007) ในทศวรรษที่ผ่านมา มีการจำลองการอพยพและการสร้างแบบจำลองเริ่มต้นที่การใช้ปัจจัยของมนุษย์เข้ามาใช้ (Schäfer, 2013) หลายการจำลองนำไปสู่การใช้งานที่เป็นแนวโน้มของพฤติกรรม (Kostas et al., 2014) เช่น การเดินไปสู่เป้าหมาย การไปยังทางออกที่ใกล้ที่สุด การหลีกเลี่ยงอุปสรรคหรือการตามผู้ที่อยู่ข้างหน้า แม้ว่าการดำเนินงานจะไม่ชัดเจนที่ดูเหมือนว่าจะมีเพียงไม่กี่ตัวแปรที่มีการบูรณาการสาเหตุอาจเป็นไปได้ว่าคนเดินเท้าเสมือนที่มีความซับซ้อนไม่สามารถปรับขนาดได้ในฝูงชนขนาดใหญ่ (Sung et al., 2004) ความก้าวหน้าในการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการพิจารณารูปแบบพฤติกรรมที่ซับซ้อนมากขึ้น

การจำลองพฤติกรรมของฝูงชนคนเดินเท้าและการเคลื่อนที่ที่เกี่ยวข้องที่ใกล้กับการสร้างแบบจำลองการอพยพ วิธีการเหล่านี้จะมุ่งเน้นไปที่สภาวะปกติมากกว่ากรณีฉุกเฉินเพราะความไม่ชัดเจนว่าผลนั้นจะสามารถถูกปรับไปใช้ในสถานการณ์การอพยพในการสร้างแบบจำลอง บางปัจจัยของมนุษย์ได้ถูกรวมเข้าไปด้วย โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับรูปแบบของพฤติกรรมของมนุษย์ (Schadschneider et al., 2009; Helbing et al., 2001) แม้ว่าปัจจัยที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปที่

เกี่ยวข้องของช่วงห่างค่อนข้างมีข้อจำกัดในปัจจัยของมนุษย์ที่ในการปรับใช้ ที่มีแนวโน้มในการทำให้เป็นหน่วยเดียวกันและทำให้ครอบคลุมเกี่ยวกับความซับซ้อนของแต่ละบุคคล

เมื่อความพยายามที่จะบูรณาการที่นอกเหนือไปจากข้อจำกัดของการทดลอง และการสร้างแบบจำลอง ปัญหาในการเลือกตัวแปรที่เหมาะสมเกิดขึ้น คือ ปัจจัยของมนุษย์ รวมถึงความหลากหลายของตัวแปร ความแตกต่างทางกายภาพ กระบวนการรับรู้ การสร้างแรงบันดาลใจ และสังคมที่แตกต่างกัน การยอมรับในความสัมพันธ์ของระบบทางสังคม และสภาพแวดล้อมทางกายภาพ (Karwowski, 2012) แม้ว่าความต้องการในการบูรณาการของปัจจัยของมนุษย์ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง แต่ยังมีตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องสำหรับการอพยพที่ปลอดภัยและรวดเร็ว

1. ปัจจัยของมนุษย์ในการจำลอง วางแผน และแนวทางการอพยพ

การวางแผนสำหรับการอพยพเป็นข้อกำหนดสำหรับทุกโครงสร้างพื้นฐาน แบบจำลองที่ใช้สำหรับการวางแผนการอพยพในทางปฏิบัติ มักจะคำนึงถึงหลักสามด้าน คือ ประเภทของอาคาร หรือ โครงสร้างพื้นฐานและสภาพแวดล้อม เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วของผลกระทบหรือ ประเภทของอันตราย และลักษณะทางกายภาพของมนุษย์ การอพยพที่ประสบความสำเร็จขึ้นอยู่กับปัจจัยที่แตกต่างกันจำนวนมากนอกเหนือจากโครงสร้างพื้นฐานที่น่าเชื่อถือและการป้องกันโครงสร้าง และเส้นทางหลบหนีที่สามารถเข้าถึงได้ แม้ว่ามันจะดูเหมือนเป็นเหตุการณ์เล็กน้อยที่เน้นในความสัมพันธ์กันของปัจจัยของมนุษย์ที่เป็นความคิดของนักวิจัยหลายคน ในระยะหลังมีการใช้และพัฒนาแบบจำลองเพื่อจำลองพฤติกรรมคนเดินเท้าให้เหมือนมากที่สุด เช่น การตรวจสอบและทำนายพฤติกรรมของฝูงชนต้องอาศัยเทคโนโลยีและมีความเข้าใจที่ถูกต้องทางด้านจิตวิทยาของฝูงชน ซึ่งส่วนใหญ่การจำลองการอพยพจะเป็นการพิจารณาเฉพาะการเคลื่อนที่ในพื้นที่ของคนเดินเท้า โดยแบบจำลองทางสังคมสำหรับการจำลองคนเดินเท้าที่ขึ้นอยู่กับการจัดหมวดหมู่ในระหว่างการอพยพ แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่มีต่อพฤติกรรมของคนเดินเท้าและเวลาการอพยพ แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่เป็นการเพิ่มแบบจำลองของพฤติกรรมทางสังคม (Von Sivers, Templeton, Köster, Drury, & Philippides, 2014) สมมติฐานทั่วไปเกี่ยวกับพฤติกรรมของมนุษย์โดยวิศวกร เจ้าหน้าที่ดับเพลิงและคนอื่น ๆ ที่มีความรับผิดชอบสำหรับการอพยพ คือ

1.1 ความล่าช้าของการอพยพ (Delayed evacuation) สมมติฐานแรกก็คือ ผู้โดยสารทั้งหมดในอาคารหรือ โครงสร้างพื้นฐานออกไปในทันทีเมื่อได้ยินสัญญาณเตือนภัย กรณีศึกษาการวิเคราะห์ความล่าช้าแสดงให้เห็นว่าการอพยพในทิศทางตรงข้าม ผู้คนทำหลายสิ่งหลายอย่างก่อนการปฏิบัติตามสัญญาณเตือนภัย กรณีศึกษาเหล่านี้จึงเกิดความล่าช้าของการอพยพซึ่งได้แก่

1.1.1 การรับรู้ของผู้คนและการแจ้งเตือนภัยคุกคาม

1.1.2 การประเมินที่ความสัมพันธ์

1.1.3 การรับรู้ภัยคุกคาม

1.1.4 ความต้องการข้อมูลและการแนะนำ

1.1.5 ความสนใจกับงานอื่น ๆ

เวลาการเคลื่อนที่อย่างอิสระเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักสำหรับความล่าช้าและได้รับการพิจารณาในการวิจัยการอพยพ ที่แสดงให้เห็นว่าคุณต้องมีการฟัง การเข้าใจ มีความเชื่อ มีความเป็นส่วนตัว และการตอบสนองต่อคำเตือนหรือสัญญาณเตือนภัยพิบัติ เป็นปฏิกริยาที่ประกอบด้วยหลายขั้นตอนการดำเนินการในห่วงโซ่การอพยพ คนจะต้องหยุดกิจกรรมก่อนที่จะตัดสินใจที่จะออกจากอาคาร ขั้นตอนเหล่านี้อยู่ในห่วงโซ่การอพยพ การนำเสนอที่แตกต่างกันขององค์ความรู้แต่ละบุคคลที่เป็นปัจจัยของมนุษย์ที่มีปฏิสัมพันธ์กับการออกแบบของการเตือนภัย พฤติกรรมของกลุ่มและอิทธิพลอื่น ๆ ดังนั้นตัวอย่างของการความล่าช้าการอพยพแสดงให้เห็นว่าการประมวลผลข้อมูลและพฤติกรรมทางสังคมยังจะต้องมีความเข้าใจอย่างละเอียดสำหรับการอพยพที่ปลอดภัย

1.2 การเดินผ่านควัน (Walking through smoke) สมมติฐานที่สอง คือ คนจะไม่เคลื่อนที่ผ่านควัน ความเชื่อนี้จะใช้ร่วมกันโดยเจ้าหน้าที่ดับเพลิงที่พวกเขาใช้วิธีการสูบควันที่เป็นอันตรายว่าควรหายใจอย่างไร ความหนาแน่นในควันทำให้หมดสติหรือเสียชีวิต แต่กรณีศึกษา 30 ปีที่ผ่านมา ได้แสดงให้เห็นว่าผู้คนจะยังคงเดินผ่านควันแม้จะอยู่ในเงื่อนไขที่เลวร้าย (Proulx, 1995)

1.3 การไม่ได้ใช้ทางออกฉุกเฉินที่ใกล้เคียงที่สุด (Not using the closest available emergency exit) ตัวอย่างสมมติฐานที่สามสำหรับการอพยพ คือ คนที่ใช้ทางออกที่มีอยู่ทั้งหมดอย่างเท่าเทียมกัน แต่การครอบครองของโครงสร้างพื้นฐานมีแนวโน้มที่จะปล่อยให้ไปในทางเดียวกันกับที่เข้ามา (common path of travel) ในการศึกษาภาคสนาม (Nilsson, 2009) วิเคราะห์การอพยพจากอุโมงค์ของถนน การร่วมกันแนะนำทางออกที่ใกล้เคียงที่สุด อีกทั้งช่วงของปัจจัยของมนุษย์สามารถรับผิดชอบต่อพฤติกรรม ที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ คือ การควบคุมการดำเนินการ ที่มนุษย์มักจะใช้การปฏิบัติมากกว่าสติในการตัดสินใจ (skill-based behavior) อีกเหตุผลหนึ่งที่จะมีการเรียนรู้ที่ไม่ตรงประเด็นซ้ำ ๆ ซึ่งคนไม่สนใจทางออกที่เห็นทุกวันแต่ไม่เคยใช้ นอกจากนี้การไม่ได้ใช้ประตูที่มีอยู่ยังอาจจะเนื่องมาจากความจริงที่ว่าทางออกฉุกเฉินมักจะมีการรักษาความปลอดภัยโดยการแจ้งเตือนเมื่อจะใช้ การไม่เชื่อฟังกฎ (Cognitive economics) ซึ่งอาจเป็นส่วนที่สำคัญมากเกินไปที่มนุษย์จะหลีกเลี่ยงออกนอกเส้นทางระหว่างการอพยพที่มีอยู่ในการใช้ชีวิตประจำวัน

2. ตัวอย่างของปัจจัยที่มีผลต่อมนุษย์ในการประเมินผลการวิจัยในการจำลอง วางแผน และแนวทางการอพยพ

เวลาที่จำเป็นสำหรับการอพยพเป็นสิ่งสำคัญสำหรับความปลอดภัยหรือแม้กระทั่งชีวิตของผู้อพยพ ดังนั้นตัวแปรที่แตกต่างกันมีผลกระทบต่อเวลาที่จำเป็นสำหรับการอพยพที่เกี่ยวข้องในการศึกษาที่ผ่านมา รวมถึงอิทธิพลขององค์ประกอบ โครงสร้างพื้นฐาน เช่น อุปสรรค ทางเดิน แคบ ๆ หรือบันได (Fujiyama & Tyler, 2010) งานวิจัยเกี่ยวกับการไหลของคนเดินเท้าภายใต้สภาวะปกติและฉุกเฉิน (Helbing et al., 2002) ความหลากหลายของการศึกษาในเวลาอพยพมีความมุ่งเน้นไปที่ความล่าช้าการอพยพ หรืออย่างไรอย่างหนึ่งตามเวลาการเคลื่อนที่อิสระ หรือการไหลก่อให้เกิดผลจากพฤติกรรมของมนุษย์ กระบวนการทางความรู้และความต้องการ และกลุ่มปรากฏการณ์อื่น ๆ ที่หลากหลายของปัจจัยของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องที่ได้รับการแก้ไขในการวิจัยที่ผ่านมา ตัวอย่างเช่น การปรับส่วนของอาคาร การตัดสินใจในกระบวนการอพยพ (Hofinger et al., 2014) หรืออิทธิพลของวัฒนธรรมในพื้นที่นั้น ๆ (Schmidt & Galea., 2013) นอกจากนี้ยังมีพฤติกรรมที่รุนแรง เช่น ความตื่นตระหนก

2.1 ลักษณะทางกายภาพของมนุษย์ (Physical characteristics) ลักษณะของร่างกายมนุษย์เป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณเส้นทางหลบหนีในอาคาร ตัวอย่างเช่น ความกว้างของไหล่หรือความลึกเฉลี่ยของร่างกายมนุษย์ สิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของความเร็วในการเดินเฉลี่ยและปัจจัยอื่น เนื่องจากอิทธิพลของลักษณะทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับเวลาการอพยพ รวมถึงเสื้อผ้าหรือกระเป๋าขนาดใหญ่เป็นกลุ่มที่มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มพื้นที่ของคนเดินเท้าที่ถูกครอบครองแต่ละคน ปัจจัยเหล่านี้จะมุ่งเน้นที่ตัวมนุษย์ แต่จะไม่มีด้านจิตวิทยา สำหรับการรวบรวมข้อมูลในด้านนี้ส่วนใหญ่จะรวมคนปกติที่มีสุขภาพดี แต่เมื่อไม่นานนี้บุคคลที่มีความบกพร่องในการเคลื่อนที่ อุปสรรค หรือความต้องการพิเศษอื่น ๆ ซึ่งได้รับการสนใจในการวิจัยการอพยพสำหรับความบกพร่องในการเคลื่อนที่ สำหรับผู้สูงอายุ ความบกพร่องในการเคลื่อนที่ทุกชนิดบางครั้งจะมีการพิจารณาในการสร้างแบบจำลองการอพยพโดยการลดความเร็วในการเดิน แต่พฤติกรรมของคนเดินเท้าหรือปฏิสัมพันธ์ของพวกเขาจะไม่เปลี่ยนแปลง การบูรณาการลดความเร็วในการเดินของเด็กที่มีความต้องการพิเศษอื่น ๆ สามารถได้รับการชดเชยจากตัวของผู้ใหญ่ (Ulriksen & Dederichs., 2014)

สำหรับการอพยพที่ปลอดภัยและการสร้างแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการรู้ของผู้อพยพที่มีความต้องการบางอย่าง เช่น การที่มีคนตาบอดหูหนวกหลายคนหรือเป็นส่วนหนึ่งของฝูงชน มีเด็กเล็ก ฯลฯ แต่สำหรับขอบเขตส่วนใหญ่จะขาดข้อมูลดังกล่าวจากการรายงาน ตัวอย่างเช่น ในสหรัฐอเมริกาประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของประชากรที่มีความพิการหรือที่เกี่ยวข้องสำหรับการ

อพยพ ในการศึกษาภาคสนามมีการนับผู้โดยสารในสถานีรถไฟใต้ดินในกรุงเบอร์ลิน รวมถึงการเปลี่ยนระดับภายในสถานี จำนวนรวมของโดยสารต่อชั่วโมง โดยคนที่ออกจากสถานี 2.46 เปอร์เซ็นต์ มีความบกพร่องทางร่างกาย

2.2 การประมวลผลข้อมูล การรับรู้ จดจำ และการประเมินผลของการเตือนภัย การอพยพ (Information processing: Perception, recognition, and appraisal of evacuation alarms) การประมวลผลข้อมูลของมนุษย์มีความเกี่ยวข้องในทุกขั้นตอนของการอพยพ กระบวนการทางความรู้พื้นฐาน เช่น การรับรู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น สายตาบกร่องในที่ที่มีควัน การจดจำป้าย การวิจัยการอพยพได้มุ่งเน้นในสาเหตุของการเพิ่มขึ้นก่อนการเคลื่อนที่ บางคนใช้การจำลองรูปแบบการประมวลผลข้อมูลตามพฤติกรรมก่อนการอพยพ (Viswanathan & Lees, 2014) การรับรู้การเตือนภัย และความตระหนักว่ามีภัยคุกคามมีความสำคัญสำหรับการอพยพได้อย่างรวดเร็ว เพื่อที่จะเอาชนะการปิดกั้นการเรียนรู้ การรับรู้มีความจำเป็นอย่างสูง ซึ่งพบว่าความรู้ที่เร่งด่วนแตกต่างกันระหว่างสัญญาณที่แตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับลักษณะระดับเสียงของการเตือนภัย การเตือนภัย จะได้รับความสนใจในการออกแบบการเตือน (Wogalter et al., 2002) แต่ไม่ค่อยมีในการวางแผนการอพยพ การขาดการรับรู้ที่เร่งด่วนอาจจะสังเกตได้จากการก่อการร้ายในสถานีใต้ดินที่กรุงโตเกียวเมื่อปี 1995 ที่เป็นการใช้ก๊าซที่ไม่มีกลิ่นและมองไม่เห็น ไม่ก่อให้เกิดความรู้สึกโดยเร็วที่เป็นกลิ่นแรงหรือเป็นควัน จากรายงานผู้โดยสารที่นั่งอยู่หลายคนไม่ได้ออกจากรถไฟ แม้จะมีคำสั่งให้ออกก็ตาม

2.3 ความต้องการองค์ความรู้ ความเชื่อมั่น การควบคุมความรู้สึก ความอยากรู้อยากเห็น (Cognitive needs: Certainty, feeling of control, curiosity) มนุษย์มีความแข็งแกร่งสำหรับความเชื่อมั่นและการควบคุมความรู้สึกเดิม นักจิตวิทยาหลายคนเห็นว่าการเริ่มการควบคุมเป็นแรงจูงใจพื้นฐานในการควบคุมที่เป็นได้ หรือทำต่อไปเรื่อย ๆ การเกิดเหตุฉุกเฉินที่อันตรายทางกายภาพที่รบกวนการควบคุมความรู้สึกที่รู้ว่าสิ่งที่เกิดขึ้นอาจจะเป็นรูปแบบของการควบคุมในกรณีฉุกเฉินและการอพยพ ดังนั้นมนุษย์จะหาข้อมูลแทนการออกไปโดยทันที โดยได้รับการแสดงในกรณีการศึกษาจำนวนมากของภัยพิบัติ เช่น ไฟไหม้ใน King's Cross ปี 1987 การศึกษาหลายพฤติกรรมของมนุษย์ในระหว่างการออกไปด้านนอกในกรณีฉุกเฉินได้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาแรกของการเคลื่อนที่ออกหลังจากที่รู้ว่ามีความเสี่ยงที่ผิดปกติ คือ การตรวจสอบและรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับสถานการณ์ (Viswanathan & Lees, 2014) ถ้าคนเข้าใจสถานการณ์ที่สามารถตัดสินใจ และจึงจะควบคุมความรู้สึกแทนการเชื่อฟังคำสั่ง (Hofinger et al., 2014) ดังนั้นการให้ข้อมูลที่เพียงพอเกี่ยวกับอันตราย และดำเนินการที่จำเป็น เป็นกลยุทธ์ที่สำคัญในกรณีฉุกเฉินและภัยพิบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฝูงชนขนาดใหญ่

มนุษย์ไม่เพียงแต่จะมีความมั่นใจแต่ยังมีความอยากรู้อยากเห็น ซึ่งนำไปสู่การเรียนรู้ในสิ่งใหม่และอื่น ๆ ในที่สุดการควบคุมความรู้สึกจะมากขึ้น ดังนั้นความอยากรู้อยากเห็นเกี่ยวข้องกับ การลดลงของความไม่แน่นอนจากแรงจูงใจ และยังมีมีความอยากรู้อยากเห็น ความตื่นเต้น ที่นำไปสู่ การอพยพที่ล่าช้า เช่น การถ่ายรูปการอพยพหรือดูเจ้าหน้าที่กำลังทำงาน ในเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่ สถานีรถไฟใต้ดินในกรุงเบอร์ลินในปี 2000 หลายผู้โดยสารจะถูกนำออกจากสถานี โดยเจ้าหน้าที่ ดับเพลิงเพราะพวกเขาต้องการที่จะดูการทำงานแทนการมุ่งหน้าออกไปเพื่อความปลอดภัย (Hofinger et al., 2014) ในการเกิดอุบัติเหตุในรถไฟใต้ดินในเมืองมอสโกที่กล่าวถึงในข้างต้น หลาย ผู้โดยสารมัวถ่ายรูปแทนการออกมาซึ่งที่ปลอดภัย ตัวอย่างเหล่านี้เป็นการขาดความรู้เกี่ยวกับ อันตรายของควันรวมกับธรรมชาติของความอยากรู้อยากเห็น การวิจัยและการวางแผนการอพยพ จะต้องคำนึงว่าคนไม่ออกจากพื้นที่เพียงเพราะพวกเขาบอกให้ทำเช่นนั้น ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย เป็นสิ่งจำเป็น (Wogalter et al., 2002)

2.4 พฤติกรรมแบบกลุ่ม การติดตามและความเป็นผู้นำในกลุ่มเล็ก ๆ ในฝูงชน (Group behavior: Affiliation and leadership in small groups in crowds) ในการวิจัยการอพยพ ปรัชญาการกระทำของฝูงชนและกลุ่มมีความสำคัญ ที่จะเป็นความแตกต่างระหว่างการเคลื่อนที่ของฝูง ชนและพฤติกรรมของกลุ่ม การเคลื่อนที่ของฝูงชนส่วนใหญ่จะอธิบายการเคลื่อนที่เกี่ยวกับ ความเร็ว ความหนาแน่น เส้นทางการเดินทาง ผลกระทบของอุปสรรค ฯลฯ พฤติกรรมเหล่านี้เป็น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับฝูงชนจำนวนมาก การหลีกเลี่ยงการชนกัน การมีปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพ การมี ปฏิสัมพันธ์ทางสังคม การเลียนแบบ ปฏิสัมพันธ์ทางอ้อม ความโดดเด่นในการพิจารณากรณี ที่ โครงสร้างภายในทั่วไป ส่วนที่เกี่ยวกับอารมณ์ในพฤติกรรมของฝูงชนที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีฉุกเฉิน นอกจากนี้ยังมีระดับของกลุ่มในฝูงชน การคงอยู่ของเป้าหมายที่ใช้ร่วมกัน การมี ส่วนร่วมในเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น แนวโน้มสำหรับพฤติกรรมที่รุนแรง และยังได้รับการยอมรับ เกี่ยวกับมาตรฐานทางวัฒนธรรม เช่น ระดับความพอประมาณของเสียงหรือความใกล้ชิดทาง กายภาพ

ในทางตรงกันข้ามกับผลกระทบทั่วไปของการเป็นกลุ่มของฝูงชนที่สนใจในการวิจัย เป็นพฤติกรรมของกลุ่มในด้านจิตใจของบุคคลภายในกลุ่ม เช่น ความร่วมมือ การเป็นผู้นำ ความไว้วางใจ พฤติกรรมการช่วยเหลือ พฤติกรรมของกลุ่มที่มีความเกี่ยวข้องกับการอพยพที่เป็น สัตว์ส่วนอย่างมีนัยสำคัญของฝูงชนมักจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเล็ก ๆ กลุ่มสังคมมีขนาดสูงสุดถึง 6 คน ที่เกิดอยู่บ่อย ๆ ในช่วงกิจกรรมในสาธารณะ และกลุ่มดังกล่าวส่วนใหญ่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการ ไม่ว่าจะในฝูงชนหรือกลุ่มขนาดเล็ก ภาวะผู้นำเป็นสิ่งสำคัญในกรณีฉุกเฉิน บุคคลที่อยู่ภายใต้ ความเครียดมีแนวโน้มที่จะต้องและยอมรับความเป็นผู้นำกว่าในสถานการณ์ปกติ ดังนั้นการสื่อสาร

ในการอพยพควรจะมีถึงคำแนะนำที่ชัดเจนสำหรับการดำเนินการพร้อมกับข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย (Wogalter et al., 2002) ด้วยการแสดงผลที่ชัดเจนของการเป็นผู้นำและข้อมูลที่แตกต่างกันเกือบทุกคนที่อพยพสามารถได้รับอิทธิพล สามปฏิกิริยาพื้นฐานที่แตกต่างกันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์-15 เปอร์เซ็นต์ ของผู้อพยพแสดงการควบคุมและพฤติกรรมที่มีเหตุผล ซึ่งสามารถใช้กฎของผู้นำ และส่วนใหญ่ 70 เปอร์เซ็นต์ จะกลัวแต่อยู่ในความสงบและดำเนินการตามคำสั่ง ขณะที่เหลืออีก 10 เปอร์เซ็นต์-15 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถคาดการณ์การทำงานหรือทำอะไรไม่ถูก แม้สามารถควบคุมโดยบุคคลที่เลือกไว้อย่างชัดเจนอยู่แล้ว

ในกลุ่มเล็ก ๆ จะมีความร่วมมือในระดับที่สูงจากหมู่สมาชิกที่มีประสบการณ์ เมื่อความเครียดเกิดขึ้น โดยกลุ่ม ความร่วมมืออาจนำไปสู่การกระตุ้นเพื่อรักษากิจกรรมทางสังคมโดยการรวมและเคลื่อนที่เข้าด้วยกัน (Sime, 1985) ผลที่ได้เป็นการมุ่งเน้นความจำเป็นที่จะต้องติดต่อกับครอบครัวและเพื่อนที่อาจมีอิทธิพลเหนือสัญชาตญาณ โดยการหาความใกล้ชิดกับสมาชิกในกลุ่มคนที่ทำการเริ่มต้นและได้รับการสนับสนุน (Schadschneider et al., 2009) เนื่องจากผลของความร่วมมือที่กระหว่างสมาชิกในกลุ่มที่พบพฤติกรรมการสนับสนุนในการสั่งที่จะอพยพได้อย่างราบรื่นและเป็นอันตรายน้อย นอกจากนี้คนบางส่วนจะชะลอตัวลง โดยฝูงชนที่รอสำหรับแต่ละคน (Reuter et al., 2014) ที่ฝูงชนถูกขัดขวางและเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของฝูงชน

3. การจำแนกประเภทของปัจจัยของมนุษย์ในการจำลอง วางแผน และแนวทางการ

อพยพ

เนื่องจากพื้นฐานทางทฤษฎีจำนวนมากยังไม่ถูกพบสำหรับทางเลือกของปัจจัยที่ถูกพิจารณา ซึ่งดูเหมือนว่าการพัฒนาทฤษฎีมักจะนำไปสู่หลักฐานทางการทดลองที่ชัดเจน ความล่าช้าของการอพยพจากในพื้นที่ที่มีเส้นทางหลบหนีที่เพียงพอจะนำไปสู่การวิจัยเกี่ยวกับสาเหตุของความล่าช้า แนวทางที่เป็นระบบมากขึ้นกับปัจจัยของมนุษย์ในการอพยพ แบบจำลองที่ถูกพัฒนาที่ซับซ้อนมากขึ้นด้วยการเพิ่มขีดความสามารถของระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งรูปแบบของปัจจัยของมนุษย์ที่มีความจำเป็นที่จะมีตัวแปรเริ่มต้นและความสัมพันธ์ของคนเดินเท้าอาจมีความเกี่ยวข้องกัน

ปัจจัยของมนุษย์มีความหลากหลายในพิจารณาตัวแปรทางจิตวิทยา ปัจจัยทางวิทยาศาสตร์ของมนุษย์ ปฏิสัมพันธ์ของคนที่มีระบบการทำงานและสภาพแวดล้อมทางกายภาพ และทางเทคนิคการพัฒนาที่พวกเขาสนใจ ปัจจัยของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการออกแบบเพื่อให้พวกเขาปรับตัวเข้ากับลักษณะทางกายภาพ องค์ความรู้และอารมณ์ และสังคมของมนุษย์ที่มีจุดแข็งและข้อจำกัดของระดับของปัจจัยของมนุษย์ต้องได้รับการยอมรับในความสัมพันธ์ของพวกเขา ดังต่อไปนี้

ระดับบุคคล เป็นลักษณะของมนุษย์ทั่วไป ลักษณะของบุคคล และพื้นที่
 ระดับกลุ่ม เป็นกลุ่มที่มีปฏิสัมพันธ์ของคนเดินเท้า เช่น การเป็นผู้นำ การสื่อสาร
 ระดับองค์กร คือ การจัดการ กระบวนการ กฎ ฯลฯ
 ระดับเทคโนโลยี คือ งาน เครื่องมือ และเทคโนโลยี
 ระดับสภาพแวดล้อมของระบบ ได้แก่ ระบบทางกายภาพ ทางสังคม สภาพแวดล้อม
 แต่ละระดับจะประกอบด้วยหลายปัจจัยในกลุ่ม ความเป็นผู้นำ ความร่วมมือ พฤติกรรม
 การช่วยเหลือ การสื่อสาร และอารมณ์ความรู้สึกร่วมกัน ที่เกี่ยวข้องกับการอพยพ สำหรับปัจจัย
 บุคคลต่อไปนี้มีความเกี่ยวข้องกันมากที่สุด คือ (Jungermann, 2000)

ลักษณะของมนุษย์ทั่วไป คือ การประมวลผลข้อมูล ปฏิริยาความเครียด และอารมณ์
 ลักษณะส่วนบุคคลของผู้อพยพ

ลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาด ความแข็งแรง ความบกพร่อง และอายุ
 ทางร่างกายและจิตใจแบบชั่วขณะ เช่น การเมา ความรำเริง ความเหนื่อย
 ความรู้ ด้านประสบการณ์กับสถานการณ์ฉุกเฉินความรู้ในพื้นที่

ลักษณะบุคลิกภาพ เช่น ความวิตกกังวล ความเสี่ยง

การสร้างแรงจูงใจ เช่น การควบคุม การอยากรู้ อยากเห็น ความร่วมมือ

รูปแบบหรือปัจจัยทางจิตวิทยาของมนุษย์โดยเฉพาะการอพยพหาได้ยาก (Jungermann, 2000) เมื่อเจาะเข้าไปในการวิจัยปัจจัยของมนุษย์โดยทั่วไป พบว่าการจำแนกประเภทจะสนใจ ที่ความผิดพลาดหรือการกระทำที่ไม่ปลอดภัย หรืออาจมีสมการพิเศษและสถานการณ์ของข้อจำกัด ของ รูปแบบที่ไม่ได้ใช้ในการอพยพ แต่ใช้ในการทำงานร่วมกันของบุคคลหรือทีม มักจะใช้ อย่างมีระบบ

4. การประยุกต์ใช้แบบจำลองการอพยพ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการสนใจในการอพยพฝูงชนคนเดินเท้าเป็นอย่างมาก ทั้ง การสร้างแบบจำลองคนเดินเท้าเพื่อใช้ประเมินการอพยพ หรือการเลือกใช้ซอฟต์แวร์ในการประยุกต์ ทั้งในรูปแบบของการแนะนำ ประเมิน ออกแบบ และวางแผน และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง การสร้าง แบบจำลองเพื่อที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่การอพยพถูกรวบรวมไว้ในตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองการอพยพสำหรับคนเดินเท้า

นักวิจัย	วัตถุประสงค์	ผลการศึกษา
Tanaboriboon and Guyano, (2000)	วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าภายในกรุงเทพมหานคร โดยใช้กล้องวิดีโอเก็บข้อมูลลักษณะการเดินของคนในเขตชุมชนเมืองที่ใช้บริการทางเท้า บ้านไค สัญญาณไฟจราจร และบันไดเลื่อน โดยจำแนกอายุและเพศ	1. ที่ทางเท้าคนไทยมีความเร็วในการเดิน 72.94 m/min ผู้ชายเดินเร็วกว่าผู้หญิง 2. ที่บริเวณบันไดความเร็วการเดินในทิศทางขึ้นเท่ากับ 31.16 m/min และทิศทางลงเท่ากับ 36.22 m/min 3. ที่สัญญาณไฟมีความเร็วในการเดินเท่ากับ 76.52 m/min
วิวรรณ อัสวสุชี และณัฐศักดิ์ บุญมี (2553)	ศึกษาการอพยพหนีไฟของคนภายในสถานีรถไฟใต้ดินด้วยระเบียบเชิงตัวเลขโดยอาศัยโปรแกรม FDS+Evac	การอพยพควรอยู่ภายในเวลา 6 นาที เนื่องจากเป็นเวลาที่การมองเห็นยังมากกว่า 2 เมตร ทำให้ผู้โดยสารมองเห็นทางออกได้ชัดเจน หากเกินกว่า 6 นาที การมองเห็นจะต่ำกว่า 2 เมตร อาจเป็นเหตุให้ดมแก๊สพิษไปจนเสียชีวิตได้
Zarboutis and Marmaras, (2007)	เสนอวิธีการออกแบบการวางแผนอพยพจากเทคนิคทางสังคมของคนเดินเท้าที่มีความซับซ้อน โดยใช้แบบจำลอง Agent-based	เค้าโครงการออกแบบที่ได้แสดงให้เห็นผ่านการประยุกต์ใช้งานในระบบรถไฟใต้ดิน สำหรับในกรณีของรถไฟที่ขบวนอยู่ระหว่างสองสถานี
Pursals and Garzón, (2009)	เสนอรูปแบบสมการของปัญหาการอพยพในอาคารที่ซึ่งรวมเส้นทางการอพยพและพัฒนาต่อจากสมการของ Nelson และ McLennan ที่เป็นการเคลื่อนที่ฉุกเฉิน จากหนังสือ SFPE ของ Fire Protection Engineering, 1996 ในแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้คน	1. สูตรเดิมของ Francis ถูกปรับปรุงฟังก์ชันการอพยพของแต่ละทางออกที่มักจะมีทางเลือกที่มากขึ้น ในขณะที่สถานการณ์รุนแรงมากขึ้น ที่มีข้อจำกัดที่หลากหลายและทำให้เป็นไปได้ในแบบจำลองความล่าช้าและเส้นทางการอพยพ 2. เปลี่ยนนัยสำคัญจากฟังก์ชันการอพยพและส่วนกลับการอพยพ ที่ใกล้เคียงกับผลโดยทั่วไปที่มีการนำเสนอโดย Brown

ตารางที่ 2-6 (ต่อ)

นักวิจัย	วัตถุประสงค์	ผลการศึกษา
Jiang, Yuan, and Chow, (2010)	ศึกษาผลของการเกิดคอกขวด ในช่วงการอพยพในสถานีรถไฟใต้ดิน โดยสนใจที่ความเร็วสูงสุด และความกว้างเฉลี่ยต่ำสุดของ บันไดที่มีผลต่อการอพยพ และการคาดการณ์ประสิทธิภาพการอพยพโดยการสร้างแบบจำลอง ในซอฟต์แวร์ EXODUS	1. การเปลี่ยนตัวแปรความเร็วและความกว้าง ทั้งสองพร้อมกันจะลดเวลาในการอพยพ โดยรวม 50 เปอร์เซ็นต์ 2. เมื่อสองตัวแปรต่างกันประสิทธิภาพ การอพยพขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการครอบครองในสถานี และระยะทางในการเดินทางออกจากช่องของบันไดระหว่างชานชาลาไปยังจุดปลอดภัย
Guo, Huang, and Wong, (2011)	เสนอวิธีการในการทำนาย พฤติกรรมการเลือกเส้นทางของ คนเดินเท้าและความแออัดทาง กายภาพในช่วงการอพยพพื้นที่ในร่มที่มีสิ่งกีดขวางอยู่ภายใน	วิธีการสามารถใช้ในการทำนาย การเปลี่ยนแปลงการไหลโดยรวมของคน เดินเท้าในช่วงเวลาและพื้นที่ในร่มระหว่าง อุปสรรคและการตรวจสอบทางเลือก การย้อนกลับ และการแพร่กระจายของ พฤติกรรมคนเดินเท้าผ่านคอกขวด
LI, CHEN, JI, ZHANG, and SUN, (2011)	ปรับใช้แบบจำลองซอฟต์แวร์ Simulax ในการดำเนินการอพยพ ลูกเงินของสถานีรถไฟใต้ดิน แบบเกาะกลางยกระดับ และ กำหนดจุดที่เกิดคอกขวด และ ผลกระทบของตำแหน่งคอกขวด ในการอพยพผู้ชงแต่ละระดับ โดยเปลี่ยนสถานการณ์การอพยพ ที่ตำแหน่งคอกขวด	1. บันไดที่เชื่อมต่อระหว่างชานชาลาและชั้น ออกบัตรโดยสารถูกสมมุติให้เป็นตำแหน่งที่เกิดคอกขวดในช่วงการอพยพ เมื่อผู้ชงหนาแน่นมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ 2. ผลกระทบของความกว้างบันได ในการอพยพถูกประเมินโดยเวลาการอพยพ โดยรวมและระดับการให้บริการของบันได ที่ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การอพยพ 3. ผลของความกว้างของบันไดมีผลต่อ ประสิทธิภาพของการอพยพเป็นอย่างมาก 4. ความกว้างและระดับความหนาแน่นบน บันไดในการอพยพในสถานีรถไฟใต้ดิน มีประสิทธิภาพเป็นไปในทางเดียวกัน

ตารางที่ 2-6 (ต่อ)

นักวิจัย	วัตถุประสงค์	ผลการศึกษา
Lei, Li, Gao, Hao, and Deng, (2012)	จำลองกระบวนการอพยพของฝูง ชนคนเดินเท้าจากสถานีเปลี่ยน ถ้ายรถไฟฟ้าใต้ดิน ในกรณี การอพยพที่แตกต่างกัน โดยใช้ Agent-based model ศึกษา ผลกระทบความหนาแน่น ความกว้างทางออก และ AFG gates ที่มีผลต่อการอพยพ	1. ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการ อพยพจะลดลง 2. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับ เวลาการอพยพมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้น 3. ความแตกต่างของความหนาแน่นสอดคล้อง กับขนาดความกว้างของทางออกวิกฤติ 4. AFG gates มีผลกระทบน้อยมากกับเวลา การอพยพ
LI, SUN, FENG, WANG, and LI, (2012)	ใช้ซอฟต์แวร์ STEPS ในการคำนวณความต้องการ เวลาการอพยพที่ปลอดภัยภายใต้ สถานการณ์ที่แตกต่างกันใน สถานีเปลี่ยนถ้ายรถไฟฟ้าใต้ดิน	1. การอพยพควรจะเสร็จภายในเวลาที่ระบุใน กรณีทั่วไปของสถานะฉุกเฉิน (360 วินาที) การอพยพที่ปลอดภัยเป็นการยากที่จะ บรรลุผลในกรณีพิเศษของสถานะฉุกเฉิน 2. การเปิดหรือปิดของเส้นทางอพยพ ได้รับเพียงแต่การเกิดไฟไหม้ในแบบจำลอง แต่ในกรณีการเกิดไฟไหม้จริงทางเลือกใน การครอบครองสำหรับทางออกจะได้รับ ผลกระทบเพิ่มขึ้นจากกลุ่มควัน
Chenga, Yanga, (2012)	ศึกษาการสร้างและประเมิน แบบจำลอง Emergency Evacuation Capacity (EEC) สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวก การอพยพหลักในสถานีรถไฟใต้ ดินผ่านการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่ มีผลกระทบต่อการอพยพฉุกเฉิน ได้แก่ ทางออก บันได ทางเดิน และ ประตูหมุน	1. ส่วนที่มีผลกระทบที่วิกฤติของการอพยพ ฉุกเฉินถูกวิเคราะห์จาก 3 ด้าน คือ ลักษณะ ของการอพยพ สิ่งอำนวยความสะดวก การอพยพ และองค์การจัดการการอพยพ 2. ผลของ EEC ของสิ่งอำนวยความสะดวก การอพยพวิกฤติ มีสาเหตุจากลักษณะ ของการอพยพและแนวทางขององค์กร และการจัดการที่ถูกแยกออกเป็นสองปัจจัย คือ ความเร็วและความหนาแน่นการอพยพ

ตารางที่ 2-6 (ต่อ)

นักวิจัย	วัตถุประสงค์	ผลการศึกษา
Ming, Fudi, JiaoJiao, and Dongdong, (2013)	พิจารณาอุโมงค์ที่เชื่อมต่อ ระหว่างรถไฟใต้ดินกับ ห้างสรรพสินค้ามุ่งเน้นในเวลา การอพยพที่ความปลอดภัย ใน 4 สถานีที่แตกต่างกันในประเทศจีน โดยจำลองด้วยซอฟต์แวร์ STEPS	<ol style="list-style-type: none"> เมื่อไฟไหม้ที่ทางเข้าของอุโมงค์ ทางออก ฉุกเฉินหนึ่งทางออกหรือมากกว่าจะไม่ สามารถถูกใช้งาน เมื่อไฟไหม้เกิดขึ้นที่กลางอุโมงค์ จะมีผลต่อ เส้นทางและประสิทธิภาพของการหลีกเลี่ยง การอพยพ ในทางเดินที่ครอบครองโดยผู้ชายช่องว่าง ของอุโมงค์และประสิทธิภาพของการ หลีกเลี่ยงโดยทั่วไปมีผลที่ดี
Guo, Huang, and Wong, (2012)	การเลือกเส้นของคนเดินเท้า ในช่วงการอพยพภายใต้สอง เงื่อนไข คือ การมองเห็นที่ดี และ ทัศนวิสัยในการมองเห็นเท่ากับ ศูนย์ในการตรวจสอบกลุ่มการใช้ ของการทดลองสถานการณ์ใน ห้อง และแบบจำลองคนเดินเท้า ระดับจุลภาคกับพื้นที่ที่ไม่ ต่อเนื่องที่แสดงออกมา	<ol style="list-style-type: none"> ในสภาพการมองเห็นที่ดีและการมองเห็น เป็นศูนย์คนเดินเท้าพิจารณาระยะของทาง เส้นทางไปยังทางออกเมื่อมีการเลือก เส้นทางเคลื่อนที่และมักจะใช้เส้นทางที่ น้อยที่สุดที่เป็นหลักการในการเลือก เส้นทาง ภายใต้สองเงื่อนไขคนเดินเท้าจะเลือก เส้นทางที่ว่างโดยที่นั่งอยู่ แม้ในความเป็น จริงอาจจะนานกว่าคนอื่น ภายใต้เงื่อนไขของการมองเห็นที่ดีคนเดิน เท้ามีแนวโน้มที่จะเลือกเส้นทางหน้าที่ว่าง ของบุคคลอื่น ๆ อย่างไรก็ตามภายใต้สภาพ การมองเห็นที่เป็นศูนย์คนเดินเท้ามักทำตาม คนเดินเท้าอื่น ๆ ที่อยู่ด้านหน้าที่สามารถ รู้สึกหรือสัมผัสได้ ภายใต้เงื่อนไขของการมองเห็นศูนย์คนเดิน เท้ามักจะสัมผัสหรือรู้ถึงขอบของผนังและ อุปสรรคและเคลื่อนที่ไปตามพวกเขา

ตารางที่ 2-6 (ต่อ)

นักวิจัย	วัตถุประสงค์	ผลการศึกษา
Guo, Chen, You, and Wei, (2013)	ศึกษากระบวนการอพยพภายใต้ไฟไหม้ฉุกเฉินในห้อง โดยใช้แบบจำลอง FPI (Agent-based fire and pedestrian interaction) ในการลดความเร็วในการเดินเนื่องจากทัศนวิสัยเลวร้ายและจำลองลักษณะพื้นที่สภาพแวดล้อมจริงด้วยซอฟต์แวร์ FDS	ความสูงมีผลกับเส้นทางในการนำทางของการอพยพและทำให้เกิดความล่าช้าในการอพยพ เนื่องจากทั้งความเลวร้ายของพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงและการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการอพยพส่งผลให้เกิดการติดขัดและการอุดตันขึ้นในพื้นที่นั้น ๆ
Qu, Gao, Xiao, and Li, (2014)	เสนอแบบจำลองและจำลองการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าในการอพยพบนบันได พิจารณานาขนาดของขั้นบันไดและการเลือกความเร็วที่เหมาะสมกับรูปร่างของคนเดินเท้าแต่ละคน เพื่อการเคลื่อนที่เม่นยำ และนำไปสู่การลดความแออัดจากการเกิดคอขวดโดยประเมินจากเวลาการอพยพและความหนาแน่นบนบันได	<ol style="list-style-type: none"> 1. การเดินขึ้นบันไดช้ากว่าการเดินลงบันได 2. การไหลเป็นอิสระมากกว่าความแออัดน้อย 3. มีการเกิดเลนและกลุ่มคนเดินเท้าขยับขึ้น 4. ความแออัดเกิดขึ้นที่บันไดบนชานชาลาหรือใกล้กับทางเข้าบันได 5. ที่จำนวนคนเดินเท้ามากขึ้นจะเกิดแถวคอยและเวลาการอพยพจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง 6. แบบจำลองความจุของการไหลการเคลื่อนที่ที่บันไดควรจะพิจารณาที่ค่าของ 1.1 ± 0.1 (1/ms) นอกจากอัตราการไหลออกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามความกว้างของขั้นบันได
Cheng, Reddy, Fookes, and Yarlalagadda, (2014)	ใช้ Agent-based model ในการจำลองการอพยพผู้โดยสาร โดยให้ทางออกที่แตกต่างกัน ภายในสนามบิน บนพื้นฐานของตำแหน่งพื้นที่และระดับความปลอดภัย	<ol style="list-style-type: none"> 1. เวลาอพยพได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มผู้โดยสาร 2. แบบจำลองถูกใช้ในการกำหนดหลักเกณฑ์และตรวจสอบประสิทธิภาพการอพยพในการออกแบบสนามบินที่สะดวกสบาย

ตารางที่ 2-6 (ต่อ)

นักวิจัย	วัตถุประสงค์	ผลการศึกษา
Li, Chen, Wang, and Feng, (2014)	รวมแบบจำลอง Social force กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้าด้วยกัน ในการสร้างแบบจำลองการอพยพฉุกเฉินบนชานชาลาของสถานีรถไฟใต้ดินที่พิจารณาเวลาที่คงอยู่ ความหนาแน่นของฝูงชน และระยะทางจากทางออก	<ol style="list-style-type: none"> 1. จำนวนการอพยพมีผลกระทบกับการแพร่กระจายของความตื่นตระหนก และจะลดลงเมื่อจำนวนการอพยพเพิ่มขึ้นในค่าหนึ่ง (2,156 คน) 2. การแพร่กระจายความตื่นตระหนกในกระบวนการอพยพได้รับผลกระทบจากการกระจายตัวของคนเดินเท้า 3. ผลจากการจำลองพฤติกรรมความตื่นตระหนกมีผลต่อประสิทธิภาพการอพยพของกลุ่มคนเดินเท้าเหล่านั้น
Kawaguchi, (2014)	อธิบายรูปแบบการจำลองที่เพิ่มมากขึ้นของการเคลื่อนที่การอพยพ ของแรงระหว่างคนเดินเท้าที่ได้รับจาก Discrete element method (DEM)	ผลกระทบที่เพิ่มขึ้นและลดลงของอุปสรรคในการอพยพเชิงคุณภาพขึ้นอยู่กับตำแหน่งการจัดวางอุปสรรค ซึ่งชี้ให้เห็นว่าคนเดินเท้าสามารถอพยพได้เร็วขึ้นเมื่ออุปสรรคถูกวางในตำแหน่งที่เหมาะสม
Wan, Sui, and Yu, (2014)	จำลองการอพยพฝูงชนสำหรับในสถานะของสิ่งแวดล้อมในสถานีรถไฟใต้ดินจากพื้นฐานทฤษฎีของ Social force รวมกับ Gaussian Puff เพื่อใช้ในสถานการณ์ที่มีแก๊สพิษเกิดขึ้นอย่างฉับพลัน ที่แบบจำลองใช้ในขอบเขตของพฤติกรรมแต่ละคนในการอพยพได้	<ol style="list-style-type: none"> 1. เมื่อแก๊สพิษถูกจุดจุ่มจากผู้ออกการร้ายในสถานีรถไฟใต้ดินผลกระทบต่อผู้โดยสารจะแตกต่างกันไปตามตำแหน่งที่แหล่งก๊าซอยู่และจำนวนของแหล่งก๊าซในสถานี 2. การบาดเจ็บล้มตายจะเกิดมากขึ้นถ้าไม่มีการตรวจสอบและแจ้งให้ผู้โดยสารเกี่ยวข้องกับแก๊สพิษ 3. ความเร็วลมที่มากจะมีผู้โดยสารบาดเจ็บน้อยลง

ตารางที่ 2-6 (ต่อ)

นักวิจัย	วัตถุประสงค์	ผลการศึกษา
Khalid, and Abdellah, (2014)	พิจารณาการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าในห้องเมื่อมีการปรับปรุงเวลาการอพยพ จากผลกระทบพฤติกรรมการสื่อสารของมนุษย์แต่ละคน โดยใช้ Vicsek model	เวลาการอพยพที่ได้รับจะมีผลกระทบอย่างมากจากหลายปัจจัย เช่น จำนวนของคนเดินเท้าหรือความหนาแน่น สถานการณ์ความตื่นตระหนก และโอกาสในการพบทางออกและเส้นทางหลบหนีที่เหมาะสม
Wang, Lo, Liu and Mab, (2015)	เสนอแบบจำลองการจำลองคนเดินเท้าระดับจุลภาค Agent-based ของการไหลฝูงชน ในขณะที่ทำให้เกิดความยืดหยุ่นที่เผยให้เห็นสำคัญของพฤติกรรมคนเดินเท้าในสถานีรถไฟใต้ดิน โดยการจำลองหลาย ๆ กรณี	<ol style="list-style-type: none"> 1. การไหลฝูงชนจะมีความยืดหยุ่นในรูปแบบสำหรับการจำลองการไหลของคนเดินเท้ากับการพิจารณาธรรมชาติของตัวแปรพฤติกรรมคนเดินเท้า 2. พฤติกรรมคนเดินเท้าจะมีความซับซ้อนสูงมาก เนื่องจากลักษณะที่ต่างกันและความต่างในความเร็วในการเดินจริง พฤติกรรม และวัฒนธรรม
Li and Han, (2015)	ใช้แบบจำลองการอพยพคนเดินเท้า Cellular automata ในการตรวจสอบสองแนวโน้ม พฤติกรรม คือ ความคุ้นเคย และความไม่เชื่อฟังกฎ โดยจำลองและทดสอบค่าตัวแปรด้าน พฤติกรรมและองค์ประกอบการไหล โดยเปรียบเทียบและสอบเทียบกับการคำนวณมือ และ fundamental diagrams	<ol style="list-style-type: none"> 1. เวลาการอพยพจะลดลงที่การเพิ่มขึ้นในด้านของความคุ้นเคยของการอพยพ 2. เวลาการอพยพจะเพิ่มขึ้นเมื่อคนเดินเท้ามีการสับสนและไม่เชื่อฟังกฎ 3. การอพยพสูงสุดที่เกี่ยวข้องกับความคุ้นเคยที่สูงและการกำหนดระดับการไม่เชื่อฟังกฎ 4. แนวโน้มพฤติกรรมมีอิทธิพลต่อเวลาการอพยพ

ตารางที่ 2-6 (ต่อ)

Vermuyten, Belien, Boeck, Reniers, and Wauters, (2016)	ทบทวนและรวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพแบบจำลองสำหรับปัญหาการอพยพคนเดินเท้าและปัญหาการออกแบบ จำแนกตามประเภทปัญหาของแบบจำลองที่สมจริงและการสร้างแบบจำลองหรือเทคนิควิธีการแก้ปัญหา	1. ความหลากหลายของแบบจำลองที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในปัจจุบันจะมุ่งเน้นการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าโดยเฉพาะความแออัด 2. ความสนใจที่มากขึ้นควรจะได้รับ การสอบเทียบและดำเนินการทางด้านเทคนิคของแบบจำลองก่อนนำเสนอแบบจำลอง
Cai, Lin, Mao, Bai, and Hu, (2016)	ศึกษาการป้องกันและความปลอดภัยจากลักษณะการแพร่กระจายของกลุ่มควันและการอพยพคนเดินเท้าจากไฟไหม้ในสถานีรถไฟใต้ดิน โดยจำลองผ่านซอฟต์แวร์ STEPS และ FDS+Evac	1. เวลาเริ่มความเร็วของการตอบสนองเป็นไปอย่างรวดเร็ว และเริ่มเกิดคอกวอดที่ทางออก 2. ควันไฟจะจัดขวางในการออกไปสู่ข้างนอกที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของการไหลการอพยพถูกทำให้ช้าลง 3. ภาพที่เห็น ควันมีการแพร่กระจายอย่างง่ายดายในทิศทางของการไหลของการอพยพผู้คน ในขณะที่คอกวอดมีสัญญาณของอันตรายเพิ่มมากขึ้น

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของคนเดินเท้า

1. โปรแกรม Legion for Aimsun

ส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวกับซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า Legion for Aimsun บริษัท Legion Limited เป็นบริษัทที่ก่อตั้งขึ้นในปี 1997 ในสหราชอาณาจักรซึ่งมีซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองคนเดินเท้าระดับจุลภาค (Microscopic pedestrian simulation) หลังจากนั้นไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีการวิจัยและพัฒนาบริษัท ฯ ได้กระจายซอฟต์แวร์ Legion ในปี 2003 ซอฟต์แวร์ Legion ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการจำลองเหตุการณ์สำคัญหลายประการ เช่น การแข่งขันกีฬาโอลิมปิก นอกเหนือไปจากสินค้าหลัก คือ Legion Space Works พวกเขายังให้ซอฟต์แวร์ในการทำงานร่วมกันกับ บริษัท TSS เรียกว่า Legion for Aimsun (Alexandersson, 2013)

Legion for Aimsun เป็นการรวมซอฟต์แวร์แบบจำลองเดินเท้าระดับจุลภาค Legion กับซอฟต์แวร์ระดับจุลภาคของการจราจร (Traffic microscopic) ที่ชื่อว่า Aimsun ซึ่งมีสามตัวเลือกสำหรับใบอนุญาตของซอฟต์แวร์ Aimsun คือ Base, Lite และ Extra (Trulock, 2016) โดย Base license จะรวมอยู่ในซอฟต์แวร์ Aimsun พื้นฐานและอื่น ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติมากขึ้นและสามารถจัดการกับตัวเลขขนาดใหญ่ของคนเดินเท้าต่อชั่วโมง ตัวเลือกแบบ Extra Aimsun เป็นซอฟต์แวร์จำลองการจราจรให้โดย Transport Simulation Systems (TSS, 2016) ซึ่ง TSS เริ่มต้นด้วยการจำลองการจราจรระดับจุลภาคจนถึงตอนท้ายของปี 1980 มีการขยายตัวขึ้นและรวมถึงการจำลองการจราจรในระดับมหภาค (Macroscopic) และกึ่งมหภาค (Mesoscopic) ที่นอกเหนือไปจากระดับจุลภาค สำหรับ License ที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้คือ Aimsun Standard Edition 8.1.3

1.1 การสร้างแบบจำลองคนเดินเท้า (Pedestrian model construction)

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงลักษณะการสร้างที่แตกต่างกันที่พบใน Legion for Aimsun แบบจำลองถูกสร้างในส่วนของโปรแกรมที่แตกต่างกัน เช่น โครงสร้างพื้นฐานและความต้องการข้อมูล และยังสามารถจัดการใน Layer ที่แตกต่างกัน สำหรับการสร้างคนเดินเท้า มีการแยกส่วนของโปรแกรม Legion และ Layer ของ Legion ที่ถูกสร้างขึ้น คุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างคนเดินเท้าจะอยู่ภายในโครงสร้างของ Legion คือ พื้นที่คนเดินเท้า อุปสรรคที่เป็นรูปหลายเหลี่ยม และเส้นจุดการตัดสินใจ ทางเข้าและออกของคนเดินเท้า การเปลี่ยนระดับของวัตถุ และจุดบริการ (TSS, 2016) คุณลักษณะการข้ามของคนเดินเท้า ซึ่งแบบจำลองมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนเดินเท้า (Legion) และโหมคการขนส่งอื่น ๆ (Aimsun) ที่พบภายในโครงสร้าง Aimsun ความต้องการข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจำลองคนเดินเท้าใน Legion for Aimsun เป็นความต้องการด้านการจราจร การออกแบบโครงสร้างพื้นฐาน และการดำเนินงานจากข้อมูล เช่น กฎจราจร

ประเภทของคนเดินเท้าที่จะถูกสร้างขึ้นอย่างแรก เป็นผู้ใช้สามารถเลือกรายละเอียดพฤติกรรมส่วนบุคคล รายละเอียดความเร็ว และขนาดของกระเป๋าเดินทางสำหรับประเภทของคนเดินเท้าโดยเลือกตัวเลือกที่กำหนดไว้ นอกเหนือไปจากรายละเอียดของคนเดินเท้าที่แสดงผลแบบ 2D และ 3D ของคนเดินเท้าสามารถเลือกและแก้ไขได้ เช่น ความสูงและสีของเครื่องแต่งกาย (TSS, 2016) ส่วนต่าง ๆ ของ Legion จะถูกสร้างขึ้นโดยอัตโนมัติเมื่อประเภทของคนเดินเท้าถูกสร้างขึ้น

พื้นที่ทางเดินสำหรับคนเดินเท้าจะถูกสร้างขึ้นพร้อมกับคุณสมบัติของการสร้างที่เรียกว่า พื้นที่คนเดินเท้า (TSS, 2016) พื้นที่เหล่านี้ไม่สามารถทับซ้อนหรือเชื่อมต่อกัน ซึ่งหมายความว่า คนเดินเท้าไม่สามารถเดินจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง คนเดินเท้าสามารถเคลื่อนที่ได้ได้อย่างอิสระภายในพื้นที่ทั้งหมด เพื่อป้องกันไม่ให้เดินบนเครือข่ายถนนของยานพาหนะหรือ

องค์ประกอบอื่น ๆ ที่ควรหลีกเลี่ยง อุปสรรคที่ถูกสร้างขึ้นในวิธีที่แตกต่างกัน โดยใช้ Layers, Objects, CAD files และ Manually

ไฟล์จาก CAD ทั้งรูปหลายเหลี่ยมและเส้นสามารถนำเข้ามาเป็นอุปสรรค คุณลักษณะการเปลี่ยนระดับของวัตถุของโครงสร้างสามารถสร้างเส้นทางที่จะข้ามข้างบนหรือต่ำกว่าถนน คุณลักษณะการสร้างที่ให้การปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนเดินเท้าและการขนส่งโหมดอื่น ๆ ที่เรียกว่า ทางข้ามคนเดินเท้า สิ่งเหล่านี้จะถูกสร้างขึ้นภายในพื้นที่ของคนเดินเท้าและจะต้องมีการวางติดกับจุดที่เป็นทั้งทางแยกระหว่างส่วนของถนน หรือส่วนของแยก และเป็นไปได้ที่จะสร้างจุดใดก็ตามที่ทางข้ามของคนเดินเท้าที่ควรวางไว้ คุณลักษณะทางข้ามคนเดินเท้าจะได้รับโดยอัตโนมัติช่วยให้คนเดินเท้ามีความสำคัญ และรถมีความสำคัญ มันไม่เหมาะสำหรับการใช้งานอื่น ๆ นอกเหนือจากการข้ามม้าลาย สำหรับตัวอย่างที่การเกิดการข้ามเมื่อคนเดินเท้าข้ามโดยไม่ต้องจัดลำดับความสำคัญ ที่การให้ความสำคัญกับคนเดินเท้าจะได้รับจากการเริ่มต้นและสามารถแก้ไขได้ และคนเดินเท้าสามารถเพิ่มไปยังกลุ่มสัญญาณไฟจราจรในการควบคุมการปฏิสัมพันธ์ยานพาหนะกับคนเดินเท้าที่แยกที่มีสัญญาณไฟ อย่างไรก็ตามในการที่จะมีคนเดินเท้าเชื่อฟังสัญญาณ การข้ามจะต้องมีส่วนของเส้นทางของคนเดินเท้า O-D ที่อธิบายไว้ในส่วนต่อไป สัญญาณไม่ส่งผลกระทบต่อคนเดินเท้า เว้นแต่คนเดินเท้าที่มีการกำหนดให้ข้ามโดยเส้นทาง O-D นั้น นอกเหนือจากทาง O-D ที่จะข้ามถนนแม้จะมีสัญญาณไฟสีแดง และรถจะหยุดแม้จะมีสัญญาณสีเขียว จึงทำให้เดินเท้ายังคงได้รับความสำคัญ

จุดศูนย์กลางของคนเดินเท้า (Pedestrian centroids) จะใช้ในการกำหนดแหล่งกำเนิดทางเดินเท้าและจุดสิ้นสุดของคนเดินเท้า (TSS, 2016) จุดศูนย์กลางสามารถเป็นได้ทั้งทางออกหรือทางเข้าของคนเดินเท้าจาก O-D เมทริกซ์ของคนเดินเท้าเป็นลักษณะจำนวนเที่ยวการเดินทางของคนเดินเท้าระหว่างจุดกำเนิดการเดินทางและจุดสิ้นสุดการเดินทางที่มีการกำหนดไว้ในหน่วยของคนเดินเท้าต่อชั่วโมง หลังจากสร้างทางเข้าและทางออกของคนเดินเท้า โครงสร้างของ O-D เมทริกซ์คนเดินเท้า ที่ได้รับและผู้ใช้สามารถเพิ่มความต้องการของคนเดินเท้าในหน่วยคนเดินเท้าต่อชั่วโมงระหว่างจุดกำเนิดและจุดสิ้นสุดการเดินทาง เมทริกซ์ของคนเดินเท้าจะถูกจัดการแบบอนาล็อกไปยังศูนย์ควบคุมของยานพาหนะอื่น ๆ

หากผู้ใช้ต้องการที่จะกำหนดเส้นทางภายในพื้นที่ของคนเดินเท้าทางเลือกระหว่างต้นกำเนิดการเดินทางและจุดสิ้นสุดการเดินทาง ให้กำหนดที่คุณลักษณะ O-D Part ของคนเดินเท้าที่สร้างขึ้นนอกเหนือไปจาก O-D เมทริกซ์ เส้นทางมีการกำหนดไว้ระหว่างจุดศูนย์กลางทางเข้าและทางออกรวมถึงความแตกต่างของจุดของผลพลอยได้ ผู้ใช้สามารถกำหนดได้สำหรับตัวอย่างเส้นทางควรจะมีการข้ามของคนเดินเท้า จุดการตัดสินใจ วัตถุที่เปลี่ยนระดับหรือจุดให้บริการ

ดังนั้นเส้นทางของคนเดินเท้าไม่ได้เป็นเส้นทางที่คงที่ แต่ชุดของจุดที่คงที่ของการเดินของคนเดินเท้าเดินระหว่างที่อยู่ในพื้นที่ของคนเดินเท้า ถ้าไม่มีเส้นทางที่ถูกเพิ่ม O-D เมทริกซ์ เส้นทางเดินเท้าจะถูกกำหนดแต่เพียงผู้เดียว โดยแบบจำลองการเลือกเส้นทางในซอฟต์แวร์ ผู้ใช้กำหนดอัตราร้อยละของจำนวนรวมของคนเดินเท้าต่อชั่วโมง ที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้ในเมทริกซ์ O-D จะเป็นไปตามแต่ละเส้นทางกับคู่ O-D pairs

จุดการตัดสินใจเป็นพื้นที่ที่คนเดินเท้าคิดเส้นทางใหม่ระหว่างจุดที่กำหนดไว้ตามคู่มือที่ว่า "พวกเขาจะมีประโยชน์มากสำหรับการกำหนดเส้นทางของคนเดินเท้าและการเคลื่อนที่ที่สมจริง" (TSS, 2016) ภายในจุดการตัดสินใจมีจุดมุ่งเน้นที่คนเดินเท้ามุ่งไปข้างหน้า จุดนี้จะสามารถเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ ภายในจุดการตัดสินใจหรือข้างนอกเพื่อสร้างกลุ่มของการมุ่งเน้น ส่วนการมุ่งเน้นเป็นส่วนที่เส้นของจุด จึงจะให้มุ่งเน้นในขอบเขตที่ได้รับและป้องกันไม่ให้นักเดินเท้าเข้าสู่จุดการตัดสินใจที่เหมือนกัน จุดบริการเป็นพื้นที่ที่คนเดินเท้าสามารถอยู่และรอสักครู่ก่อนที่จะไปยังเส้นทางต่อไป เครื่องมือนี้สามารถนำมาใช้ในการจำลอง อย่างเช่น ร้านค้า

รูปแบบของคนเดินเท้าอาจจะสร้างแบบจำลองโดยการสร้างประเภทของคนเดินเท้าหลายประเภทและจัดการเหล่านี้ในเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน หนึ่งเมทริกซ์เดิมสามารถแยกและประเภทของคนเดินเท้าที่แตกต่างกันนั้นจะสามารถเลือกสำหรับการแยกเมทริกซ์ หลายเมทริกซ์ยังสามารถนำมาใช้เพื่อให้มีการไหลเวียนของคนเดินเท้าที่แตกต่างกันในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน หลังจากการสร้างแบบจำลองคนเดินเท้าและแบบจำลองการจราจรจะต้องมีการบูรณาการก่อนที่จะจำลองรวมกันที่สามารถทำได้ ประการแรกในการจำลอง Legion for Aimsun จะใช้งานในสถานการณ์แบบไดนามิก (Dynamic scenario) ที่มีการตั้งค่าโดยเฉพาะ เมทริกซ์สำหรับทุกโหมดการขนส่งรวมทั้งเมทริกซ์ O-D คนเดินเท้าหรือเมทริกซ์ที่มีการเพิ่มความต้องการการจราจร

คนเดินเท้าที่เป็นผู้โดยสารของ PT (Pedestrian as PT passengers) เพื่อบูรณาการการขนส่งสาธารณะและคนเดินเท้า การตั้งค่าต่าง ๆ จะถูกนำมาใช้ด้วยกำหนดสำหรับองค์ประกอบของส่วนรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่น ที่ PT หยุด เส้นทาง PT ตารางเวลาและ O-D เมทริกซ์ เมื่อสร้างการหยุดของระบบขนส่งสาธารณะตัวแปรที่เป็นไปได้ในการกำหนดเกี่ยวกับคนเดินเท้า คือการรอสำหรับคนเดินเท้าไปในส่วนของผู้โดยสาร ซึ่งผู้โดยสารมาจากด้านข้างของถนนและไปยังทางขึ้นหรือลงของคนเดินเท้าในเวลานั้น (TSS, 2016) เวลาการขึ้นและการลงถูกใช้ในการคำนวณเวลารอหยุดโดยรวม เวลาที่คงอยู่ของยานพาหนะ PT (TSS, 2016) นอกจากนี้การกระจายเวลาที่คงอยู่สามารถกำหนดสำหรับการหยุดของแต่ละเส้นทางของ PT และการกระจายตัวยังมีการพิจารณาในการคำนวณเวลาหน่วง ทางออกและทางเข้าของคนเดินเท้าถูกสร้างขึ้นที่ขนส่งสาธารณะหยุด เพื่อให้เส้นทางคนเดินเท้าที่ไปและกลับ จากการหยุดของ PT ความยาวของการหยุด PT จะถูก

กำหนดโดยผู้ใช้และมีผลต่อคนที่กำลังรอคอย จำนวนคนที่ขึ้นและลงจากยานพาหนะของการขนส่งสาธารณะที่มีการกำหนดไว้ในตารางเวลาสำหรับในแต่ละเส้นทางการขนส่งสาธารณะ จำนวนที่ใช้จริงของผู้คนที่มีความถี่ของผู้โดยสารที่ลดลง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับวิธีที่หลายคนกำลังรอที่จุดหยุดเมื่อรถมาถึงตามลำดับ โดยวิธีการที่หลายคนอยู่บนรถคันแรก ความจุสูงสุดของยานพาหนะ มีการกำหนดภายใต้ประเภทของยานพาหนะ ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมปัจจัยด้านความยาว หรือเป็นจำนวนรวมของผู้คน ลักษณะประตุนอกจากนี้ยังมีการกำหนดประเภทของยานพาหนะ รวมทั้งระยะห่างจากรถคันหน้าและกฎระเบียบของการขึ้นและลงปริมาณของคนเดินเท้าที่เป็นการขึ้นหรือลงจะมีการกระจายอย่างเท่าเทียมกันระหว่างทุกทางออกและทางเข้า (TSS, 2016)

เมื่อทางเข้าและทางออกที่การหยุดของระบบขนส่งสาธารณะที่ถูกสร้างขึ้น คนเดินเท้ายังปรากฏอยู่ใน O-D เมทริกซ์ของคนเดินเท้า กลุ่มของคนเดินเท้าที่เดินทางไปหยุดที่ทางออกมีการกำหนดไว้ในเมทริกซ์ ควรจะสอดคล้องกับจำนวนของคนเดินเท้าขึ้นยานพาหนะของ PT ที่กำหนดไว้ก่อนหน้าในตารางเวลาเส้นทางของ PT (TSS, 2016) เกี่ยวกับการเดินทางจากทางเข้าที่การหยุดของ PT มีการกำหนดไว้ในตารางแยกส่วนระหว่าง O-D เมทริกซ์ ในเมทริกซ์นี้สัดส่วนกลุ่มประชากรจะถูกกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่จะไปยังแต่ละเครือข่ายที่เป็นทางออก แทนจำนวนของกลุ่มคนเดินเท้าในหน่วยคนเดินเท้าต่อชั่วโมง เป็นเพราะจำนวนกลุ่มที่แท้จริงของคนเดินเท้าเป็นจำนวนของผู้โดยสารที่ลดลง ซึ่งถูกกำหนดไว้ในตารางเวลาของเส้นทางของ PT วิธีการสำหรับการกำหนดเส้นทางนี้ยังสามารถนำมาใช้สำหรับผู้ใช้ระบบขนส่งสาธารณะได้

1.2 พฤติกรรมของคนเดินเท้า (Pedestrian behavior)

การจำลองคนเดินเท้าใน Legion เป็นระบบ multi-agent ที่เรียกว่า auto-navigation โดยนักพัฒนาซอฟต์แวร์ (Legion SpaceWorks, 2012) ประเภทของแบบจำลองนี้ถือว่าทุกคนเดินเท้าเป็นคนเดินเท้าเสมือน (agent) อิสระกับชุดของกฎการควบคุมการเคลื่อนที่ ที่ได้รับจากตัว agent ที่สร้างขึ้นอย่างชาญฉลาด (Johansson, 2007) แนวคิดใน Legion คือ แต่ละคนเดินเท้าจะประเมินตัวเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยค้นหาเส้นทางที่น้อยที่สุด (Legion SpaceWorks, 2012) ที่ทำในระดับมหภาค การค้นหาสำหรับเส้นทางที่สั้นที่สุดไปยังปลายทาง การนำทางในระดับมหภาคนี้จะกำหนดทางเลือกเส้นทาง ประการที่สองคนเดินเท้าจะประเมินความเป็นไปได้ในระดับจุลภาค ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนต่อไป ซึ่งหมายความว่าเส้นทางหลักที่พบในระดับมหภาคและถูกแก้ไขในระดับจุลภาคแล้ว ความพยายามที่ซึ่งคนเดินเท้าพยายามที่จะลดรวมถึงปัจจัยที่สาม คือ

- 1.2.1 ความไม่พอใจเมื่อแรงที่มีความแออัดเขาจะชะลอตัวลง
- 1.2.2 ความไม่สะดวกเมื่อคุณถูกห้ามปรามจากเส้นทางที่สั้นที่สุด
- 1.2.3 ความรู้สึกไม่สบายเมื่อพื้นที่ทรงกลมส่วนบุคคลของคุณถูกรบกวน

คนเดินเท้าจะรวบรวมข้อมูลจากสภาพแวดล้อมจากโซนการรับรู้ และใช้ในการตัดสินใจในขั้นตอนต่อไป ซึ่งการตัดสินใจประกอบไปด้วย 1) การหลีกเลี่ยงอุปสรรค 2) การกำหนดส่วนตัว เช่น พื้นที่วางริ้วส่วนบุคคล และความเร็วที่ต้องการ 3) หลีกเลี่ยงการชนกัน 4)การระบุนคนเดินเท้าอื่นที่เป็นเพื่อนหรือศัตรู เพื่อกำหนดวิธีการโต้ตอบกับพวกเขา 4) เรียนรู้ไปพร้อมกับการสะสมของความจำ และ 5) ความเป็นไปได้ที่จะปรับการตั้งค่าและลักษณะ

เมื่อมีการสร้างประเภทของคนเดินเท้า ตามที่ผู้ใช้เลือกรายละเอียดของแต่ละกลุ่ม พฤติกรรมบุคคล รายละเอียดความเร็ว และขนาดกระเป๋า (TSS, 2016) ลักษณะคนเดินเท้าที่ฝังอยู่ในรายละเอียดของแต่ละกลุ่มบุคคล รายละเอียดที่จะเลือกระหว่างกลุ่มมีการกำหนดไว้ล่วงหน้าโดย Legion ในตารางที่ 2-7 ทางเลือกสำหรับความหมายของประเภทเดินเท้าใน Legion for Aimsun ถูกเสนอค่าเริ่มต้นจะเป็นสีเทา (TSS, 2016) เพราะความรวดเร็วด้านเชิงพาณิชย์ Legion ไม่มีการเสนอรายละเอียดที่อยู่ในตัวแปรสำหรับแต่ละกลุ่มบุคคล และรายละเอียดของความเร็ว (Legion Product Support, 2016) ดังนั้นตัวเลือกสำหรับผู้ใช้ในการกำหนดพฤติกรรมของคนเดินเท้าจะถูกจำกัด ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าของแต่ละกลุ่มบุคคล และรายละเอียดของความเร็ว และข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดไม่สามารถใช้ได้ พฤติกรรมจะถูกปรับเทียบโดยการจำลองเปรียบเทียบกับวิดีโอในสถานการณ์จริง การบันทึกวิดีโอดำเนินการในส่วนต่าง ๆ ของโลกและสถานการณ์ของคนเดินเท้าที่แตกต่างกัน ส่งผลกับกลุ่มพฤติกรรมบุคคลที่กำหนดไว้ล่วงหน้า และรายละเอียดของความเร็ว

ตารางที่ 2-7 ตัวเลือกประเภทของคนเดินเท้าใน Legion for Aimsun (TSS, 2016)

รูปแบบของคนเดินเท้า				
Asian	Chinese	North American	Southern European	UK
รูปแบบความเร็ว				
Chinese commuters	Asian commuters	Runners	UK commuters	Southern European commuters
Chinese weekend passengers	Asian weekend passengers	Stadium users	Tourists	North American commuters
ขนาดพื้นที่ของคนเดินเท้า				
None	Small	Medium	Big	Any

1. การเลือกเส้นทาง (Route choice)

เมื่อกล่าวถึงรูปแบบการเลือกเส้นทางของ Legion for Aimsun ที่ฝังอยู่ในระบบการนำทางแบบอัตโนมัติ ในการนำทางในระดับมหภาค (Legion SpaceWorks, 2012) รูปแบบการเลือกเส้นทางไม่สามารถแก้ไขได้โดยผู้ใช้ เพื่อระบุเส้นทางของคนเดินเท้าผ่านทางโครงข่ายของผู้ใช้สามารถสร้างจุดการตัดสินใจและรวมเข้าใน O-D routes (TSS, 2016) ที่ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดการเดินทางที่อยู่กลางสำหรับคนเดินเท้า นั่น คนเดินเท้าจะถูกนำทางไปสู่จุดการตัดสินใจ ผู้ใช้สามารถกำหนดซึ่งคนเดินเท้าที่ต้องการ โดยการย้ายจุดที่สนใจของจุดการตัดสินใจหรือทำส่วนที่มุ่งเน้นที่จะให้มีการโฟกัสที่กว้างขึ้น เมื่อถึงจุดการตัดสินใจคนเดินเท้าจะนำทางใหม่เพื่อหาเส้นทางของพวกเขาไปยังปลายทางสุดท้าย

สรุปพฤติกรรมของคนเดินเท้าใน Legion for Aimsun ที่มีรายละเอียดที่กำหนดไว้ล่วงหน้าสำหรับลักษณะพฤติกรรม และความเร็วของคนเดินเท้า ตัวเลือกมีจำกัดและข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรพื้นฐานที่ไม่สามารถแก้ไขได้ ดังนั้นการตัดสินใจเกี่ยวกับรายละเอียดที่จะใช้ในการจำลองให้อันหนึ่งอันเดียวกันกับรายละเอียดคือการตั้งชื่อ รูปแบบการเลือกเส้นทางที่ใช้ในการจำลองที่ไม่สามารถแก้ไขได้โดยผู้ใช้ ข้อมูลเกี่ยวกับค่าตัวแปรและขั้นตอนวิธีการไม่สามารถแก้ไขได้

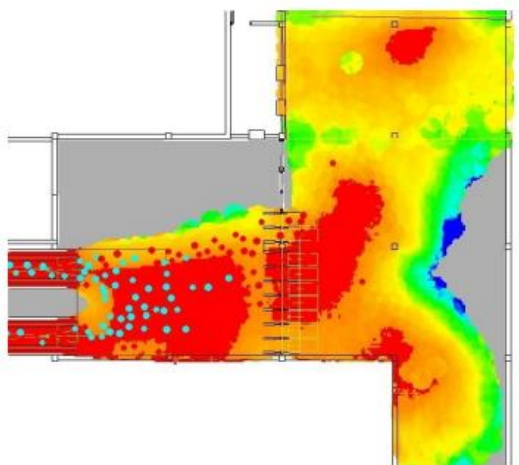
1.3 การวัดประสิทธิภาพการดำเนินงานของคนเดินเท้า (Pedestrian performance measurements)

ส่วนนี้จะอธิบายการวัดประสิทธิภาพการดำเนินงานของสิ่งที่คนเดินเท้าที่สามารถได้รับจาก Legion for Aimsun ที่จะช่วยให้เห็นภาพรวมของการประเมินความเป็นไปได้ที่ซอฟต์แวร์ให้ทั้งในการตรวจสอบภาพที่มองเห็นและค่าของผลที่ส่งออกมา

1.3.1 ภาพที่มองเห็น (Visualisation) ประโยชน์โดยทั่วไปของการจำลองในระดับจุลภาคเป็นผลจากภาพ ผลที่ได้นี้เป็นทั้งการสร้างภาพที่มองเห็นเมื่อใช้การจำลองและผลที่สามารถนำเสนอทางการดูด้วยสายตาในแผนที่หรือบนที่กวีดีโอ การตรวจสอบภาพของการดำเนินการจำลองสามารถใช้ได้ทั้งในมุมมอง 2D และ 3D แต่ก็เป็นไปได้ที่จะนำเสนอผลของภาพใน Legion for Aimsun จากการอนุญาตของการตรวจสอบ (TSS, 2016) Legion Analyser เป็นโปรแกรมที่ช่วยวิเคราะห์ผลการจำลองสำหรับ Legion SpaceWorks แบบจำลองของ Legion SpaceWorks จะถูกบูรณาการกับแบบจำลองของ Aimsun ที่สามารถวิเคราะห์ใน Legion Analyser (Legion Product Support, 2016)

ข้อมูลเกี่ยวกับ Legion Analyser ในส่วนนี้จะได้รับโดย Legion สำหรับซอฟต์แวร์ Legion SpaceWorks และจะเน้นว่ามันจะไม่ถูกตรวจสอบถ้ายังไม่สำเร็จการจำลองของ Legion for Aimsun เพื่อให้ได้ภาพรวมของสิ่งที่สามารถทำได้ด้วยการประยุกต์ใช้ ที่เป็นตัวอย่างบางส่วนที่ให้

โดย Legion คือ "การติดตามแต่ละหน่วยงานและเห็นภาพเส้นทางเดินของคนเดินเท้าในช่วงเวลาที่เห็น ภาพชีวิตที่สำคัญในรูปแบบของแผนที่และเรียกใช้การวิเคราะห์รายละเอียด และการแสดงผลเป็นอนุกรมเวลา เป็นแท่งซ้อนกันหรือ histograms" (Legion SpaceWorks, 2012) ตามที่ Legion ที่ผู้ใช้สามารถกำหนดक्रमกันของผลการตรวจสอบและการวัดที่สำคัญ คือ "ความปลอดภัย ประสิทธิภาพ ความจุ และระดับของการบริการ" (Legion SpaceWorks, 2012) นอกจากนี้ยังมีผลกราฟิกและตัวเลข แผนที่ยังสามารถถูกนำเสนอเป็นน้ำหนักรของสี่ขึ้นอยู่กับช่วงที่กำหนด สำหรับตัวอย่าง Fruin's Level of Service และ US Highway Capacity Manual หรือมาตรฐานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2-16 ที่เป็นแผนที่ความหนาแน่นของแบบจำลอง Legion SpaceWorks ขนาดผู้ใช้สามารถที่จะกำหนดเองและสี่สามารถเป็นตัวแทนการวัดของ เวลา ความหนาแน่น ความเร็ว ความไม่พอใจ ความหงุดหงิด ความไม่สบาย และความไม่สะดวก (Legion SpaceWorks, 2012)



ภาพที่ 2-16 ผังความหนาแน่นของแบบจำลอง Legion SpaceWorks (Legion Limited, 2016)

1.3.2 ผลเชิงตัวเลข (Numerical outputs)

Legion for Aimsun ให้การวัดประสิทธิภาพการทำงานของคนเดินเท้าจากหลาย การจำลอง เช่น การไหล ความเร็ว และเวลาในการเดินทาง สำหรับการประเมินผลคนเดินเท้า เลือกใช้ได้สำหรับการวัดที่มีทั้งระบบ การข้ามคนเดินเท้า และคู่ O-D ซึ่งผลเหล่านี้มีอยู่ใน Legion for aimsun นอกจากนี้ผลเชิงตัวเลขที่เพิ่มขึ้นอาจจะอยู่ใน Legion analyser ที่กล่าวก่อนหน้านี

เมื่อมีการจำลองเสร็จสมบูรณ์ ข้อมูลสรุปเครือข่ายจะปรากฏโดยอัตโนมัติ ซึ่งมีการเลือกผลของคนเดินเท้า นอกจากนี้ยังจะได้รับข้อมูลส่วนบุคคลสำหรับคนเดินเท้า

ที่เฉพาะเจาะจงโดยดับเบิลคลิกที่คนเดินเท้าในระหว่างการจำลอง (TSS, 2016) สำหรับสรุปผลเต็มรูปแบบที่ผู้ใช้เรียกว่าฐานข้อมูล ตารางสำหรับแต่ละการเลือกวัตถุจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลโครงข่ายทั้งหมด (ในตาราง MISYS LEGION) ทางข้ามคนเดินเท้า (MICROSSLEGION) และคู่ O-D (MIODPAIRLEGION) (TSS, 2016) ผู้ใช้สามารถกำหนดซึ่งช่วงเวลาผลลัพธ์ที่ได้ แต่ควรจะเสนอนอกเหนือไปจากผลการค้นหาสำหรับเวลาการจำลองเต็มรูปแบบ

ผลสำหรับโครงข่ายทั้งหมดจะถูกนำเสนอเป็นค่าเฉลี่ยสำหรับคนเดินเท้าทั้งหมดในโครงข่าย ผลในตารางการข้ามคนเดินเท้าจะได้รับสำหรับแต่ละการข้าม ตารางคู่ O-D มีผลถูกนำเสนอต่อคู่ O-D ที่มีคู่ O-D สำหรับแต่ละทางเข้าและทางออกในระบบ ยกเว้นทางเข้าที่ PT หยุด ดังนั้นคนเดินเท้าที่เข้าในระบบที่ลงไปผู้โดยสาร PT จะไม่รวมอยู่ในตาราง

เพื่อที่จะรันแบบจำลองสถานการณ์แบบไดนามิกถูกสร้างขึ้นสำหรับแบบจำลองภายในสถานการณ์ที่ผู้ใช้เลือกที่ความต้องการการจราจรของแบบจำลอง (TSS, 2016) หลายความต้องการการจราจร แผนการควบคุมและแผน PT สามารถถูกสร้างขึ้นสำหรับแบบจำลองเดียวกัน และถูกจำลองในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน สำหรับสถานการณ์มากกว่าหนึ่งการทดลองที่มีการกำหนด ในการทดลองซ้ำหลายครั้งที่แตกต่างกันแบบสุ่มจะถูกดำเนินการ ผลจากการทำซ้ำจำนวนมากสามารถที่จะถูกรวบรวมโดยอัตโนมัติ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนของผลซ้ำ ๆ ทั้งหมดจะถูกนำเสนอในหนึ่งฐานข้อมูล

1.4 ผลการจำลองโปรแกรม Legion for aimsun (Legion for aimsun outputs)

สำหรับผลการประมวลผลของการสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม Legion for aimsun โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ Version 8.1.3 ที่ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ง่ายในการตรวจสอบในส่วนต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ Traffic Demand (OD-Pairs), Pedestrian Crossing, Public Transport Stop และ Service Point ที่สามารถปรับแก้ได้ในส่วนของ Dynamic Scenario, Output/ Statistics โดยผลที่ได้แบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1.4.1 Replication Outputs สำหรับแต่ละประเภทของคนเดินเท้าและค่าที่มีการรวบรวมของทุกประเภทของคนเดินเท้าเป็นไปตามเวลาที่ต่อเนื่องกันที่ถูกเชื่อมโยงกับ Replication การจำลองผลที่ได้คือ

- 1.4.1.1 Flow: เป็นจำนวนของคนเดินเท้าในโครงข่ายต่อชั่วโมง
- 1.4.1.2 Pedestrians in: เป็นจำนวนคนเดินเท้าที่ซึ่งเข้ามาอยู่ในโครงข่าย
- 1.4.1.3 Pedestrians out: เป็นจำนวนคนเดินเท้าที่ออกไปจากโครงข่าย
- 1.4.1.4 Speed: เป็นความเร็วเฉลี่ยของคนเดินเท้า (km/hr or mi/hr)
- 1.4.1.5 Travel time: เป็นเวลาที่คนเดินเท้าไปยังปลายทางที่ต้องการจะไป

1.4.1.6 Walking time: เป็นเวลาที่ถูกรับค่านวมจากการเก็บเวลาจากการเคลื่อนที่

1.4.1.7 Stop time: เป็นเวลาที่คำนวณจากการที่คนเดินเท้าถูกทำให้หยุด

1.4.1.8 Max stop time: เป็นเวลาที่มากที่สุดที่คนเดินเท้าถูกทำให้หยุด

1.4.1.9 Number of stop: เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนการหยุด

1.4.1.10 Total waiting time at PT: เป็นผลรวมเวลารอของทุกคนเดินเท้าที่จุด

จุดของระบบขนส่งสาธารณะ

1.4.1.11 Total distance travelled: เป็นผลรวมของระยะทางการเดินทางของคนเดินเท้าทุกคน (km)

1.4.1.12 Total travel time: เป็นผลรวมของเวลาการเดินทางของคนเดินเท้า

1.4.2 Section outputs สำหรับแต่ละประเภทของคนเดินเท้าและค่าที่มีการรวบรวมของทุกประเภทของคนเดินเท้าเป็นไปตามเวลาที่ต่อเนื่องกันที่ถูกเชื่อมโยงกับการ Crossing ของคนเดินเท้าในส่วนของกร Simulation ที่ได้ คือ

1.4.2.1 Number pedestrian crossing: เป็นจำนวนของคนเดินเท้าในโครงข่ายที่ซึ่งข้ามในสวนของ Pedestrian Crossing

1.4.2.2 Pedestrian crossing time: เป็นเวลาเฉลี่ยที่ถูกคำนวณเมื่อคนเดินเท้าเข้ามายังพื้นที่ที่มีอิทธิพลของทางข้ามจนออกไปจากพื้นที่นั้น

1.4.2.3 Pedestrian effective crossing time: เป็นเวลาที่ถูกรับค่านวมที่คนเดินเท้าเข้าไปสู่ทางข้ามของพื้นที่ Pedestrian Crossing

1.4.2.4 Pedestrian waiting time: เป็นเวลาที่ถูกรับค่านวมเมื่อคนเดินเท้าถูกทำให้หยุดโดยเก็บผลจากส่วนของ Pedestrian Crossing

1.4.3 OD-Pair Outputs สำหรับแต่ละประเภทของคนเดินเท้าและค่าที่มีการรวบรวมของทุกประเภทของคนเดินเท้าและแต่ละ OD-Pair ที่ถูกเลือกเป็นไปตามเวลาที่ต่อเนื่องกันที่ถูกเชื่อมโยงกับการจำลองใน Traffic Demand ที่ได้คือ

1.4.3.1 Pedestrians in: เป็นจำนวนคนเดินเท้าที่ซึ่งเข้ามายังในโครงข่าย

1.4.3.2 Pedestrians out: เป็นจำนวนคนเดินเท้าที่ออกปจากโครงข่าย

1.4.3.3 Speed: เป็นความเร็วเฉลี่ยของคนเดินเท้า (km/hr หรือ mi/hr) แต่เป็นค่าในช่วงเวลาที่ถูกรับค่านวมของแต่ละคนเดินเท้าที่ถูกพิจารณา ที่ไปยังปลายทางของพวกเขาในช่วงเวลาที่ถูกรับค่านวม

1.4.3.4 Travel time: เป็นเวลาเดินทางเฉลี่ยที่คนเดินเท้าไปยังปลายทางของพวกเขา แต่เป็นค่าในช่วงเวลาที่ถูกรับจำนวนของแต่ละคนเดินเท้าที่ถูกพิจารณา ที่ไปยังปลายทางของพวกเขาในช่วงเวลาที่ถูกรับกำหนด

1.4.3.5 Walking time: เป็นเวลาเฉลี่ยของเวลาการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า แต่เป็นค่าในช่วงเวลาที่ถูกรับจำนวนของแต่ละคนเดินเท้าที่ถูกพิจารณา ที่ไปยังปลายทางของพวกเขาในช่วงเวลาที่ถูกรับกำหนด

1.4.3.6 Stop time: เป็นเวลาเฉลี่ยที่ถูกพิจารณาสำหรับการกักเก็บคนเดินเท้าระยะยาวที่ถูกทำให้หยุดสำหรับหลาย ๆ สาเหตุ แต่เป็นค่าในช่วงเวลาที่ถูกรับจำนวนของแต่ละคนเดินเท้าที่ถูกพิจารณา ที่ไปยังปลายทางของพวกเขาในช่วงเวลาที่ถูกรับกำหนด

1.4.3.7 Max stop time: เป็นเวลาที่มากที่สุดที่หนึ่งคนเดินเท้าถูกทำให้หยุดในช่วงเวลาที่ถูกรับกำหนด

1.4.3.8 Number of stop: เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนการหยุด แต่เป็นค่าในช่วงเวลาที่ถูกรับจำนวนของแต่ละคนเดินเท้าที่ถูกพิจารณา ที่ไปยังปลายทางในช่วงเวลาที่ถูกรับกำหนด

1.4.4 Public transport stop outputs สำหรับแต่ละประเภทของคนเดินเท้า และค่าที่มีการรวบรวมของทุกประเภทของคนเดินเท้า ที่เป็นไปตามเวลาที่ต่อเนื่องกันที่ถูกเชื่อมโยงกับการจำลองของ Public transport stop ผลที่ได้คือ

1.4.4.1 Count: เป็นจำนวนของคนเดินเท้าที่ไปอยู่ในจุดที่ Public transport stop

1.4.4.2 Waiting time: เป็นเวลารอของคนเดินเท้าที่มีการหยุดที่ Public transport stop

1.4.4.3 Total waiting time: ผลรวมของเวลาของทุกคนเดินเท้าที่มีการหยุด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

จากที่ได้ทราบแนวความคิดความเป็นมา วัตถุประสงค์ รวมทั้งการคาดหวังผลที่ได้ของวิทยานิพนธ์ที่กล่าวไว้ในบทนำ และความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของคนเดินเท้า รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า และการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนของเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาแล้วนั้น ในบทนี้จะเป็นการอธิบายวิธีการดำเนินการวิจัย เพื่อให้การวิจัยแล้วเสร็จโดยสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยสรุปดังแสดงในภาพที่ 3-1

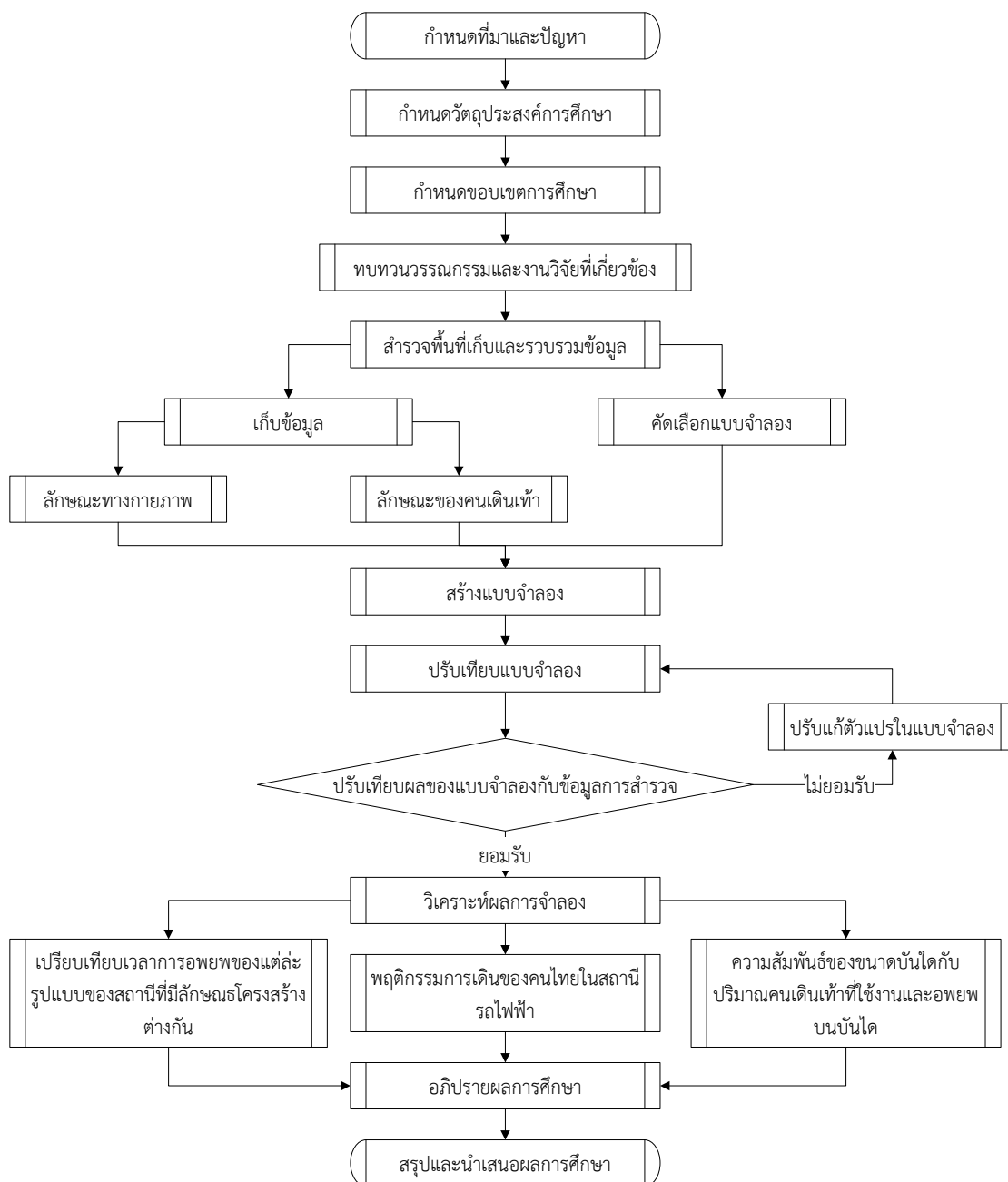
การสำรวจพื้นที่และเก็บข้อมูล

ในการวิจัยนี้สนใจในการประเมินประสิทธิภาพการให้บริการและการดำเนินการอพยพผู้ชนคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินของเมืองไทย ที่ปริมาณคนเดินเท้าได้รับอิทธิพลจากสิ่งอำนวยความสะดวกของคนเดินเท้าที่ก่อให้เกิดคอขวดขึ้นบริเวณดังกล่าว ซึ่งได้แก่ บันได บันไดเลื่อน ทางเข้าและออก รวมถึง AFG gate โดยปัจจัยแรกที่ต้องทราบคือปัจจัยทางกายภาพ เช่น ตำแหน่ง ขนาด จำนวน และอื่น ๆ ของสิ่งอำนวยความสะดวกนั้น ๆ เพื่อใช้ประกอบการสร้างแบบจำลองคนเดินเท้า และการเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยงานวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินของประเทศไทยที่ให้บริการอยู่ในปัจจุบัน โดยการสำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นก่อนกำหนดรายละเอียดเพื่อนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองการอพยพคนเดินเท้าในขั้นตอนต่อไป

1. ลักษณะของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

สำหรับการสำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินนั้นจะประกอบไปด้วยการพิจารณา คือ

- 1.1 รูปแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้แก่ รูปแบบชานชาลา และชั้นออกบัตรโดยสาร
- 1.2 การจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้แก่ บันไดเลื่อน บันได ทางเข้า-ทางออก และสิ่งกีดขวางอื่น ๆ
- 1.3 รูปแบบของสิ่งอำนวยความสะดวก ได้แก่ รูปแบบของบันได และบันไดเลื่อน



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์โดยสรุป

2. ลักษณะของคนเดินเท้าเบื้องต้น

ในการสำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นของคนเดินเท้าที่ใช้บริการสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน จะประกอบไปด้วยการตรวจสอบดังต่อไปนี้

2.1 การกระจายตัวของคนเดินเท้าที่รอขบวนรถไฟฟ้าบนชั้นชานชาลา

- 2.2 ลักษณะการเดินของคนเดินเท้าบนชั้นออกบัตรโดยสาร
- 2.3 การเลือกใช้สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
- 2.4 ลักษณะการขึ้นและลงจากขบวนรถไฟฟ้า

การคัดเลือกแบบจำลอง

ในการจำลองสถานการณ์คนเดินเท้าในทั้งในสถานการณ์ปกติ และสถานการณ์การอพยพสิ่งสำคัญที่จะช่วยในการสร้างแบบจำลอง คือ เครื่องมือโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า “ซอฟต์แวร์” โดยผลที่ได้จากการจำลองผ่านซอฟต์แวร์ดังกล่าวต้องมีความถูกต้องและได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย โดยแบบจำลองที่ดีควรสามารถตอบโจทย์และสามารถใช้งานได้ตามเงื่อนไขตามที่ต้องการได้เป็นอย่างดี โดยส่วนประกอบที่ใช้ในการพิจารณาการคัดเลือกแบบจำลองได้แก่

1. สามารถจำลองจำนวนคนเดินเท้าได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ได้
2. สามารถจำลองพฤติกรรมของคนเดินเท้าเสมือนจริงได้
3. สามารถปรับเทียบตัวแปรให้สอดคล้องกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงของคนเดินเท้าได้
4. ให้ผลที่สามารถนำไปใช้ได้สะดวกและรวดเร็ว
5. สามารถจำลองพื้นที่ขนาดใหญ่ได้เพียงพอความต้องการของงานวิทยานิพนธ์
6. สามารถจำลองลักษณะพื้นที่ทางกายภาพที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้
7. สามารถสร้างแบบจำลองได้สะดวกและรวดเร็ว ถูกต้อง และแม่นยำได้เป็นอย่างดี

จากความต้องการพื้นฐานทางด้านซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นเพียงความต้องการพื้นฐานที่สำคัญของการเลือกแบบจำลองของคนเดินเท้าที่จำเป็น

การเก็บข้อมูล

สำหรับการเก็บข้อมูลเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญอันดับต้น ๆ ของการวิจัยนี้ ซึ่งข้อมูลที่ถูกจัดเก็บ จะถูกนำมาสังเคราะห์และแยกข้อมูลที่จำเป็น เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาและเปรียบเทียบแบบจำลองของคนเดินเท้าในระดับจุลภาค อีกทั้งยังเป็นข้อมูลในการประเมินผลและใช้ในการสร้างการจำลองคนเดินเท้า โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การเก็บข้อมูลทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้า

ผู้ศึกษาจะดำเนินการรวบรวมข้อมูลโครงสร้างทางกายภาพของสถานีต่าง ๆ ของรถไฟฟ้าใต้ดินที่ให้บริการอยู่ในปัจจุบัน คือ รถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน (สายเฉลิมรัชมงคล) โดยจากการสำรวจพื้นที่เบื้องต้นที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ในขั้นตอนนี้ผู้ศึกษาจะดำเนินการคัดเลือกสถานีต้นแบบที่จะใช้ในการวิเคราะห์ผลให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ โดยใช้ตัวอย่างตารางการสำรวจสถานีดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างตารางการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

ชื่อสถานี	รูปแบบ Platform			จำนวน ชั้นสถานี	จำนวน ทางออก
	Island platform	Side platform	Split platform		
บางซื่อ		√		2	2
สีลม			√	4	2
ห้วยขวาง	√			2	4
ศูนย์วัฒนธรรม					
แห่งประเทศไทย	√			4	4

สำหรับรายละเอียดลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่ถูกเลือกเป็นกรณีศึกษามีดังต่อไปนี้

- 1.1 รูปแบบโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินแต่ละสถานีที่ถูกเลือกใช้
- 1.2 รูปแบบของ Platform และออกบัตรโดยสาร ของแต่ละสถานีที่ถูกเลือกเป็นกรณีศึกษา
- 1.3 รูปแบบของสิ่งอำนวยความสะดวก ได้แก่ บันได บันไดเลื่อน และ AFG gate
- 1.4 ตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนเดินเท้า ได้แก่ ทางเข้า-ออก บันได บันไดเลื่อน AFG gate และลิฟต์ เป็นต้น

1.5 ขนาดและจำนวนของสิ่งอำนวยความสะดวก ได้แก่ ทางเข้า-ออก บันไดเลื่อน บันได และ AFG gate

โดยลักษณะทางกายภาพเหล่านี้จะใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้เปรียบเทียบเวลาการอพยพของคนเดินเท้าในรูปแบบโครงสร้างของสถานีต่าง ๆ ที่ถูกเลือกเป็นกรณีในงานวิทยานิพนธ์

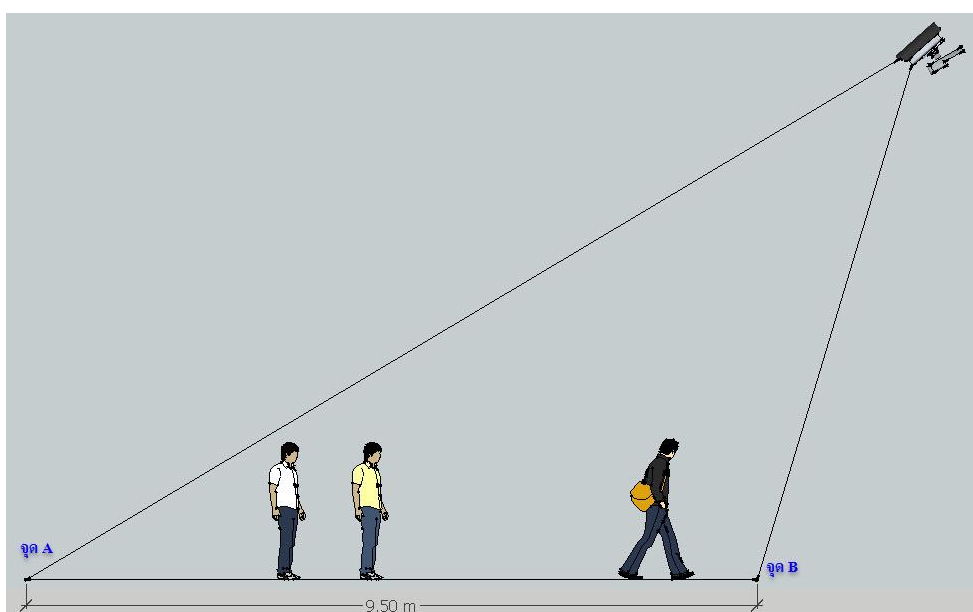
2. การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าจากภาพถ่าย VDO

สำหรับการเก็บและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมคนเดินเท้า เพื่อใช้ในการสร้าง และเปรียบเทียบแบบจำลองของคนเดินเท้าทั้งในสถานการณ์ปกติ และในสถานการณ์การอพยพผู้ชน โดยจะเก็บและรวบรวมข้อมูลจากภาพถ่ายวิดีโอเพื่อนำผลการจำลองที่ได้ใช้ในการวิเคราะห์ผลให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ โดยข้อมูลที่ได้ประกอบไปด้วย

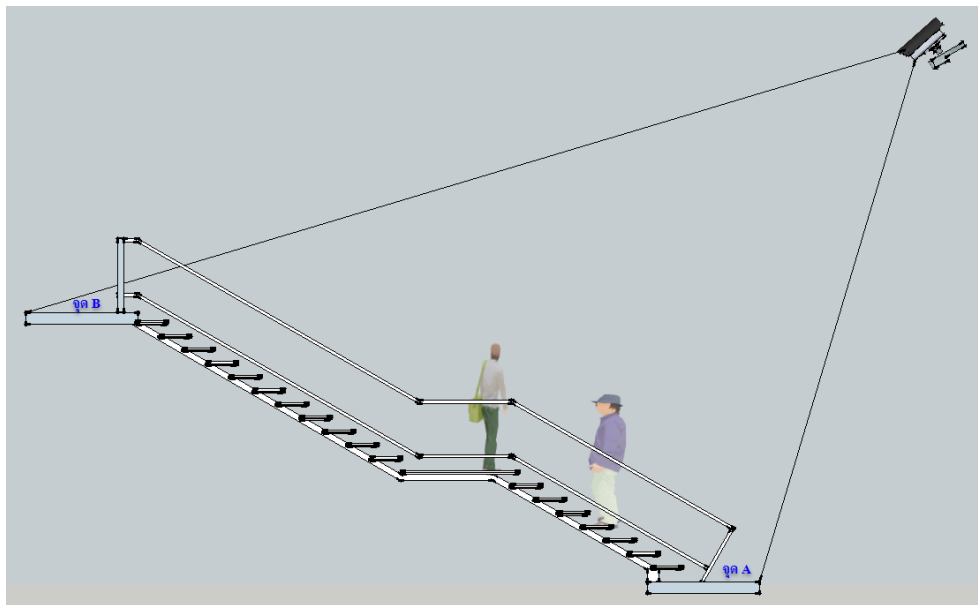
2.1 สัดส่วนเพศผู้โดยสารที่ใช้บริการภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

2.2 สัดส่วนช่วงอายุผู้โดยสาร โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผู้โดยสารที่มีอายุน้อยกว่า 15 ปี ผู้โดยสารที่มีอายุระหว่าง 15-60 และผู้โดยสารที่มีอายุมากกว่า 60 ปี

2.3 เวลาการเดินทาง (Travel time) ในการเดินบนพื้นราบในสถานการณ์ปกติและสถานการณ์ฉุกเฉิน วิธีการเก็บข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 3-1 ที่ใช้การกำหนดจุดสองจุดที่ทราบระยะทางเมื่อมีคนเดินเท้าผ่านจุดแรกที่กำหนดเป็นจุดเริ่มจะเริ่มจับเวลา และเมื่อคนเดินเท้ามาถึงจุดที่กำหนดเป็นจุดสิ้นสุดจะหยุดการจับเวลา โดยเวลาที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณความเร็ว



ภาพที่ 3-2 การเก็บความเร็วของคนเดินเท้าบนพื้นราบ



ภาพที่ 3-3 การเก็บความเร็วของคนเดินเท้าในทิศทางขึ้นและลงบันได

2.4 ความเร็วในการเดินขึ้น และลงบันได ในสถานการณ์ปกติและสถานการณ์ฉุกเฉิน
วิธีการเก็บข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 3-2 ที่ใช้การกำหนดจุดสองจุดที่ทราบระยะทางเมื่อมีคนเดินเดิน
เท้าผ่านจุดแรกที่กำหนดเป็นจุดเริ่มจะเริ่มจับเวลา และเมื่อคนเดินเท้ามาถึงจุดที่กำหนดเป็น
จุดสิ้นสุดจะหยุดการจับเวลา โดยเวลาที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการคำนวณความเร็ว

2.5 ความเร็วของบันไดเลื่อน

2.6 การไหลผ่านพื้นราบ

2.7 การไหลผ่านในการเดินขึ้น และลงบันได

2.8 การไหลผ่าน AFG gate ในขณะที่มีการไหลอ้อมตัว ดังแสดงในภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-4 การเก็บการไหลของคนเดินเท้าที่ AFG gate

ในการเก็บข้อมูลคุณลักษณะของคนเดินเท้าจากภาพถ่ายวิดีโอจะใช้ตารางการเก็บข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมคนเดินเท้าบนพื้นราบ ทิศทางการเดินขึ้นและลงบันได ภายในสถานีรถไฟฟ้าจากภาพถ่าย VDO

No.	เพศ		ช่วงอายุ (ปี)			Travel Time (s)
	ชาย	หญิง	น้อยกว่า 15	ระหว่าง 15-60	มากกว่า 60	
	เฉลี่ย					

การสร้างแบบจำลอง

เมื่อซอฟต์แวร์แบบจำลองถูกเลือกใช้งาน การสร้างแบบจำลองเพื่อประยุกต์ใช้ในการศึกษาการอพยพของคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าจะถูกดำเนินการ สำหรับการสร้างแบบจำลองจะมีลำดับการดำเนินการแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการแรกเป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบ กระบวนการที่สองเป็นการกำหนดเงื่อนไขการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการระบุขนาดและรูปแบบของบันไดที่เหมาะสม และกระบวนการสุดท้ายเป็นการสร้างแบบจำลองในการเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพการอพยพของสถานีที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน โดยรายละเอียดแต่ละกระบวนการสร้างแบบจำลองมีดังต่อไปนี้

1. เงื่อนไขการสร้างแบบจำลองเพื่อระบุขนาดและรูปแบบบันได

สำหรับการสร้างกรณีหรือเงื่อนไขในการจำลองเป็นการกำหนดกรณีศึกษาเพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ ซึ่งเมื่อแบบจำลองคนเดินเท้าถูกเปรียบเทียบเป็นที่เรียบร้อยแล้วจะนำตัวแปรที่ได้จากการปรับเทียบมาใช้ในการสร้างกรณีของการจำลอง เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์สำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อระบุขนาดของบันไดที่เหมาะสมกับปริมาณคนเดินเท้า การสร้างแบบจำลองในการประเมินประสิทธิภาพการให้บริการทั้งในสถานการณ์ปกติ และสถานการณ์การอพยพมีดังต่อไปนี้

1.1 รูปแบบของบันได 3 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 บันไดทางตรง (straight run) แบบที่ 2 บันไดทางตรงคู่ (double straight run) และแบบที่ 3 บันไดแบบหักกลับ (Return stair) ดังแสดงในภาพที่ 3-2 และ 3-3 ตามลำดับ

1.2 กำหนดค่าเริ่มต้นของขนาดความกว้างของบันไดตามมาตรฐาน NFPA 103 ที่ได้กำหนดความกว้างประสิทธิผลน้อยที่สุด 1.12 เมตร โดยมีลำดับการเพิ่มความกว้าง คือ 1.20 เมตร 1.80 เมตร 2.40 เมตร และ 3.00 เมตร ตามลำดับ

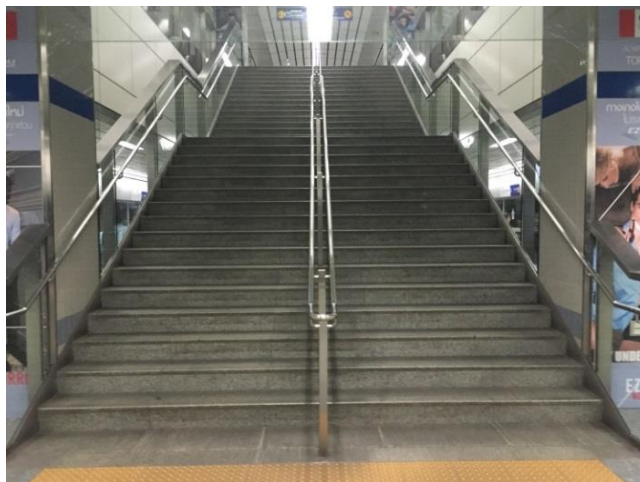
1.3 กำหนดระยะทางการเดินของคนเดินเท้าบนบันไดที่ 10 เมตร

1.4 กำหนดความลาดชันของบันไดได้ดังต่อไปนี้ 27 องศา 30 องศา 33 องศา และ 36 องศา ตามลำดับ

1.5 กำหนดจำนวนคนเดินเท้าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองจากระดับปริมาณที่ต่ำกว่าความจุของบันไดไปจนถึงเต็มความจุของบันได โดยสัดส่วนเพศและอายุจะขึ้นอยู่กับผลที่ได้จากการเก็บข้อมูล



ภาพที่ 3-5 บันไดแบบที่ 1 บันไดทางตรง (straight run)



ภาพที่ 3-6 บันไดแบบที่ 2 บันไดทางตรงคู่ (double straight run)

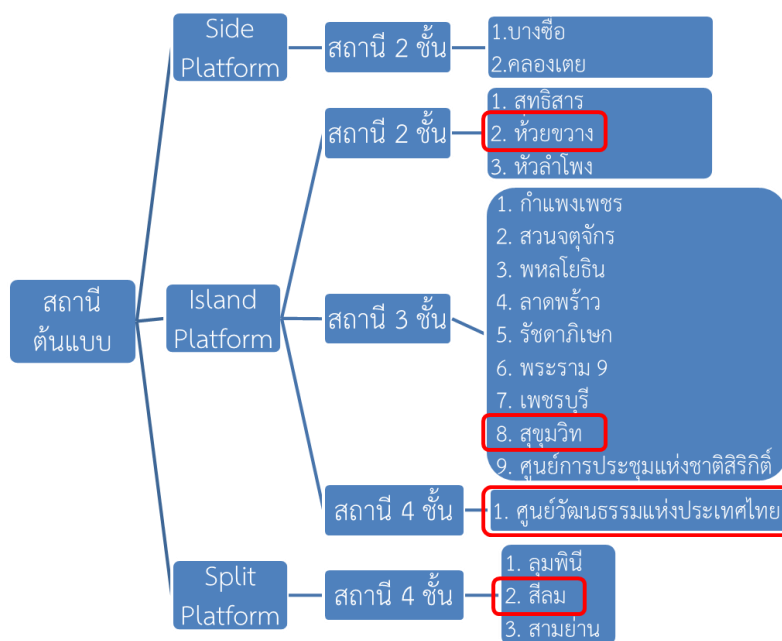


ภาพที่ 3-7 บันไดแบบที่ 3 บันไดแบบหักกลับ (Return stair)

2. การสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบและประเมินโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

ในการสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอพยพคนเดินเท้าของรูปแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีลักษณะทางกายภาพทางเลขาคณิต การจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกที่แตกต่างกัน โดยลักษณะโครงสร้างสถานี และทำการคัดเลือกสถานีต้นแบบที่มีความแตกต่างของลักษณะโครงสร้างของสถานีต้นแบบ โดยพิจารณาจากรูปแบบชานชาลา รูปแบบโครงสร้างสถานี

ความลึกสถานี และจำนวนทางออกของสถานีที่คาดว่าจะสถานีที่เมื่อเกิดการอพยพจะวิกฤติมากกว่าสถานีอื่นในกลุ่มดังแสดงในภาพที่ 3-8 ซึ่งในการศึกษานี้จะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มรูปแบบได้แก่



ภาพที่ 3-8 สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างแบบจำลองการอพยพ

2.1 รูปแบบสถานีที่ 1 เป็นโครงสร้าง 2 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นที่ 1 ชั้นโถงผู้โดยสาร เป็นสถานีสำหรับซื้อและตรวจตั๋วโดยสารและแสดงแผนภูมิเส้นทางรถไฟฯ ชั้นที่ 2 ชั้นชานชาลา เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบ รับ-ส่งผู้โดยสาร ประตูจะเปิดและปิดเมื่อรถไฟฟ้าจอดเทียบเท่านั้น ซึ่งเป็นระบบป้องกันความปลอดภัยและประหยัดพลังงานในการใช้ระบบปรับอากาศเป็นชานชาลาแบบเกาะกลาง (Station with Island platform) โดยกลุ่มนี้มี 3 สถานี ได้แก่ สถานีสุทธิสาร สถานีห้วยขวาง และสถานีหัวลำโพง โดยเลือกสถานีห้วยขวางเป็นสถานีศึกษาเนื่องจากมีความลึกและทางออกเท่ากับสถานีสุทธิสาร แต่ลึกมากกว่าสถานีหัวลำโพง

2.2 รูปแบบสถานีที่ 2 เป็นโครงสร้าง 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นที่ 1 ชั้นรวมผู้โดยสาร มีลักษณะเป็นพื้นที่โล่งเป็นชั้นแรกเมื่อลงจากทางขึ้น-ลง จะประกอบด้วยร้านค้าปลีกต่าง ๆ ชั้นที่ 2 ชั้นโถงผู้โดยสาร เป็นสถานีสำหรับซื้อและตรวจตั๋วโดยสารและแสดงแผนภูมิเส้นทางรถไฟฯ ชั้นที่ 3 ชั้นชานชาลา เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบ รับ-ส่งผู้โดยสาร ประตูจะเปิดและปิดเมื่อรถไฟฟ้า

จุดเทียบสถานีเท่านั้น ซึ่งเป็นระบบป้องกันความปลอดภัยและประหยัดพลังงานในการใช้ระบบปรับอากาศ เป็นชานชาลาแบบเกาะกลาง โดยกลุ่มนี้มี 9 สถานี ได้แก่ สถานีกำแพงเพชร สถานีสวนจตุจักร สถานีพลโยธิน สถานีลาดพร้าว สถานีรัชดาภิเษก สถานีพระราม 9 สถานีเพชรบุรี สถานีสุขุมวิท และสถานีศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ซึ่งใช้สถานีสถานีสุขุมวิทเป็นสถานีศึกษา เนื่องจากเป็นจุดเชื่อมต่อไปยังรถไฟฟ้า BTS สถานีอโศก และมีปริมาณผู้โดยสารใช้งานจำนวนมาก

2.3 รูปแบบสถานีที่ 3 เป็นโครงสร้าง แบ่งเป็น 3 ชั้น ประกอบด้วย 1) ชั้นออกบัตรโดยสาร 2) ชั้นชานชาลาในอนาคต เตรียมไว้สำหรับรถไฟฟ้ามหานคร สายสีส้ม ซึ่งจะเชื่อมต่อในทิศทางตั้งฉากกับรถไฟฟ้าในปัจจุบัน โดยในปัจจุบันเป็นพื้นที่โล่งสำหรับจัดแสดงนิทรรศการและประชาสัมพันธ์โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม 3) ชั้นชานชาลา สำหรับรถไฟฟ้ามหานครสายสีน้ำเงินเป็นชานชาลาแบบเกาะกลาง โดยกลุ่มนี้มี 1 สถานี ได้แก่ สถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย และเลือกใช้สถานีนี้เป็นสถานีในการศึกษา

2.4 รูปแบบสถานีที่ 4 เป็นโครงสร้าง 4 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นที่ 1 ชั้นโถงผู้โดยสาร เป็นสถานที่สำหรับซื้อและตรวจตั๋วโดยสารและแสดงแผนภูมิเส้นทางรถไฟฟ้า ชั้นที่ 2 ชั้นชานชาลา เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบ รับ-ส่งผู้โดยสาร ประตูจะเปิดและปิดเมื่อรถไฟฟ้าจอดเทียบสถานีเท่านั้น ชั้นที่ 3 เป็นชั้นห้องเครื่องสำหรับระบบต่าง ๆ เช่น พัดลมดูดอากาศ ระบบไฟฟ้า เป็นต้น ชั้นที่ 4 ชั้นชานชาลาต่ำ เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบ รับ-ส่งผู้โดยสาร ประตูจะเปิดและปิดเมื่อรถไฟฟ้าจอดเทียบสถานีเท่านั้นเป็นชานชาลาต่างระดับ (Station with Split platform) โดยกลุ่มนี้มี 3 สถานี ได้แก่ สถานีลุมพินี สถานีสีลม และสถานีสามย่าน โดยเลือกใช้สถานีสีลมเป็นสถานีในการศึกษาเนื่องจากมีระดับความลึกสูงสุดในกลุ่ม อีกทั้งยังมีทางออกที่น้อยที่สุดในกลุ่ม

ในการสร้างแบบจำลองจะใช้จำนวนคนเดินเท้าที่เท่ากันในการจำลองการอพยพโดยมีการกำหนดการจำลองในกรณีมีจำนวนคนเดินเท้าที่อยู่บนสถานีร่วมกับคนเดินเท้าที่อยู่บนรถไฟฟ้า สำหรับจำนวนคนที่อยู่บนสถานีนั้นจะพิจารณาการคำนวณจากความหนาแน่นของผู้โดยสารที่เกิดในสถานีโดยพิจารณาความหนาแน่นที่ระดับ 60, 70, 80, 90 และ 100 เปอร์เซนต์ของความหนาแน่นสูงสุดของผู้โดยสารที่รอบนชั้นชานชาลาในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

3. การสร้างการจำลองในซอฟต์แวร์แบบจำลองคนเดินเท้า Legion for Aimsun

ในการสร้างการจำลองคนเดินเท้าระดับจุลภาคนั้นในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ Legion for Aimsun ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าทั้งในสถานการณืปกติ และสถานการณืการอพยพ สำหรับภาพรวมของการสร้างแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3-7 ในการสร้างแบบจำลองคนเดินเท้าสำหรับการ

อพยพที่สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินนั้นจะมีขั้นตอนการสร้างแบบจำลองตามขั้นตอนการสร้างแบบจำลองคนเดินเท้าที่กล่าวมาข้างต้น จะอธิบายดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างประเภทของคนเดินเท้า ซึ่งเป็นกลุ่มของคนเดินเท้าที่มีลักษณะทั่วไปที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองในสภาพแวดล้อมการจำลอง โดยสามารถสร้างประเภทคนเดินเท้าเพื่อจำลองส่วนต่าง ๆ ของประชากรกลุ่มเป้าหมายที่มีพฤติกรรมต่าง ๆ โดยประเภทของคนเดินเท้าจะมีดังต่อไปนี้ 1) เพศชายอายุน้อยกว่า 15 ปี 2) เพศชายอายุระหว่าง 15-60 ปี 3) เพศชายอายุมากกว่า 60 ปี 4) เพศหญิงอายุน้อยกว่า 15 ปี 5) เพศหญิงอายุระหว่าง 15-60 ปี 6) เพศหญิงอายุมากกว่า 60 ปี

สามตัวแปรในการสร้างประเภทของคนเดินเท้าที่สำคัญ ได้แก่ Entity Profile คือ การกำหนดรูปแบบพฤติกรรมของคนเดินเท้า Speed profile คือ การกำหนดรูปแบบความเร็วของคนเดินเท้า และ Luggage size คือ การกำหนดความกว้างของคนเดินเท้า ในการกำหนดจะถูกปรับใช้ในทุกคนเดินเท้าภายในกลุ่ม ค่าตัวแปร Entity และ Speed เป็นการนำมาจาก Legion database มีคำอธิบาย คือ

1. Entities and Entity profiles คนเดินเท้าถูกจำลองโดยใช้ space modelled ที่เรียกว่า Entities โดยสามารถแสดงในรูปร่างที่แตกต่างกันของพื้นที่โดยประมาณขนาดของคนเดินเท้าที่เป็นจริง ขนาดของ Entities ที่หลากหลายจะเป็นไปตามการกระจายและขนาดของพื้นที่ ในพื้นที่ที่แน่นช่วงเวลาที่เหมือนกับการไหลของของเหลว เมื่อเกิดการผลัดจากคนอื่น ๆ Entity Profiles มีการกำหนดตัวแปรที่จะรองรับการเดินทางโดยทั่วไปของทุก Entities ของประเภทที่เหมือนกัน

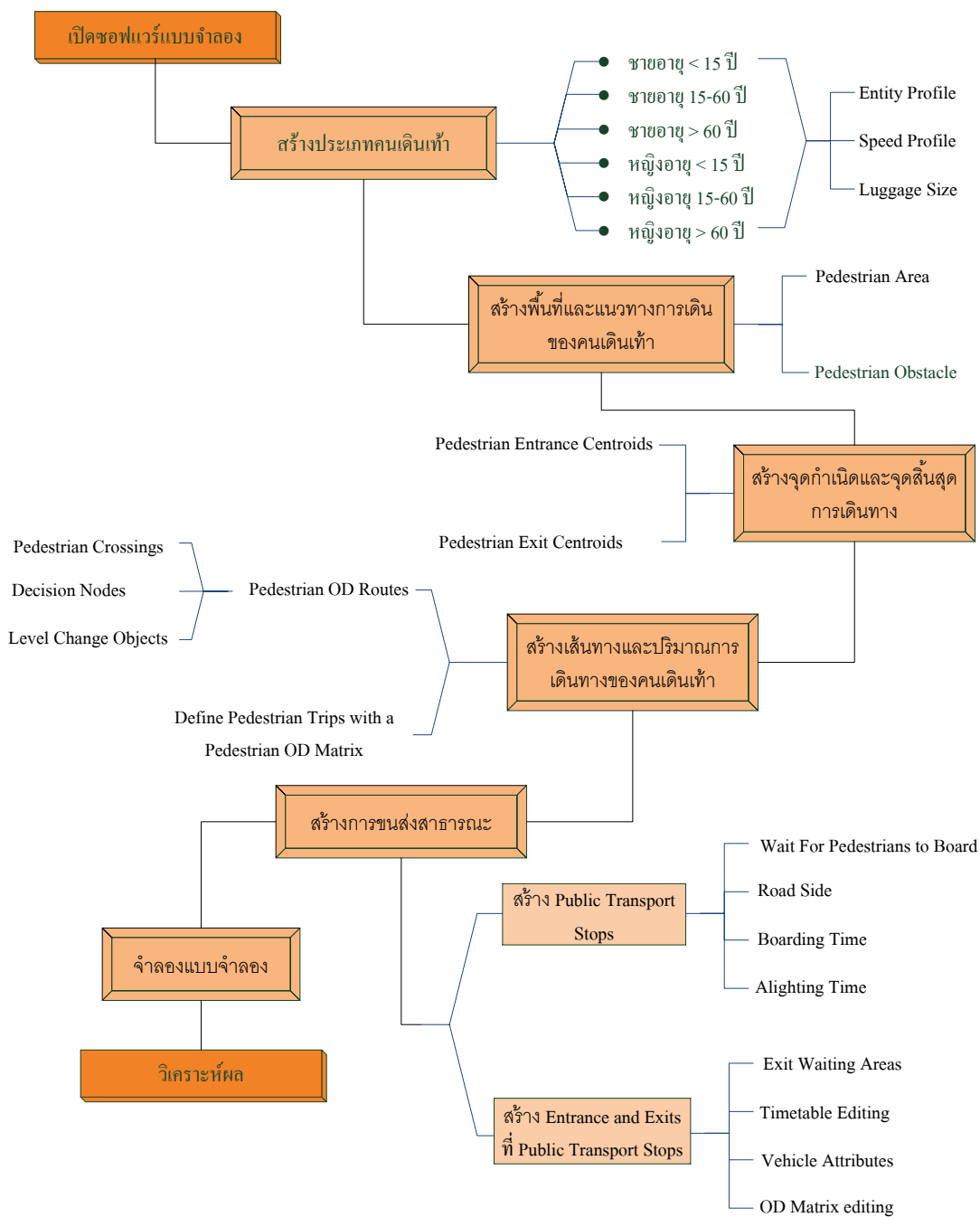
2. Speed profiles ถูกกำหนดการกระจายของความเร็วที่เกี่ยวกับ Entities ประเภทที่เหมือนกันในการเคลื่อนที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง ปรับแก้ใน Legion เท่านั้น และไม่สามารถแก้ใน Aimsun ได้

ขั้นตอนที่ 2 สร้างพื้นที่และแนวทางการเดินของคนเดินเท้า โดยการนำทางของคนเดินเท้าเป็นการใช้พื้นที่โดยการกำหนดพื้นที่ที่คนเดินเท้าสามารถเคลื่อนที่มีส่วนหลักดังต่อไปนี้

1. กำหนดพื้นที่หรือขอบเขตที่คนเดินเท้าสามารถสามารถเคลื่อนที่ไปในพื้นที่นั้น ๆ ได้อย่างอิสระ

2. กำหนดสิ่งกีดขวางที่คนเดินเท้าไม่สามารถไปได้ โดยคนเดินเท้าจะไม่สามารถผ่านหรือเข้าไปใช้พื้นที่ที่กำหนดเป็นสิ่งกีดขวางได้ เช่น ถนน เสา อาคาร และต้นไม้ เป็นต้น สิ่งกีดขวางสำหรับคนเดินเท้าสามารถสร้างได้ทั้งแบบ Polyline Obstacles และ Polygon Obstacles อีกทั้งยังสามารถสร้างสิ่งกีดขวางแบบอัตโนมัติได้ โดยมี plug-in สำหรับคนเดินเท้าที่สามารถสร้างสิ่งกีดขวางได้โดยอัตโนมัติเพื่อช่วยประหยัดเวลาในการสร้างสิ่งกีดขวางที่อยู่ในพื้นที่ที่กำหนดให้คนเดิน

เท้าเคลื่อนที่ได้ โดยมีหลายรูปแบบดังนี้ สร้างจาก Layer และสร้างสิ่งกีดขวางด้วย AutoCAD Layer ที่ซึ่ง Layers มาจาก AutoCAD เป็นไฟล์ .dxf หรือ .dwg



ภาพที่ 3-9 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 3 สร้างจุดกำเนิดและจุดสิ้นสุดการเดินทาง โดยในซอฟต์แวร์นี้จะเรียกว่า “Centroids” โดย Centroids ของเดินเท้าเป็นจุดกำเนิดและจุดปลายทาง (O-D) สำหรับคนเดินเท้าในแบบจำลอง ที่สามารถตั้งค่าให้ควบคุมการไหลเข้า-ออกโครงข่ายของคนเดินเท้า การกำหนดค่าการสร้างจุดศูนย์กลางคนเดินเท้า (Pedestrian centroid) ที่ซึ่งจุดศูนย์กลางคนเดินเท้าเป็นการกำหนดค่าซึ่งประกอบด้วยการกำหนดศูนย์กลางทางเข้าและทางออก และตาราง O-D ที่เกี่ยวข้องและเส้นทาง การกำหนดค่าการสร้างจุดศูนย์กลางคนเดินเท้ามีความเป็นอิสระของการกำหนดค่าจุดศูนย์กลางอื่น ๆ โดยมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. Pedestrian Entrance Centroids เป็นพื้นที่ที่คนเดินเท้าเข้าสู่เครือข่าย
2. Pedestrian Exit Centroids เป็นบริเวณที่คนเดินเท้าออกจากเครือข่าย

ขั้นตอนที่ 4 สร้างเส้นทางและปริมาณการเดินทางของคนเดินเท้า ที่การใช้เส้นทางในการกำหนดเส้นทางของคนเดินเท้าจากทางเข้าเข้าสู่โครงข่ายและไปยังทางออก การกำหนดวิธีของคนเดินเท้าที่เป็นจุดที่สำคัญ เช่น การข้าม และกำหนดความต้องการที่จะจำลองปริมาณของคนที่สามารถส่งผลกระทบการจราจรมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

1. Pedestrian OD Routes เป็นจุดกำเนิด-จุดปลายทาง (O-D) เส้นทางเป็นเส้นทางที่กำหนดไว้ล่วงหน้าระหว่างจุดศูนย์กลางทางเข้าและทางออกที่คนเดินเท้าที่จะปฏิบัติตาม ก่อนที่จะเริ่มต้นสร้างเส้นทางควรจะตระหนักถึงองค์ประกอบที่แตกต่างกันที่สร้างขึ้นเป็นเส้นทางคนเดินเท้า O-D ซึ่งมี Route elements ที่เส้นทางของคนเดินเท้า O-D มีโอกาสที่จะมีเป้าหมายในส่วนกลางหรือส่วนในเส้นทาง O-D ระหว่างทางเข้าและทางออก เช่น ทางข้ามของคนเดินเท้า จุดตัดสนใจ หรือจุดบริการ มันเป็นสิ่งสำคัญในการตั้งค่าในคำสั่งที่ถูกต้อง โดยมี

- 1.1 Pedestrian crossings เป็นพื้นที่ที่ยานพาหนะและความขัดแย้งของคนเดินเท้า เพื่อจำลองทางแยกกับคนเดินเท้าจะต้องเพิ่มทางข้ามคนเดินเท้าในเส้นทางโดยใช้ Legion for Aimsun โดยมีผลบังคับใช้ในการเพิ่มคนเดินเท้าในเส้นทางเพื่อให้คนเดินเท้าที่จะเคารพสัญญาณไฟจราจร

- 1.2 Decision nodes เป็นพื้นที่เสมือนของคนเดินเท้าที่ตัดสินใจที่จะไปยังจุดที่กำหนด มันจะมีประโยชน์มากสำหรับการกำหนดเส้นทางเดินเท้าและการเคลื่อนที่ที่สมจริง

- 1.3 Level change objects เป็นทั้งสะพานหรืออุโมงค์คนเดินเท้าที่ใช้ในการข้ามถนน ซึ่งไม่ได้มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมจราจรตามปกติ

2. Define pedestrian trips with a pedestrian OD matrix สามารถกำหนดเที่ยวการเดินทางของคนเดินเท้าระหว่างต้นทางและปลายทางโดยใช้เมทริกซ์ OD เดินเท้า

ขั้นตอนที่ 5 สร้างการขนส่งสาธารณะ ซึ่งใช้การขนส่งสาธารณะในการจำลองการเดินทางขึ้นหรือการลงจากยานพาหนะการขนส่งสาธารณะ โดยมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. สร้าง Public transport stops มันเป็นไปได้ที่จะกำหนดคุณสมบัติดังต่อไปนี้
2. Wait for pedestrians to board เป็นการตรวจสอบการหยุดยานพาหนะการขนส่งสาธารณะที่รอนกว่าคนเดินเท้ามาถึงจะหยุด จะช่วยให้การจำลองการหยุดรถแท็กซี่
3. Road side เป็นส่วนริมถนนของคนเดินเท้าที่จะขึ้นหรือลงจากยานพาหนะการขนส่งสาธารณะ
4. Boarding time เป็นเวลาที่ใช้สำหรับแต่ละคนเดินเท้าขึ้นยานพาหนะการขนส่งสาธารณะ ถูกใช้เพื่อคำนวณเวลารถหยุด
5. Alighting time เป็นเวลาที่ใช้สำหรับแต่ละคนเดินเท้าที่ลงจากรถขนส่งสาธารณะ ถูกใช้เพื่อคำนวณเวลารถหยุด
6. สร้าง Entrance and Exits โดย Centroids จะถูกวางไว้โดยคำนึงถึงส่วนของทิศทาง Centroids ทางเข้าจะอยู่ที่ส่วนท้ายของการหยุดและ Centroids ทางออกจะอยู่ที่จุดเริ่มต้น Centroids เชื่อมโยงไปยัง Public transport stops เสมือน Centroids มีจุดหมายของชนิดของ Centroids คือการอนุญาตให้ผู้ใช้กำหนดเที่ยวการเดินทาง เส้นทาง ฯลฯ เมื่อแบบจำลองที่มีการเรียกใช้ การเปลี่ยนแปลงรูปทรงเรขาคณิต Centroids ตามตำแหน่งปัจจุบันของ Public transport vehicle ในตำแหน่งการหยุด เพื่อให้คนเดินเท้าจะขึ้นหรือลงตามลำดับ คือ
7. Exit waiting areas เป็นการหยุดการขนส่งสาธารณะที่เชื่อมต่อกับคนเดินเท้าออกจาก Centroids สามารถกำหนดพื้นที่ที่คนเดินเท้าจะรอนกว่าจะขึ้นยานพาหนะการขนส่งสาธารณะ
8. Timetable editing เป็นตารางเวลาเส้นทางการเดินทางขนส่งสาธารณะที่ผู้ใช้สามารถกำหนดวิธีการที่หลายคนเดินเท้าจะขึ้นและลงบนแต่ละการหยุดในเส้นทาง โดยจำนวนและส่วนเบี่ยงเบนเริ่มต้นถูกกำหนดปริมาณของคนเดินเท้าปัจจุบันภายในรถ เมื่อเริ่มต้นเส้นทาง ค่าจะถูกคำนวณโดยใช้การแจกแจงแบบปกติที่มีค่าต่ำสุดและสูงสุด การลงเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนถูกกำหนดจำนวนของคนที่จะสร้างเมื่อรถขนส่งสาธารณะหยุดที่ (Public Transport, PT) หยุดค่าจะถูกคำนวณโดยใช้กระจายตัวแบบสมมาตร จำนวนของคนเดินเท้าที่จะลงรถยังขึ้นอยู่กับจำนวนของคนเดินเท้าที่อยู่ภายในรถขนส่งสาธารณะ การขึ้นเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนถูกกำหนดจำนวนของคนที่จะใช้รถขนส่งสาธารณะที่หยุดที่ PT หยุด ค่าจะถูกคำนวณโดยใช้กระจายตัวแบบสมมาตร จำนวนรวมของคนเดินเท้าที่จะขึ้นรถขนส่งสาธารณะขึ้นอยู่กับจำนวนคนเดินเท้าที่กำลังรอที่ป้ายเมื่อรถมาถึง เมื่อรถหยุดเวลาหยุดของมันจะถูกคำนวณใหม่ การพิจารณาจำนวนของคนเดินเท้าที่จะลงและขึ้น โดยถ้ามีเวลาเฉลี่ยหยุดเป็น 0 เวลาหยุดจริงจะเป็นระยะเวลาที่ใช้เวลาในการเดินลงและขึ้นของคนเดินเท้าที่รถ PT มิฉะนั้นรถจะยังคงอยู่ที่ป้ายอย่างน้อยเท่ากับเวลาที่กำหนดไว้ในเขตเวลาหยุดเฉลี่ย

9. Vehicle attributes เป็นยานพาหนะการขนส่งสาธารณะที่มีตัวแปรใหม่ที่กำหนดจำนวนสูงสุดของคนเดินเท้าที่สามารถใช้ได้

10. OD Matrix editing เป็นจำนวนคนเดินเท้าที่ออกจาก Centroids ที่เชื่อมโยงกับการหยุดของระบบขนส่งสาธารณะ ที่ปรากฏในตารางการเดินทางเพื่อที่จะกำหนดจำนวนของคนที่จะไปผู้การหยุด และ Centroids ทางเข้าถูกเชื่อมกับการหยุดการขนส่งสาธารณะ ที่ปรากฏตารางร้อยละเพื่อกำหนดร้อยละปลายของคนเดินเท้า เปอร์เซ็นต์นี้จะต้องรวมเป็น 100 โดยจำนวนของคนเดินเท้าที่จะลงจากรถถูกกำหนดไว้ในตารางเวลาเส้นทางของการขนส่งสาธารณะ

ขั้นตอนที่ 6 จำลองแบบจำลอง เมื่อคนเดินเท้าถูกสร้าง โดยใช้ Legion for Aimsun สามารถจำลองการทำงานร่วมกันของคนเดินเท้ากับรถภายในแบบจำลอง

การเปรียบเทียบแบบจำลอง

การเปรียบเทียบแบบจำลองเป็นกระบวนการที่ทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรบางตัวในแบบจำลองเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลแบบจำลองมีค่าที่เหมือนกับค่าที่ได้จากการสำรวจ โดยแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในการศึกษาครั้งนี้จะถูกนำมาประมวลผลและนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพการจราจรที่สำรวจซึ่งผลเปรียบเทียบต้องผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป โดยการเปรียบเทียบแบบจำลองจะมีตัวแปรที่ใช้เปรียบเทียบแบบจำลองดังต่อไปนี้

1. เวลาการเดินทางของผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบริเวณทางเดินปกติ
2. เวลาการเดินทางของผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบริเวณบันไดทิศทางขึ้น
3. เวลาการเดินทางของผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น
4. อัตราการไหลของผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบริเวณทางเดินปกติ
5. อัตราการไหลของผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบริเวณบันไดทิศทางขึ้น
6. อัตราการไหลของผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น

1. เกณฑ์ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

วัตถุประสงค์หลักของการเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อต้องการให้ผลที่ได้จากการประมวลผลของแบบจำลองให้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสำรวจภาพสนามมากที่สุดเท่าที่จะมากเป็นไปได้ แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเวลาและความพยายามของแต่ละบุคคลในการกำจัดและลดความคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการประมวลผลแบบจำลองกับการสำรวจข้อมูลในสภาพจริง ดังนั้นจึงมีการกำหนดเกณฑ์เพื่อให้ผู้พัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคทราบว่าเมื่อไหร่ที่เหมาะสมในการหยุดกระบวนการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ซึ่งเกณฑ์สำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองระดับจุลภาคมีหลายหน่วยงานกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองกับผลที่ได้จากการสำรวจ สำหรับเกณฑ์ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง แสดงในตารางที่ 3-3 การสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลดั้งที่ได้กล่าวมาในข้างต้นมาใช้ในการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 3-3 เกณฑ์ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ตัวชี้วัดการเปรียบเทียบ	เกณฑ์การเปรียบเทียบ
เวลาในการเดินทาง	MAE น้อยกว่า 5 %
อัตราการใช้รถ	GEH น้อยกว่า 5

2. การใช้หลักทางสถิติในกระบวนการเปรียบเทียบแบบจำลองคนเดินเท้า

การประยุกต์ใช้หลักทางสถิติในกระบวนการสร้างแบบจำลองสภาพการจราจรนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1 ค่า GEH เป็นสูตรที่ใช้ในงานด้านวิศวกรรมจราจร การพยากรณ์ปริมาณจราจร และการสร้างแบบจำลอง เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบค่าปริมาณจราจรจากการประมวลผลในแบบจำลองและค่าที่ได้จากการสำรวจจริง โดยสูตร GEH ได้รับชื่อจาก Geoffrey E. Havers ที่คิดค้นในปี 1970 ในขณะที่ทำงานเป็นผู้วางแผนการขนส่งในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ โดยพัฒนามาจากหลักทางสถิติที่เรียกว่า ไคสแควร์ (Chi-squared) ซึ่งรวมเอาความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรและค่าสัมบูรณ์ทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวได้อ้างอิง ซึ่งนำมาใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรจากการประมวลผลในแบบจำลองและค่าที่ได้จากการสำรวจจริง ใน 1 ชั่วโมงเท่านั้น (หากใช้ปริมาณน้อยกว่า 1 ชั่วโมง หรือมากกว่า 1 ชั่วโมงต้องแปลงให้เทียบเท่ากับ 1 ชั่วโมง) โดยสมการที่ใช้คำนวณค่า GEH ดังแสดงในสมการที่ 3-1

$$GEH = \sqrt{\frac{2(\text{simulated} - \text{observed})^2}{(\text{simulated} + \text{observed})}} \quad (3-1)$$

เมื่อ Simulated คือ ค่าที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง

Observed คือ ค่าที่ได้จากการสำรวจจริง

โดยที่

ค่า $GEH < 5.0$ ผ่านการพิจารณา

ค่า $5 < GEH < 10$ ต้องตรวจสอบใหม่

ค่า $10 > GEH$ ไม่ผ่านการพิจารณา

2.2 ผลรวมของการวัดที่พอดี (Aggregate goodness-of-fit measurement)

ใช้การประเมินผลด้วย MAE (Mean absolute error) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสัมบูรณ์ระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการสำรวจจริง และถ้าค่า MAE มีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง โดยแสดงในสมการที่ 3-2

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_i} |O_i - E_i| \quad (3-2)$$

โดยที่ O_i คือ ค่าที่ได้จากการสำรวจจริง

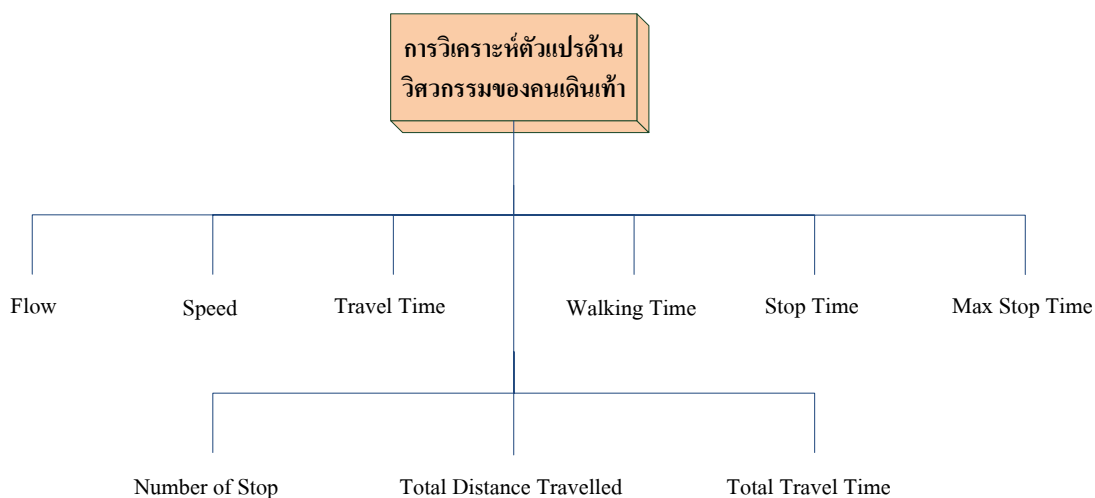
E_i คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

N คือ จำนวนที่ได้จากการสำรวจจริง

การวิเคราะห์ผลของแบบจำลอง

1. การวิเคราะห์ตัวแปรด้านวิศวกรรมด้วยแบบจำลองคนเดินเท้าระดับจุลภาค

ในการศึกษาและวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของกระแสนจราจรนั้น จำเป็นต้องเข้าใจลักษณะพื้นฐานของสภาพการจราจร ซึ่งสามารถทำได้โดยกำหนดตัวแปรที่เหมาะสมที่สามารถใช้อธิบายลักษณะพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าเหล่านั้น โดยจะดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพลักษณะทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้าที่รูปแบบโครงสร้างของสถานีที่แตกต่างกันจากการพัฒนาแบบจำลองคนเดินในแต่ละสถานการณ์ด้วยตัวแปรด้านวิศวกรรมจราจรสำหรับคนเดินเท้าที่สามารถบอกถึงประสิทธิภาพของลักษณะทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้าโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลักษณะทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้า ซึ่งในการเก็บและรวบรวมข้อมูลจราจรจะใช้ตัวแปรพื้นฐานดังที่กล่าวมาข้างต้นมาใช้ในการเก็บข้อมูลจราจร เพื่อนำตัวแปรพื้นฐานที่ได้จากการสร้างแบบจำลองไปวิเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-10 ตัวแปรพื้นฐานในการวิเคราะห์ด้านการจราจรของคนเดินเท้าจากแบบจำลอง

สำหรับรายละเอียดค่าตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของลักษณะทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองมีดังนี้

1. Flow: เป็นจำนวนของคนเดินเท้าในโครงข่ายต่อชั่วโมง
2. Speed: เป็นความเร็วเฉลี่ยของคนเดินเท้า (km/hr. or mi/hr.)
3. Travel time: เป็นเวลาที่คนเดินเท้าไปยังปลายทางของพวกเขาที่ต้องการจะไป
4. Walking time: เป็นเวลาที่ถูกลำดับจากการเก็บเวลาจากการเคลื่อนที่
5. Stop time: เป็นเวลาที่ถูกลำดับจากการที่คนเดินเท้าถูกทำให้หยุดสำหรับหลายสาเหตุ
6. Max stop time: เป็นเวลาที่มากที่สุดที่คนเดินเท้าถูกทำให้หยุด
7. Number of stop: เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนการหยุด
8. Total waiting time at PT: เป็นผลรวมเวลารอคอยของคนเดินเท้าที่จุดจอดของระบบขนส่งสาธารณะ
9. Total distance travelled: เป็นผลรวมของระยะทางการเดินทางของคนเดินเท้าทุกคน (km)
10. Total travel time: เป็นผลรวมของเวลาการเดินทางของคนเดินเท้า

การอภิปรายและสรุปการศึกษา

สำหรับการอภิปรายและสรุปผลการวิจัยจะเป็นการอธิบายผลการจำลองแบบจำลองคนเดินเท้าระดับจุลภาคเพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจในผลการทดลองนั้น ๆ โดยจะแยกเป็นหัวข้อการสรุปหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1. การอธิบายพฤติกรรมพื้นฐานของคนเดินเท้าที่ได้จากการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการเก็บข้อมูลในสถานการณ์ปกติ ที่เป็นพฤติกรรมของคนไทยที่ใช้บริการที่สถานีรถไฟฟ้าโดยข้อมูลพฤติกรรมที่ได้รับจะมีดังต่อไปนี้

- 1.1 ความเร็วของคนไทยที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบริเวณ ชานชาลา
- 1.2 ความเร็วของคนไทยที่ใช้บริการรถไฟฟ้าบริเวณออกบัตรโดยสาร
- 1.3 ความเร็วของคนไทยที่ใช้บริการรถไฟฟ้าขณะขึ้นบันได
- 1.4 ความเร็วของคนไทยที่ใช้บริการรถไฟฟ้าขณะลงบันได
- 1.5 ความเร็วของคนไทยที่ใช้บริการรถไฟฟ้าขณะขึ้นบันไดเลื่อน

2. อธิบายความสัมพันธ์ของขนาดบันไดที่เหมาะสมกับจำนวนคนเดินเท้าที่ใช้ในงานในระดับต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อการสร้างแบบจำลองข้างต้น โดยพิจารณารูปแบบของบันไดทั้ง 3 รูปแบบ คือ แบบทางตรง แบบทางตรงคู่ และแบบหักกลับ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลความแตกต่าง

3. อธิบายเปรียบเทียบเวลาการอพยพของรูปแบบสถานีหลักของรถไฟฟ้าใต้ดินของประเทศไทย ที่มีลักษณะทางกายภาพของรูปแบบทางโครงสร้างของสถานี และสิ่งอำนวยความสะดวกที่แตกต่างกัน เพื่อระบุประสิทธิภาพการอพยพของรูปแบบสถานีต่าง ๆ จากชั้นชานชาลาไปยังจุดที่ปลอดภัย โดยแยกการวิเคราะห์เป็นสองส่วนคือ จากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นออกบัตรโดยสารไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน

บทที่ 4

การพัฒนาแบบจำลองคนเดินเท้า

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองคนเดินเท้าระดับจุลภาค เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ความซับซ้อนของการอพยพผู้โดยสาร โดยใช้ซอฟต์แวร์แบบจำลองคนเดินเท้า Legion for Aimsun ที่มีคุณสมบัติที่สามารถจำลองการอพยพคนเดินเท้าขนาดใหญ่ได้ โดยในการอพยพจะมุ่งเน้นการออกไปสู่ข้างนอกของคนเดินเท้า ที่ไม่มีการพิจารณาผลของความหวาดกลัว ที่ก่อให้เกิดการปลัดขันธ์ของคนเดินเท้า โดยในการพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาจะถูกอธิบายในบทนี้

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์ขนาดของบันได

ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ขนาดของบันไดที่สามารถระบายผู้อพยพออกจากบันไดนั้น ได้แบ่งรูปแบบของบันได 3 รูปแบบ ประกอบด้วย

1. บันไดแบบทางตรง
2. บันไดแบบทางตรงคู่
3. บันไดแบบหักกลับ

โดยการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลนั้นจะมีการกำหนด ความกว้างของบันได ความลาดชัน และปริมาณผู้อพยพ ซึ่งในการสร้างแบบจำลองจะใช้สัดส่วนของผู้อพยพบนบันไดตามข้อมูลการสำรวจ โดยแบ่งได้ 6 ประเภทของคนเดินเท้า ตามช่วงอายุ และเพศ ได้แก่

1. เพศชายอายุน้อยกว่า 15 ปี
2. เพศชายอายุระหว่าง 15-60 ปี
3. เพศชายอายุมากกว่า 60 ปี
4. เพศหญิงอายุน้อยกว่า 15 ปี
5. เพศหญิงอายุระหว่าง 15-60 ปี
6. เพศหญิงอายุมากกว่า 60 ปี

สำหรับประเภทของคนเดินเท้าที่ถูกสร้างในแบบจำลองจะถูกสร้างประเภทของคนเดินเท้า 3 ประเภทหลัก เนื่องจากการกระจายตัวของความเร็วของคนเดินเท้าที่แบ่งด้วยเพศ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-1 และสามารถแบ่งกลุ่มประเภทของคนเดินเท้าได้ดังแสดงในตารางที่ 4-2

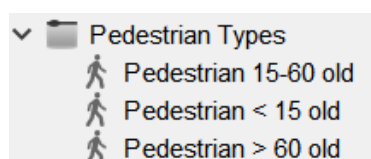
ตารางที่ 4-1 ความเร็วของคนเดินเท้าแต่ละประเภทจากข้อมูลการสำรวจ

ตำแหน่ง	ความเร็วของคนเดินเท้าบริเวณบันไดที่สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย					
	เพศชาย			เพศหญิง		
	อายุน้อย กว่า 15 ปี	อายุระหว่าง 15-60 ปี	อายุมากกว่า 60 ปี	อายุน้อย กว่า 15 ปี	อายุระหว่าง 15-60 ปี	อายุมากกว่า 60 ปี
Ascending Stair						
Mean walking						
Speed (m/min)	32.70	36.01	25.27	34.04	35.60	25.57
Simple size	12	108	4	8	111	3

ตารางที่ 4-2 การแบ่งกลุ่มประเภทของคนเดินเท้าในการสร้างแบบจำลอง


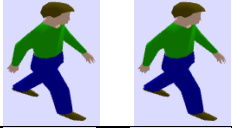

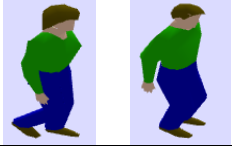

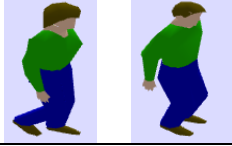
กลุ่มประเภทคนเดินเท้าที่	ประเภทคนเดินเท้าในแบบจำลอง	ประเภทคนเดินเท้า
1	Pedestrian < 15 old.	เพศชายอายุน้อยกว่า 15 ปี เพศหญิงอายุน้อยกว่า 15 ปี
2	Pedestrian 15-60 old.	เพศชายอายุระหว่าง 15-60 ปี เพศหญิงอายุระหว่าง 15-60 ปี
3	Pedestrian > 60 old.	เพศชายอายุมากกว่า 60 ปี เพศหญิงอายุมากกว่า 60 ปี

สำหรับการสร้างประเภทของคนเดินเท้าในแบบจำลองการวิเคราะห์ขนาดของบันได
แสดงภาพที่ 4-1 และรายละเอียดประเภทคนเดินเท้าในแบบจำลองแสดงในตารางที่ 4-3



ภาพที่ 4-1 การกำหนดประเภทของคนเดินเท้าในแบบจำลอง

ตารางที่ 4-3 รายละเอียดการกำหนดประเภทคนเดินเท้าในแบบจำลอง

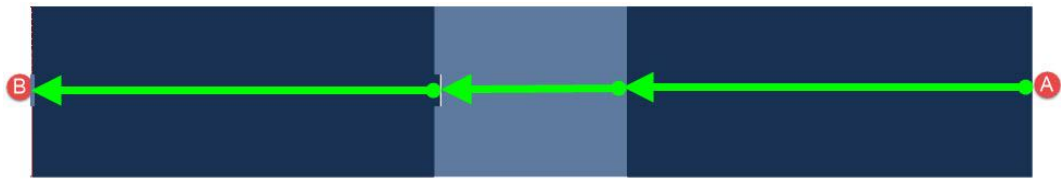
ประเภทคนเดินเท้า	รูปร่าง 2D	รูปร่าง 3D
Pedestrians < 15 old		
Pedestrians 15-60 old		
Pedestrians > 60 old		

และสำหรับจำนวนของผู้โดยสารที่อพยพบนบันได นั้นจะถูกกำหนดที่ระดับที่ต่ำกว่าความจุของบันได ไปจนถึงที่ระดับที่เกินความจุของบันไดที่ทำให้มีการเกิดแฉกคอยบริเวณบันได โดยได้กำหนดจำนวนคนอพยพ คือ 10, 20, 40, 80, 160, 320, 500, 750 และ 1,000 คน โดยความลาดชันและความกว้างของบันไดแต่ละแบบจะถูกกำหนดดังต่อไปนี้

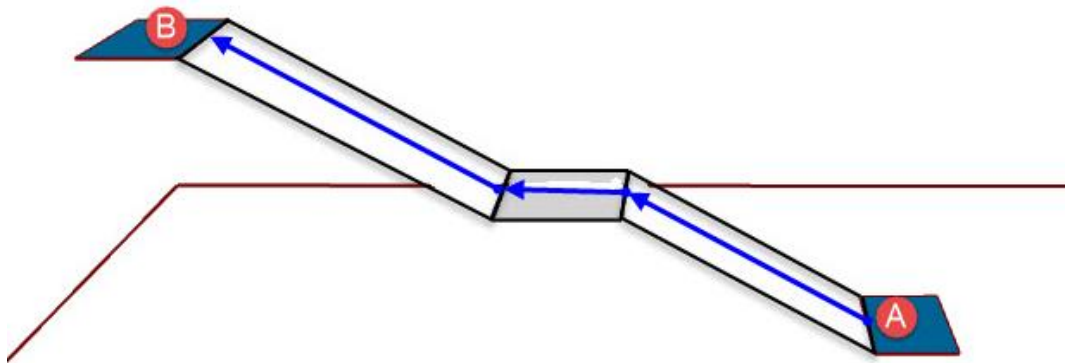
1. บันไดแบบทางตรง กำหนดการแปรเปลี่ยนความกว้าง คือ 1.20, 1.80, 2.40 และ 3.00 และแปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27, 30, 33 และ 36 องศา ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองแสดงในภาพที่ 4-2

2. บันไดแบบทางตรงคู่ กำหนดการแปรเปลี่ยนความกว้าง คือ 2.40, 3.00 และ 3.60 และแปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27, 30, 33 และ 36 องศา ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองแสดงในภาพที่ 4-3

3. บันไดแบบหักกลับ กำหนดการแปรเปลี่ยนความกว้าง คือ 1.20, 1.80 และ 2.40 และแปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27, 30, 33 และ 36 องศา ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองแสดงในภาพที่ 4-4

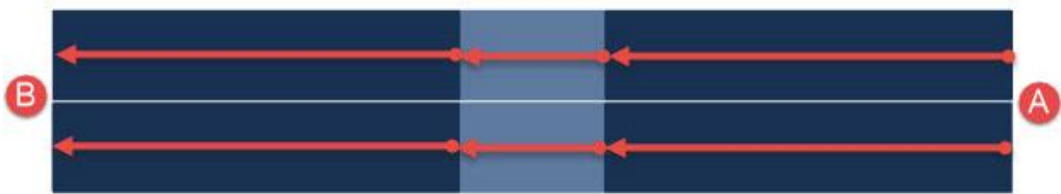


(ก) มุมมอง 2D

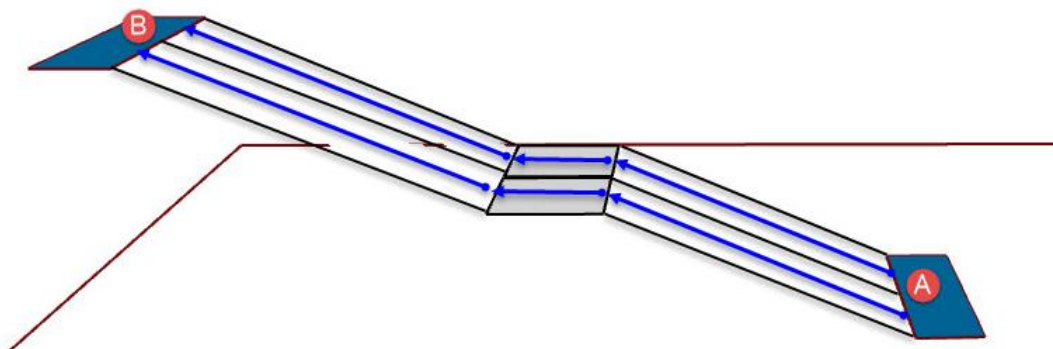


(ข) มุมมอง 3D

ภาพที่ 4-2 การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ห้ขนาดของบันไดรูปแบบทางตรง



(ก) มุมมอง 2D

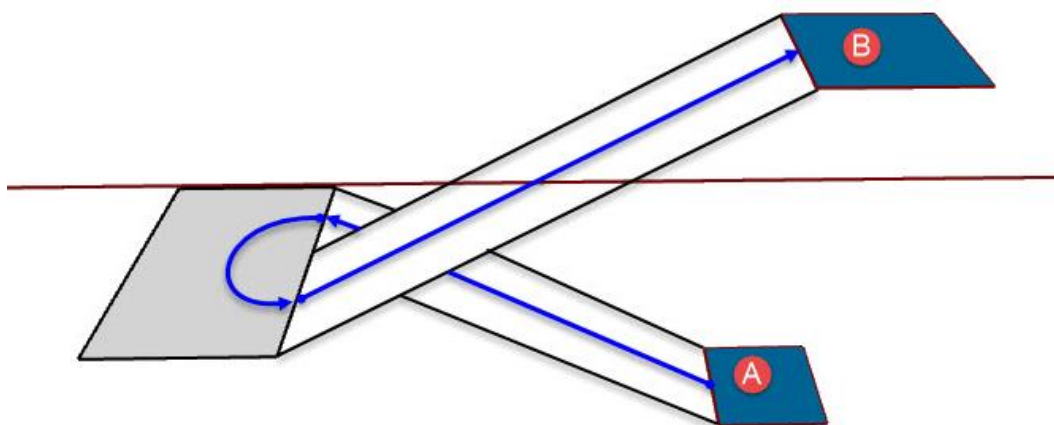


(ข) มุมมอง 3D

ภาพที่ 4-3 การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ห้ขนาดของบันไดรูปแบบทางตรงคู่



(ก) มุมมอง 2D



(ข) มุมมอง 3D

ภาพที่ 4-4 การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ขนาดของบันไดรูปแบบหักกลับ

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์การอพยพบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทยนั้น ได้มีการตั้งสมมติฐานการจำลองแบบจำลองและรายละเอียดการสร้างแบบจำลองของสถานีตัวอย่างที่เลือกเป็นกรณีศึกษาจะถูกอธิบายดังต่อไปนี้

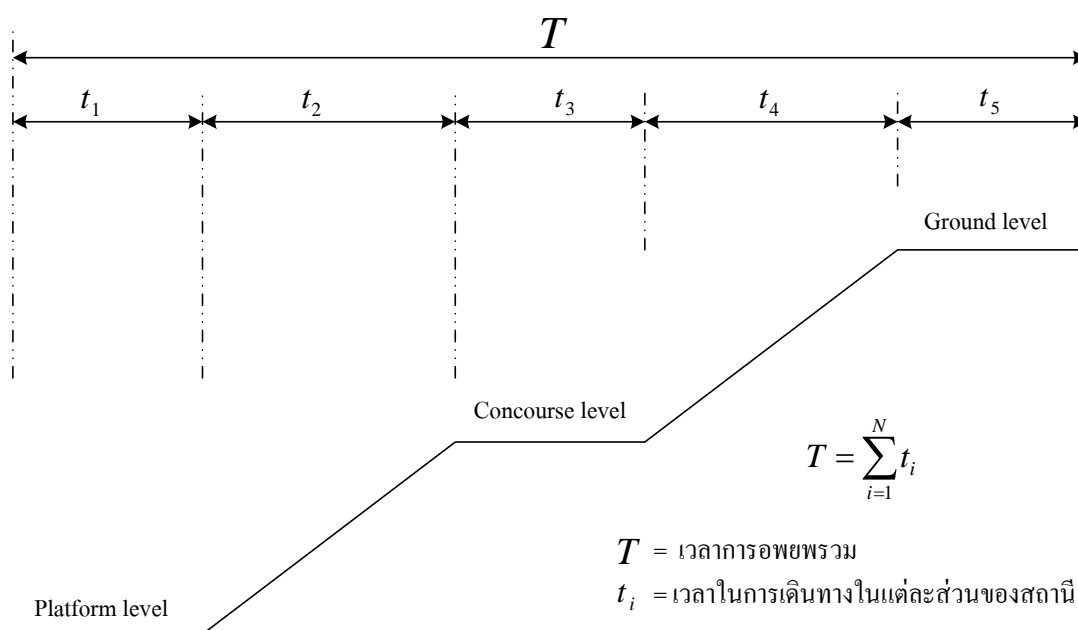
1. แนวคิดการพัฒนาแบบจำลองการอพยพบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

สำหรับการพัฒนาแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพเวลาการอพยพผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจะมีการตั้งสมมติฐานเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเวลาในการอพยพประกอบด้วย 3 สมมติฐาน คือ

- 1.1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน
- 1.2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง

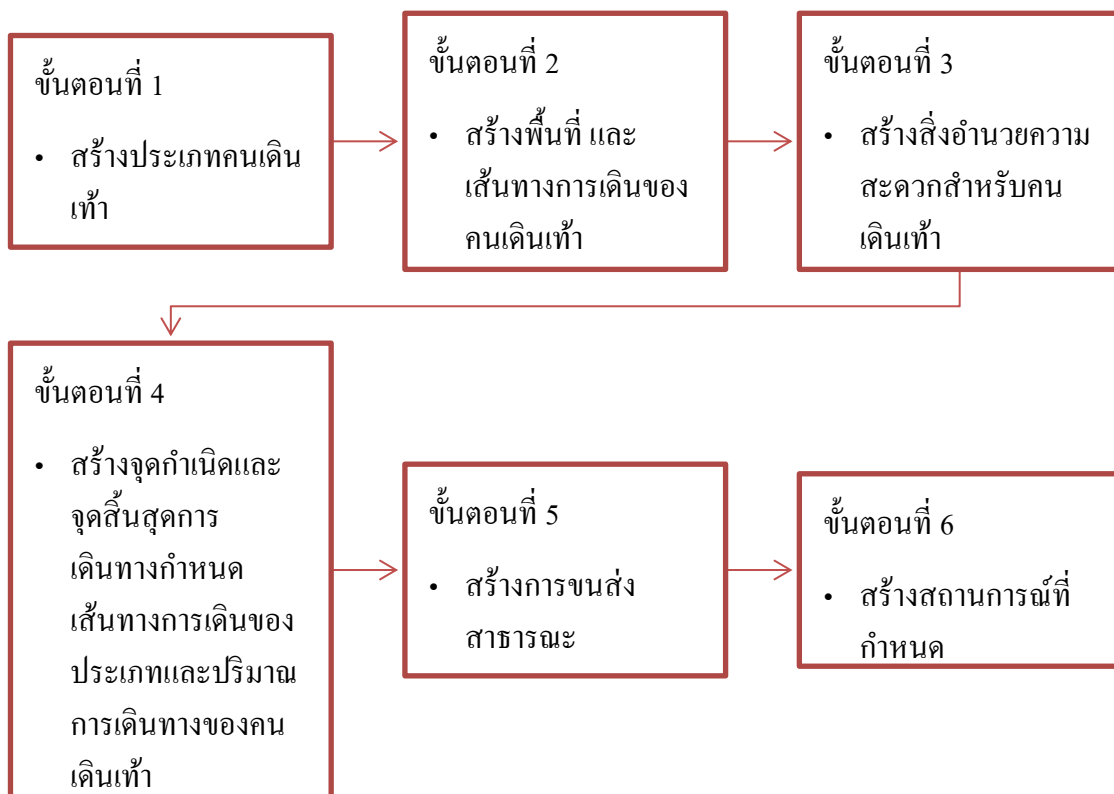
1.3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง

รวมทั้งการพัฒนาแบบจำลองในครั้งนี้มีการปรับเปลี่ยนระดับความหนาแน่นหรือจำนวนของผู้โดยสารที่รออพยพที่ชานชาลาที่ต่างต่างกัน การจำลองการอพยพคนเดินเท้าบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย กำหนดให้คนเดินเท้าที่ใช้ในการอพยพเลือกใช้ทางออกที่มีอยู่อย่างเต็มประสิทธิภาพ แนวคิดในการวิเคราะห์เวลาการอพยพของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินแสดงดังภาพที่ 4-5

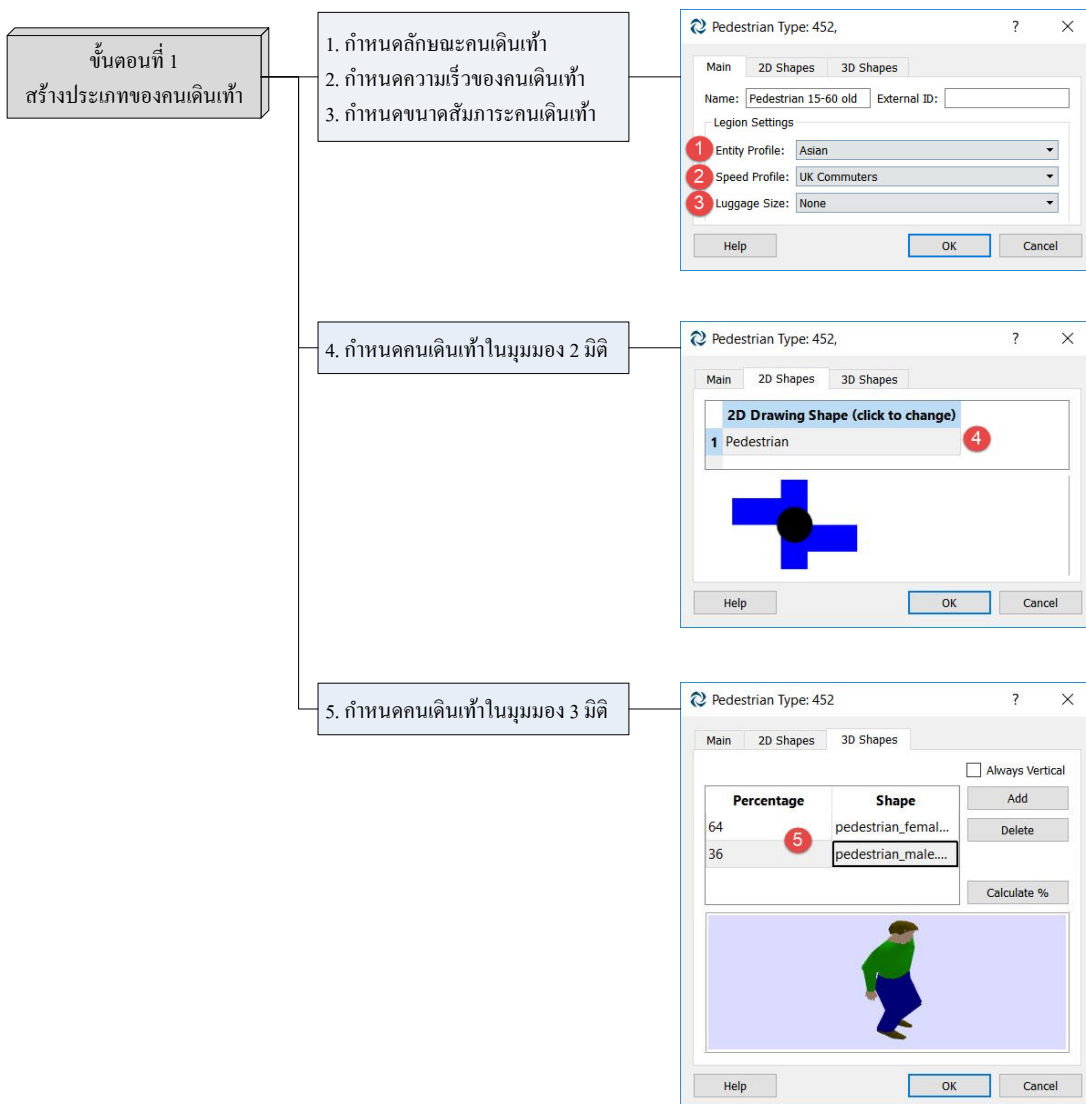


ภาพที่ 4-5 แนวทางการพิจารณาเวลาการอพยพบริเวณสถานีรถไฟฟ้า

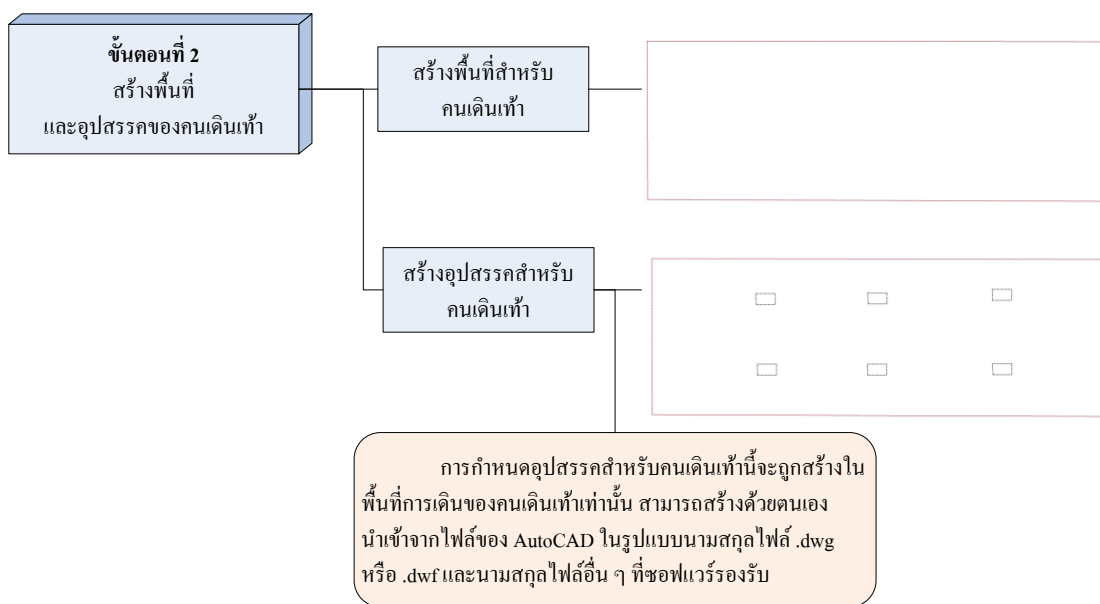
การสร้างแบบจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินมีวิธีการสร้างแบบจำลองสำหรับพัฒนาแบบจำลองการอพยพในแต่ละขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 4-6



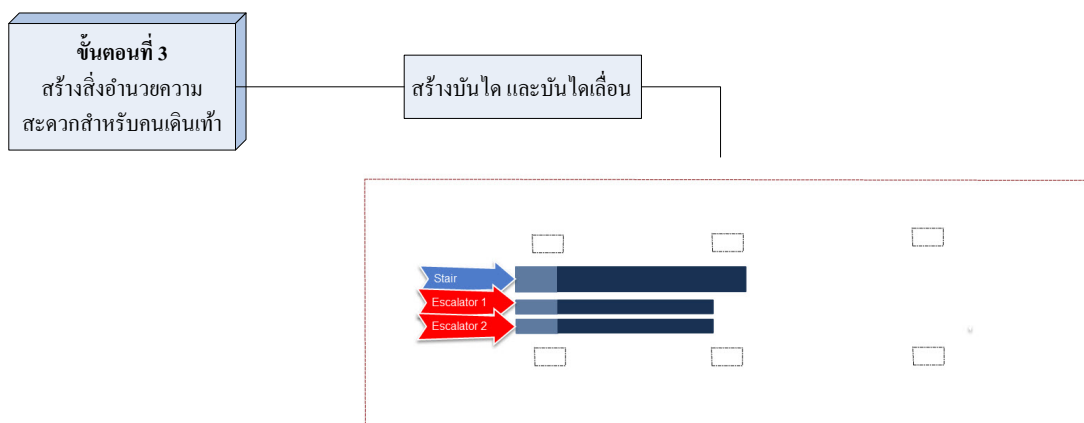
ภาพที่ 4-6 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง



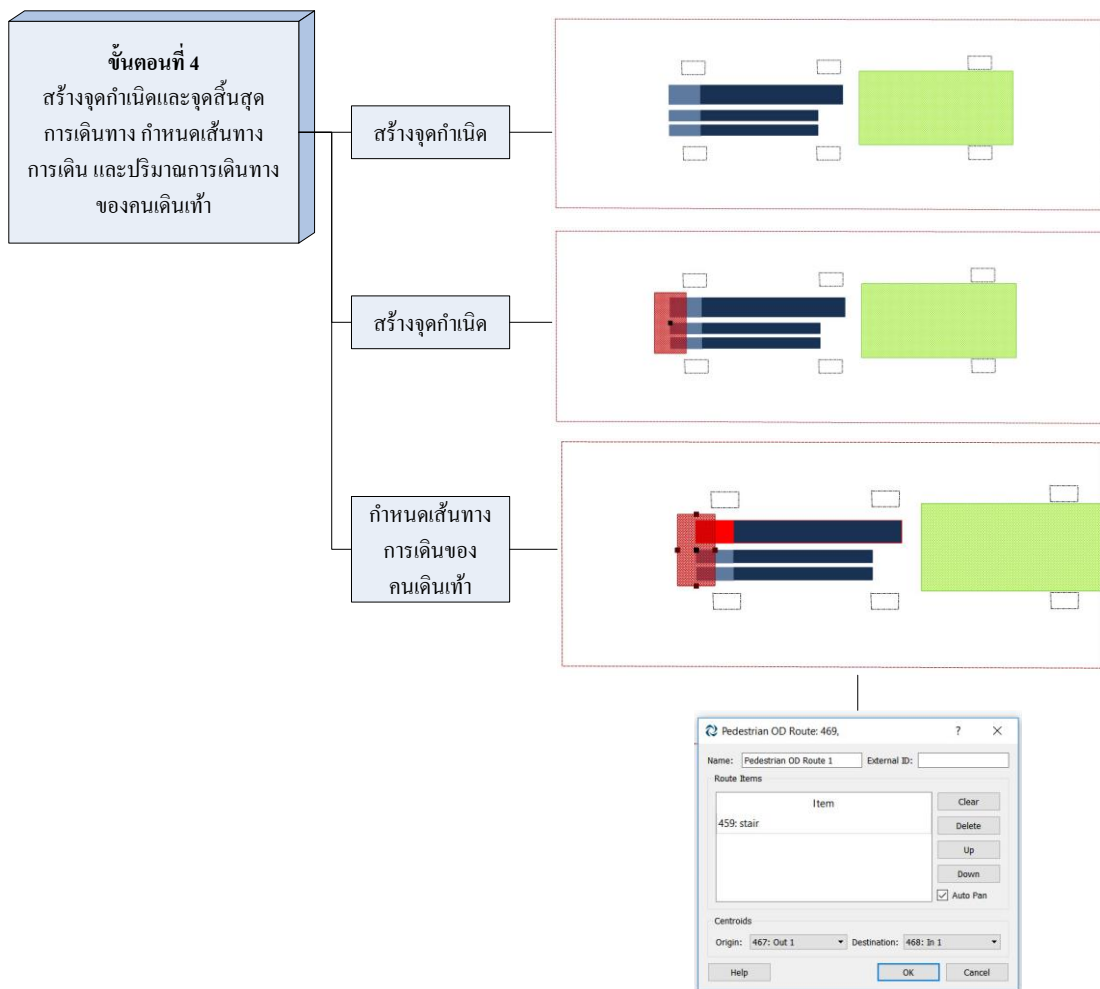
ภาพที่ 4-7 การสร้างประเภทคนเดินเท้า



ภาพที่ 4-8 การสร้างพื้นที่และอุปสรรคสำหรับคนเดินเท้า



ภาพที่ 4-9 การสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนเดินเท้า



ภาพที่ 4-10 การสร้างจุดกำเนิดและสิ้นสุดการเดินทาง การกำหนดเส้นทางการเดิน และปริมาณการเดินทางของคนเดินเท้า

พื้นที่สีเขียว หมายถึง จุดกำเนิด โดยคนเดินเท้าจะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในพื้นที่ที่กำหนด และพื้นที่สีแดงหมายถึงจุดสิ้นสุดการเดินทางของคนเดินเท้า

ขั้นตอนที่ 4
สร้างจุดกำเนิดและจุดสิ้นสุด
การเดินทาง กำหนดเส้นทาง
การเดิน และปริมาณการเดินทาง
ของคนเดินเท้า

กำหนดปริมาณ
การเดินทางของ
คนเดินเท้าแต่ละ
ประเภท

Pedestrian OD Matrix: 474

Main Cells Histogram Path Assignment Parameters

1 Name: matrix Pedestrian 15 - 60 old. External ID:

2 Pedestrian Type: 478: Pedestrian 15 - 60 old. Trip Purpose: None Contents: Not Set

3 Initial Time: 7:00:00 AM Duration: 00:15:00 4

Help Duplicate OK Cancel

Pedestrian OD Matrix: 474

Main Cells Histogram Path Assignment Parameters

Headers: ID: Name Grouping: None

Allow Negative Values

	468: In 1	Total
467: Out 1	300 5	300
Total	300	300

Help Duplicate OK Cancel

Pedestrian OD Matrix: 474

Main Cells Histogram Path Assignment Parameters

Origin Centroid: All Destination Centroid: All

Type of path: All Percentage greater than: 0.00

Origin	Destination	Path	Percentage
467: Out 1	468: In 1	469: Pedestrian OD Route 1	40
467: Out 1	468: In 1	472: Pedestrian OD Route 2	30 6
467: Out 1	468: In 1	473: Pedestrian OD Route 3	30
467: Out 1	468: In 1	TOTAL	100

Help Duplicate OK Cancel

กำหนดปริมาณ
การจราจรคนเดิน
เท้าทั้งระบบ

Traffic Demand: 486

Main Summary Profile

Name: Traffic Demand 1 External ID:

2 Initial Time: 7:00:00 AM Duration: 00:15:00 3 Type: Matrices Factor: 100 %

Pedestrian 15 - 60 old.	matrix Pedestrian 15 - 60 old. (92%)	00:15:00
Pedestrian < 15 old.	matrix Pedestrian < 15 old. (5%)	00:15:00
Pedestrian > 60 old.	matrix Pedestrian > 60 old. (3%)	00:15:00

4 Add Demand Item Delete Demand Item

Current Demand Item

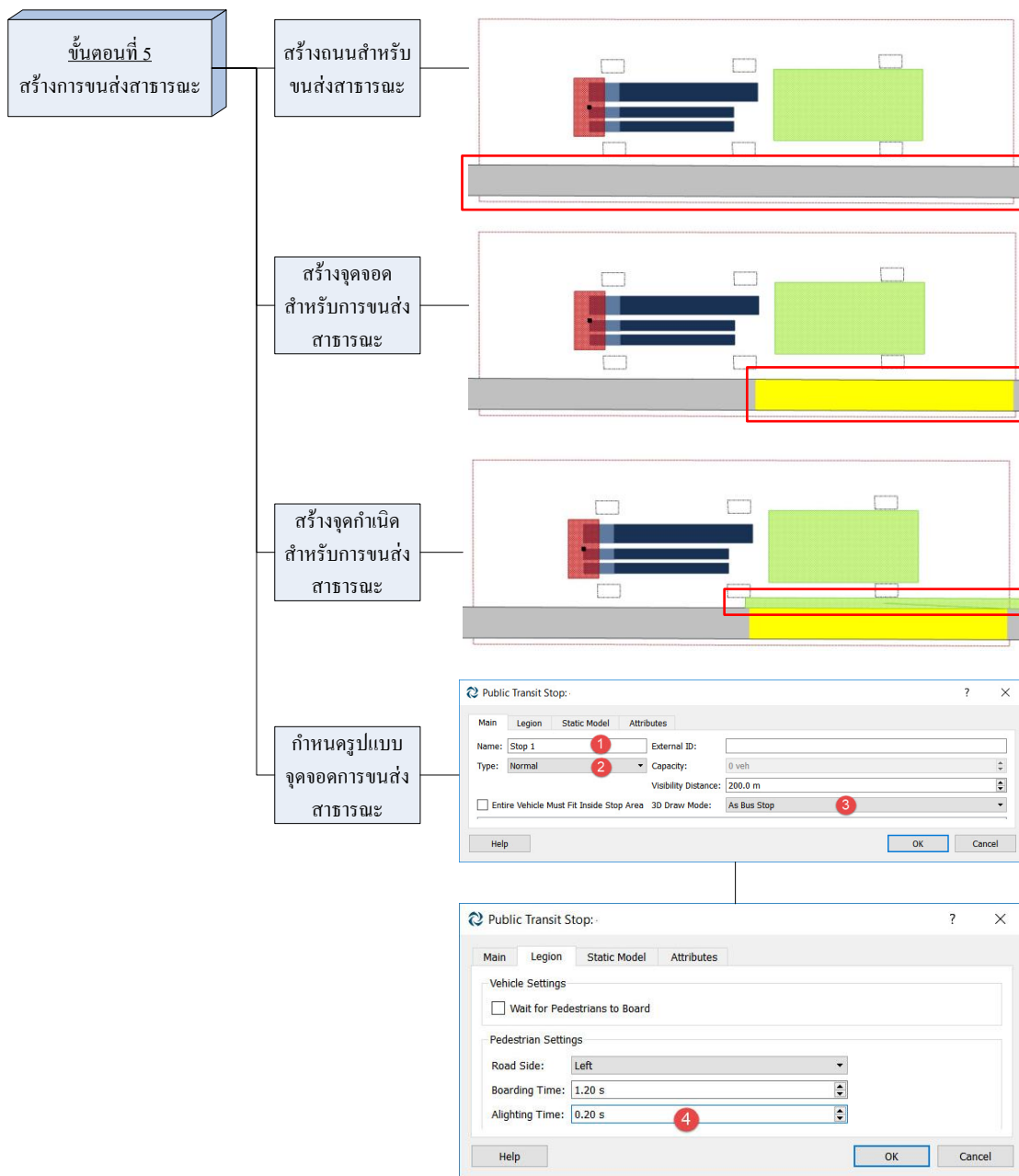
Initial Time: 7:00:00 AM Duration: 00:15:00

5 Factor: %

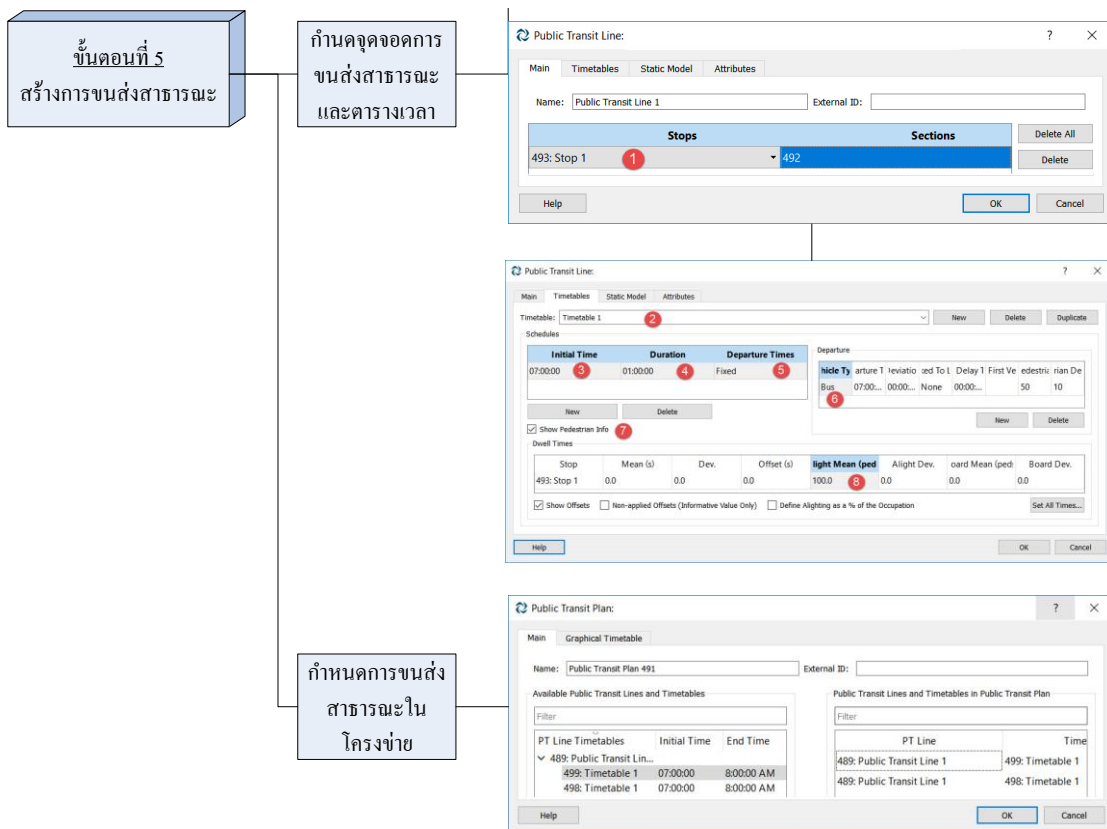
Traffic Arrivals: None

Help Duplicate OK Cancel

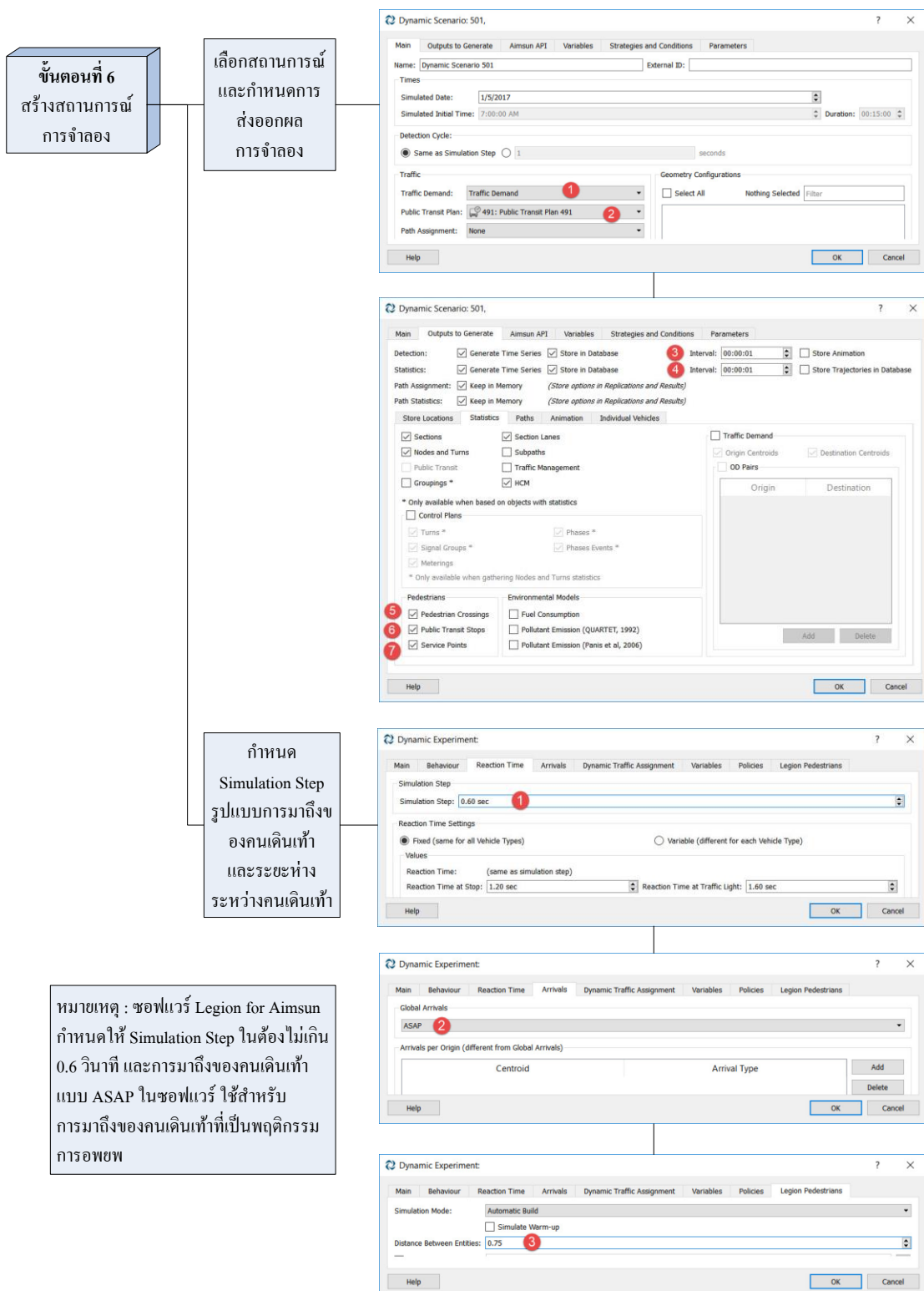
ภาพที่ 4-10 (ต่อ)



ภาพที่ 4-11 การสร้างการขนส่งสาธารณะ



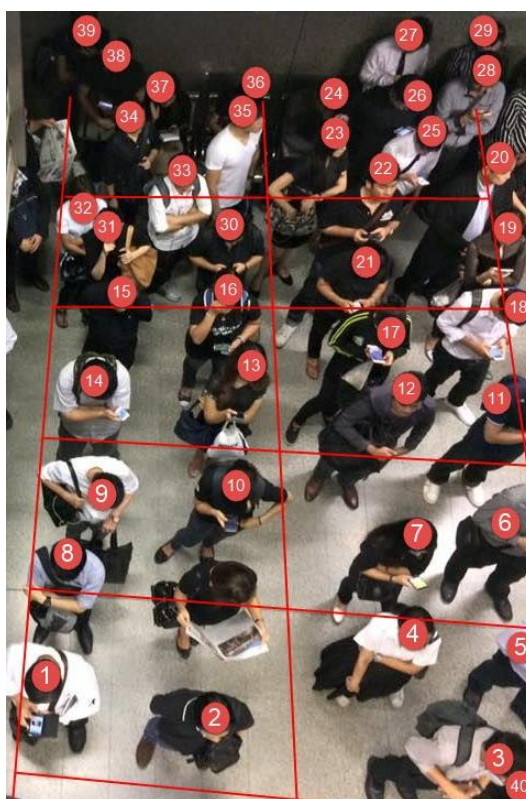
ภาพที่ 4-11 (ต่อ)



ภาพที่ 4-12 สร้างสถานการณ์จำลอง

2. การกำหนดปริมาณผู้โดยสารในการอพยพ

การพิจารณากำหนดปริมาณผู้โดยสารที่จะถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินในประเทศไทย ถูกกำหนดจากพื้นที่การครอบครองของคนเดินเท้าบนชั้นชานชาลา โดยจากการสำรวจจากสถานการณ์ที่เกิดความหนาแน่นจริง ดังแสดงในภาพที่ 4-13



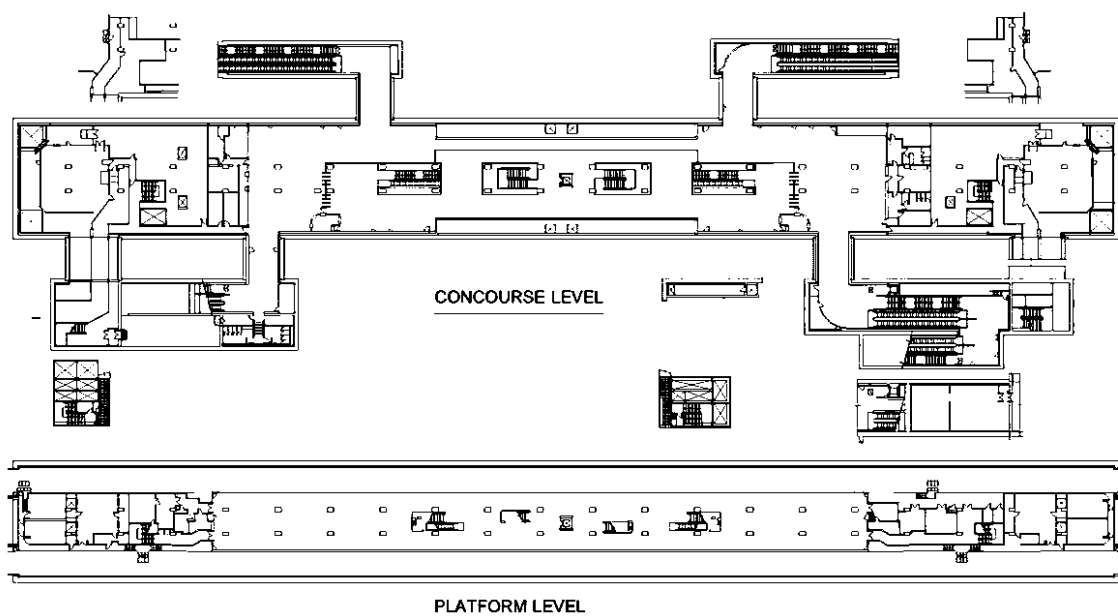
ภาพที่ 4-13 การวัดความหนาแน่นของผู้โดยสารจากสถานการณ์จริงพื้นที่วัดขนาด 3.60x4.80 เมตร

จากการสำรวจข้อมูลพบว่าระดับความหนาแน่นบนชานชาลา มีความจุเฉลี่ยเท่ากับ 2.5 คนต่อตารางเมตร หรือคิดเป็นพื้นที่ที่ครอบครองเฉลี่ยของคนเดินเท้าแต่ละคนเท่ากับ 0.4 ตารางเมตร/คน โดยค่าการครอบครองพื้นที่นี้ จะถูกนำไปคำนวณปริมาณผู้โดยสารในการอพยพต่อไป

3. สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินรูปแบบสถานีที่ 1 สถานีห้วยขวาง

3.1 ลักษณะสถานี

สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง ที่มีรูปแบบโครงสร้างทางกายภาพของสถานีคือ เป็นสถานีโครงสร้าง 2 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นที่ 1 ชั้นโถงผู้โดยสาร เป็นสถานที่สำหรับซื้อและตรวจตั๋วโดยสารและแสดงแผนภูมิเส้นทางรถไฟฟ้า และชั้นที่ 2 ชั้นชานชาลา เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบรับ-ส่งผู้โดยสาร เป็นชานชาลาแบบเกาะกลาง โดยรูปแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ห้วยขวาง สามารถดูได้จากภาพที่ 4-14 และ 4-15



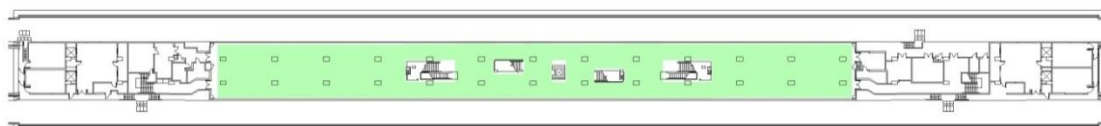
ภาพที่ 4-14 แพลนสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง



ภาพที่ 4-15 รูปแบบสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง (สถานีสีลม สถานีที่สร้างยากที่สุด เทคนิคการก่อสร้างขั้นสูงที่เคยเกิดขึ้นในไทย, 2559)

3.2 การกำหนดปริมาณผู้อพยพบนขาลาสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

พื้นที่ที่ผู้โดยสารสามารถขึ้นรถบนขาลาสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง ถูกกำหนดตามความหนาแน่นที่เกิดขึ้นจากการสำรวจ โดยรวมถึงปริมาณผู้โดยสารที่จะถูกอพยพจากขบวนของรถไฟฟ้าที่กำหนดให้คงที่ 500 คนต่อขบวน จำนวนผู้โดยสารจะถูกแปรเปลี่ยนตามระดับความแน่น คือ 100 (2.5 คนต่อตารางเมตร), 90, 80, 70 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยผู้โดยสารจะกระจายสม่ำเสมอในพื้นที่ที่กำหนด (พื้นที่สีเขียว) ดังแสดงในภาพที่ 4-16 และปริมาณผู้โดยสารถูกแสดงในตารางที่ 4-4



ภาพที่ 4-16 พื้นที่สำหรับคำนวณปริมาณผู้โดยสารบนขาลาสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง

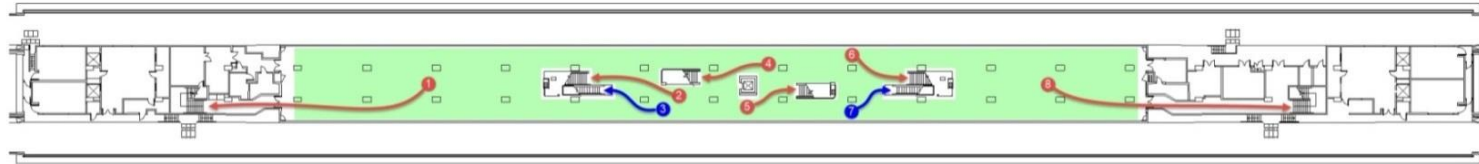
ตารางที่ 4-4 ปริมาณคนเดินเท้าสำหรับการจำลองการอพยพผู้โดยสารสถานีหัวขวง

ตำแหน่ง	ปริมาณผู้โดยสาร (คน)				
	60	70	80	90	100
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
ชานชาลาชั้นบน	1,900	2,200	2,500	2,900	3,200
บนขบวนรถไฟ 2 ขบวน	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
รวมจำนวนผู้อพยพ	2,900	3,200	3,500	3,900	4,200

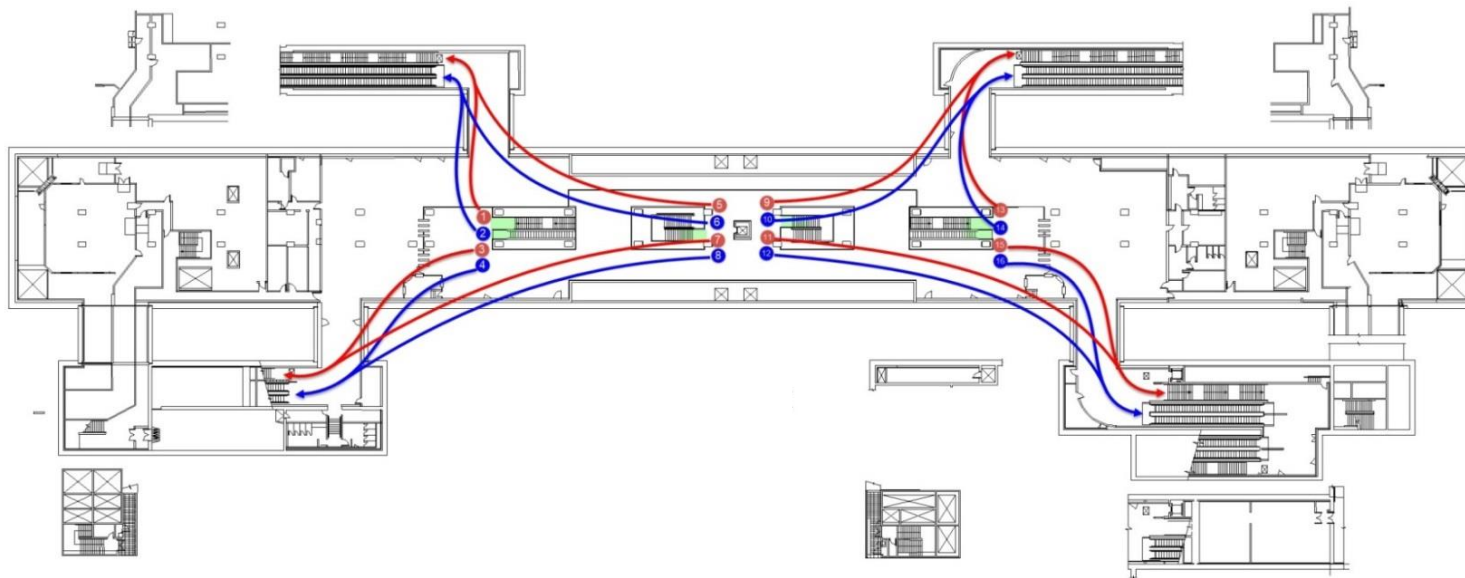
3.3 การกำหนดพื้นที่ใช้งานและเส้นทางของผู้อพยพ

ในการสร้างแบบจำลองนั้นจะมีการกำหนดการใช้งานพื้นที่ต่าง ๆ และเส้นทางของกลุ่มผู้อพยพ เพื่อใช้วิเคราะห์เวลาการอพยพในการสร้างแบบจำลอง ถูกอธิบายในภาพที่ 4-17 และ 4-18 โดยเส้นลูกศรสีแดง หมายถึง กลุ่มผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดในการอพยพ และลูกศรสีน้ำเงิน หมายถึง กลุ่มผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดเลื่อนในการอพยพ โดยสมมติฐานซึ่งประกอบด้วย 3 กรณีที่กล่าวมา คือ

- กรณีที่ 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน
- กรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง
- กรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง



ภาพที่ 4-17 การกำหนดเส้นการอพยพของผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลองบนชั้นชานชาลาสถานีหัวขวง



ภาพที่ 4-18 การกำหนดเส้นการอพยพของผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลองบนชั้นออกบัตรโดยสารสถานีหัวขวง

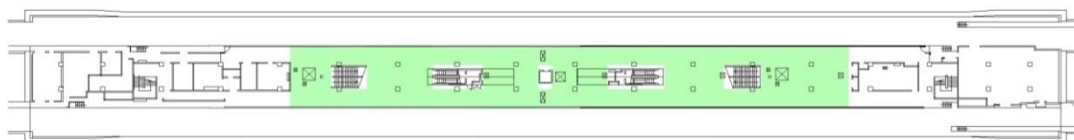
4. สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินรูปแบบสถานีที่ 2 สุขุมวิท

4.1 ลักษณะสถานี

รูปแบบโครงสร้างทางกายภาพของสถานี คือ เป็นโครงสร้าง 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นที่ 1 ชั้นรวมผู้โดยสาร มีลักษณะเป็นพื้นที่โล่งเป็นชั้นแรกเมื่อลงจากทางขึ้น-ลง จะประกอบด้วยร้านค้าปลีกต่าง ๆ ชั้นที่ 2 ชั้นโถงผู้โดยสาร เป็นสถานที่สำหรับซื้อและตรวจตั๋วโดยสารและแสดงแผนภูมิเส้นทางรถไฟฟ้า และชั้นที่ 3 ชั้นชานชาลา เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบ รับ-ส่งผู้โดยสาร มีรูปแบบชานชาลาแบบเกาะกลาง โดยรูปแบบสถานีสามารถดูได้จากภาพที่ 4-20

4.2 การกำหนดปริมาณผู้อพยพบนชานชาลาสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

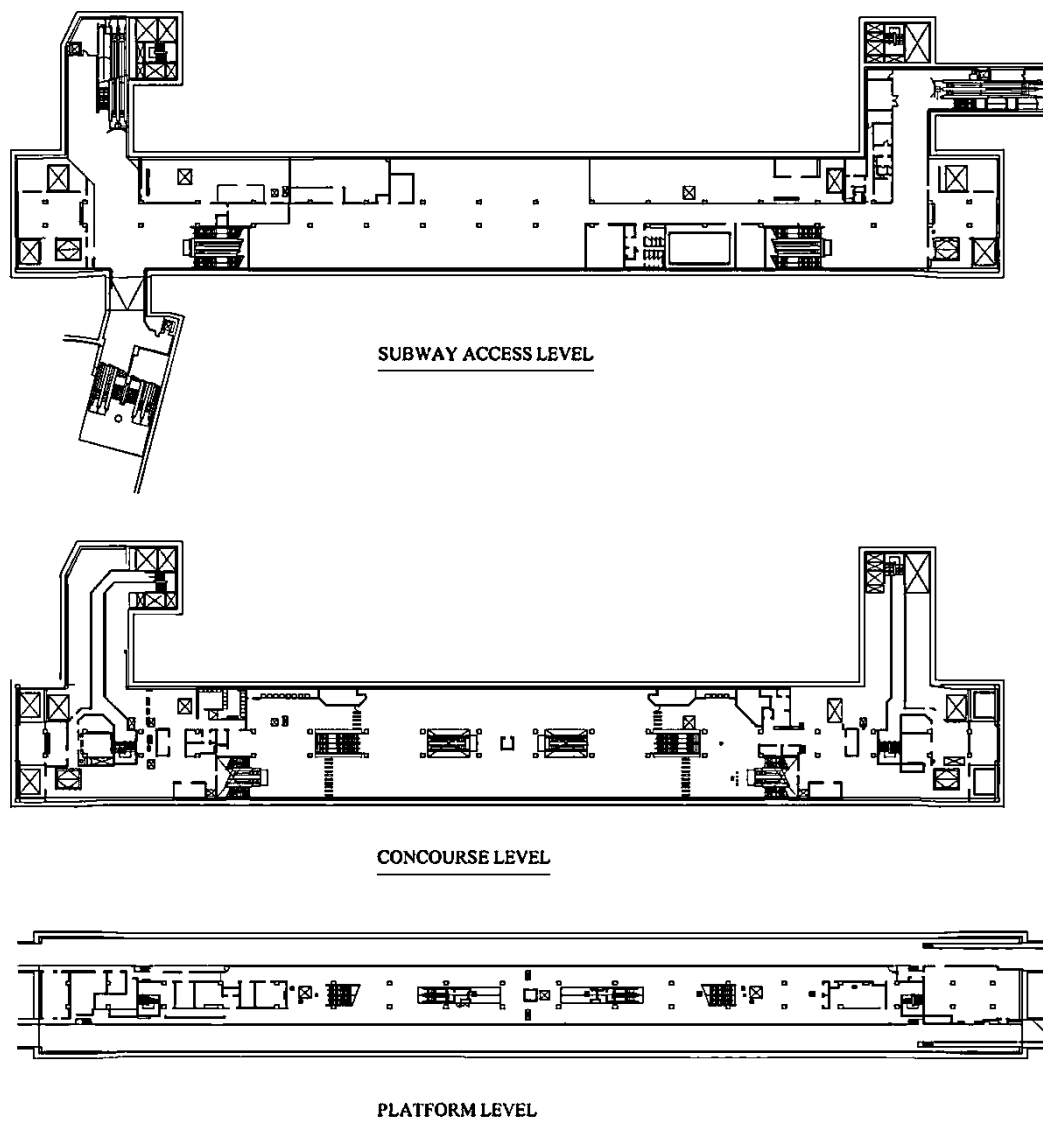
การกำหนดปริมาณคนเดินเท้าที่ใช้ในการอพยพบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ที่อยู่บนชานชาลาใช้ความหนาแน่นจากการสำรวจบนชานชาลา 2.50 คนต่อตารางเมตร และพื้นที่ที่ผู้โดยสารสามารถยืนรอในพื้นที่ชานชาลาสุทธิที่คนเดินเท้าสามารถใช้บริการได้ประมาณ 1,000 ตารางเมตร รวมถึงปริมาณผู้โดยสารที่ถูกอพยพจากขบวนของรถไฟฟ้าที่กำหนดให้คงที่ 500 คนต่อขบวน โดยจำนวนคนเดินเท้าที่ได้จะถูกแปรเปลี่ยนตามระดับความแน่นคือ 100 (2.36 คนต่อตารางเมตร), 90, 80, 70 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งคนเดินเท้าจะกระจายอย่างสม่ำเสมอในพื้นที่ที่กำหนด (พื้นที่สีเขียว) ดังภาพที่ 4-19 และปริมาณผู้อพยพถูกแสดงในตารางที่ 4-5



ภาพที่ 4-19 พื้นที่สำหรับคำนวณปริมาณผู้โดยสารบนชานชาลาสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท

ตารางที่ 4-5 คนเดินเท้าสำหรับการจำลองการอพยพผู้โดยสารสถานีสุขุมวิท

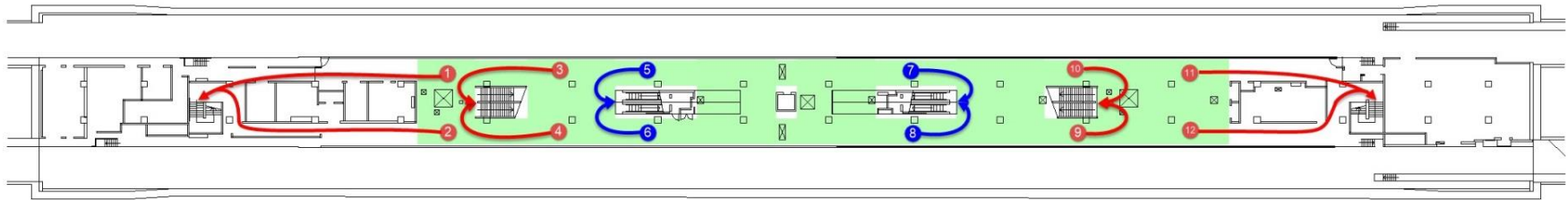
ตำแหน่ง	ปริมาณผู้โดยสาร (คน)				
	60 เปอร์เซ็นต์	70 เปอร์เซ็นต์	80 เปอร์เซ็นต์	90 เปอร์เซ็นต์	100 เปอร์เซ็นต์
ชานชาลาชั้นบน	1,500	1,800	2,000	2,300	2,500
บนขบวนรถไฟฟ้า 2 ขบวน	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
รวมจำนวนผู้อพยพ	2,500	2,800	3,000	3,300	3,500



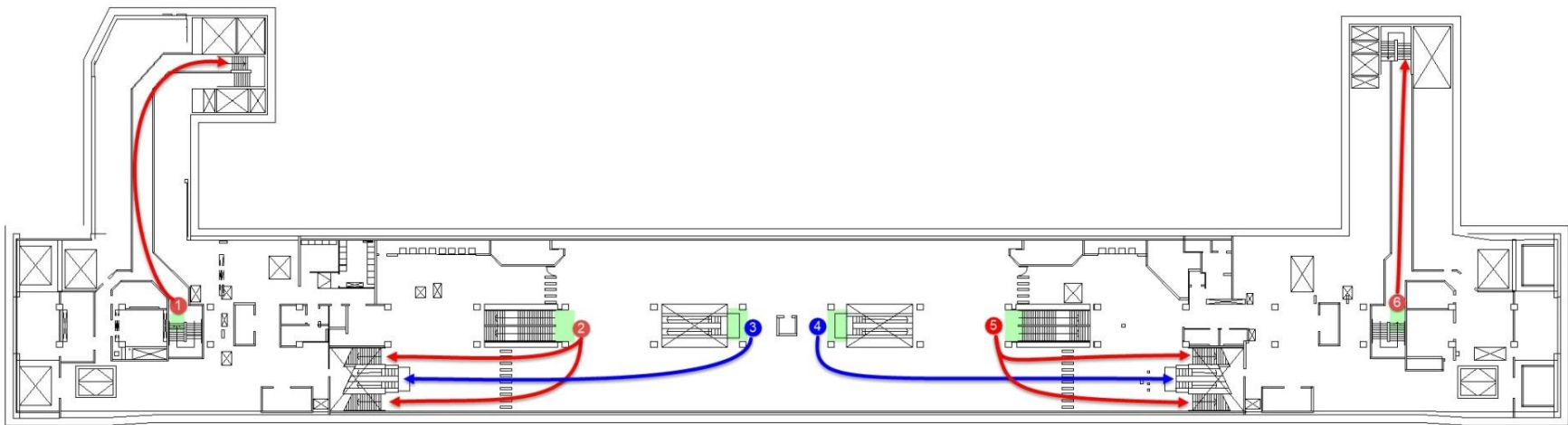
ภาพที่ 4-20 แพลนสถานีรถไฟใต้ดินสุขุมวิท

4.3 การกำหนดพื้นที่ใช้งานและเส้นทางของผู้อพยพ

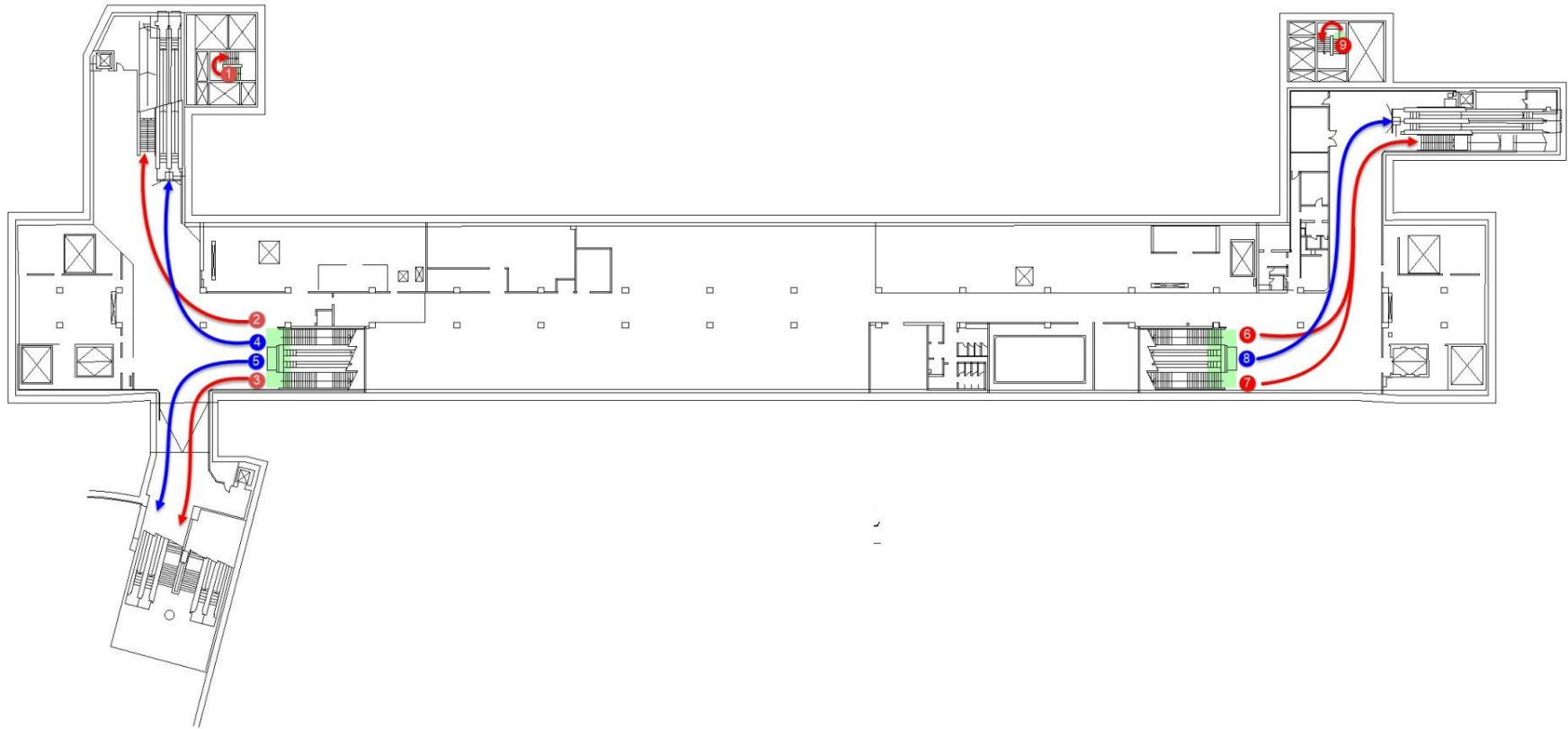
การสร้างแบบจำลองมีการกำหนดการใช้งานพื้นที่ต่าง ๆ และเส้นทางของผู้อพยพ เพื่อใช้วิเคราะห์เวลาการอพยพ ถูกอธิบายในภาพที่ 4-21-4-23 โดยเส้นลูกศรสีแดง หมายถึง กลุ่มผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดในการอพยพ และลูกศรสีน้ำเงินหมายถึงกลุ่มผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดเลื่อนในการอพยพ สมมติฐานการอพยพ 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน กรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง กรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง



ภาพที่ 4-21 การกำหนดเส้นการอพยพของผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลองบนชั้นชานชาลาสถานีสุขุมวิท



ภาพที่ 4-22 การกำหนดเส้นการอพยพของผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลองบนชั้นออกบัตรโดยสารสถานีสุขุมวิท

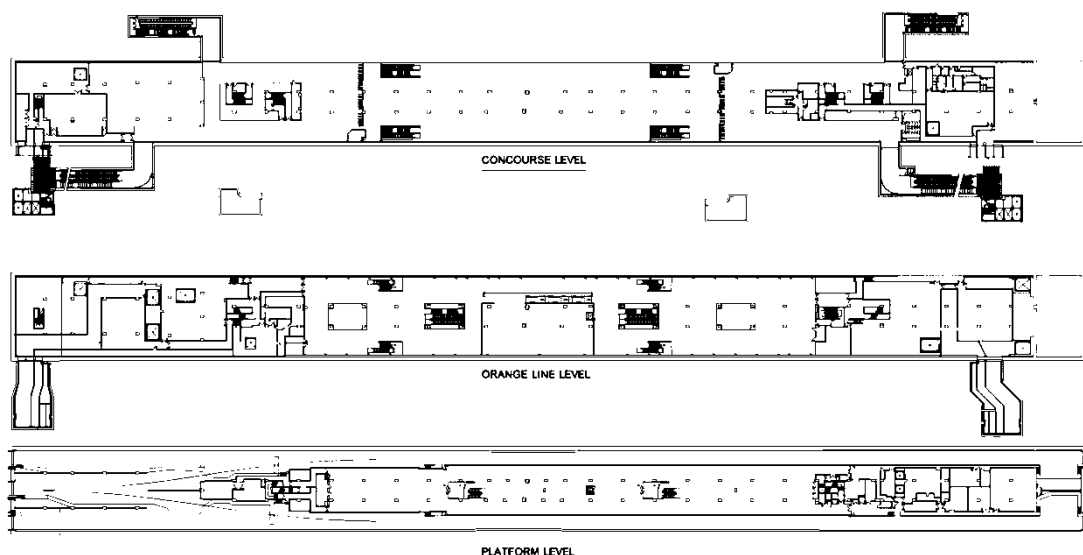


ภาพที่ 4-23 การกำหนดเส้นการอพยพของผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลองบนชั้นรวมผู้โดยสารสถานีสุขุมวิท

5. สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินรูปแบบสถานีที่ 3 ศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย

5.1 ลักษณะสถานี

รูปแบบโครงสร้างทางกายภาพของสถานี คือ เป็นโครงสร้าง แบ่งเป็น 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นออกบัตรโดยสาร ชั้นชานชาลาในอนาคต เตรียมไว้สำหรับรถไฟฟ้าฟ้ามหานคร สายสีส้ม ซึ่งจะเชื่อมต่อในทิศทางตั้งฉากกันกับรถไฟฟ้าในปัจจุบัน โดยในปัจจุบันเป็นพื้นที่โล่งสำหรับจัดแสดงนิทรรศการ และประชาสัมพันธ์โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม และชั้นชานชาลาสำหรับรถไฟฟ้าฟ้ามหานครสายสีน้ำเงินเป็นชานชาลาแบบเกาะกลาง โดยรูปแบบสถานีสามารถดูได้จากภาพที่ 4-24



ภาพที่ 4-24 แพลนสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย

5.2 การกำหนดปริมาณผู้อพยพบนชานชาลาสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

การพิจารณากำหนดปริมาณคนเดินเท้าที่ใช้ในการอพยพบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย กำหนดโดยให้ผู้โดยสารที่รออยู่บนชานชาลาที่ระดับความหนาแน่นจากการสำรวจบนชานชาลาที่มีความจุ 2.50 คนต่อตารางเมตร และพิจารณาพื้นที่ที่ผู้โดยสารสามารถยืนรอในพื้นชานชาลาที่มีพื้นที่สุทธิที่คนเดินเท้าสามารถใช้บริการได้ประมาณ 1,250 ตารางเมตร รวมถึงปริมาณผู้โดยสารที่จะถูกอพยพจากขบวนของรถไฟฟ้าที่กำหนดให้คงที่ที่จำนวน 500 คนต่อขบวน โดยจำนวนคนเดินเท้าที่จะได้ถูกแปรเปลี่ยนตามระดับความแน่น คือ 100

(2.50 คนต่อตารางเมตร), 90, 80, 70 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และคนเดินเท้าจะกระจายอย่างสม่ำเสมอในพื้นที่ที่กำหนด (พื้นที่สีเขียว) ดังแสดงในภาพที่ 4-25 และปริมาณผู้อพยพถูกแสดงในตารางที่ 4-6



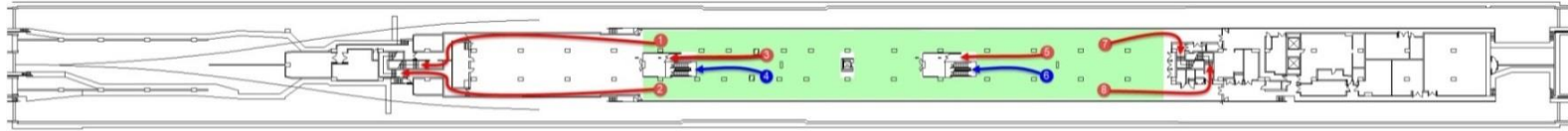
ภาพที่ 4-25 พื้นที่สำหรับคำนวณปริมาณผู้โดยสารบนขบวนรถไฟฟ้าใต้ดิน ศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย

ตารางที่ 4-6 ปริมาณคนเดินเท้าสำหรับการจำลองการอพยพผู้โดยสารสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย

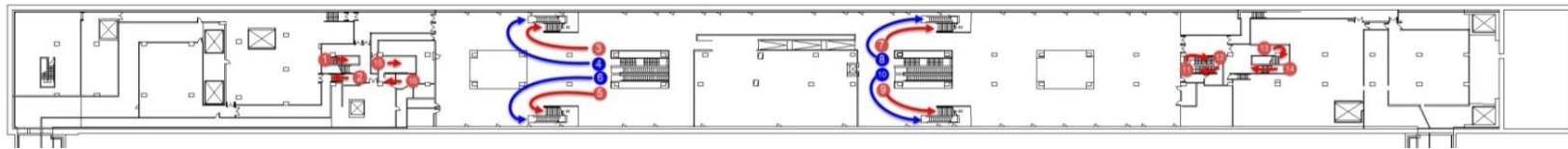
ตำแหน่ง	ปริมาณผู้โดยสาร (คน)				
	60 เปอร์เซ็นต์	70 เปอร์เซ็นต์	80 เปอร์เซ็นต์	90 เปอร์เซ็นต์	100 เปอร์เซ็นต์
ขบวนรถชั้นบน	1,900	2,200	2,500	2,900	3,200
ขบวนรถไฟฟ้า 2 ขบวน	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
รวมจำนวนผู้อพยพ	2,900	3,200	3,500	3,900	4,200

5.3 การกำหนดพื้นที่ใช้งานและเส้นทางของผู้อพยพ

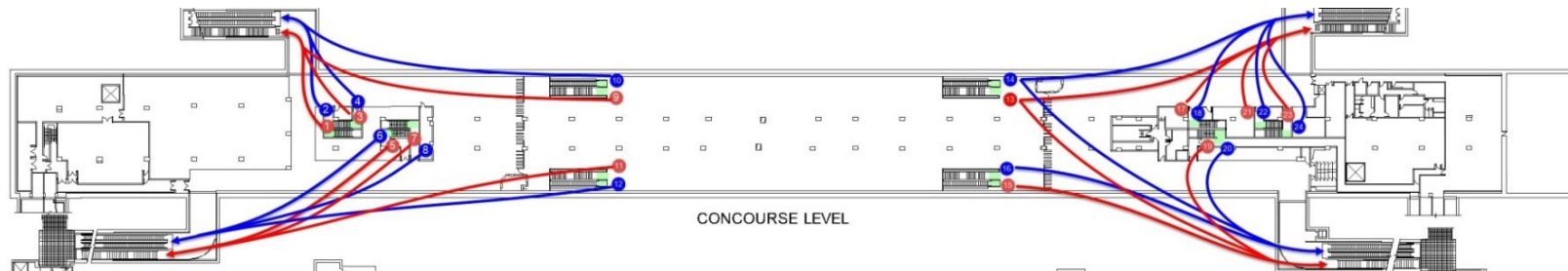
ในการสร้างแบบจำลองนั้นจะมีการกำหนดการใช้งานพื้นที่ต่าง ๆ และเส้นทางของกลุ่มผู้อพยพ เพื่อใช้วิเคราะห์เวลาการอพยพในการสร้างแบบจำลอง ถูกอธิบายในภาพที่ 4-26 - 4-28 โดยเส้นลูกศรสีแดงหมายถึงกลุ่มผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดในการอพยพ และลูกศรสีน้ำเงินหมายถึงกลุ่มผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดเลื่อนในการอพยพซึ่งประกอบด้วยสมมติฐาน 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน กรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง และกรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง



ภาพที่ 4-26 การกำหนดเส้นการอพยพผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลองบนชั้นชานชาลาสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย



ภาพที่ 4-27 การกำหนดเส้นการอพยพผู้โดยสาร จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลองบนชั้นสายสีส้มสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย



ภาพที่ 4-28 การกำหนดเส้นการอพยพ จุดกำเนิดและสิ้นสุดในแบบจำลองบนชั้นออกบัตรโดยสารสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย

6. สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินรูปแบบสถานีที่ 4 สีส้ม

6.1 ลักษณะสถานี

รูปแบบโครงสร้างทางกายภาพของสถานี คือ เป็นโครงสร้าง 4 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นที่ 1 ชั้นโถงผู้โดยสาร เป็นสถานที่สำหรับซื้อและตรวจตั๋วโดยสารและแสดงแผนภูมิเส้นทางรถไฟฟ้า ชั้นที่ 2 ชั้นชานชาลา เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบ รับ-ส่งผู้โดยสาร ชั้นที่ 3 เป็นชั้นห้องเครื่องสำหรับระบบต่าง ๆ เช่น พัดลมดูดอากาศ ระบบไฟฟ้า เป็นต้น ชั้นที่ 4 ชั้นชานชาลาต่างระดับ เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบ รับ-ส่งผู้โดยสาร เป็นชานชาลาต่างระดับ (Station with split platform) รูปแบบสถานีแสดงดังภาพที่ 4-29 และ 4-30

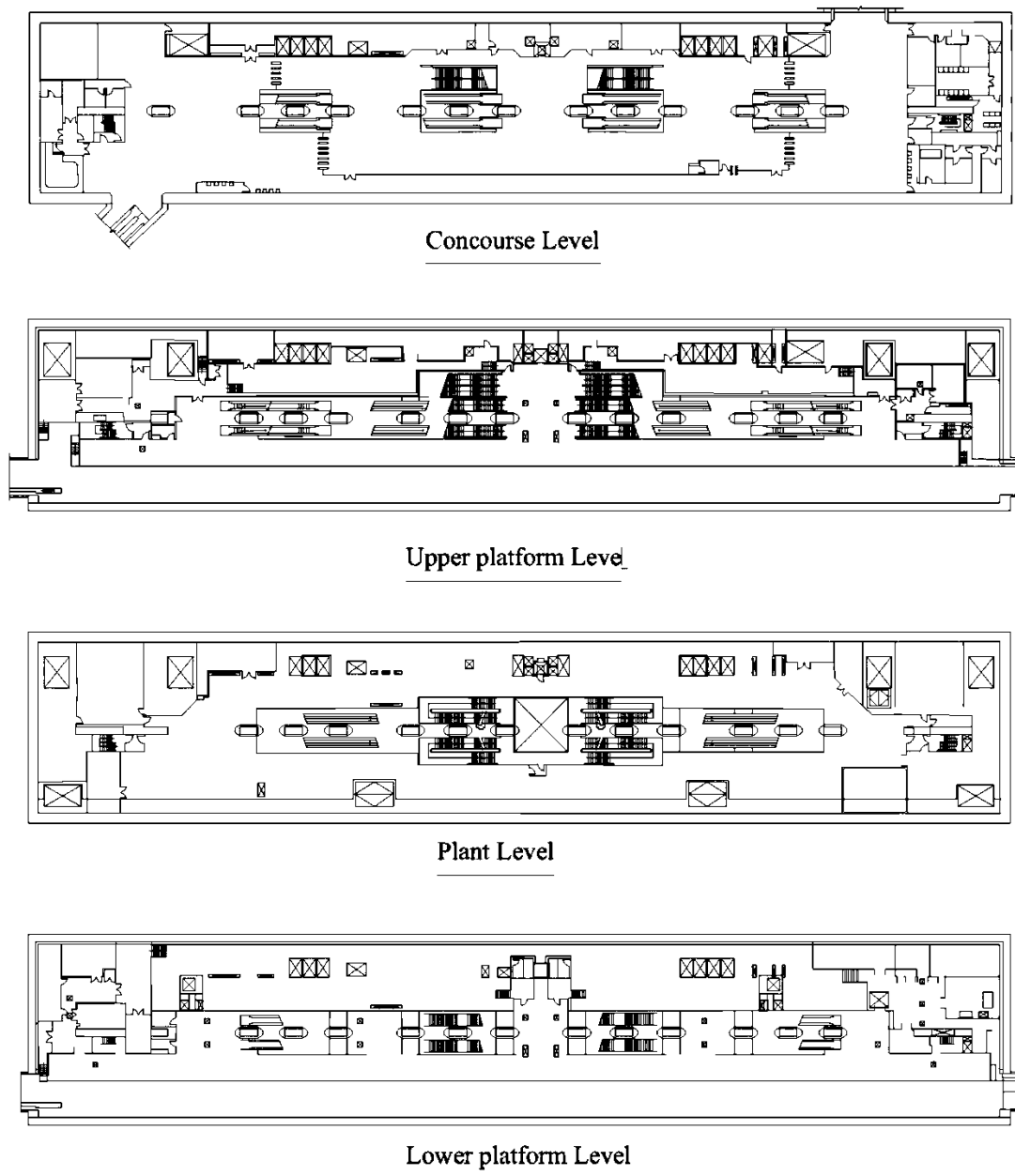
6.2 การกำหนดปริมาณผู้อพยพในสถานีรถไฟฟ้าสีส้ม

ในการพิจารณากำหนดปริมาณคนเดินเท้าที่ใช้ในการอพยพบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีส้มโดยการกำหนดให้ผู้โดยสารที่อยู่บนชานชาลาที่ระดับความหนาแน่นจากการสำรวจบนชานชาลาที่มีความจุ 2.50 คนต่อตารางเมตร และพิจารณาพื้นที่ที่ผู้โดยสารสามารถยืนรอในพื้นชานชาลา คือ

1.2.1 ชานชาลาชั้นล่างจะมีพื้นที่สุทธิที่คนเดินเท้าสามารถใช้บริการได้ประมาณ 670 ตารางเมตร

1.2.2 ชานชาลาชั้นล่างจะมีพื้นที่สุทธิที่คนเดินเท้าสามารถใช้บริการได้ประมาณ 580 ตารางเมตร

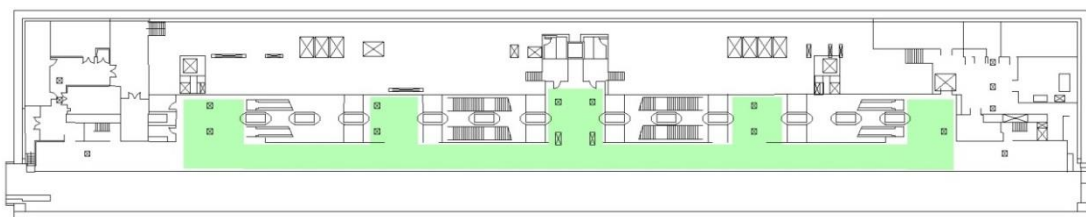
ปริมาณผู้อพยพในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีส้ม ถูกกำหนดตามความหนาแน่นที่เกิดขึ้นจากการสำรวจ โดยรวมถึงปริมาณผู้โดยสารที่จะถูกอพยพจากขบวนของรถไฟฟ้าที่กำหนดให้คงที่ที่จำนวน 500 คนต่อขบวน โดยจำนวนคนเดินเท้าที่ได้จะถูกแปรเปลี่ยนตามระดับความแน่น คือ 100 (2.50 คนต่อตารางเมตร), 90, 80, 70, 60 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยคนเดินเท้าจะกระจายอย่างสม่ำเสมอในพื้นที่ที่กำหนด (พื้นที่สีเขียว) แสดงในภาพที่ 4-31 และ 4-32 และปริมาณผู้อพยพถูกแสดงในตารางที่ 4-7



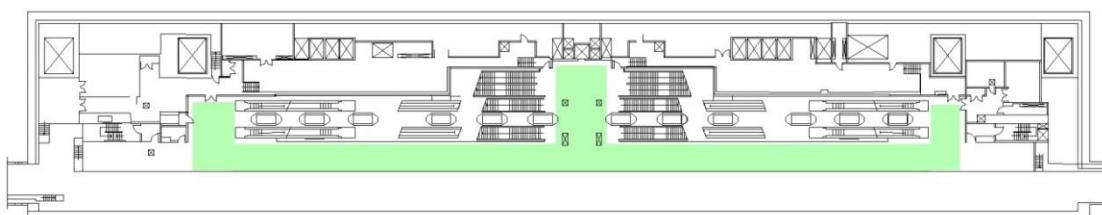
ภาพที่ 4-29 แพลนสถานีรถไฟใต้ดินสีลม



ภาพที่ 4-30 รูปแบบสถานีรถไฟใต้ดินสีลม (สถานีสีลม สถานีที่สร้างยากที่สุด เทคนิคการก่อสร้างขั้นสูงที่เคยเกิดขึ้นในไทย, 2559)



ภาพที่ 4-31 พื้นที่สำหรับคำนวณปริมาณผู้โดยสารบนชานชาลาชั้นล่างสถานีรถไฟใต้ดินสีลม



ภาพที่ 4-32 พื้นที่สำหรับคำนวณปริมาณผู้โดยสารบนชานชาลาชั้นบนสถานีรถไฟใต้ดินสีลม

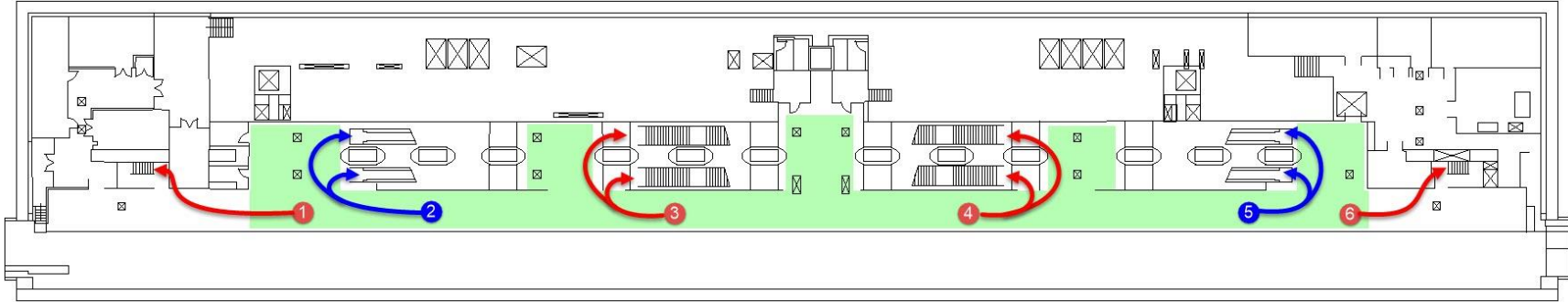
ตารางที่ 4-7 ปริมาณคนเดินเท้าสำหรับการจำลองการอพยพผู้โดยสารสถานีสีลม

ตำแหน่ง	ปริมาณผู้โดยสาร (คน)				
	60	70	80	90	100
	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์
ชานชาลาชั้นล่าง	1,000	1,100	1,300	1,500	1,600
ชานชาลาชั้นบน	1,000	1,100	1,300	1,500	1,600
บนขบวนรถไฟฟ้า 2 ขบวน	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
รวมจำนวนผู้อพยพ	3,000	3,200	3,600	4,000	4,200

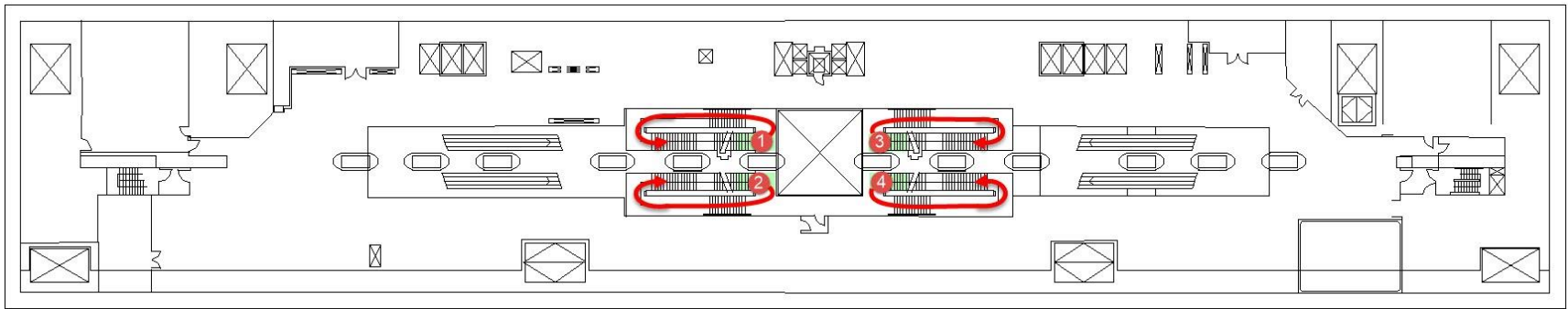
6.3 การกำหนดพื้นที่ใช้งานและเส้นทางของผู้อพยพ

การสร้างแบบจำลองนั้นจะมีการกำหนดการใช้งานพื้นที่ต่าง ๆ และเส้นทางของกลุ่มผู้อพยพ เพื่อวิเคราะห์เวลาการอพยพในการสร้างแบบจำลอง ถูกอธิบายในภาพที่ 4-33 - 4-36 โดยเส้นลูกศรสีแดง หมายถึง กลุ่มผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดในการอพยพ และลูกศรสีน้ำเงิน หมายถึง กลุ่มผู้อพยพที่เลือกใช้บันไดเลื่อนในการอพยพซึ่งประกอบด้วยสมมติฐาน 3 กรณี คือ

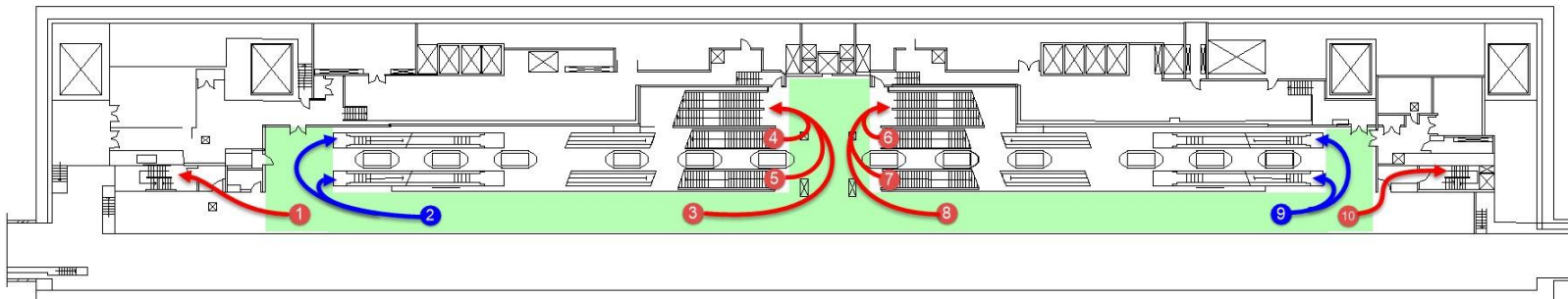
- กรณีที่ 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน
- กรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง
- กรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง



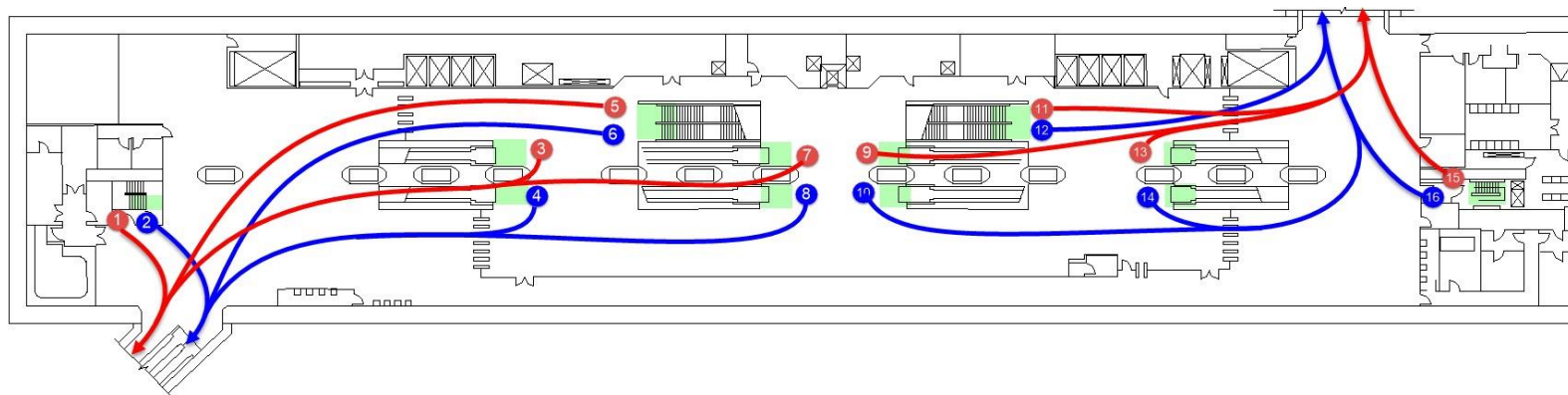
ภาพที่ 4-33 การกำหนดการใช้ของเครื่องมือและการติดตั้งในแบบจำลองบนชั้นชานชาลาชั้นล่าง



ภาพที่ 4-34 การกำหนดการใช้ของเครื่องมือและการติดตั้งในแบบจำลองบนชั้นห้องเครื่อง



ภาพที่ 4-35 การกำหนดการใช้ของเครื่องมือและการติดตั้งในแบบจำลองบนชั้นชานชาลาชั้นบน



ภาพที่ 4-36 การกำหนดการใช้ของเครื่องมือและการติดตั้งในแบบจำลองบนชั้นออกบัตรโดยสาร

บทที่ 5

การเปรียบเทียบแบบจำลอง

หลังจากแบบจำลองถูกพัฒนาให้เหมาะสมแก่การใช้งานในการวิเคราะห์แล้วนั้น กระบวนการที่สำคัญอีกหนึ่งกระบวนการ คือ การเปรียบเทียบแบบจำลอง เพื่อให้ได้ผลของการจำลองที่ถูกต้องและมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยการเปรียบเทียบแบบจำลองนั้นจะเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงของผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย ซึ่งได้สำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทที่ถูกเลือกทำการสำรวจเนื่องจากสถานีดังกล่าวเป็นสถานีเปลี่ยนถ่ายผู้โดยสารไปยังสถานีรถไฟฟ้าอโศก อีกทั้งยังเป็นสถานีที่ถูกเลือกเป็นกรณีศึกษาอีกด้วย ซึ่งข้อมูลและวิธีการสำรวจจะเป็นไปตามที่กล่าวมาแล้วในบทวิธีการดำเนินการวิจัย (ข้อมูลการสำรวจสามารถดูเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก) โดยวิธีการเปรียบเทียบแบบจำลองและผลการเปรียบเทียบแบบจำลองถูกแสดงต่อไป ที่ซึ่งการกำหนดกลุ่มประเภทของคนเดินเท้าที่จะใช้ในการเปรียบเทียบในแบบจำลองจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ที่แยกตามช่วงอายุ ได้แก่

1. คนเดินเท้าอายุน้อยกว่า 15 ปี
2. คนเดินเท้าอายุระหว่าง 15-60 ปี
3. คนเดินเท้าอายุมากกว่า 60 ปี

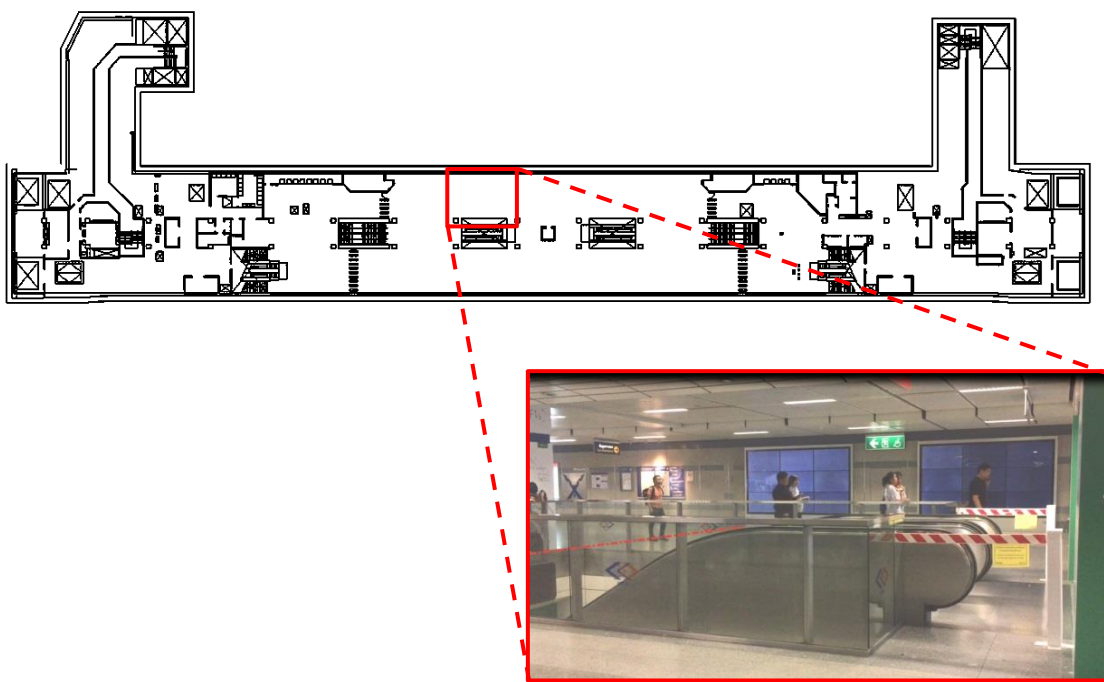
ส่วนการแบ่งตามเพศนั้นพบว่าความเร็วในการเดินของผู้ชายจะเร็วกว่าผู้หญิง แต่เมื่อพิจารณาความเร็วในการเดินทั้งสองเพศจะพบว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงถือว่าเป็นกลุ่มความเร็วเดียวกัน จึงมีการกำหนดประเภทของคนเดินเท้าออกเป็น 3 ดังที่ได้กล่าวข้างต้น และผลการสำรวจข้อมูลพฤติกรรมที่เคลื่อนไหวของคนเดินเท้าที่ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อใช้ในการพิจารณาเปรียบเทียบแบบจำลองจะแสดงในตารางที่ 5-1

การเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อให้สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้จะเปรียบเทียบพฤติกรรมการเดินของคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย โดยแบ่งการเปรียบเทียบ 3 ส่วน ได้แก่

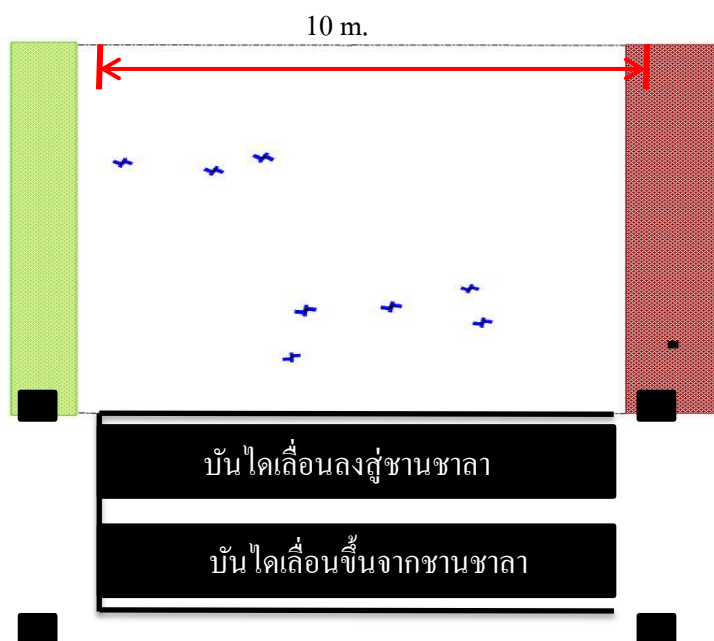
1. บริเวณทางเดินปกติ (เลือกพฤติกรรมบนชั้นออกบัตรโดยสารเนื่องจากคนเดินเท้ามีพฤติกรรมที่เป็นอิสระมากกว่าบนชานชาลา)
2. บริเวณบันไดทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้น
3. บริเวณบันไดเลื่อนทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้น

1. การเปรียบเทียบแบบจำลองบริเวณทางเดินปกติ

สำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองพฤติกรรมการเดินทางของคนเดินเท้าบริเวณทางเดินปกติ มีสองตัวแปรหลักที่ใช้ในการพิจารณา ได้แก่ เวลาการเดินทาง และอัตราการไหล ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ (ผลการสำรวจสามารถดูได้ในภาคผนวก) ดังแสดงใน ส่วนของพฤติกรรมคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย โดยพิจารณาตามเกณฑ์ที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 ในหัวข้อการเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบพฤติกรรมคนเดินเท้า บริเวณทางเดินปกติ พื้นที่ที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีขนาดความยาวเท่ากับ 10 เมตร และไม่มี ความลาดชัน การเปรียบเทียบแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 5-1 และ 5-2 และผลการเปรียบเทียบดังตาราง ที่ 5-2



ภาพที่ 5-1 การเก็บข้อมูลพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าบริเวณชั้นออกบัตรโดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท



ภาพที่ 5-2 การเปรียบเทียบแบบจำลองคนเดินเท้าบริเวณชั้นออกบัตรโดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สุขุมวิท

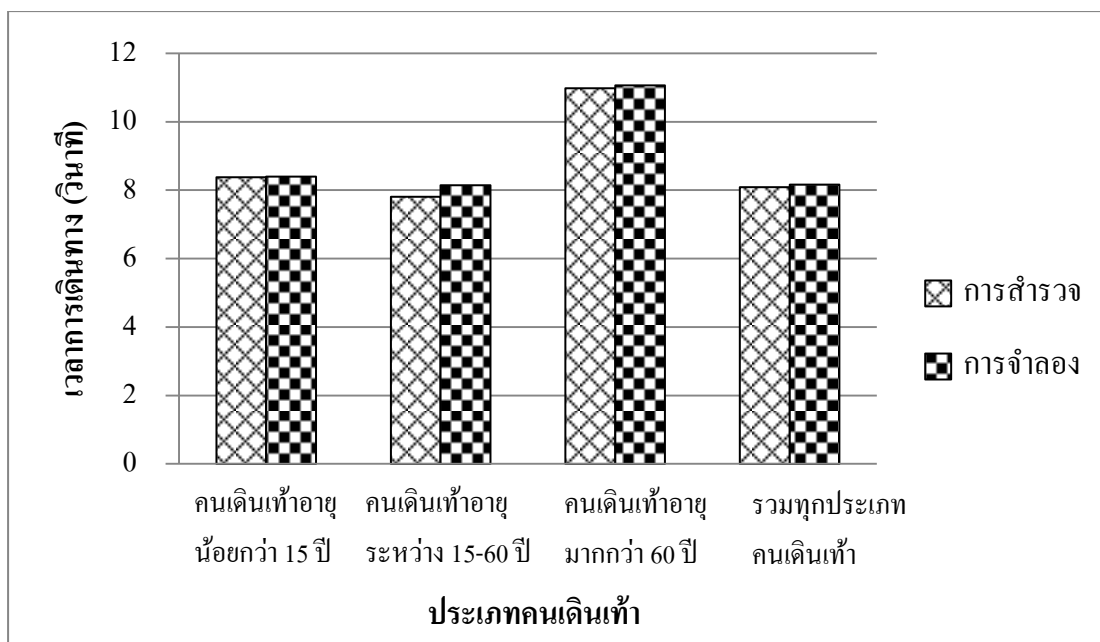
ตารางที่ 5-1 แสดงผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมของคนเดินเท้าในแบบจำลองกับข้อมูลการสำรวจ บริเวณทางเดินปกติภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย (สถานีสุขุมวิท) โดยเกณฑ์การพิจารณาเปรียบเทียบแบบจำลองใช้ค่า MAE ในการพิจารณาเวลาการเดินทางที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และใช้เกณฑ์ GEH ในการพิจารณาการไหลของคนเดินเท้า ซึ่งหากมีค่ามากกว่า 5 จะต้องทำการปรับเทียบแบบจำลองดังกล่าวใหม่ โดยการปรับเทียบนั้นเพื่อให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน สามารถแสดงแผนภูมิการปรับเทียบที่เกิดจากการเทียบกันของผลการจำลองและผลการสำรวจดังแสดงในภาพที่ 5-3 และ 5-4

ตารางที่ 5-1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองบริเวณทางเดินปกติสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท

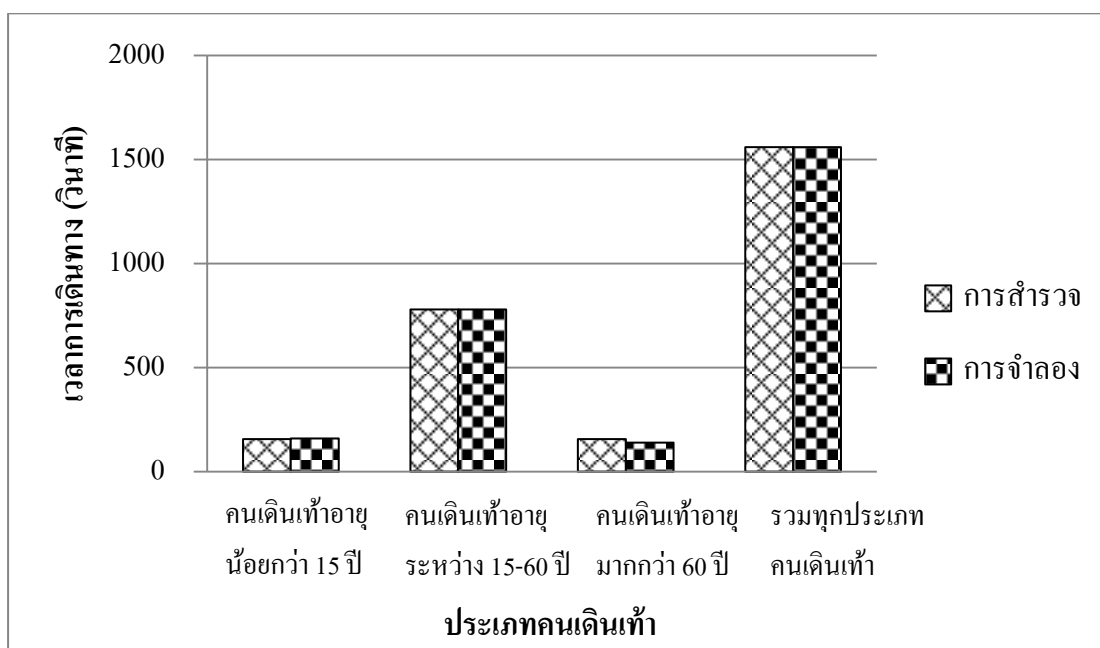
การเปรียบเทียบแบบจำลองคนเดินเท้าทิศทางการเคลื่อนที่บนพื้นปกติ				
ตัวแปรในการพิจารณา	การสำรวจ	การจำลอง	เกณฑ์พิจารณา	
			GEH*	MAE**
Pedestrian < 15 ปี				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	8.38	8.4	-	0.24 %
การไหล (คน/ชั่วโมง)	156	160	0.32	-
Pedestrian 15-60 ปี				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	7.81	8.14	-	4.23 %
การไหล (คน/ชั่วโมง)	780	780	0.00	-
Pedestrian > 60 ปี				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	10.98	11.06	-	0.73 %
การไหล (คน/ชั่วโมง)	156	140	1.32	-
สถานการณ์ทั้งหมด				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	8.09	8.16	-	0.87 %
การไหล (คน/ชั่วโมง)	1560	1560	0.00	-

หมายเหตุ: * GEH มีค่าน้อยกว่า 5

** MAE มีค่าระดับความเชื่อมั่น 0.05 หรือความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์



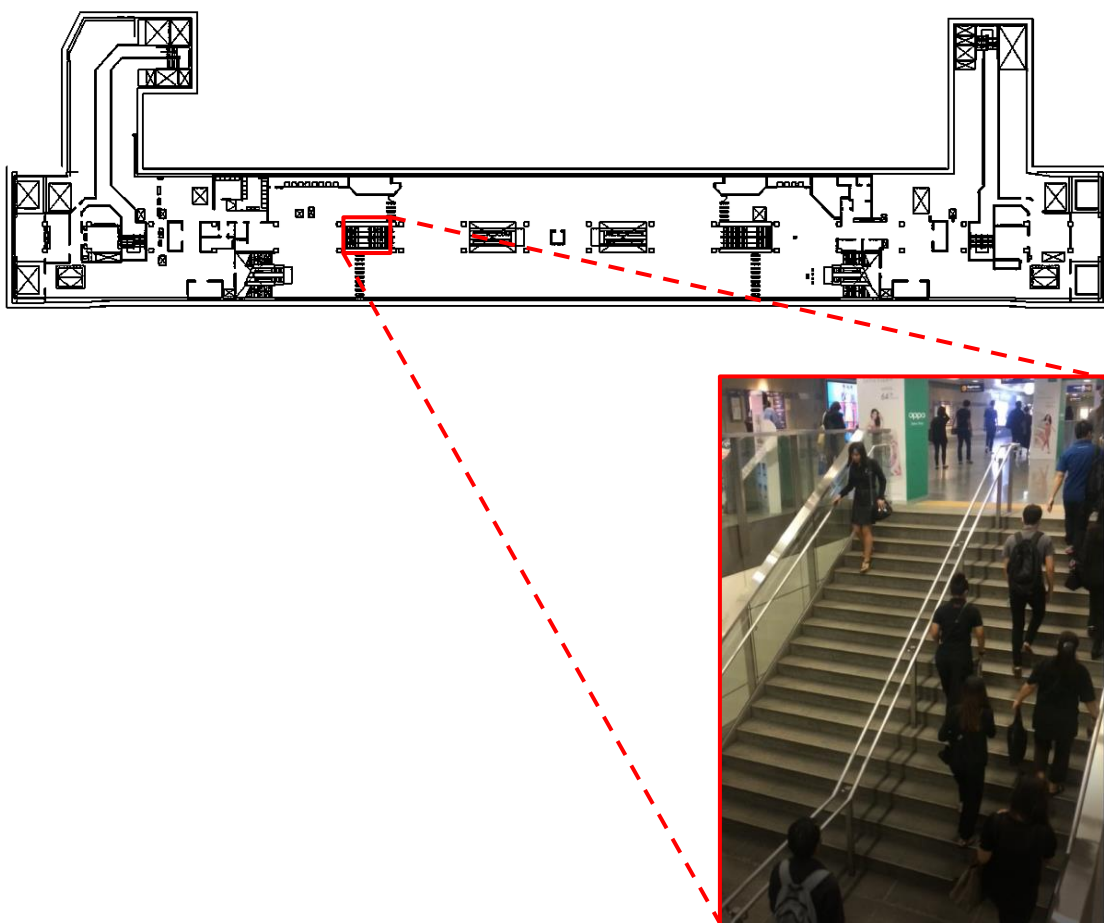
ภาพที่ 5-3 การเปรียบเทียบเวลาการเดินทางของคนเดินเท้าบริเวณทางเดินปกติ



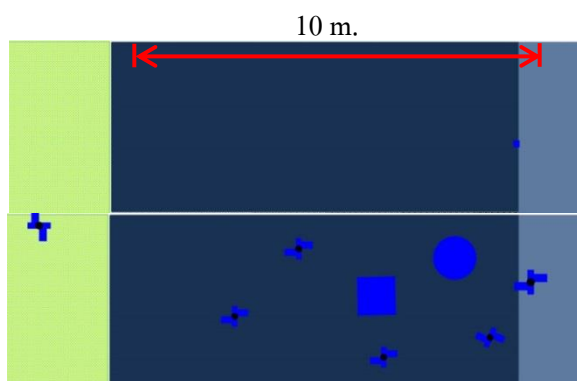
ภาพที่ 5-4 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของคนเดินเท้าบริเวณทางเดินปกติ

2. การเปรียบเทียบแบบจำลองบริเวณบันไดทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้น

การเปรียบเทียบแบบจำลองพฤติกรรมการเดินทางของคนเดินเท้าบริเวณบันไดทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นมีสองตัวแปรหลักที่ใช้ในการพิจารณา ได้แก่ เวลาการเดินทาง และอัตราการไหล โดยทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ (ผลการสำรวจสามารถดูได้ในภาคผนวก) ดังแสดงในส่วนของพฤติกรรมคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย โดยพิจารณาตามเกณฑ์ที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 ในหัวข้อการเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบพฤติกรรมคนเดินเท้าบริเวณบันไดทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้น บันไดที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีขนาดความกว้าง 1.80 เมตร สูง 2.65 เมตร และความลาดชัน 30 องศา โดยได้ผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 5-3



ภาพที่ 5-5 การเก็บข้อมูลพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าบริเวณบันไดทิศทางการขึ้นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท



ภาพที่ 5-6 การเปรียบเทียบแบบจำลองคนเดินเท้าบริเวณบันไดทิศทางขึ้นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สุขุมวิท

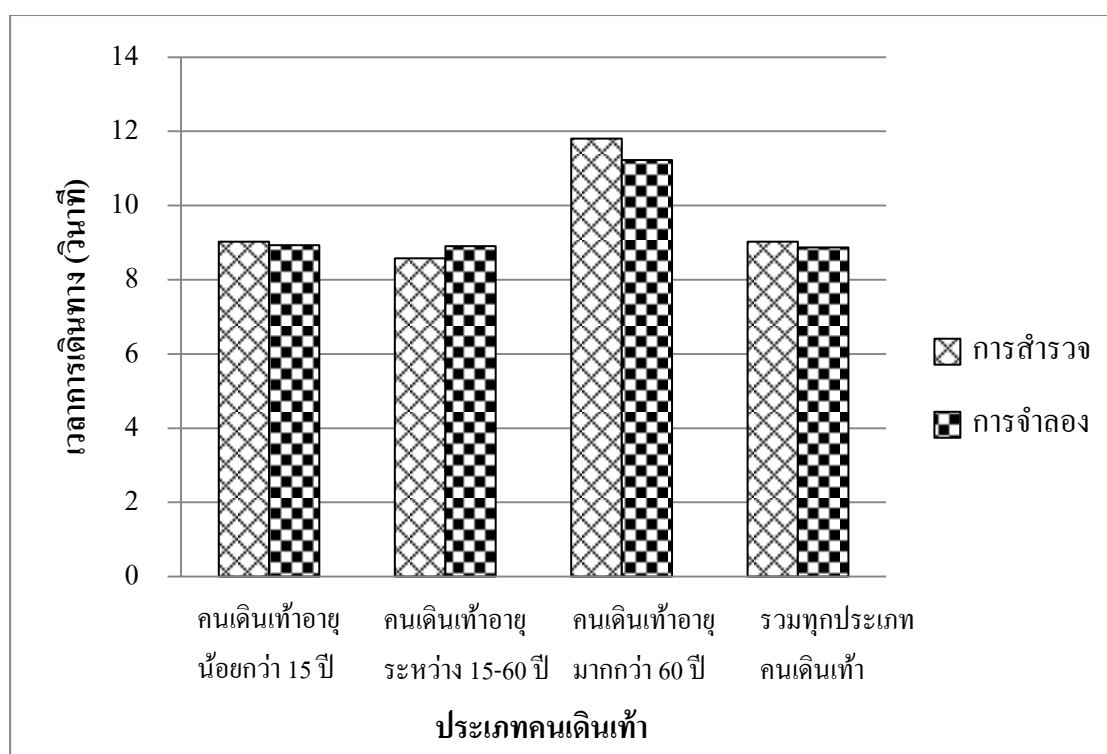
ตารางที่ 5-2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองบริเวณบันไดทิศทางขึ้นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน สุขุมวิท

การเปรียบเทียบแบบจำลองคนเดินเท้าทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นบันได				
ตัวแปรในการพิจารณา	การสำรวจ	การจำลอง	เกณฑ์พิจารณา	
			GEH*	MAE**
Pedestrians < 15 ปี				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	9.03	8.93	-	1.11 %
การไหล (คน/10 นาที)	156	160	0.32	-
Pedestrians 15-60 ปี				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	8.58	8.91	-	3.85 %
การไหล (คน/ชั่วโมง)	156	140	1.32	-
Pedestrians > 60 ปี				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	11.81	11.23	-	4.91 %
การไหล (คน/ชั่วโมง)	156	140	1.32	-
สถานการณ์ทั้งหมด				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	9.03	8.87	-	1.77 %
การไหล (คน/ชั่วโมง)	1560	1540	0.51	-

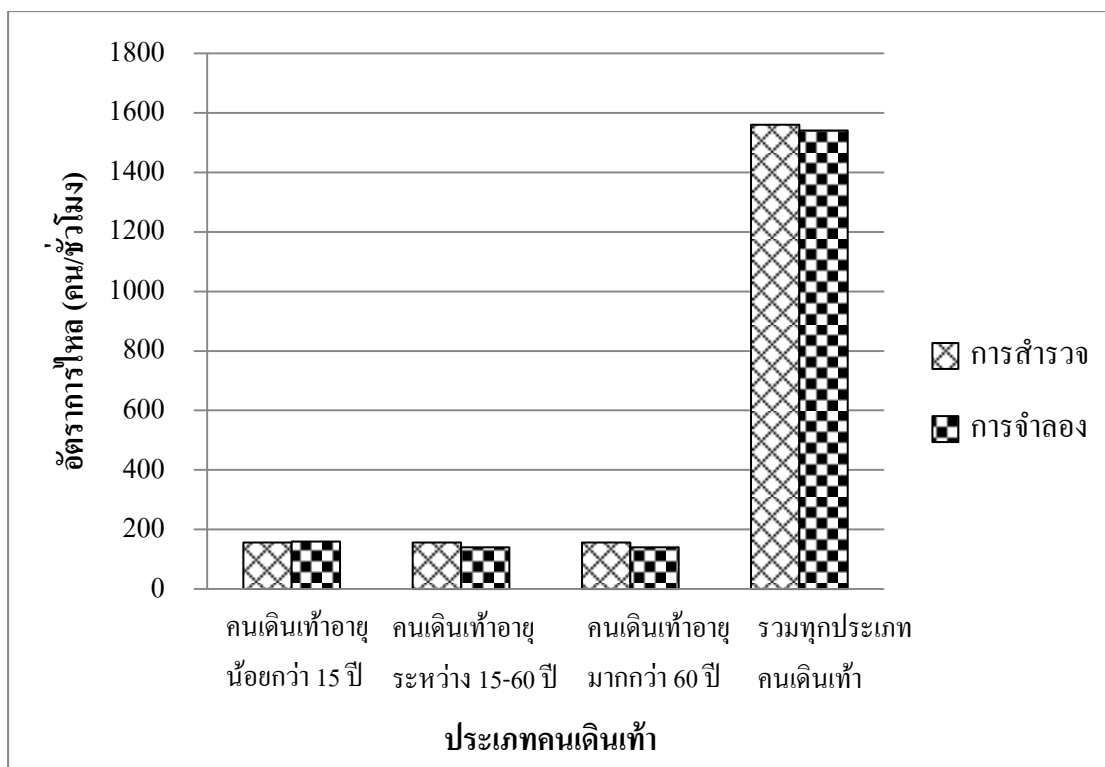
หมายเหตุ: * GEH มีค่าน้อยกว่า 5

** MAE มีค่าระดับความเชื่อมั่น 0.05 หรือความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 5-2 แสดงผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมของคนเดินเท้าในแบบจำลองกับข้อมูลการสำรวจ บริเวณบันไดทิศทางขึ้นภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย (สถานีสุขุมวิท) โดยเกณฑ์การพิจารณาเปรียบเทียบแบบจำลองใช้ค่า MAE ในการพิจารณาเวลาการเดินทางที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และใช้เกณฑ์ GEH ในการพิจารณาการไหลของคนเดินเท้า ซึ่งหากมีค่ามากกว่า 5 จะต้องทำการปรับเทียบแบบจำลองดังกล่าวใหม่ โดยการปรับเทียบนั้นเพื่อให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน สามารถแสดงแผนภูมิการปรับเทียบที่เกิดจากการเทียบกันของผลการจำลองและผลการสำรวจดังแสดงในภาพที่ 5-7 และ 5-8



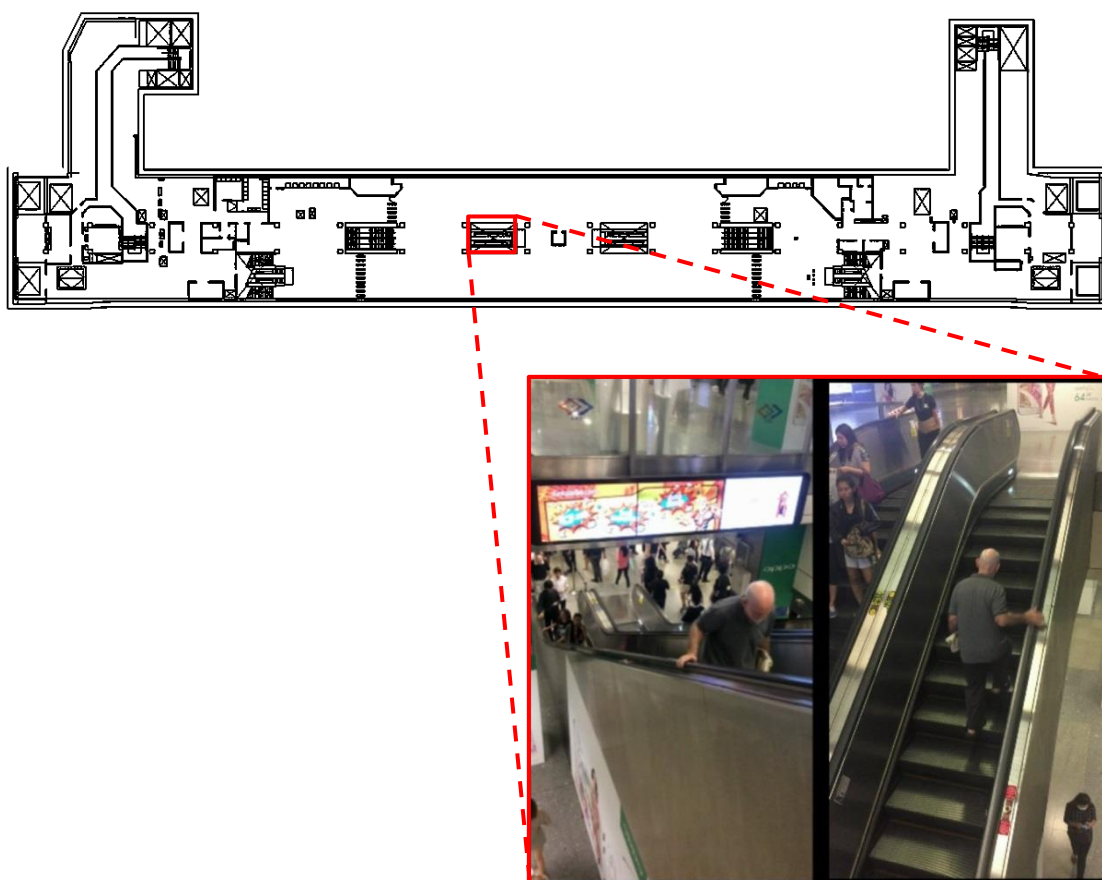
ภาพที่ 5-7 การปรับเทียบเวลาการเดินทางของคนเดินเท้าบริเวณบันไดทิศทางขึ้น



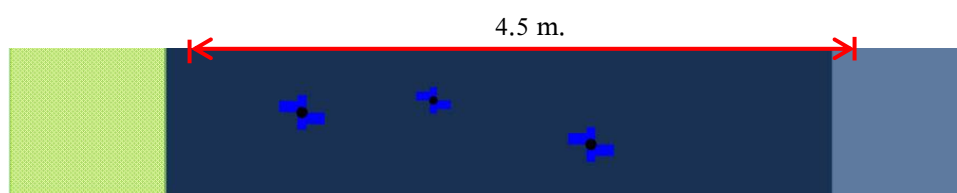
ภาพที่ 5-8 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของคนเดินเท้าบริเวณบันไดทิศทางขึ้น

3. การเปรียบเทียบแบบจำลองบริเวณบันไดเลื่อน

ในการเคลื่อนที่ของผู้โดยสารบนบันไดเลื่อน การเปรียบเทียบแบบจำลองโดยวิธีการปรับลดความยาวของบันได เนื่องจากข้อจำกัดของคุณสมบัติของซอฟต์แวร์ โดยจากการเปรียบเทียบแบบจำลองจะพบว่าที่ขนาดความยาวของบันไดเลื่อนจริงเท่ากับ 13.50 เมตร จะสามารถสร้างบันไดเลื่อนในแบบจำลองได้โดยใช้ความยาวในแบบจำลองเท่ากับ 4.50 เมตร ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนความยาวของแบบจำลองต่อความยาวของบันไดเลื่อนจริงเท่ากับ 1 : 2.59 ซึ่งการเปรียบเทียบแบบจำลองพิจารณาสองตัวแปรหลัก ได้แก่ เวลาการเดินทาง และอัตราการไหล โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ซึ่งพิจารณาตามเกณฑ์ที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 ในหัวข้อการเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบพิจารณาจากบันไดที่มีขนาดความกว้าง 1.00 เมตร สูง 5.30 เมตร และความลาดชัน 30 องศา ได้ผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 5-4



ภาพที่ 5-9 การเก็บข้อมูลพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท



ภาพที่ 5-10 การเปรียบเทียบแบบจำลองคนเดินเท้าบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท

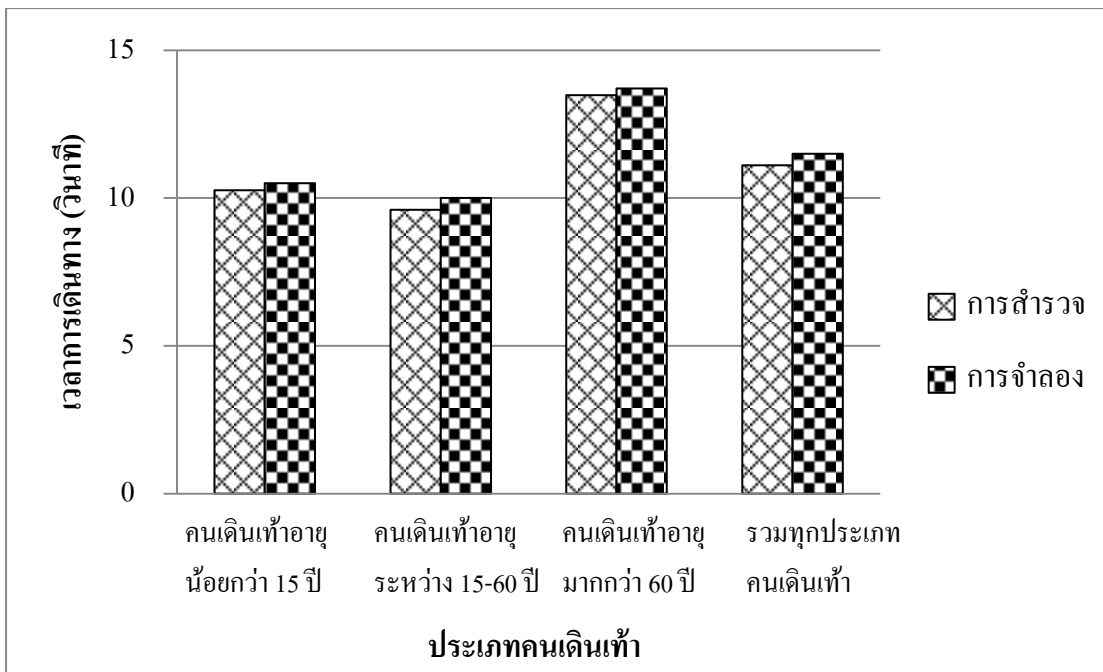
ตารางที่ 5-3 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้นสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน
สุขุมวิท

การเปรียบเทียบแบบจำลองคนเดินเท้าทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นบันได				
ตัวแปรในการพิจารณา	การสำรวจ	การจำลอง	เกณฑ์พิจารณา	
			GEH*	MAE**
female < 15 ปี				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	10.26	10.5	-	2.34 %
การไหล (คน/10 นาที)	156	160	0.32	-
female 15-60 ปี				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	9.6	10	-	4.17 %
การไหล (คน/ชั่วโมง)	780	660	4.47	-
female > 60 ปี				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	13.48	13.71	-	1.71 %
การไหล (คน/ชั่วโมง)	156	140	1.32	-
สถานการณ์ทั้งหมด				
เวลาการเดินทาง (วินาที)	11.11	11.5	-	3.51 %
การไหล (คน/ชั่วโมง)	1560	1540	0.51	-

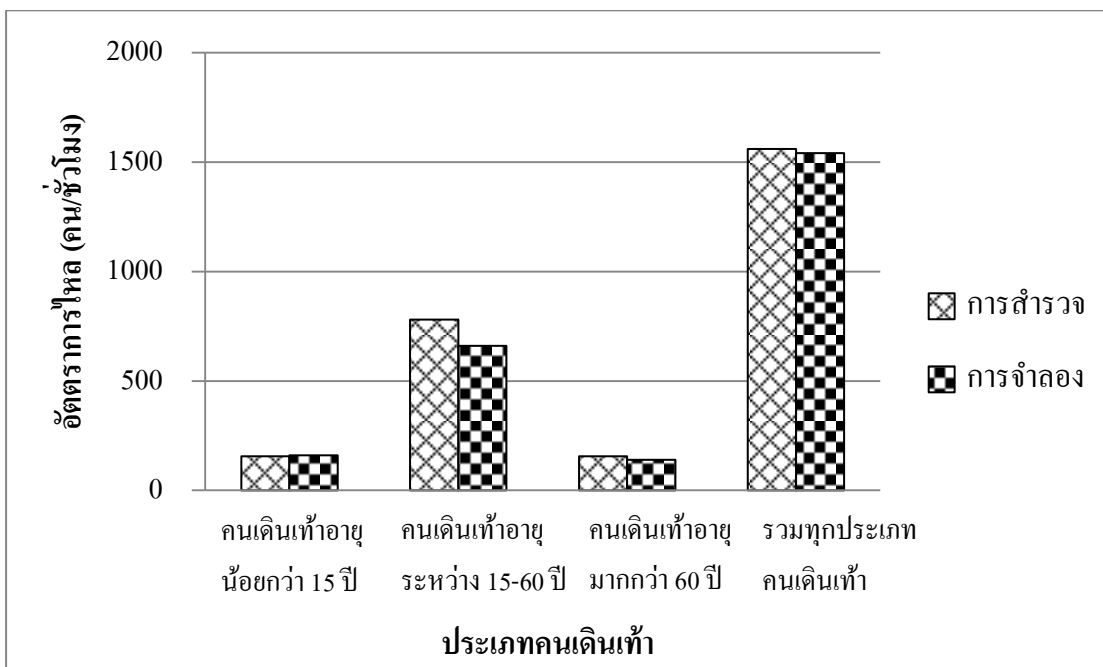
หมายเหตุ: * GEH มีค่าน้อยกว่า 5

** MAE มีค่าระดับความเชื่อมั่น 0.05 หรือความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 5-3 แสดงผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมของคนเดินเท้าในแบบจำลองกับข้อมูลการสำรวจ บริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้นภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย (สถานีสุขุมวิท) โดยเกณฑ์การพิจารณาเปรียบเทียบแบบจำลองใช้ค่า MAE ในการพิจารณาเวลาการเดินทางที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และใช้เกณฑ์ GEH ในการพิจารณาการไหลของคนเดินเท้า ซึ่งหากมีค่ามากกว่า 5 ต้องทำการปรับเทียบแบบจำลองดังกล่าวใหม่ โดยการปรับเทียบเพื่อให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน สามารถแสดงการปรับเทียบที่เกิดจากการเทียบกันของผลการจำลองและผลการสำรวจดังแสดงในภาพที่ 5-11 และ 5-12



ภาพที่ 5-11 การเปรียบเทียบเวลาการเดินทางของคนเดินเท้าบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น



ภาพที่ 5-12 การเปรียบเทียบอัตราการไหลของคนเดินเท้าบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น

บทที่ 6

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อการดำเนินการพัฒนาแบบจำลองและประมวลผลการวิจัยเรียบร้อยแล้ว ส่วนนี้จะเป็น การแสดงและอธิบายผลการศึกษาวิจัย โดยแสดงผลและอธิบายพฤติกรรมการเดินทางของคนเดินเท้า ภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินทั้งบนบันได ชั้นชานชาลา และชั้นออกบัตรโดยสารหรือชั้นรวม ผู้โดยสาร อธิบายความสัมพันธ์ของขนาดของบันไดที่เหมาะสมกับปริมาณของคนเดินเท้าที่ใช้งาน เพื่อช่วยในการพิจารณาออกแบบการระบายคนเดินเท้าบริเวณบันไดที่ก่อให้เกิดความล่าช้าในการ อพยพที่น้อยที่สุด พร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสาร ในกรณีเกิดเหตุการณ์ ฉุกเฉินในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่มีลักษณะ โครงสร้างทางกายภาพของสถานีที่แตกต่างกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การสำรวจลักษณะโครงสร้างของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

การสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอพยพคนเดินเท้าของรูปแบบ สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินถูกสำรวจลักษณะทางกายภาพของสถานี การจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวก จาก การรวบรวมลักษณะ โครงสร้างทางกายภาพของสถานีเบื้องต้นมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-1 และได้คัดเลือกสถานีต้นแบบที่มีความแตกต่างของลักษณะ โครงสร้างของสถานี ในการสร้าง แบบจำลองในการศึกษาเวลาการอพยพผู้โดยสารของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย ซึ่ง พิจารณาจากรูปแบบชานชาลา รูปแบบโครงสร้าง ความลึก และจำนวนทางออกของสถานี ได้สถานี รถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้กรณีศึกษา คือ

1. สถานีห้วยขวาง เป็นโครงสร้าง 2 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นที่ 1 ชั้น โถงผู้โดยสาร เป็น สถานีสำหรับซื้อและตรวจตั๋วโดยสารและแสดงแผนภูมิเส้นทางรถไฟฟ้า ชั้นที่ 2 ชั้นชานชาลา เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบ รับ-ส่งผู้โดยสาร ประตูจะเปิดและปิดเมื่อรถไฟฟ้าจอดเทียบเท่านั้น เป็นชานชาลาแบบเกาะกลาง (Station with Island Platform) โดยกลุ่มนี้มี 3 สถานี ได้แก่ สถานี สุทธิสาร สถานีห้วยขวาง และสถานีหัวลำโพง

ตารางที่ 6-1 คุณลักษณะของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคล (บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้า
กรุงเทพ จำกัด (มหาชน), 2558)

ชื่อสถานี	คุณลักษณะสถานี					จำนวน ทางออก	ชานชาลา
	จำนวน ชั้น	ความกว้าง (เมตร)	ความยาว (เมตร)	ความลึก (เมตร)	จำนวน		
1. บางซื่อ	2	30	226	12	2	Side	
2. กำแพงเพชร	3	23	199	17	3	Island	
3. สวนจตุจักร	3	30	369	17	4	Island	
4. พหลโยธิน	3	22	226	18	5	Island	
5. ลาดพร้าว	3	22	258	18	4	Island	
6. รัชดาภิเษก	3	23	226	19	4	Island	
7. สุทธิสาร	2	23	226	19	4	Island	
8. ห้วยขวาง	2	23	226	19	4	Island	
9. ศูนย์วัฒนธรรม แห่งประเทศไทย	3	27	358	20	4	Island	
10. พระราม 9	3	23	199	18	3	Island	
11. เพชรบุรี	3	23	200	20	3	Island	
12. สุขุมวิท	3	23	199	17	3	Island	
13. ศูนย์การประชุม แห่งชาติสิริกิติ์	3	23	196	20	4	Island	
14. คลองเตย	3	28	202	18	2	Side	
15. ลุมพินี	4	20	172	26	3	Split	
16. สีลม	4	30	156	30	2	Split	
17. สามย่าน	4	22	174	25.6	3	Split	
18. หัวลำโพง	2	23	206	14	3	Island	

2. สถานีสุขุมวิท เนื่องจากสถานีนี้เป็นจุดเชื่อมต่อไปยังรถไฟฟ้า BTS สถานีโอโศก และมีปริมาณผู้โดยสารใช้งานจำนวนมาก มีลักษณะเป็นโครงสร้าง 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นที่ 1 ชั้นรวมผู้โดยสาร มีลักษณะเป็นพื้นที่โล่งเป็นชั้นแรกเมื่อลงจากทางขึ้น-ลง จะประกอบด้วยร้านค้าปลีกต่าง ๆ ชั้นที่ 2 ชั้นโถงผู้โดยสาร เป็นสถานที่สำหรับซื้อและตรวจตั๋วโดยสารและแสดงแผนภูมิเส้นทางรถไฟฟ้าชั้นที่ 3 ชั้นชานชาลา เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบ รับ-ส่งผู้โดยสาร ประตูจะเปิดและปิดเมื่อรถไฟฟ้าจอดเทียบสถานีเท่านั้น เป็นชานชาลาแบบเกาะกลาง โดยกลุ่มนี้มี 9 สถานี ได้แก่ สถานีกำแพงเพชร สถานีสวนจตุจักร สถานีพหลโยธิน สถานีลาดพร้าว สถานีรัชดาภิเษก สถานีพระราม 9 สถานีเพชรบุรี สถานีสุขุมวิท และสถานีศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์

3. สถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย เป็นโครงสร้าง 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นออกบัตรโดยสาร ชั้นชานชาลาในอนาคต เตรียมไว้สำหรับรถไฟฟ้ามหานคร สายสีส้ม ซึ่งจะเชื่อมต่อในทิศทางตั้งฉากกับรถไฟฟ้าในปัจจุบัน โดยในปัจจุบันเป็นพื้นที่โล่งสำหรับจัดแสดงนิทรรศการและประชาสัมพันธ์โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม และชั้นชานชาลา

4. สถานีสีลม เนื่องจากมีระดับความลึกสูงสุดในกลุ่ม อีกทั้งยังมีทางออกที่น้อยที่สุดในกลุ่ม เป็นโครงสร้าง 4 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นที่ 1 ชั้นโถงผู้โดยสาร เป็นสถานที่สำหรับซื้อและตรวจตั๋วโดยสารและแสดงแผนภูมิเส้นทางรถไฟฟ้า ชั้นที่ 2 ชั้นชานชาลา เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบ รับ-ส่งผู้โดยสาร ประตูจะเปิดและปิดเมื่อรถไฟฟ้าจอดเทียบสถานีเท่านั้น ชั้นที่ 3 เป็นชั้นห้องเครื่องสำหรับระบบต่าง ๆ เช่น พัดลมดูดอากาศ ระบบไฟฟ้า เป็นต้น ชั้นที่ 4 ชั้นชานชาลาต่าง เป็นชั้นที่รถไฟฟ้าจอดเทียบ รับ-ส่งผู้โดยสาร ประตูจะเปิดและปิดเมื่อรถไฟฟ้าจอดเทียบสถานีเท่านั้น เป็นชานชาลาต่างระดับ (Station with Split Platform) โดยกลุ่มนี้มี 3 สถานี คือ สถานีลุมพินี สีลม และสามย่าน

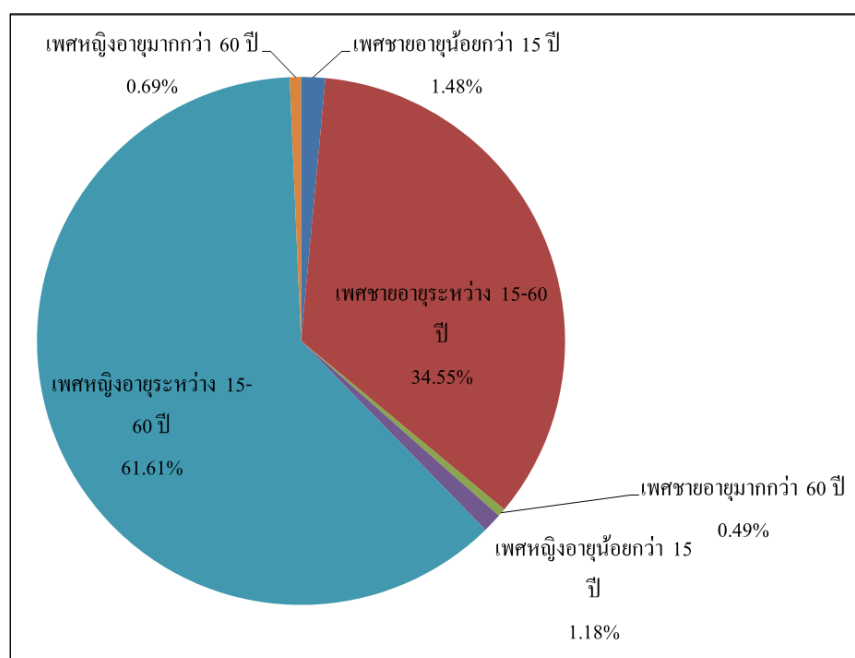
สัดส่วนผู้ใช้บริการสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินโดยแบ่งเพศและอายุ

จากการสังเกตและเก็บข้อมูลจากกล้องวิดีโอวันทำการช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า เวลา 7.00-8.00 น. พบว่าปริมาณผู้ใช้บริการของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่ให้บริการในปัจจุบันมีสัดส่วนช่วงอายุระหว่าง 15-60 ปีในปริมาณที่มาก โดยเพศหญิงมีสัดส่วนมากกว่าเพศชาย ส่วนผู้โดยสารที่มีอายุน้อยกว่า 15 ปี และมากกว่า 60 ปีนั้นพบในปริมาณที่น้อยมาก ดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 6-2 สัดส่วนเพศและอายุของผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟฟ้าใต้ดินที่ให้บริการปัจจุบัน

	ชาย			หญิง			รวม
	ช่วงอายุ (ปี)			ช่วงอายุ (ปี)			
	< 15	15-60	> 60	< 15	15-60	> 60	
จำนวนผู้โดยสาร (คน)	30	702	10	24	1,252	14	2,032
กลุ่มผู้โดยสาร (เปอร์เซ็นต์)	1.48	34.55	0.49	1.18	61.61	0.69	100.00

จากตารางที่ 4-1 จะพบว่าปริมาณผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าใต้ดินในปัจจุบันมีสัดส่วนเพศชายทั้งหมด 36.52 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็นช่วงอายุน้อยกว่า 15 ปี 1.48 เปอร์เซ็นต์ ระหว่าง 15-60 ปี 34.55 เปอร์เซ็นต์ และอายุมากกว่า 60 ปีเท่ากับ 0.49 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผู้โดยสารทั้งหมด และมีสัดส่วนเพศหญิงทั้งหมด 63.48 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็นช่วงอายุน้อยกว่า 15 ปี 1.18 เปอร์เซ็นต์ ระหว่าง 15-60 ปี 61.61 เปอร์เซ็นต์ และอายุมากกว่า 60 ปีเท่ากับ 0.69 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผู้โดยสารทั้งหมด โดยสามารถแสดงในรูปแบบของแผนภูมิได้ดังแสดงในภาพที่ 6-1 โดยสัดส่วนเพศและอายุนี้จะถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองต่อไป

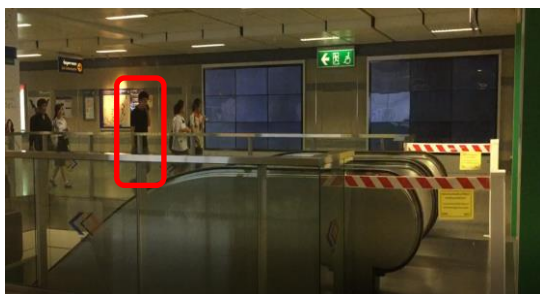


ภาพที่ 6-1 สัดส่วนผู้ใช้บริการบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย

พฤติกรรมคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย

1. ความเร็ว

ความเร็วถูกแสดงผลที่ความเร็วเฉลี่ยของการเดินของคนเดินเท้าที่ข้ามผ่านพื้นที่มีระยะทางที่ถูกวัดไว้ ความหนาแน่นของการจราจรคนเดินเท้าและการปะทะกันระหว่างคนเดินเท้าที่น้อยที่สุด และสถานการณ์ที่พิจารณาเป็นการไหลแบบอิสระในขณะที่คนเดินเท้าควรเลือกเส้นทางที่ความเร็วการเดินเป็นปกติ การวัดความเร็วแสดงดังภาพที่ 6-2 และ 6-3 โดยผลการเก็บข้อมูลแสดงดังตารางที่ 6-3

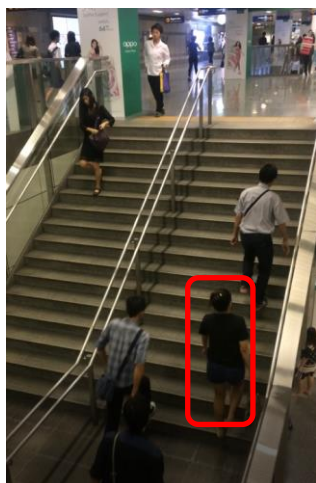


วินาทีที่ 1

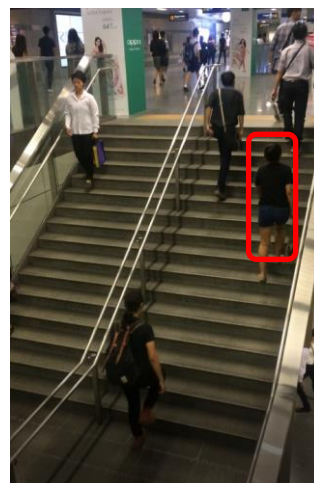


วินาทีที่ 4

ภาพที่ 6-2 การวัดความเร็วผู้โดยสารบริเวณชั้่นออกบัตรโดยสาร



วินาทีที่ 1



วินาทีที่ 4

ภาพที่ 6-3 การวัดความเร็วผู้โดยสารบริเวณบันได

ตารางที่ 6-3 ผลการสำรวจความเร็วของผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในสถานการณ์ปกติ
ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ตำแหน่ง	ความเร็วของคนเดินเท้าในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย					
	เพศชาย			เพศหญิง		
	อายุน้อย กว่า 15 ปี	อายุระหว่าง 15-60 ปี	อายุมากกว่า 60 ปี	อายุน้อย กว่า 15 ปี	อายุระหว่าง 15-60 ปี	อายุมากกว่า 60 ปี
Platform						
Mean walking Speed (m/min)	52.40	57.67	40.52	51.70	54.05	38.87
Simple size	10	90	7	13	165	8
Concourse						
Mean walking Speed (m/min)	70.71	78.01	54.96	72.57	75.94	54.67
Simple size	20	225	18	15	275	12
Ascending Stair						
Mean walking Speed (m/min)	32.90	36.01	25.66	34.06	35.60	25.76
Simple size	12	108	4	8	111	3
Descending Stair						
Mean walking Speed (m/min)	49.39	54.10	37.80	43.15	44.78	32.22
Simple size	7	60	4	6	70	3
Ascending Escalator						
Mean walking Speed (m/min)	78.63	86.13	61.38	79.57	83.04	59.34
Simple size	5	44	4	8	56	3

ตารางที่ 4-2 แสดงความเร็วในการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ได้แก่ บนชั้นชานชาลา ชั้นออกบัตรโดยสาร และบนบันไดทั้งในทิศทาง การเคลื่อนที่ขึ้นและลง โดยแยกตามเพศและช่วงอายุ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ในการใช้งานปกติผู้โดยสาร ที่มีช่วงอายุน้อยกว่า 15 ปี และมากกว่า 60 ปี จะมีการใช้งานบริเวณบันไดที่น้อย และจะเห็นได้ว่า

ความเร็วของเพศชายจะมีความเร็วมากกว่าผู้หญิง และที่เพศเดียวกันคนเดินเท้าที่มีช่วงอายุระหว่าง 15-60 ปี จะมีความเร็วมากที่สุด ต่อมาช่วงอายุน้อยกว่า 15 ปี และ มากกว่า 60 ปี ตามลำดับ

ประสิทธิภาพของขนาดและรูปแบบของบันไดภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

1. ประสิทธิภาพของขนาดและรูปแบบของบันไดรูปแบบที่ 1 บันไดทางตรง

จากการสร้างแบบจำลองการอพยพผู้โดยสารบนบันไดที่เป็นรูปแบบบันไดแบบทางตรง โดยการกำหนดจำนวนคนเดินเท้าที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่

1. ความกว้าง 1.20 เมตร แปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27 องศา 30 องศา 33 องศา และ 36 องศา และจำนวนผู้อพยพ 10, 20, 40, 80, 160, 320, 500, 750 และ 1,000

2. ความกว้าง 1.80 เมตร แปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27 องศา 30 องศา 33 องศา และ 36 องศา และจำนวนผู้อพยพ 10, 20, 40, 80, 160, 320, 500, 750 และ 1,000

3. ความกว้าง 2.40 เมตร แปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27 องศา 30 องศา 33 องศา และ 36 องศา และจำนวนผู้อพยพ 10, 20, 40, 80, 160, 320, 500, 750 และ 1,000

4. ความกว้าง 3.00 เมตร แปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27 องศา 30 องศา 33 องศา และ 36 องศา และจำนวนผู้อพยพ 10, 20, 40, 80, 160, 320, 500, 750 และ 1,000

โดยใช้พฤติกรรมที่ได้รับการปรับเทียบจากข้อมูลการสำรวจที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งผลการสร้างแบบจำลองถูกแสดงไว้ในตารางที่ 6-4

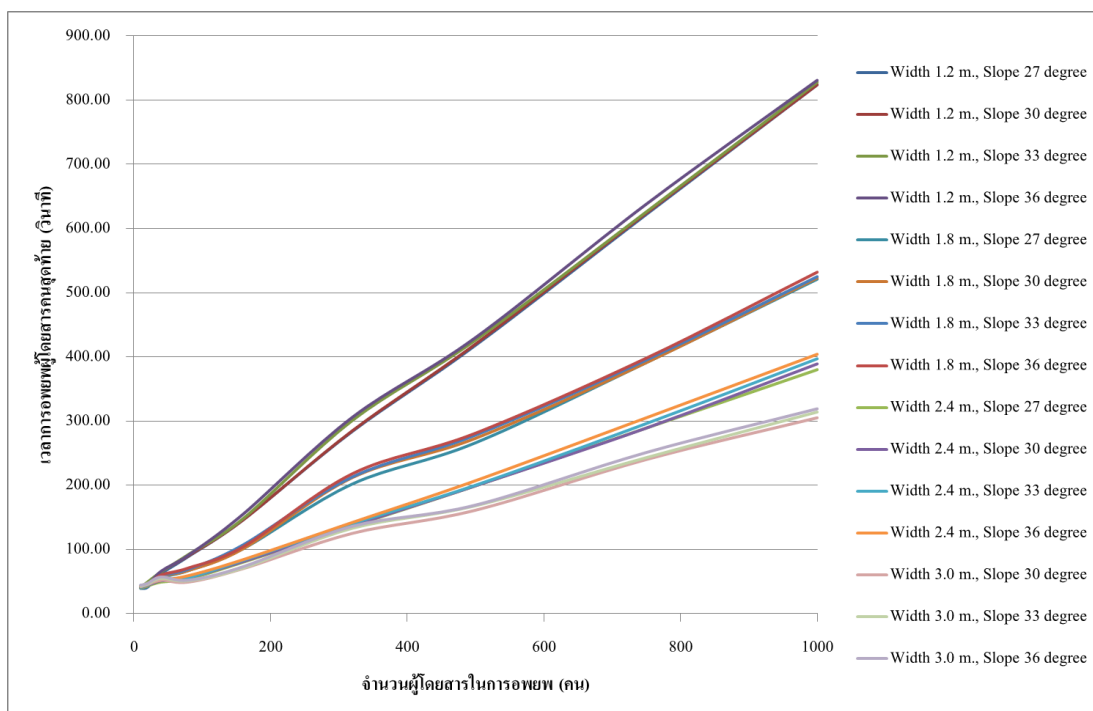
เพื่อง่ายต่อการสังเกตที่เห็นผลการสร้างแบบจำลองการอพยพคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 1 บันไดแบบทางตรง ที่จำนวนคนเดินเท้าต่าง ๆ ความกว้าง และความลาดชันที่แตกต่างกัน สามารถเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น โดยแสดงในภาพที่ 6-4

ตารางที่ 6-4 เวลาการอพยพของคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 1 บันไดทางตรง

จำนวนคนเดินเท้า	เวลาการการอพยพคนเดินเท้าคนสุดท้าย (วินาที)			
	ความลาดชันของบันได (องศา)			
	27	30	33	36
Width 1.20 m.				
10	39	40	41	42
20	41	44	49	44
40	62	65	65	66
80	89	90	92	91
160	146	146	148	155
320	284	285	301	306
500	418	420	426	430
750	622	624	626	638
1,000	824	824	828	831
Width 1.80 m.				
10	40	41	44	43
20	42	43	44	45
40	56	58	59	60
80	67	67	69	71
160	101	101	107	104
320	202	212	213	218
500	266	273	278	281
750	391	391	395	398
1,000	521	523	525	532

ตารางที่ 6-4 (ต่อ)

จำนวนคนเดินเท้า	เวลาการรอกอพยพคนเดินเท้าคนสุดท้าย (วินาที)			
	ความลาดชันของบันได (องศา)			
	27	30	33	36
Width 2.40 m.				
10	40	41	41	42
20	43	44	45	46
40	49	51	52	52
80	54	56	56	59
160	80	81	83	84
320	136	137	140	142
500	199	199	200	207
750	289	289	296	305
1,000	380	389	397	404
Width 3.00 m.				
10	41	42	43	44
20	44	45	46	47
40	49	52	55	57
80	49	49	51	52
160	68	70	71	73
320	113	125	133	136
500	158	161	168	169
750	232	240	243	251
1,000	299	305	314	319



ภาพที่ 6-4 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 1 บันไดทางตรง

2. ประสิทธิภาพของขนาดและรูปแบบของบันไดรูปแบบที่ 2 บันไดทางตรงคู่

การสร้างแบบจำลองการอพยพผู้โดยสารบนบันไดที่เป็นรูปแบบบันไดแบบทางตรงคู่ โดยการกำหนดจำนวนคนเดินเท้าที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่

1. ความกว้าง 2.40 เมตร แปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27 องศา 30 องศา 33 องศา และ 36 องศา และจำนวนผู้อพยพ 10, 20, 40, 80, 160, 320, 500, 750 และ 1,000
2. ความกว้าง 3.00 เมตร แปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27 องศา 30 องศา 33 องศา และ 36 องศา และจำนวนผู้อพยพ 10, 20, 40, 80, 160, 320, 500, 750 และ 1,000
3. ความกว้าง 3.60 เมตร แปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27 องศา 30 องศา 33 องศา และ 36 องศา และจำนวนผู้อพยพ 10, 20, 40, 80, 160, 320, 500, 750 และ 1,000

โดยใช้พฤติกรรมที่ได้รับการปรับเทียบจากข้อมูลการสำรวจที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งผลการสร้างแบบจำลองถูกแสดงไว้ในตารางที่ 6-5

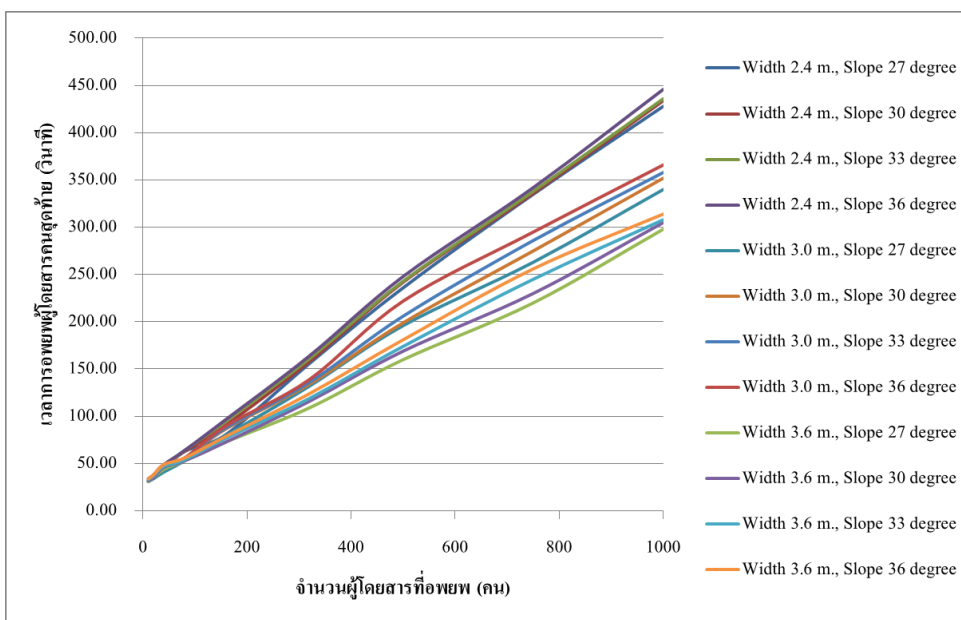
ตารางที่ 6-5 เวลาการอพยพของคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 2 บันไดทางตรงคู่

จำนวนคนเดินเท้า	เวลาการการอพยพคนเดินเท้าคนสุดท้าย (วินาที)			
	ความลาดชันของบันได (องศา)			
	27	30	33	36
Width 2.40 m.				
10	31	31	32	34
20	36	37	38	38
40	44	47	47	49
80	63	63	64	64
160	81	91	95	97
320	156	158	161	164
500	236	242	243	248
750	335	336	338	342
1,000	428	434	436	446
Width 3.00 m.				
10	31	32	32	34
20	34	36	37	38
40	41	46	47	49
80	53	55	56	56
160	80	87	88	90
320	132	134	136	139
500	196	199	206	222
750	263	275	286	295
1,000	340	352	358	366

เพื่อช่วยต่อการสังเกตที่เห็นผลการสร้างแบบจำลองการอพยพคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 2 บันไดแบบทางตรงคู่ ที่จำนวนคนเดินเท้าต่าง ๆ ความกว้าง และความลาดชันที่แตกต่างกัน สามารถเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นโดยแสดงในภาพที่ 6-5

ตารางที่ 6-5 (ต่อ)

จำนวนคนเดินเท้า	เวลาการรอกอพยพคนเดินเท้าคนสุดท้าย (วินาที)			
	ความลาดชันของบันได (องศา)			
	27	30	33	36
	Width 3.60 m.			
10	31	32	33	34
20	35	35	37	38
40	44	46	47	49
80	53	53	54	56
160	73	73	77	79
320	109	116	119	124
500	160	169	174	181
750	220	230	245	256
1,000	298	305	308	314



ภาพที่ 6-5 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 2 บันไดทางตรงคู่

3. ประสิทธิภาพของขนาดและรูปแบบของบันไดรูปแบบที่ 3 บันไดแบบหักกลับ

การสร้างแบบจำลองการอพยพผู้โดยสารบนบันไดที่เป็นรูปแบบบันไดแบบหักกลับ โดยการกำหนดจำนวนคนเดินเท้าที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่

1. ความกว้าง 1.20 เมตร แปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27 องศา 30 องศา 33 องศา และ 36 องศา และจำนวนผู้อพยพ 10, 20, 40, 80, 160, 320, 500, 750 และ 1,000

2. ความกว้าง 1.80 เมตร แปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27 องศา 30 องศา 33 องศา และ 36 องศา และจำนวนผู้อพยพ 10, 20, 40, 80, 160, 320, 500, 750 และ 1,000

3. ความกว้าง 2.40 เมตร แปรเปลี่ยนความลาดชัน คือ 27 องศา 30 องศา 33 องศา และ 36 องศา และจำนวนผู้อพยพ 10, 20, 40, 80, 160, 320, 500, 750 และ 1,000

โดยใช้พฤติกรรมที่ได้รับการปรับเทียบจากข้อมูลการสำรวจที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งผลการสร้างแบบจำลองถูกแสดงไว้ในตารางที่ 6-6

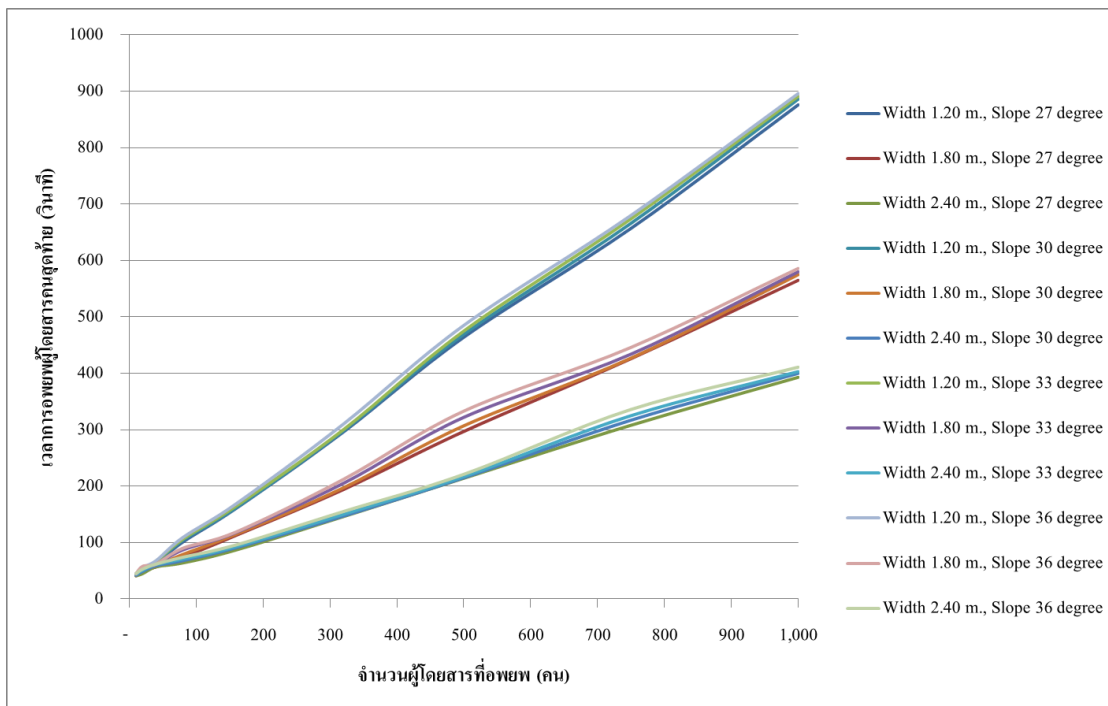
ตารางที่ 6-6 เวลาการอพยพของคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 3 บันไดแบบหักกลับ

จำนวนคนเดินเท้า	เวลาการการอพยพคนเดินเท้าคนสุดท้าย (วินาที)			
	ความลาดชันของบันได (องศา)			
	27	30	33	36
	Width 1.20 m.			
10	42	43	44	45
20	51	53	54	56
40	63	65	67	68
80	101	104	106	109
160	161	162	165	169
320	296	298	300	310
500	464	469	475	485
750	657	666	674	680
1,000	876	886	891	896

ตารางที่ 6-6 (ต่อ)

จำนวนคนเดินเท้า	เวลาการการอพยพคนเดินเท้าคนสุดท้าย (วินาที)			
	ความลาดชันของบันได (องศา)			
	27	30	33	36
Width 1.80 m.				
10	41	42	44	45
20	50	53	55	58
40	57	59	61	62
80	74	79	87	90
160	113	115	118	119
320	194	197	205	212
500	297	307	322	333
750	426	427	434	446
1,000	565	575	580	586
Width 2.40 m.				
10	41	42	44	45
20	45	49	51	53
40	57	59	61	62
80	64	68	71	74
160	87	91	93	96
320	146	147	150	155
500	214	215	217	221
750	308	317	325	336
1,000	393	400	403	411

เพื่อช่วยต่อการสังเกตที่เห็นผลการสร้างแบบจำลองการอพยพคนเดินเท้าบนบันได
รูปแบบที่ 3 บันไดแบบหักกลับ ที่จำนวนคนเดินเท้าต่าง ๆ ความกว้าง และความลาดชันที่แตกต่าง
กัน สามารถเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น โดยแสดงในภาพที่ 6-6



ภาพที่ 6-6 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 3 บันไดแบบหักกลับ

เวลาการอพยพผู้โดยสารของรูปแบบโครงสร้างสถานีแบบต่าง ๆ

ในการแสดงผลเวลาการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย ซึ่งสมมติฐานที่ถูกตั้งไว้ 3 กรณีที่ถูกกว่ามาข้างต้น คือ

กรณีที่ 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน

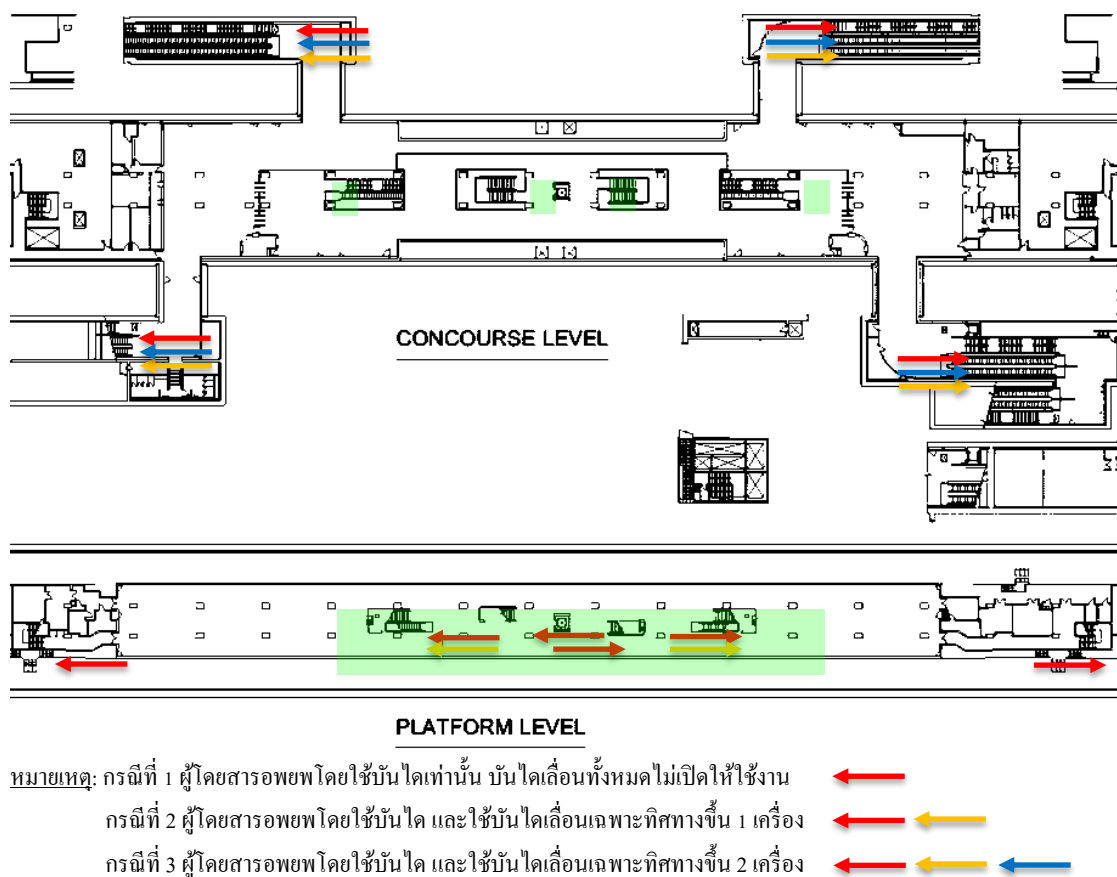
กรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง

กรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง

ซึ่งผลการจำลองแบบจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทยจะถูกแสดงในเทอมของจำนวนคนเดินเท้าที่อยู่ในสถานีที่ประกอบไปด้วยผู้โดยสารที่รออยู่บนชานชาลา และจากขบวนรถไฟฟ้า และเวลาการอพยพที่ได้จากการระบายผู้โดยสารออกจากสถานีนั้น ๆ

1. เวลาการอพยพผู้โดยสารรูปแบบสถานีที่ 1 สถานีห้วยขวาง

ในการวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางนั้นตัวแปรที่จะถูกนำมาวิเคราะห์จะประกอบไปด้วย อัตราการไหล ความเร็ว และเวลาการเดินทาง โดยลำดับการจำลองสมมติฐานแต่ละกรณีแสดงดังภาพที่ 6-7



ภาพที่ 6-7 การกำหนดสมมติฐานการอพยพสถานีห้วยขวางทั้ง 3 กรณี

1.1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน

ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางกรณีที่ 1

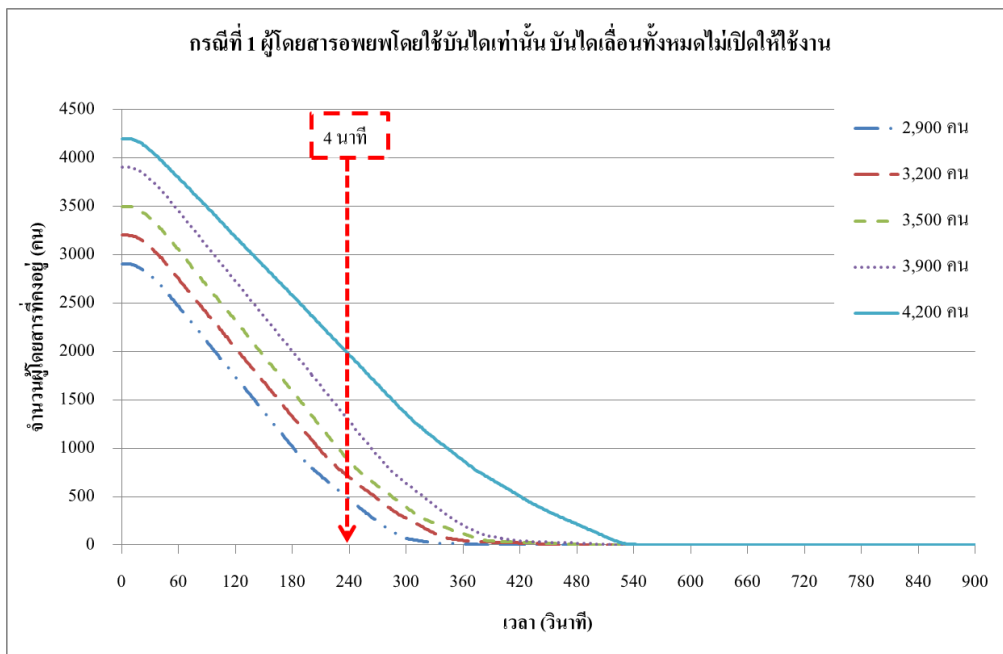
ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน ถูกแสดงดังตารางที่ 6-7

ตารางที่ 6-7 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินห้วยขวาง กรณีที่ 1

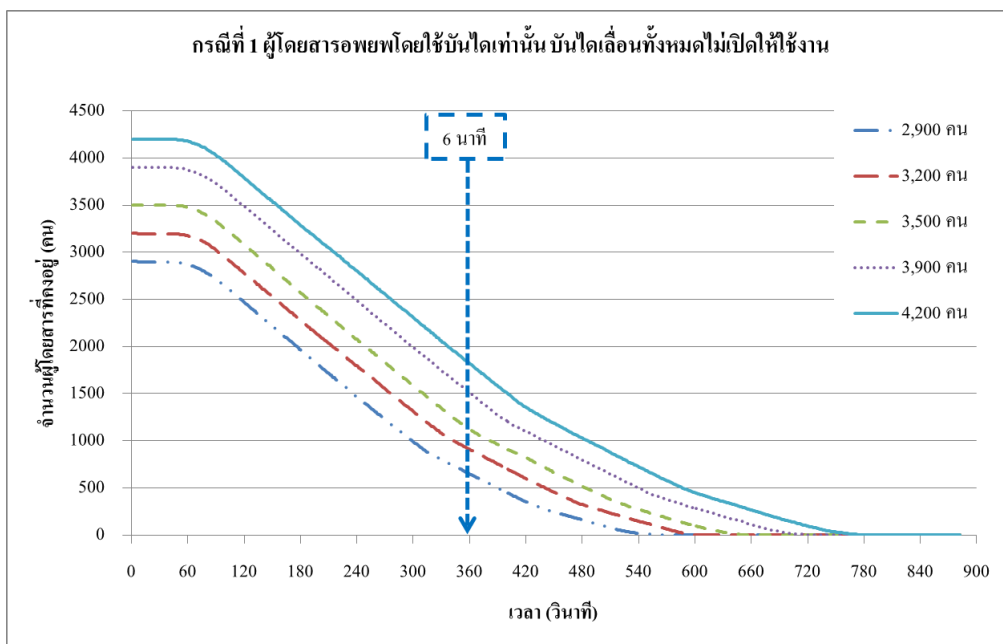
ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,900	3,200	3,500	3,900	4,200
ชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	434	417	434	434	434
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	24	24	23	25	24
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	149	164	173	189	236
ชั้นออกบัตรโดยสารไปจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	325	342	334	334	342
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	34	32	31	28	28
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	250	273	291	318	339

จากตารางที่ 6-7 แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟใต้ดินห้วยขวางแต่ละชั้นของสถานีจะมีอัตราการไหลที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากอัตราการไหลออกถูกบังคับด้วยขนาดและจำนวนของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพนั้น ๆ ซึ่งในกรณีที่ 1 นี้ การไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารจะมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 434 คน/นาที และจากชั้นออกบัตรโดยสารไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 334 คน/นาที และจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้นความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นตามด้วย

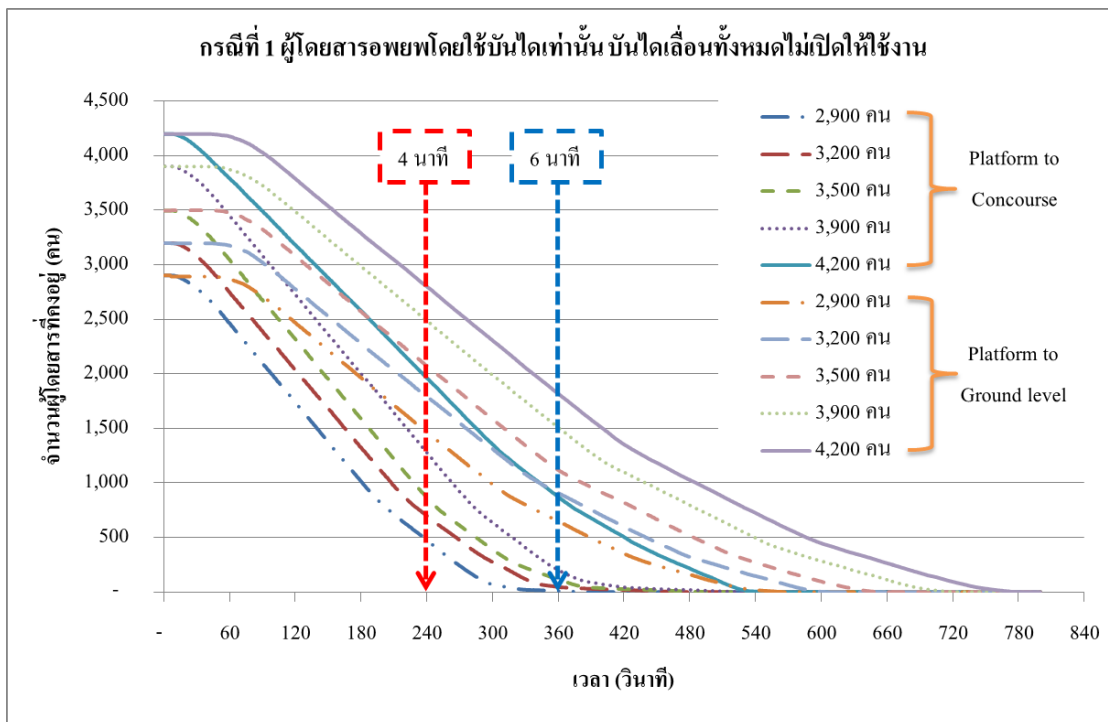
เวลาการอพยพตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากจุดที่ไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรจะใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ผลการจำลองการอพยพของสถานีรถไฟใต้ดินห้วยขวางในกรณีที่ 1 สามารถได้ผลการจำลองดังแสดงในภาพที่ 6-8, 6-9 และ 6-10



ภาพที่ 6-8 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้ามหานครจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารกรณี 1



ภาพที่ 6-9 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้ามหานครจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณี 1



ภาพที่ 6-10 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 1

จากภาพที่ 6-8, 6-9 และ 6-10 แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลออกของการอพยพจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสามารถสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ ซึ่งเห็นได้เวลาที่เริ่มต้นความลาดชันจะน้อยเนื่องจากผู้โดยสารเริ่มทยอยออกจากพื้นที่ที่พิจารณา จนกระทั่งความลาดชันของกราฟคงที่เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพมีอัตราการระบายที่เต็มความจุ การอพยพในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง กรณีพิจารณาที่ 1 อัตราการไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารมีค่าประมาณ 625 คน/นาที และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 588 คน/นาที

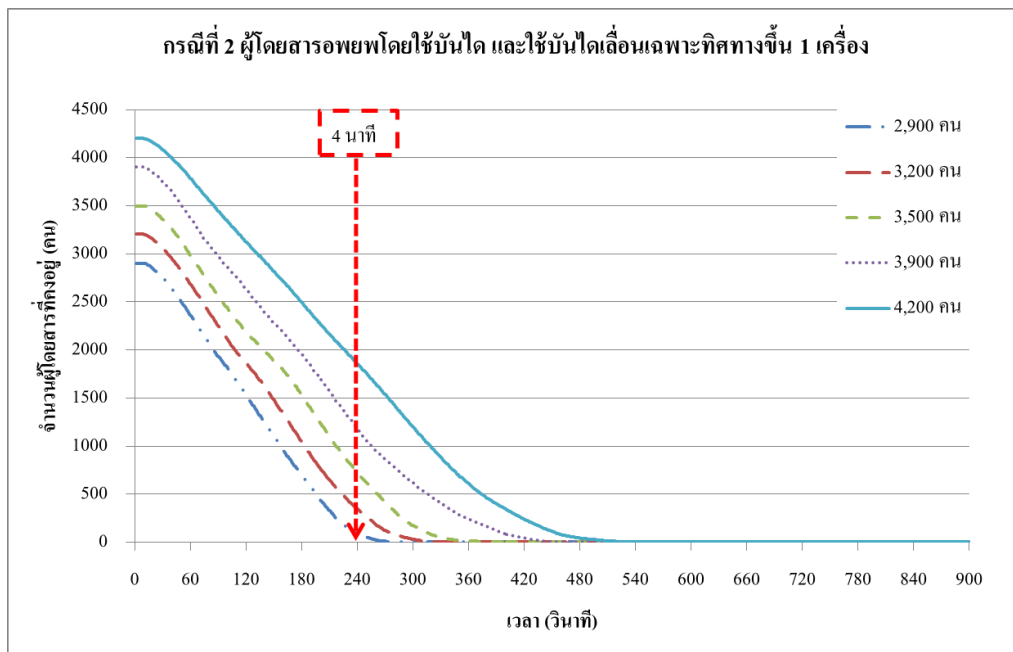
- 1.2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง
- ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางกรณีที่ 2
- ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง ถูกแสดงดังตารางที่ 6-8

ตารางที่ 6-8 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินห้วยขวาง กรณีที่ 2

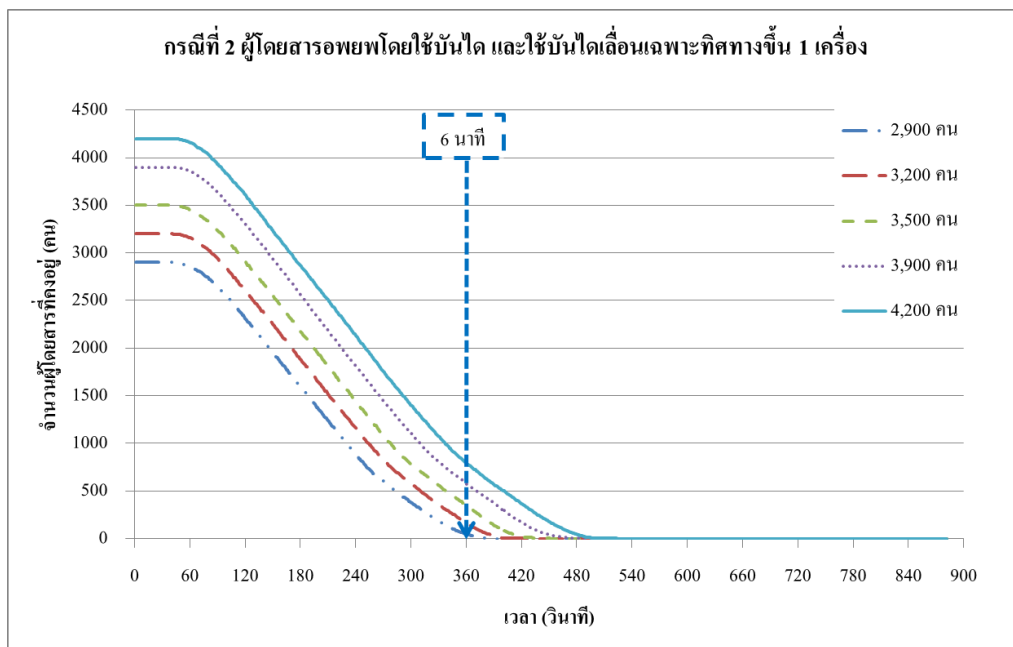
ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,900	3,200	3,500	3,900	4,200
ชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	542	550	550	500	500
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	27	27	27	28	26
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	126	141	160	184	218
ชั้นออกบัตรโดยสารไปจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	500	509	517	517	517
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	36	34	33	31	31
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	190	201	214	229	242

จากตารางที่ 6-8 แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟใต้ดินห้วยขวาง ที่มีอัตราการไหลที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอัตราการไหลออกถูกจำกัดด้วยขนาดและจำนวนของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ ในกรณีที่ 2 การไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารจะมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 534 คน/นาที และจากชั้นออกบัตรโดยสารไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 517 คน/นาที และเห็นได้ว่าที่ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้นความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นตามด้วย

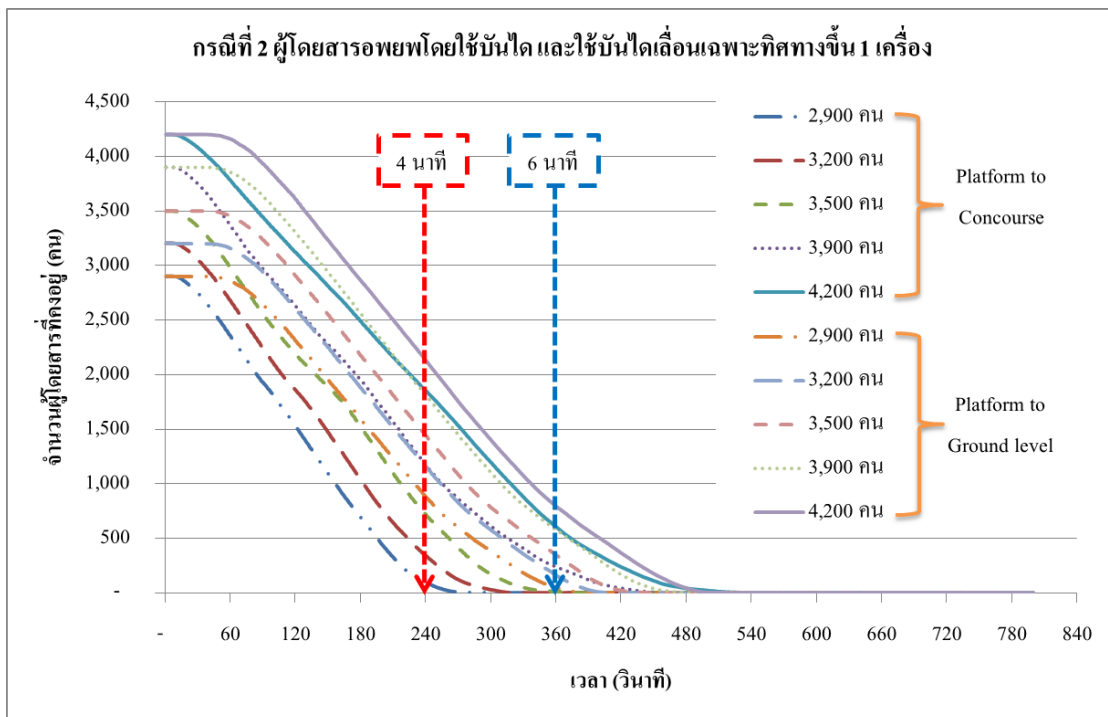
เวลาการอพยพตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากจุดที่ไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรจะใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ซึ่งจากผลการจำลองการอพยพของสถานีห้วยขวางในสมมติฐานกรณีที่ 2 สามารถได้ผลการจำลองดังแสดงในภาพที่ 6-11, 6-12 และ 6-13



ภาพที่ 6-11 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารกรณีที่ 2



ภาพที่ 6-12 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 2



ภาพที่ 6-13 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 2

ภาพ 6-11, 6-12 และ 6-13 แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลออกของการอพยพจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสามารถสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ ที่เห็นได้ชัดว่าที่เวลาเริ่มต้นความลาดชันจะน้อยเนื่องจากผู้โดยสารเริ่มทยอยออกจากพื้นที่ที่พิจารณา จนกระทั่งความลาดชันของกราฟคงที่เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพมีอัตราการระบายที่เต็มความจุ โดยการอพยพในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง กรณีที่ 2 นั้น อัตราการไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารมีค่าประมาณ 675 คน/นาที และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 788 คน/นาที

1.3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง

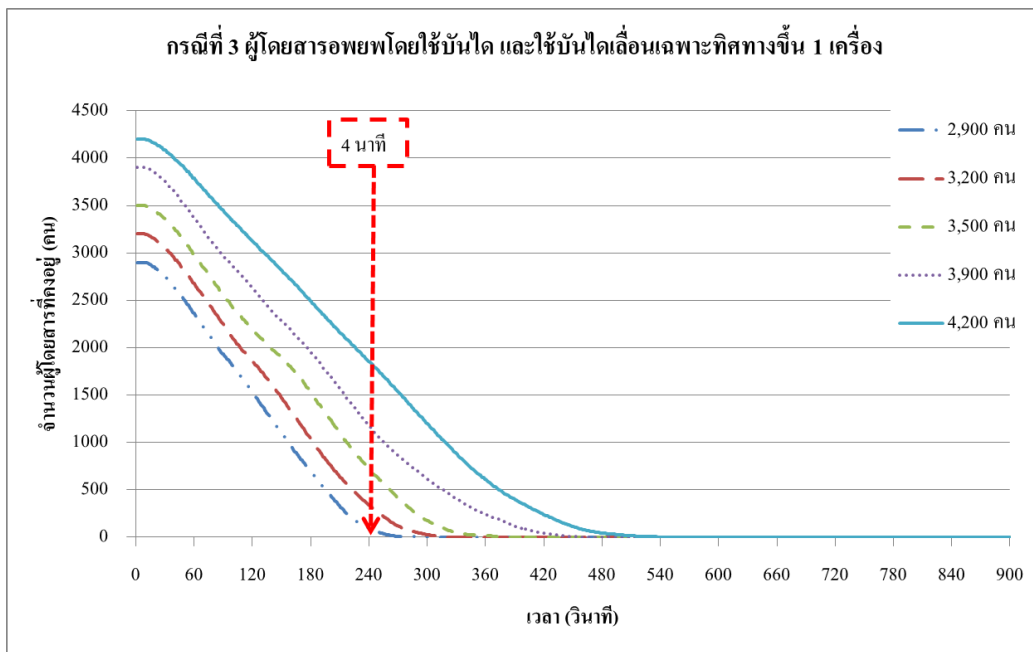
ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางกรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง ถูกแสดงดังตารางที่ 6-9

ตารางที่ 6-9 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินห้วยขวาง กรณีที่ 3

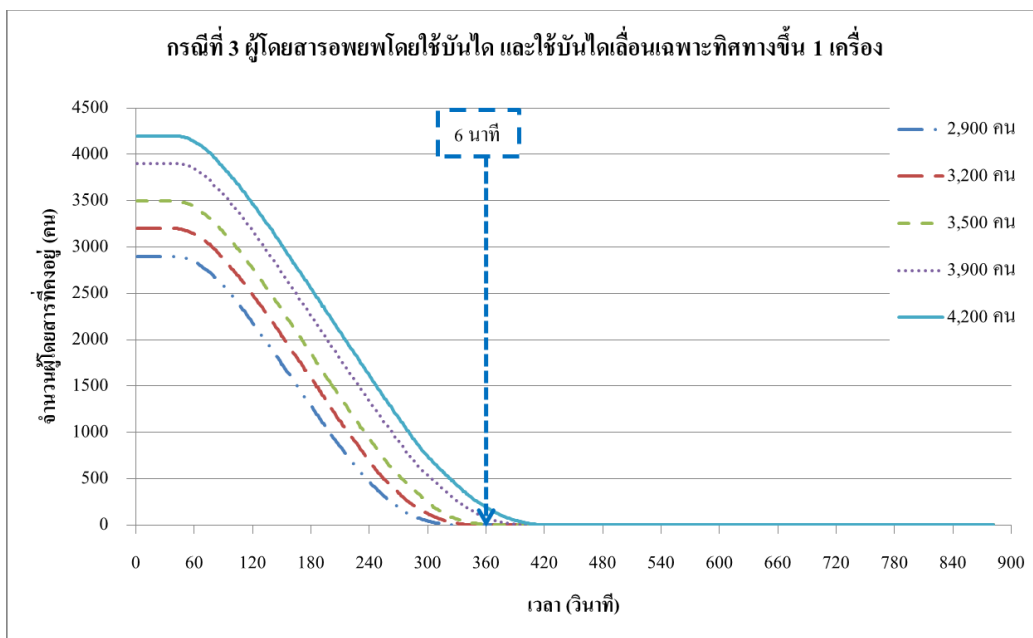
ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,900	3,200	3,500	3,900	4,200
ชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	542	534	534	517	517
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	27	27	27	28	26
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	126	141	160	184	220
ชั้นออกบัตรโดยสารไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	584	592	592	592	584
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	38	37	35	33	33
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	164	173	181	195	204

ตารางที่ 6-9 อัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟใต้ดินห้วยขวางแต่ละชั้นของสถานีมีอัตราการไหลที่ใกล้เคียงกัน ที่ขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้อพยพ ในกรณีที่ 3 การไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารจะมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 534 คน/นาที และจากชั้นออกบัตรโดยสารไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 584 คน/นาที และเห็นได้ว่าที่ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้นความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นตามด้วย

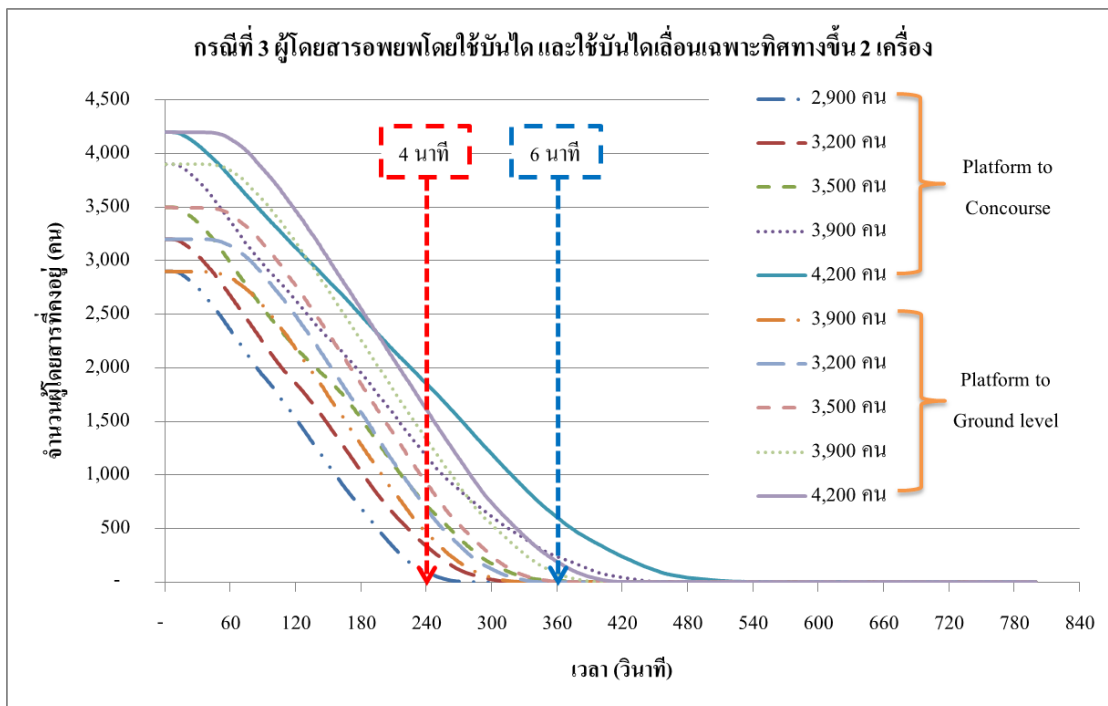
เวลาการอพยพตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากจุดที่ไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรจะใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ผลการจำลองการอพยพของสถานีห้วยขวางในสมมติฐานกรณีที่ 3 แสดงในภาพที่ 6-14, 6-15 และ 6-16



ภาพที่ 6-14 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารกรณีที่ 3



ภาพที่ 6-15 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 3

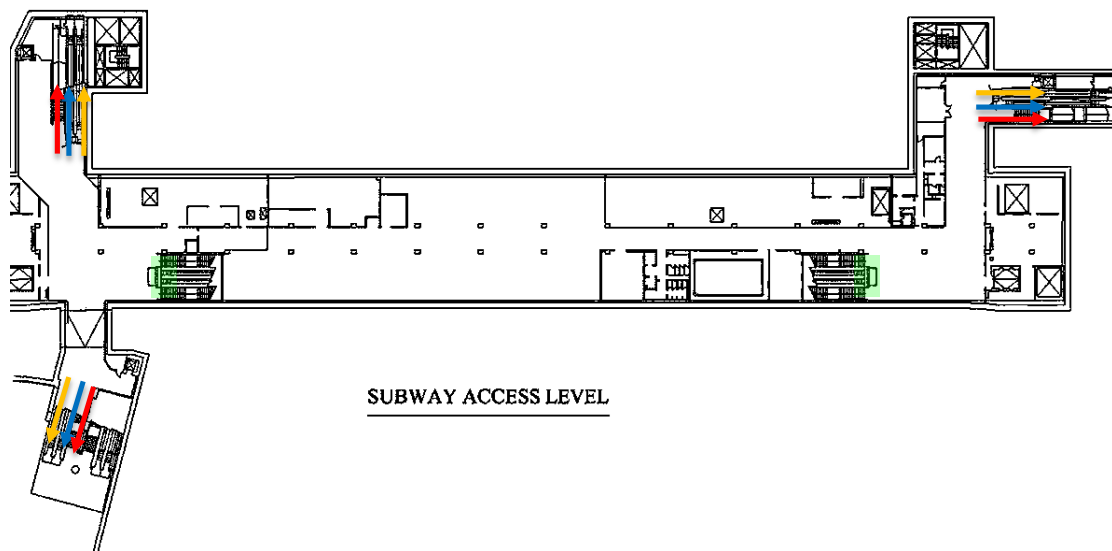


ภาพที่ 6-16 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 3

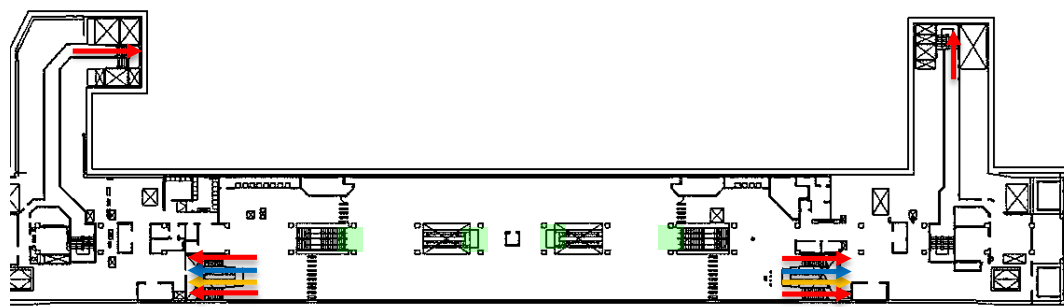
จากภาพที่ 6-14, 6-15 และ 6-16 แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลออกของการอพยพที่ส่วนการอพยพต่าง ๆ คือ จากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสามารถสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ ซึ่งจะเห็นว่าที่เวลาเริ่มต้นความลาดชันจะน้อยเนื่องจากผู้โดยสารเริ่มทยอยออกจากพื้นที่ที่พิจารณา จนกระทั่งความลาดชันของกราฟคงที่ เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพมีอัตราการระบายที่เต็มความจุนั่นเอง โดยการอพยพในส่วนของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางกรณีพิจารณาที่ 3 นั้น อัตราการไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารประมาณ 675 คน/นาที และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 875 คน/นาที

2. เวลาการอพยพผู้โดยสารรูปแบบสถานีที่ 3 สถานีสุขุมวิท

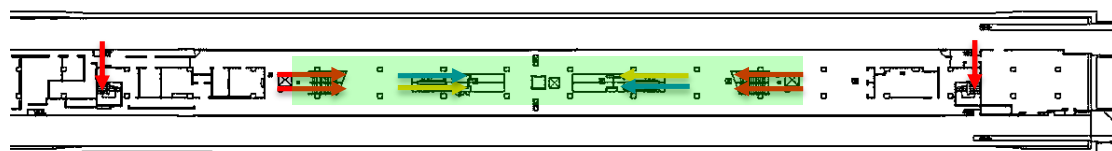
ในการวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทนั้นตัวแปรที่จะถูกนำมาวิเคราะห์จะประกอบไปด้วย อัตราการไหล ความเร็ว และเวลาการเดินทาง โดยลำดับการจำลองสมมติฐานแต่ละกรณีแสดงดังภาพที่ 6-7



SUBWAY ACCESS LEVEL



CONCOURSE LEVEL



PLATFORM LEVEL

- หมายเหตุ: กรณีที่ 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน ← (Red arrow)
- กรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง ← (Red arrow), ← (Yellow arrow)
- กรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 2 เครื่อง ← (Red arrow), ← (Yellow arrow), ← (Blue arrow)

ภาพที่ 6-17 การกำหนดสมมติฐานการอพยพสถานีสุขุมวิททั้ง 3 กรณี

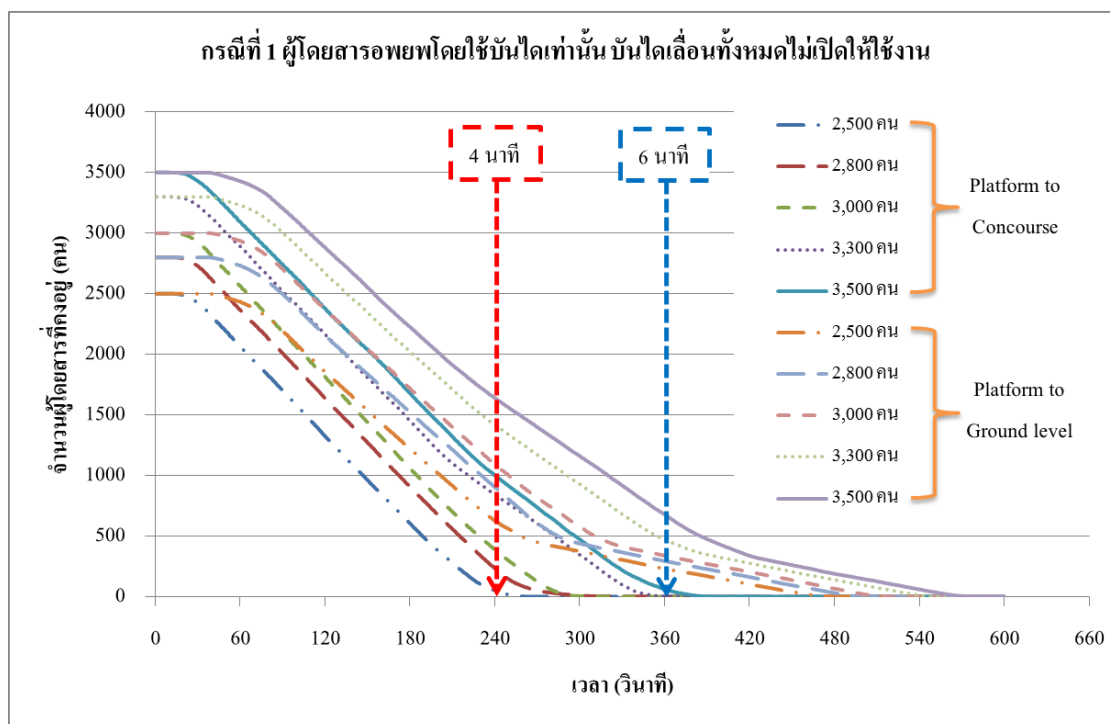
2.1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน
ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้ใต้ดินสุขุมวิทกรณีที่ 1
ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน ถูกแสดงดังตารางที่ 5-13

ตารางที่ 6-10 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้ใต้ดินสุขุมวิท กรณีที่ 1

ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,500	2,800	3,000	3,300	3,500
ชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	584	567	567	559	567
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	34	30	29	26	26
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	127	140	146	169	178
ชั้นออกบัตรโดยสารไปยังชั้นขายสินค้า					
อัตราการไหล (คน/นาที)	609	617	609	617	617
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	29	28	27	26	25
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	123	137	150	165	180
ชั้นขายสินค้าไปจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	384	384	392	400	400
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	30	29	29	29	28
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	156	168	178	196	208

ตารางที่ 6-13 แสดงให้เห็นอัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟฟ้ใต้ดินสุขุมวิทแต่ละชั้นของสถานีที่มีอัตราการไหลที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอัตราการไหลออกจำกัดด้วยขนาดและจำนวนของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ ซึ่งในกรณีที่ 1 การไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 400 คน/นาที การไหลจากชั้นออกบัตรโดยสารไปยังชั้นขายสินค้ามีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 617 คน/นาที และจากชั้นขายสินค้าไปจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 392 คน/นาที และจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้นความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นตามด้วย

ตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากจุดที่ไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ซึ่งจากผลการจำลองการอพยพของสถานีหัวขบวนในสมมติฐานกรณีที่ 1 สามารถได้ผลการจำลองดังแสดงในภาพที่ 6-18



ภาพที่ 6-18 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 1

จากภาพที่ 6-18 แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลออกของการอพยพ จากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสามารถสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ ที่จะเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นความลาดชันจะน้อยเนื่องจากผู้โดยสารเริ่มออกจากพื้นที่ จนกระทั่งความลาดชันของกราฟคงที่ เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพมีอัตราการระบายที่เต็มความจุ โดยการอพยพในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท กรณีที่ 1 อัตราการไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารประมาณ 625 คน/นาที และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 650 คน/นาที

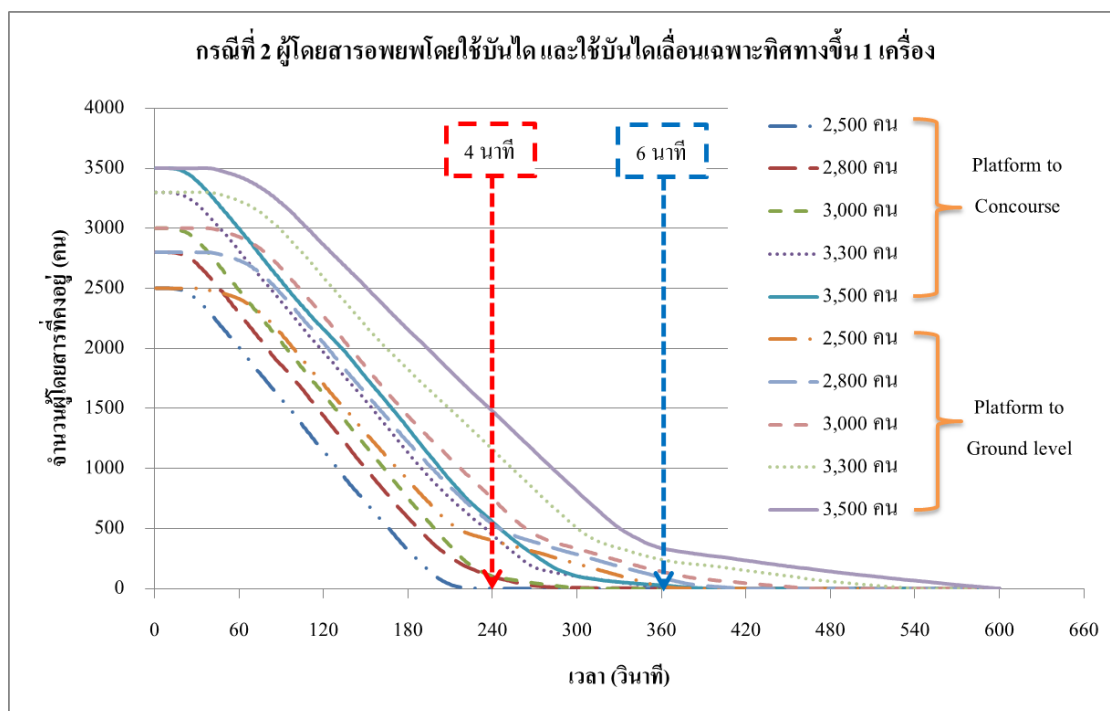
2.2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง
ผลการจำลองการอพยพบริเวณสถานีรถไฟฟ้ใต้ดินสุขุมวิทกรณีที่ 2 ผู้อพยพโดยใช้
บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง แสดงดังตารางที่ 6-14

ตารางที่ 6-11 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้ใต้ดินสุขุมวิท กรณีที่ 2

ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,500	2,800	3,000	3,300	3,500
ชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	600	592	600	592	592
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	34	31	30	27	29
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	113	124	129	147	152
ชั้นออกบัตรโดยสารไปยังชั้นขายสินค้า					
อัตราการไหล (คน/นาที)	634	634	617	634	625
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	31	30	31	30	30
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	116	128	136	152	166
ชั้นขายสินค้าไปจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	450	450	450	450	450
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	34	33	32	30	27
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	129	141	151	170	189

จากตารางที่ 6-14 อัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟฟ้ใต้ดินสุขุมวิทมี
อัตราการไหลที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอัตราการไหลออกถูกจำกัดด้วยขนาดและจำนวนของสิ่ง
อำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ ในกรณีที่ 2 การไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตร
โดยสารมีอัตราการไหลประมาณ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 592 คน/นาที การไหลจากชั้นออกบัตรโดยสารไป
ยังชั้นขายสินค้ามีอัตราการไหลประมาณ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 625 คน/นาที และจากชั้นขายสินค้าไปจุด
ปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 450 คน/นาที และจะเห็นได้ว่าที่
ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้นความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคน
เพิ่มขึ้นตาม

เวลาการอพยพตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากจุดที่ไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ซึ่งจากผลการจำลองการอพยพของสถานีสุขุมวิทในสมมติฐานกรณีที่ 2 สามารถได้ผลการจำลองดังแสดงในภาพที่ 6-19



ภาพที่ 6-19 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 2

จากภาพที่ 6-19 แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลออกของการอพยพที่ส่วนการอพยพจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ ซึ่งจะเห็นว่าที่เวลาเริ่มต้นความลาดชันจะน้อยเนื่องจากผู้โดยสารเริ่มออกจากพื้นที่ที่พิจารณา จนความลาดชันของกราฟพุ่งที่ เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพมีอัตราการระบายที่เต็มความจุ โดยการอพยพในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท กรณีพิจารณาที่ 2 อัตราการไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารประมาณ 695 คน/นาที และชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 713 คน/นาที

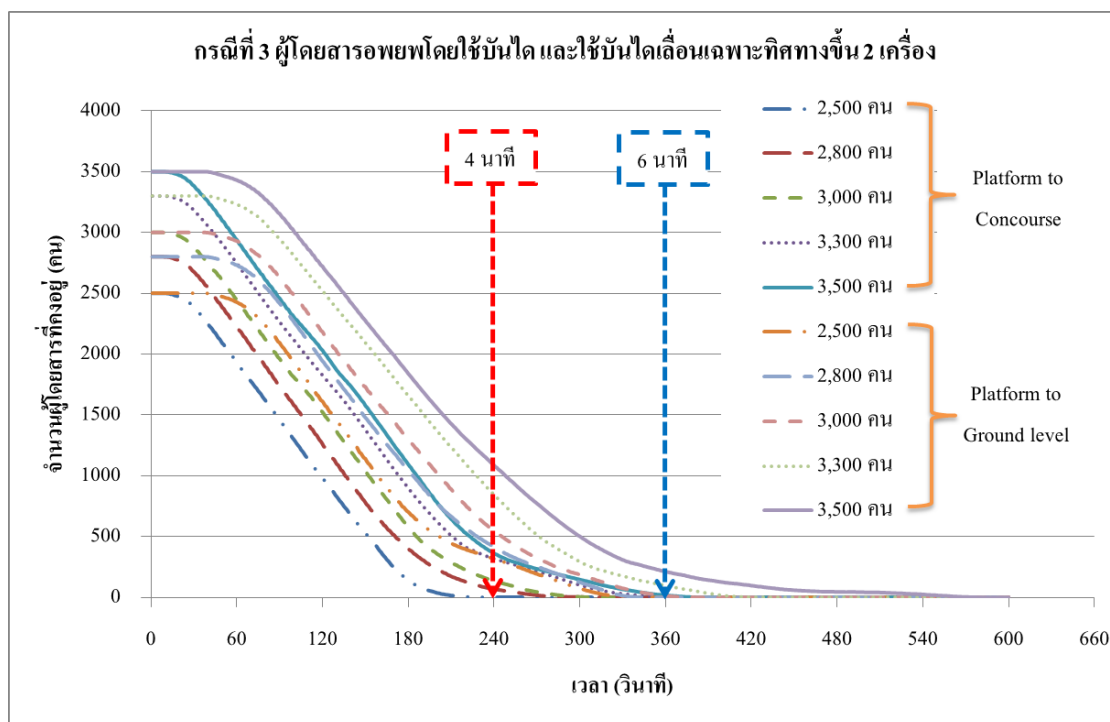
2.3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง
ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้ามหานครใต้ดินสุขุมวิทกรณีที่ 3
ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน ถูกแสดงดังตารางที่ 6-15

ตารางที่ 6-12 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้ามหานครใต้ดินสุขุมวิท กรณีที่ 3

ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,500	2,800	3,000	3,300	3,500
ชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	600	600	600	592	592
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	37	32	30	28	29
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	103	114	123	136	142
ชั้นออกบัตรโดยสารไปยังชั้นขายสินค้า					
อัตราการไหล (คน/นาที)	717	725	725	717	717
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	33	32	31	30	30
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	107	121	129	143	150
ชั้นขายสินค้าไปจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	559	550	550	567	550
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	37	35	35	33	33
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	117	128	137	151	163

จากตารางที่ 6-15 แสดงถึงอัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟฟ้ามหานครใต้ดินสุขุมวิท ที่มีอัตราการไหลออกถูกจำกัดด้วยขนาดและจำนวนของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ ในกรณีที่ 3 การไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 600 คน/นาที การไหลจากชั้นออกบัตรโดยสารไปยังชั้นขายสินค้ามีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 717 คน/นาที และจากชั้นขายสินค้าไปจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 550 คน/นาที และจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้นความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นตาม

การอพยพตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากจุดที่ไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรจะใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ซึ่งจากผลการจำลองการอพยพของสถานีสุขุมวิทในสมมติฐานกรณีที่ 1 สามารถได้ผลการจำลองดังแสดงในภาพที่ 6-20



ภาพที่ 6-20 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 3

จากภาพที่ 6-20 แสดงถึงอัตราการไหลออกของการอพยพ จากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ จะเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นความลาดชันจะน้อยเนื่องจากผู้โดยสารเริ่มออกจากพื้นที่ที่พิจารณา จนกระทั่งความลาดชันของกราฟคงที่ เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพมีอัตราการระบายที่เต็มความจุ โดยการอพยพในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท กรณีที่ 3 อัตราการไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารประมาณ 713 คน/นาที และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 738 คน/นาที

3. เวลาการอพยพผู้โดยสารรูปแบบสถานีที่ 2 สถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย

ในการวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยนั้นตัวแปรที่จะถูกนำมาวิเคราะห์จะประกอบไปด้วย อัตราการไหล และเวลาการเดินทาง โดยลำดับการจำลองสมมติฐานแต่ละกรณีแสดงดังภาพที่ 6-21



หมายเหตุ: กรณีที่ 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน ←
 กรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง ← ←
 กรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 2 เครื่อง ← ← ←

ภาพที่ 6-21 การกำหนดสมมติฐานการอพยพสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยทั้ง 3 กรณี

3.1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน

ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยกรณีที่ 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน ถูกแสดงดังตารางที่ 6-13

ตารางที่ 6-13 แสดงอัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

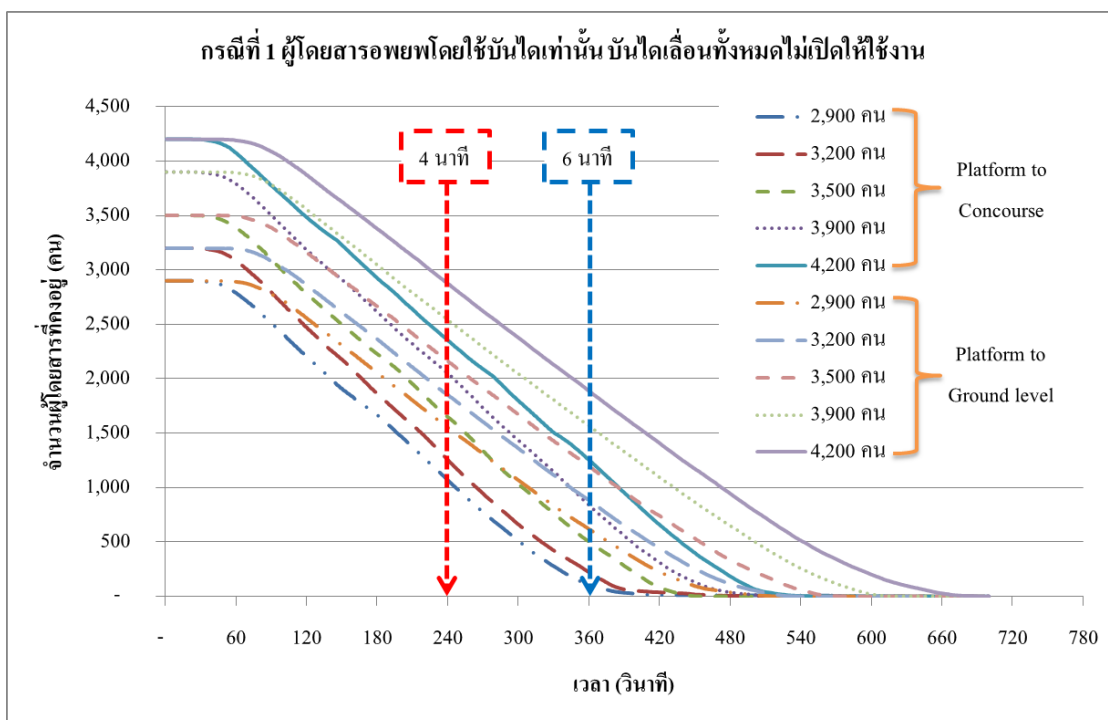
ศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยที่ถูกจำกัดด้วยขนาดและจำนวนของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ ในกรณีที่ 1 การไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นสายสีส้มมีอัตราการไหลประมาณโดย

เฉลี่ยเท่ากับ 442 คน/นาที จากชั้นสายสี่สั่มไปยังชั้นออกบัตรโดยสารมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 817 คน/นาที และจากชั้นออกบัตรโดยสารไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 400 คน/นาที และเห็นได้ว่าที่ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้นความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นตามด้วย

ตารางที่ 6-13 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย กรณีที่ 1

ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,900	3,200	3,500	3,900	4,200
ชั้นชานชาลาไปยังชั้นสายสี่สั่ม					
อัตราการไหล (คน/นาที)	442	450	433	433	442
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	41	43	44	42	42
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	194	203	224	242	262
ชั้นสายสี่สั่มไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	809	817	825	834	809
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	18	17	15	14	13
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	88	97	103	115	124
ชั้นออกบัตรโดยสารไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	400	400	400	400	400
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	27	25	24	22	23
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	228	246	266	288	310

เวลาการอพยพตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรจะใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ซึ่งจากผลการจำลองการอพยพของสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยในสมมติฐานกรณีที่ 1 สามารถได้ผลการจำลองดังแสดงในภาพที่ 6-22



ภาพที่ 6-22 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 1

จากภาพที่ 6-22 แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลออกของการอพยพที่ส่วนการอพยพจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ ซึ่งเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นความลาดชันจะน้อยเนื่องจากผู้โดยสารเริ่มทยอยออกจากพื้นที่ที่พิจารณา จนกระทั่งความลาดชันของกราฟคงที่เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพมีอัตราการระบายที่เต็มความจุ การอพยพในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย กรณีพิจารณาที่ 1 นั้น อัตราการไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารประมาณ 463 คน/นาที และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 575 คน/นาที

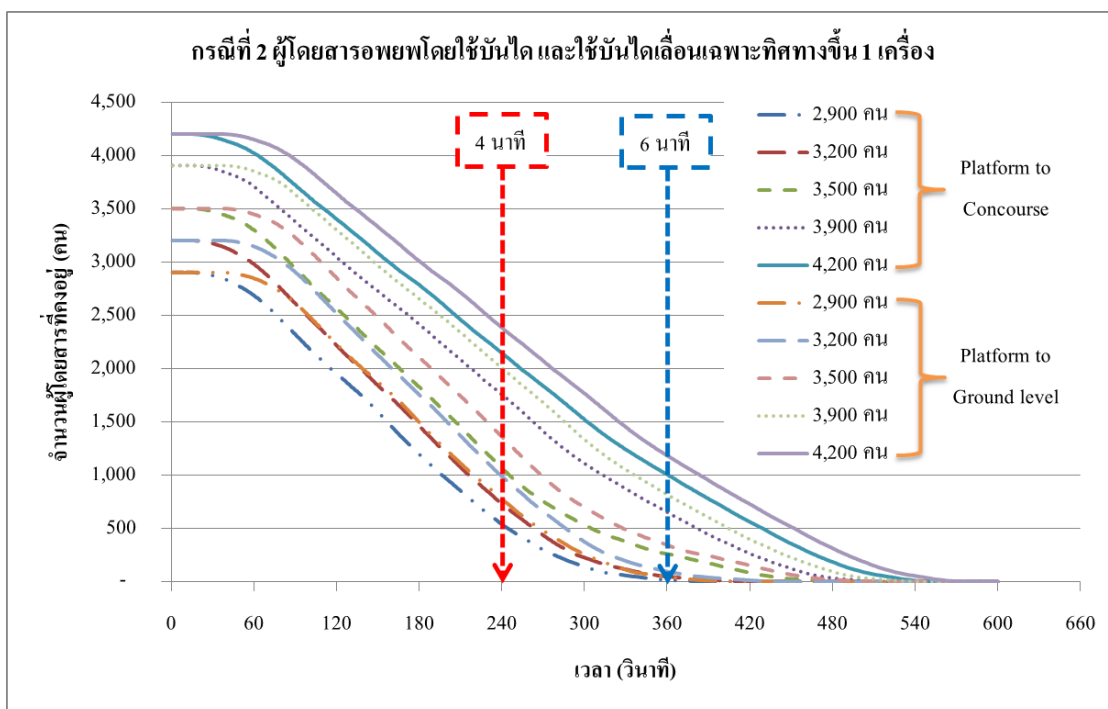
3.2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยกรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง ถูกแสดงดังตารางที่ 6-11

ตารางที่ 6-14 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรม
แห่งประเทศไทย กรณีที่ 2

ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,900	3,200	3,500	3,900	4,200
ชั้นชานชาลาไปยังชั้นสายสีส้ม					
อัตราการไหล (คน/นาที)	467	467	467	467	467
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	37	38	39	38	38
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	158	167	188	222	246
ชั้นสายสีส้มไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	642	625	634	625	634
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	18	17	16	14	14
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	94	103	112	123	134
ชั้นออกบัตรโดยสารไปจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	550	542	542	550	550
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	37	35	33	31	30
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	176	186	199	215	129

ตารางที่ 6-11 แสดงให้เห็นอัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย ที่ถูกจำกัดด้วยขนาดและจำนวนของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ ในกรณีที่ 2 การไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นสายสีส้มมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 467 คน/นาที การไหลจากชั้นสายสีส้มไปยังชั้นออกบัตรโดยสารมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 634 คน/นาที และจากชั้นออกบัตรโดยสารไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 550 คน/นาที และที่ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้นความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นตามด้วย

ตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากจุดที่ไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรจะใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ซึ่งผลการจำลองการอพยพของสถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยในสมมติฐานกรณีที่ 2 ได้ผลการจำลองดังแสดงในภาพที่ 6-23



ภาพที่ 6-23 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 2

จากภาพที่ 6-23 แสดงถึงอัตราการไหลออกของการอพยพ จากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสามารถสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ ซึ่งเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นความลาดชันจะน้อย เนื่องจากผู้โดยสารเริ่มทยอยออกจากพื้นที่ที่พิจารณา จนกระทั่งความลาดชันของกราฟคงที่ เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพมีอัตราการระบายที่เต็มความจุ โดยการอพยพในส่วนของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย กรณีที่ 2 นั้น อัตราการไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารประมาณ 575 คน/นาที และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 763 คน/นาที

3.3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง

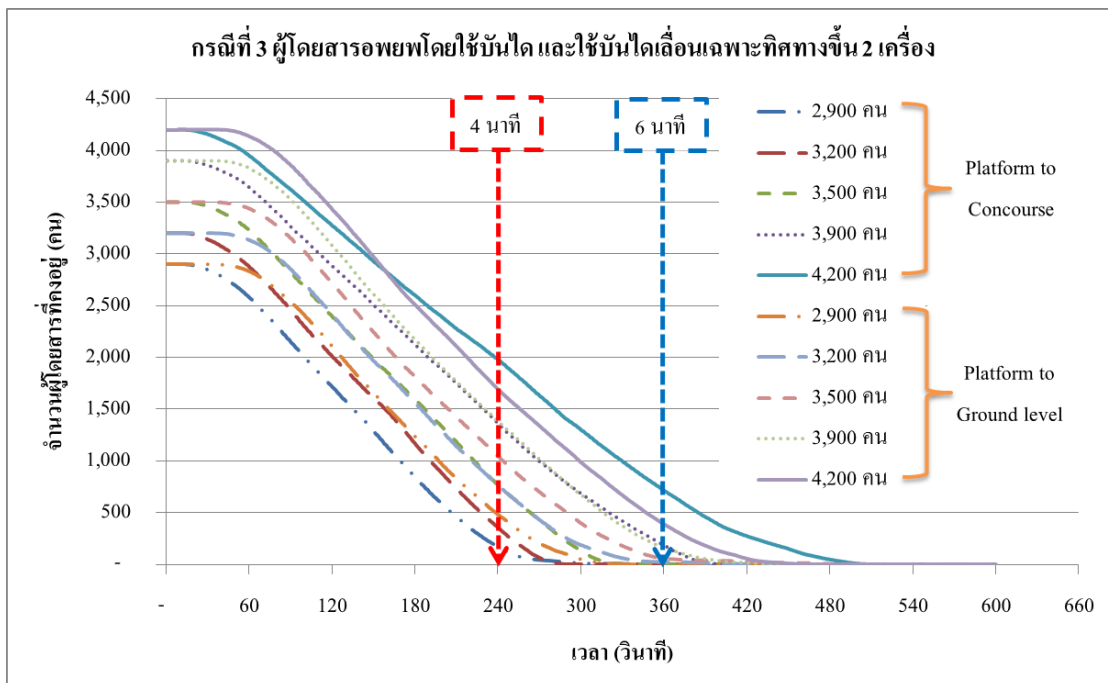
ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารที่สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยกรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง ดังตารางที่ 6-12

ตารางที่ 6-15 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรม
แห่งประเทศไทย กรณีที่ 3

ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,900	3,200	3,500	3,900	4,200
ชั้นชานชาลาไปยังชั้นสายสีส้ม					
อัตราการไหล (คน/นาที)	600	584	617	600	600
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	38	40	39	40	39
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	134	144	163	191	226
ชั้นสายสีส้มไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	892	892	892	884	875
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	18	17	16	14	14
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	81	88	94	103	115
ชั้นออกบัตรโดยสารไปจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	609	600	584	617	617
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	40	37	35	35	34
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	150	163	174	185	200

จากตารางที่ 6-15 แสดงให้เห็นอัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย ที่ถูกจำกัดด้วยขนาดและจำนวนของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ ในกรณีที่ 3 การไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นสายสีส้มมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 600 คน/นาที การไหลจากชั้นสายสีส้มไปยังชั้นออกบัตรโดยสารมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 817 คน/นาที และจากชั้นออกบัตรโดยสารไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 600 คน/นาที และจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้น ความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นตามด้วย

เวลาการอพยพตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากจุดที่ไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรจะใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ซึ่งจากผลการจำลองการอพยพของสถานีห้วยขวางในสมมติฐานกรณีที่ 3 สามารถได้ผลการจำลองดังแสดงในภาพที่ 6-24

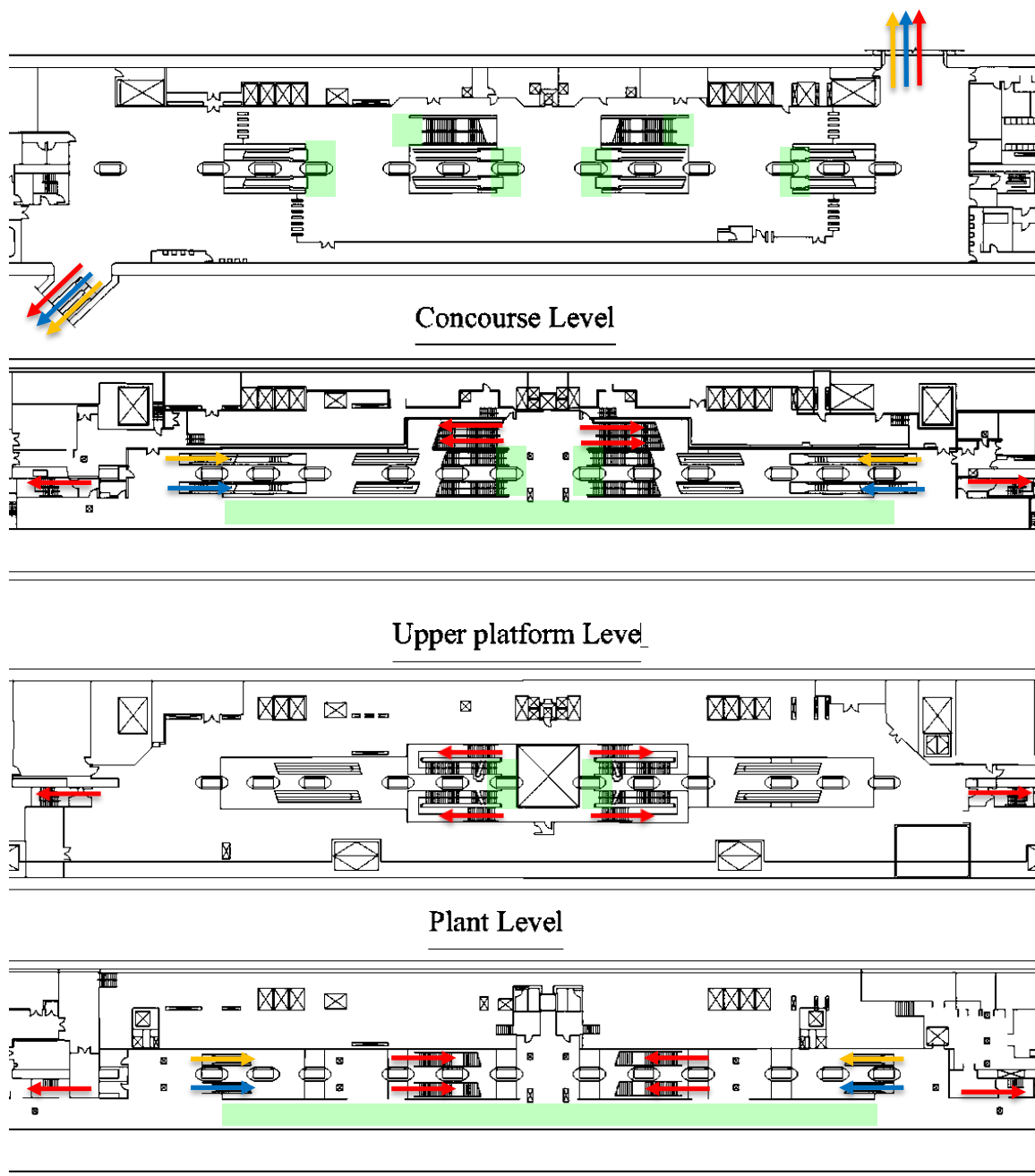


ภาพที่ 6-24 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้ใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยจากชั้นชานชาลา ไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดิน กรณีที่ 3

จากภาพที่ 6-24 แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลออกของการอพยพ จากชั้นชานชาลา ไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสามารถสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ ซึ่งเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นความลาดชันจะน้อย เนื่องจากผู้โดยสารเริ่มทยอยออกจากพื้นที่ที่พิจารณา จนกระทั่งความลาดชันของกราฟคงที่ เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพมีอัตราการระบายที่เต็มความจุนั่นเอง โดยการอพยพในส่วนของสถานีรถไฟฟ้ใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย กรณีพิจารณาที่ 3 อัตราการไหลจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารประมาณ 650 คน/นาที และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 913 คน/นาที

4. เวลาการอพยพผู้โดยสารรูปแบบสถานีที่ 4 สถานีสีลม

ในการวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้ใต้ดินสีลม นั้นตัวแปรที่จะถูกนำมาวิเคราะห์จะประกอบไปด้วย อัตราการไหล ความเร็ว และเวลาการเดินทาง โดยลำดับการจำลองสมมติฐานแต่ละกรณีแสดงดังภาพที่ 6-25



Concourse Level

Upper platform Level

Plant Level

Lower platform Level

หมายเหตุ: 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน ←
 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง ← ←
 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 2 เครื่อง ← ← ←

ภาพที่ 6-25 การกำหนดสมมติฐานการอพยพสถานีสีลมทั้ง 3 กรณี

4.1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน

ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินสีลมครั้งที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน ถูกแสดงดังตารางที่ 6-16

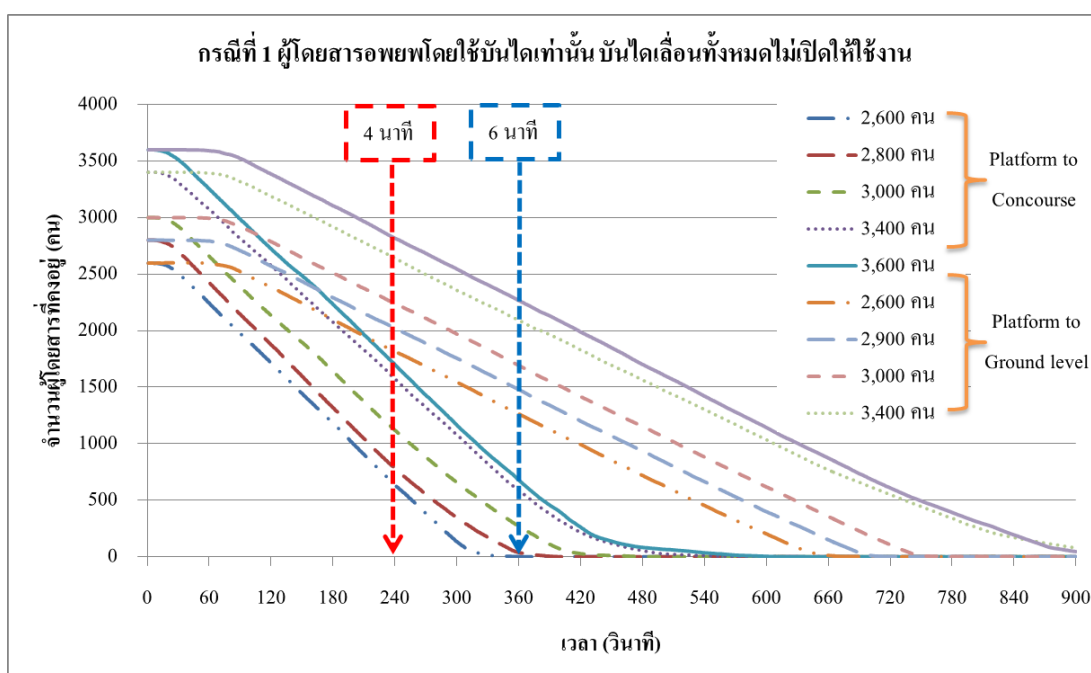
ตารางที่ 6-16 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินสีลม ครั้งที่ 1

ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,600	2,800	3,000	3,400	3,600
ชั้นชานชาลาชั้นล่างไปยังชั้นห้องเครื่อง					
อัตราการไหล (คน/นาที)	484	484	509	475	459
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	38	37	35	34	33
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	85	87	92	115	125
ชั้นห้องเครื่องไปชานชาลาชั้นบน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	442	417	450	450	434
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	18	18	17	16	15
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	89	94	99	110	116
ชั้นชานชาลาชั้นบนไปชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	442	434	417	417	417
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	19	19	19	18	19
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	164	173	197	216	229
ชั้นออกบัตรโดยสารไปจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	250	250	250	250	250
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	20	20	20	20	19
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	326	351	376	423	489

จากตารางที่ 6-16 แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟใต้ดินสีลม ที่มีอัตราการไหลออกถูกจำกัดด้วยขนาดและจำนวนของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ ในกรณีที่ 1 การไหลจากชั้นชานชาลาชั้นล่างไปยังชั้นห้องเครื่องมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 484 คน/นาที การไหลชั้นห้องเครื่องไปชานชาลาชั้นบนมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 442 คน/นาที การไหลจากชั้นชานชาลาชั้นบนไปชั้นออกบัตรโดยสารมี

อัตราการไหลประมาณ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 425 คน/นาที และจากชั้นออกบัตรโดยสารไปจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 250 คน/นาที และที่ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้น ความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นตาม

เวลาการอพยพตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากจุดที่ไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรจะใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ซึ่งจากผลการจำลองการอพยพของสถานีสี่ลมในสมมติฐานกรณีที่ 1 สามารถได้ผลการจำลองดังแสดงในภาพที่ 6-26



ภาพที่ 6-26 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสี่ลมจากชั้นชานชาลา ไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 1

จากภาพที่ 6-26 แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลออกของการอพยพ จากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าที่เวลาเริ่มต้นความลาดชันจะน้อย เนื่องจากผู้โดยสารเริ่มออกจากพื้นที่ที่พิจารณา จนกระทั่งความลาดชันของกราฟคงที่ เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพมีอัตราการระบายที่เต็มความจุ โดยการอพยพในส่วน of สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสี่ลม กรณีพิจารณาที่ 1 อัตราการไหลอ้อมตัวจากชั้นชานชาลาไปยังชั้น

ออกบัตรโดยสารมีค่าประมาณ 463 คน/นาที และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 325 คน/นาที

4.2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง

ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินสีลมกรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน ถูกแสดงดังตารางที่ 6-17

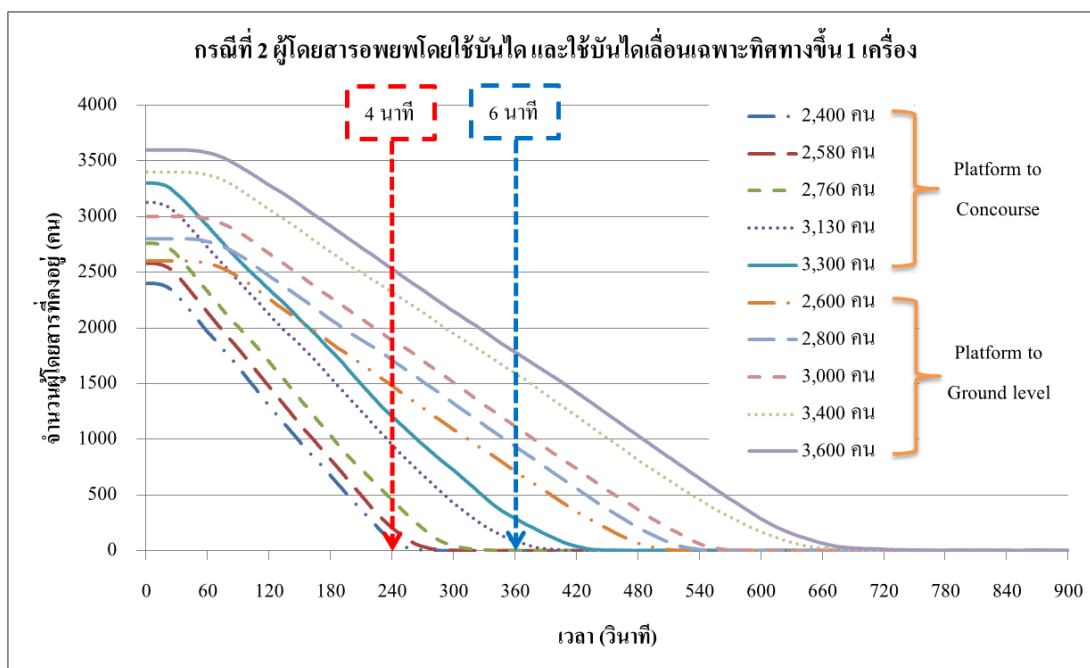
ตารางที่ 6-17 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินสีลม กรณีที่ 2

ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,600	2,800	3,000	3,400	3,600
ชั้นชานชาลาชั้นล่างไปยังชั้นห้องเครื่อง					
อัตราการไหล (คน/นาที)	400	409	400	392	384
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	42	39	38	37	36
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	79	86	89	97	116
ชั้นห้องเครื่องไปชานชาลาชั้นบน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	392	375	392	384	384
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	21	20	19	17	17
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	77	82	87	97	101
ชั้นชานชาลาชั้นบนไปชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	534	534	525	534	517
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	23	22	22	21	18
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	128	135	146	177	195
ชั้นออกบัตรโดยสารไปจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	334	334	342	325	334
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	23	23	23	22	22
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	245	264	277	316	333

จากตารางที่ 6-17 แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟใต้ดินสีลม ที่อัตราการไหลออกถูกจำกัดด้วยขนาดและจำนวนของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ ซึ่งในกรณีที่ 2 การไหลจากชั้นชานชาลาชั้นล่างไปยังชั้นห้องเครื่องมีอัตราการไหล

ประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 400 คน/นาที การไหลขึ้นห้องเครื่องไปชานชาลาชั้นบนมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 392 คน/นาที การไหลจากชั้นชานชาลาชั้นบนไปยังชั้นออกบัตรโดยสารมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 359 คน/นาที และจากชั้นออกบัตรโดยสารไปจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 334 คน/นาที และที่ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้นความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นตามด้วย

เวลาการอพยพตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากจุดที่ไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรจะใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ซึ่งจากผลการจำลองการอพยพของสถานีสีลมในสมมติฐานกรณีที่ 2 สามารถได้ผลการจำลองดังแสดงในภาพที่ 6-27



ภาพที่ 6-27 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลมจากชั้นชานชาลา ไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดินกรณีที่ 2

จากภาพที่ 6-27 แสดงถึงอัตราการไหลออกของการอพยพ จากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นความลาดชันจะน้อยเนื่องจากผู้โดยสารเริ่มออกจากพื้นที่ที่พิจารณา จนกระทั่งความลาดชันของกราฟคงที่ เนื่องจากความจุของ

สิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพมีอัตราการระบายที่เต็มความจุ โดยการอพยพในส่วนของ สถานีรถไฟใต้ดินสีลม กรณีพิจารณาที่ 2 อัตราการไหลอ้อมตัวจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารมีค่าประมาณ 525 คน/นาที และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 463 คน/นาที

4.3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง

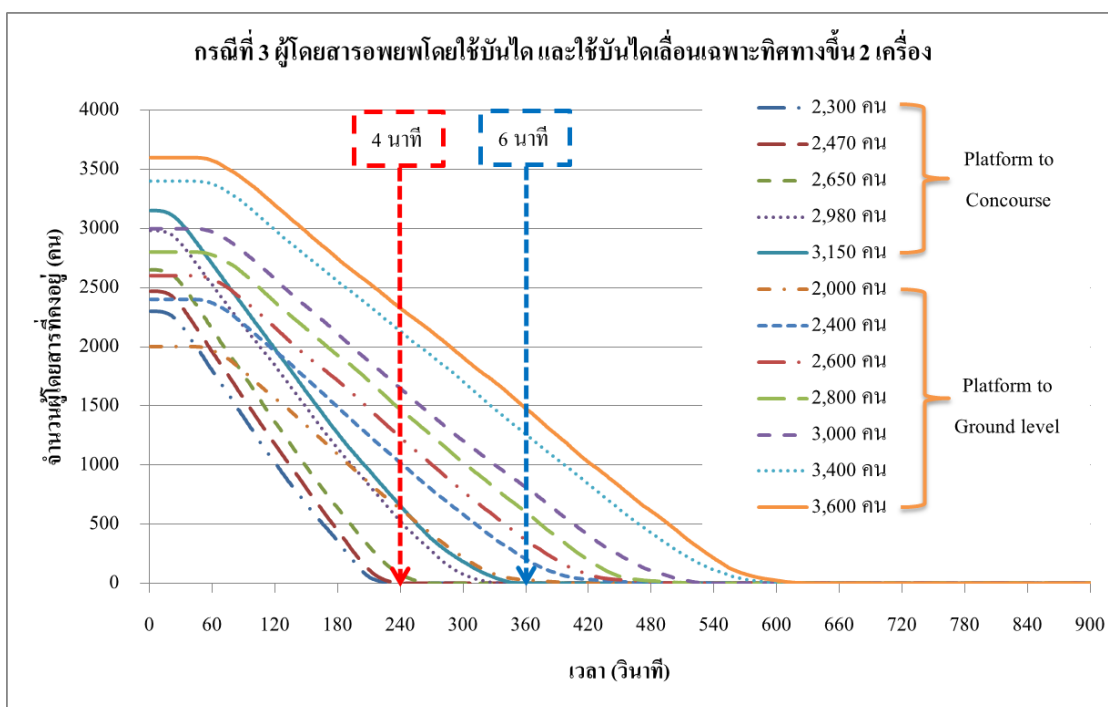
ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินสีลมกรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน ถูกแสดงดังตารางที่ 6-18

ตารางที่ 6-18 ผลการจำลองการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินสีลม กรณีที่ 3

ตัวแปร	จำนวนผู้อพยพ (คน)				
	2,600	2,800	3,000	3,400	3,600
ชั้นชานชาลาชั้นล่างไปยังชั้นห้องเครื่อง					
อัตราการไหล (คน/นาที)	584	584	600	600	575
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	44	42	40	38	38
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	218	131	137	160	180
ชั้นห้องเครื่องไปชานชาลาชั้นบน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	409	409	409	384	400
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	22	21	21	18	18
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	71	75	79	90	92
ชั้นชานชาลาชั้นบนไปชั้นออกบัตรโดยสาร					
อัตราการไหล (คน/นาที)	600	625	609	600	609
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	26	25	25	23	22
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	110	114	123	150	156
ชั้นออกบัตรโดยสารไปจุดปลอดภัยระดับผิวดิน					
อัตราการไหล (คน/นาที)	375	384	375	375	384
ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)	28	27	26	26	26
เวลาการเดินทางเฉลี่ย (วินาที)	211	228	242	277	291

จากตารางที่ 6-18 แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของผู้อพยพภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลมแต่ละชั้นของสถานีจะมีอัตราการไหลที่ใกล้เคียงกัน ที่ในกรณีนี้ 3 การไหลจากชั้นชานชาลาชั้นล่างไปยังชั้นห้องเครื่องมืออัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 392 คน/นาที การไหลจากชั้นห้องเครื่องไปชานชาลาชั้นบนมีอัตราการไหลประมาณ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 400 คน/นาที การไหลจากชั้นชานชาลาชั้นบนไปชั้นออกบัตรโดยสารมีอัตราการไหลประมาณโดยเฉลี่ยเท่ากับ 609 คน/นาที และจากชั้นออกบัตรโดยสารไปจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีอัตราการไหลประมาณ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 375 คน/นาที และจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณผู้อพยพเพิ่มขึ้นความเร็วเฉลี่ยในการอพยพจะลดลง ส่งผลให้เวลาการเดินทางเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นตามด้วย

เวลาการอพยพตามมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้ต้องมีการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องไม่เกิน 4 นาที และจากการอพยพจากจุดที่ไกลที่สุดบนชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินควรจะใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที ซึ่งจากผลการจำลองการอพยพของสถานีสีลมในสมมติฐานกรณีนี้ 3 สามารถได้ผลการจำลองดังแสดงในภาพที่ 6-28



ภาพที่ 6-28 เวลาการอพยพผู้โดยสารสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลมจากชั้นชานชาลา ไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจุดปลอดภัยระดับผิวดิน กรณีนี้ 3

จากภาพที่ 6-28 แสดงถึงอัตราการไหลออกของการอพยพ จากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน โดยอัตราการไหลออกสังเกตได้จากความลาดชันของกราฟ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นความลาดชันจะน้อยเนื่องจากผู้โดยสารเริ่มทยอยออกจากพื้นที่ที่พิจารณา จนกระทั่งความลาดชันของกราฟคงที่ เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพที่มีอัตราการระบายที่เต็มความจุ โดยการอพยพในสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินสีลม กรณีพิจารณาที่ 3 อัตราการไหลอ้อมตัวจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารมีค่าประมาณ 620 คน/นาที และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินมีค่าประมาณ 550 คน/นาที

อภิปรายผล

1. พฤติกรรมคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินในประเทศไทย

จากการศึกษาพฤติกรรมความเร็วของคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินในประเทศไทย พบว่าพฤติกรรมความเร็วของคนเดินเท้าเพศชายมีความเร็วในการเดินมากกว่าเพศหญิง และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างของความเร็วที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 หรือความแตกต่างของความเร็วการเคลื่อนที่ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ จะพบว่าความเร็วของคนเดินเท้าที่ถูกจำแนกของเพศของกลุ่มคนเดินเท้าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถจัดกลุ่มความเร็วของผู้โดยสารที่ใช้งานบริเวณสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินในประเทศไทยที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสถานีได้ 3 กลุ่ม ได้แก่

- 1.1 ผู้โดยสารอายุน้อยกว่า 15 ปี
- 1.2 ผู้โดยสารอายุระหว่าง 15-60 ปี
- 1.3 ผู้โดยสารอายุมากกว่า 60 ปี

โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้โดยสารในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินในประเทศไทยที่ตำแหน่งทางเดินปกติจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.60, 76.87 และ 54.56 เมตร/นาที สำหรับผู้โดยสารอายุน้อยกว่า 15 ปี อายุระหว่าง 15-60 ปี และอายุมากกว่า 60 ปี ตามลำดับ ที่บริเวณบันไดทิศทางขึ้นมีค่าความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 33.24, 35.80 และ 25.40 เมตร/นาที ความเร็วที่บันไดในทิศทางลงเฉลี่ยเท่ากับ 45.49, 49.08 และ 35.06 เมตร/นาที สำหรับผู้โดยสารอายุน้อยกว่า 15 ปี อายุระหว่าง 15-60 ปี และอายุมากกว่า 60 ปี ตามลำดับ และความเร็วของผู้โดยสารในการเดินขึ้นบันไดเลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 78.94, 84.40 และ 60.09 เมตร/นาที สำหรับผู้โดยสารอายุน้อยกว่า 15 ปี อายุระหว่าง 15-60 ปี และอายุมากกว่า 60 ปี ตามลำดับ

2. ประสิทธิภาพของขนาดและรูปแบบของบันไดภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

การวัดประสิทธิภาพของบันไดที่ใช้ในการอพยพ เพื่อใช้ในการพิจารณาการระบายผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่ได้รับการสร้างแบบจำลอง ในซอฟต์แวร์แบบจำลองคนเดินเท้า ที่ถูกปรับเทียบพฤติกรรมของคนเดินเท้าจากข้อมูลการสำรวจ โดยจากผลการสร้างแบบจำลอง พบว่าที่ความลาดชันของบันไดในช่วง 27–36 องศา มีผลกระทบต่อการระบายผู้อพยพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความลาดชันที่มากขึ้นจะทำให้ความยาวบันไดลดลงแต่เกิดความสะดอกสบายในการเคลื่อนที่น้อยลงตามมาด้วย ในทางกลับกันหากความลาดชันน้อยความยาวของบันไดจะเพิ่มขึ้นและเกิดความสะดอกสบายเพิ่มขึ้นตาม หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าความลาดชันมีผลกับความเร็วของคนเดินเท้า แต่อัตราการระบายการอพยพจะใกล้เคียงกันเนื่องจากถูกชดเชยด้วยความยาวของบันไดที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามความลาดชัน ซึ่งอาจถือได้ว่าที่ความลาดชันของบันไดระหว่าง 27–36 องศา มีอัตราการระบายการอพยพที่ไม่แตกต่างกัน

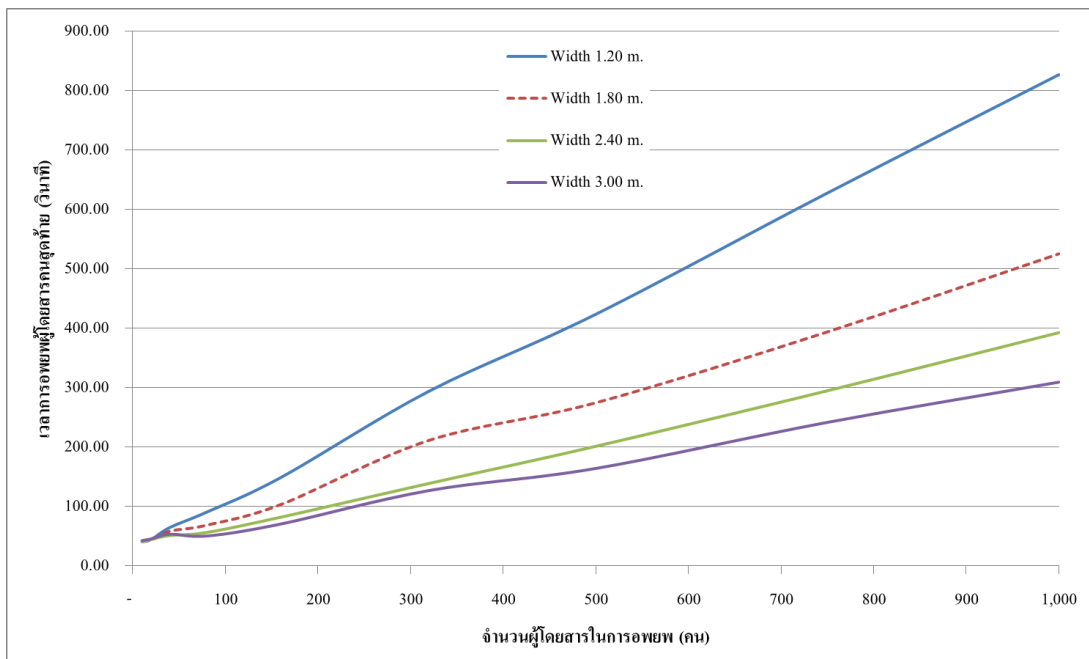
สำหรับความกว้างของบันไดมีผลต่อการระบายผู้อพยพ ถ้าหากมีการเพิ่มความกว้างที่เพียงพอต่อการระบายคนที่จำนวนต่าง ๆ สำหรับความกว้างของบันไดที่มากขึ้นจะช่วยระบายผู้โดยสารที่อพยพได้มากขึ้นด้วย ซึ่งการเพิ่มความกว้างของบันไดควรเพิ่มให้เพียงพอกับความกว้างของผู้อพยพ (0.60 เมตร) หากการเพิ่มความกว้างน้อยกว่าความกว้างของคนเดินเท้าจะส่งผลให้อัตราการไหลผ่านในการอพยพมีประสิทธิภาพการระบายผู้โดยสารที่ต่ำ และที่ระดับความกว้างของบันไดทั้งสามรูปแบบเท่ากันรูปแบบบันไดแบบทางตรงจะมีอัตราการไหลที่ดีกว่า ทางตรงคู่ และแบบหักกลับ ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาจำลองการแปรเปลี่ยนความกว้างของบันไดแต่ละรูปแบบที่ได้กล่าวมาในบทที่ 6 สามารถวิเคราะห์โดยรวมดังภาพที่ 6-29 – 6-31

อัตราการไหลผ่านของบันไดแต่ละรูปแบบ และที่ความกว้างของบันไดที่ระดับต่าง ๆ ได้ผลจากการสร้างแบบจำลองดังต่อไปนี้

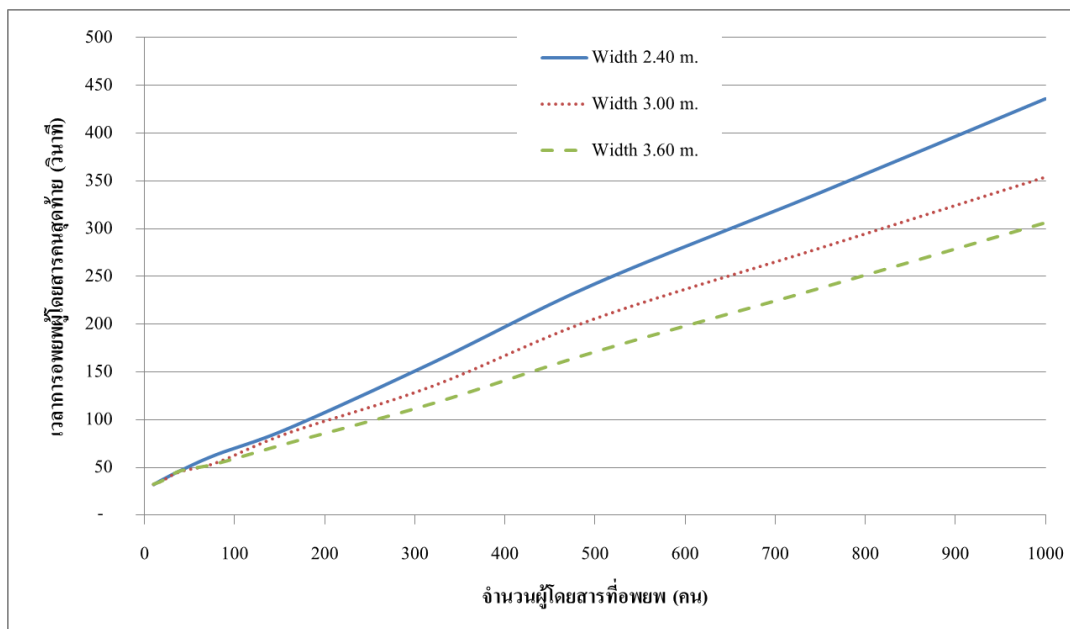
2.1 เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 1 บันไดแบบทางตรง พบว่าที่ความกว้าง 1.20, 1.80, 2.40 และ 3.00 เมตร มีอัตราการไหลผ่าน 5,040, 7,200, 9,720 และ 12,600 คน/นาที ตามลำดับ

2.2 เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 2 บันไดแบบทางตรงคู่ พบว่าที่ความกว้าง 2.40, 3.00 และ 3.60 เมตร มีอัตราการไหลผ่าน 9,920, 12,240 และ 14,400 คน/นาที ตามลำดับ

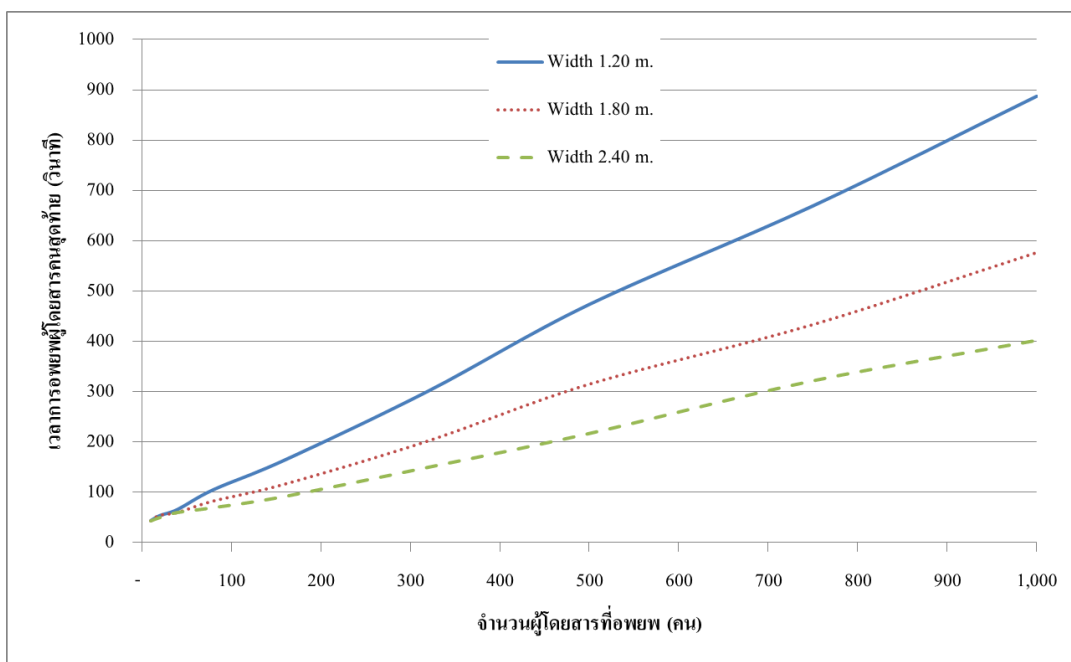
2.3 เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 3 บันไดแบบหักกลับ พบว่าที่ความกว้าง 1.20, 1.80 และ 2.40 เมตร มีอัตราการไหลผ่าน 3,960, 7,560 และ 8,640 คน/นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 6-29 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 1 บันไดทางตรง



ภาพที่ 6-30 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 2 บันไดทางตรงคู่



ภาพที่ 6-31 ความสัมพันธ์เวลาการอพยพผู้โดยสารคนสุดท้ายกับจำนวนคนเดินเท้าบนบันไดรูปแบบที่ 3 บันไดแบบหักกลับ

3. ประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารของรูปแบบโครงสร้างสถานีแบบต่าง ๆ

การพิจารณาประสิทธิภาพของการอพยพผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย ซึ่งพิจารณาจากรูปแบบสถานีที่ถูกแบ่งมาดังกล่าวข้างต้นแล้วนั้น ถูกลำนำสร้างและพัฒนาแบบจำลองในการอพยพผู้โดยสาร ที่ได้รับการปรับเทียบจากข้อมูลการสำรวจ โดยได้ผลการอพยพดังแสดงมาในหัวข้อก่อนหน้านี้ และในการพิจารณาประสิทธิภาพของการอพยพผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจากเวลาการอพยพที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพของการอพยพของแต่ละรูปแบบสถานีต่าง ๆ คือ

- 3.1 รูปแบบที่ 1 สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง
- 3.2 รูปแบบที่ 2 สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย
- 3.3 รูปแบบที่ 3 สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท
- 3.4 รูปแบบที่ 4 สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลม

โดยแต่ละรูปแบบสถานีจะถูกกำหนดสมมติฐานในการพิจารณาการใช้ทางออก และสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ ได้แก่ บันได และบันไดเลื่อน โดยพิจารณาเป็น 3 กรณีดังต่อไปนี้

- กรณีที่ 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน
 กรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง
 กรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง

จากการจำลองการอพยพผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย ที่ถูกเลือกเป็นกรณีศึกษาดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้น หนึ่งในความสัมพันธ์ที่น่าสนใจ คือ เวลาการเดินทางเฉลี่ยกับระยะทางในการเคลื่อนที่ของผู้อพยพภายในสถานีต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6-19

ตารางที่ 6-19 แสดงเวลาการเดินทางของผู้อพยพเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มสถานีรถไฟฟ้าที่ถูกเลือกเป็นตัวแทนในการศึกษาในการอพยพนั้น ๆ พบว่าเวลาการเดินทางของผู้อพยพจะลดลงเมื่อมีการเปิดใช้บันไดเลื่อนในการอพยพผู้โดยสาร และที่จำนวนของผู้อพยพลดลง โดยการเปิดบันไดเลื่อน 1 เครื่อง (กว้าง 1 เมตร ความลาดชัน 30 องศา และความเร็ว 30 เมตรต่อนาที) จะสามารถลดเวลาการเดินทางเฉลี่ยได้ประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ จากชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินจะสามารถลดเวลาการเดินทางเฉลี่ยได้ประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้หากสังเกตจะเห็นได้ว่ากลุ่มของสถานีที่มีชานชาลาแบบเกาะกลางเมื่อมีการเปิดใช้งานบันไดเลื่อน 2 เครื่อง เวลาการเดินทางของผู้อพยพเฉลี่ยจะมีความแตกต่างกันไม่มาก ยกเว้นกลุ่มสถานีที่มีชานชาลาแบบแบ่งชั้นที่จำนวนผู้อพยพเท่ากันจะมีเวลาการเดินทางในการอพยพมากกว่า อาจเนื่องจากระยะทางในการอพยพที่มีความยาว และความลึกมากกว่ากลุ่มสถานีอื่น ๆ และยังพบว่าเวลาการอพยพจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการระบายผู้อพยพของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพด้วย เช่น บันไดกว้าง 1.80 เมตร (ความลาดชัน 30 องศา) สามารถระบายผู้อพยพเฉลี่ยประมาณ 120 คนต่อนาที บันไดเลื่อน 1 เครื่อง (กว้าง 1 เมตร ความลาดชัน 30 องศา และความเร็ว 30 เมตรต่อนาที) ระบายผู้อพยพได้เฉลี่ยประมาณ 80-100 คนต่อนาที สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอพยพแต่ละรูปแบบสถานีถูกแสดงในตารางที่ 6-20 -6-23

ตารางที่ 6-19 เวลาการเดินทางเฉลี่ยในการอพยพผู้โดยสารในแต่ละสถานี

จำนวน ผู้อพยพ (คน)	เวลาการเดินทางของผู้อพยพเฉลี่ย (วินาที)											
	สถานีห้วยขวาง			สถานีสุขุมวิท			สถานีศูนย์วัฒนธรรม แห่งประเทศไทย			สถานีสีลม		
	กรณี ที่ 1	กรณี ที่ 2	กรณี ที่ 3	กรณี ที่ 1	กรณี ที่ 2	กรณี ที่ 3	กรณี ที่ 1	กรณี ที่ 2	กรณี ที่ 3	กรณี ที่ 1	กรณี ที่ 2	กรณี ที่ 3
ขานขาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสาร												
2,500	-	-	-	127	113	103	-	-	-	-	-	-
2,600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	315	240	210
2,800	-	-	-	140	124	114	-	-	-	340	255	220
2,900	149	126	160	-	-	-	194	158	134	-	-	-
3,000	-	-	-	146	129	123	-	-	-	375	280	240
3,200	164	141	141	-	-	-	203	167	144	-	-	-
3,300	-	-	-	169	147	136	-	-	-	-	-	-
3,400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	420	345	285
3,500	173	160	160	178	152	142	224	188	163			
3,600	-	-	-	-	-	-				440	400	300
3,900	189	184	184	-	-	-	242	222	191	-	-	-
4,200	236	218	218	-	-	-	262	246	226	-	-	-
ขานขาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดิน												
2,500	-	-	-	340	270	235	-	-	-	-	-	-
2,600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	640	470	415
2,800	-	-	-	360	295	255	-	-	-	690	500	435
2,900	400	315	260	-	-	-	430	310	270	-	-	-
3,000	-	-	-	380	315	280	-	-	-	730	540	480
3,200	440	340	280	-	-	-	465	345	300	-	-	-
3,300	-	-	-	410	350	300	-	-	-	-	-	-
3,400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	840	600	540
3,500	465	360	300	440	375	320	510	370	320			
3,600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	885	650	570
3,900	510	400	320	-	-	-	550	460	360	-	-	-
4,200	575	420	350	-	-	-	600	480	390	-	-	-

ตารางที่ 6-20 ประสิทธิภาพเวลาการอพยพสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวาง

การเทียบประสิทธิภาพ	ปริมาณคนเดินเท้า					เฉลี่ย
	2,900	3,200	3,500	3,900	4,200	
กรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 2 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออก บัตรโดยสาร	18	22	23	17	18	20
ชานชาลาชั้นล่างถึงจุด ปลอดภัยระดับผิวดิน	27	28	33	34	28	30
กรณีที่ 2 เทียบกับกรณีที่ 3 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออก บัตรโดยสาร	0	0	0	0	0	0
ชานชาลาชั้นล่างถึงจุด ปลอดภัยระดับผิวดิน	18	21	14	18	20	18
กรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 3 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออก บัตรโดยสาร	21	23	23	18	18	21
ชานชาลาชั้นล่างถึงจุด ปลอดภัยระดับผิวดิน	41	43	42	46	42	43

ตารางที่ 6-20 แสดงประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ที่เป็นรูปแบบสถานีที่ 1 โดยมีสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินห้วยขวางถูกเลือกมาใช้เป็นกรณีศึกษา จากรูปแบบสถานีที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเวลาการอพยพผู้โดยสาร จะพิจารณาเวลาการอพยพที่ได้จากการจำลอง พบว่าประสิทธิภาพการอพยพจากชั้นชานชาลาถึงชั้นออกบัตรโดยสารมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันกับการอพยพชานชาลาชั้นล่างถึงจุดปลอดภัยระดับผิวดิน เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของสถานีที่ถูกจำกัดด้วยสิ่งอำนวยความสะดวก การอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาถึงชั้นออกบัตรโดยสารมีประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจากกรณีที่ 1 จะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากรูปแบบสถานีที่ 1 นี้มีบันไดเลื่อนจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารเพียงเครื่องเดียวจึงสามารถ

เปรียบเทียบได้เพียงกรณีผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน และกรณีผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่องเท่านั้น และประสิทธิภาพการอพยพจากชานชาลาถึงจุดปลอดภัยระดับผิวดิน พบว่าประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินจากกรณีที่ 1 จะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการอพยพเป็นไปตามกรณีที่ 2 และเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 43 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผู้โดยสารอพยพตามกรณีที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอพยพกรณีที่ 2 กับกรณีที่ 3 จะพบว่าประสิทธิภาพการอพยพมากขึ้นเฉลี่ย 18 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่าบันไดเลื่อน 1 เครื่องสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอพยพได้ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6-21 ประสิทธิภาพเวลาการอพยพสถานีรถไฟใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย

การเทียบประสิทธิภาพ	ปริมาณคนเดินเท้า					เฉลี่ย
	2,900	3,200	3,500	3,900	4,200	
กรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 2 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออก บันไดโดยสาร	11	9	13	15	12	12
ชานชาลาชั้นล่างถึงจุด ปลอดภัยระดับผิวดิน	18	16	14	15	16	16
กรณีที่ 2 เทียบกับกรณีที่ 3 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออก บันไดโดยสาร	15	30	30	22	17	23
ชานชาลาชั้นล่างถึงจุด ปลอดภัยระดับผิวดิน	18	18	22	21	20	20
กรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 3 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออก บันไดโดยสาร	25	36	39	34	26	32
ชานชาลาชั้นล่างถึงจุด ปลอดภัยระดับผิวดิน	33	31	33	33	33	33

ตารางที่ 6-21 แสดงประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน รูปแบบสถานีที่ 2 โดยมีสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทยถูกเลือกมาใช้เป็นกรณีศึกษา ที่ซึ่งการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเวลาการอพยพผู้โดยสาร จะพิจารณาเวลาการอพยพที่ได้จากการจำลอง พบว่าประสิทธิภาพการอพยพจากชั้นชานชาลาถึงชั้นออกบัตรโดยสารมี ประสิทธิภาพที่แตกต่างกันกับการอพยพชานชาลาชั้นล่างถึงจุดปลอดภัยระดับผิวดิน เนื่องจาก ลักษณะทางกายภาพของสถานีที่ถูกจำกัดด้วยสิ่งอำนวยความสะดวก การอพยพผู้โดยสารจากชั้น ชานชาลาถึงชั้นออกบัตรโดยสารมีประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน จากกรณีที่ 1 จะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 12 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการอพยพเป็นไปตามกรณีที่ 2 และเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 32 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผู้โดยสารอพยพตามกรณีที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการอพยพกรณีที่ 2 กับกรณีที่ 3 จะพบว่าประสิทธิภาพการอพยพมากขึ้นเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่าบันไดเลื่อน 1 เครื่องสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอพยพได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการอพยพจากชานชาลาถึงจุดปลอดภัยระดับผิวดิน พบว่า ประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจากกรณีที่ 1 จะมีประสิทธิภาพเพิ่ม มากขึ้นเฉลี่ย 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการอพยพเป็นไปตามกรณีที่ 2 และเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 33 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผู้โดยสารอพยพตามกรณีที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอพยพกรณีที่ 2 กับกรณีที่ 3 จะพบว่าประสิทธิภาพการอพยพมากขึ้นเฉลี่ย 20 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่าบันได เลื่อน 1 เครื่องสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอพยพได้ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6-22 แสดงประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน รูปแบบสถานีที่ 3 โดยมีสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทถูกเลือกมาใช้เป็นกรณีศึกษา จากรูปแบบ สถานีที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเวลาการอพยพผู้โดยสารพิจารณาจาก เวลาการอพยพที่ได้จากการจำลอง พบว่าประสิทธิภาพการอพยพจากชั้นชานชาลาถึงชั้นออกบัตร โดยสารมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันกับการอพยพชานชาลาชั้นล่างถึงจุดปลอดภัยระดับผิวดิน เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของสถานีที่ถูกจำกัดด้วยสิ่งอำนวยความสะดวก การอพยพผู้โดยสาร จากชั้นชานชาลาถึงชั้นออกบัตรโดยสารมีประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟ ฟ้าใต้ดินจากกรณีที่ 1 จะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 13 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการอพยพเป็นไปตาม กรณีที่ 2 และเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผู้โดยสารอพยพตามกรณีที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการอพยพกรณีที่ 2 กับกรณีที่ 3 จะพบว่าประสิทธิภาพการอพยพมากขึ้นเฉลี่ย 3 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่าบันไดเลื่อน 1 เครื่องสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอพยพได้ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการอพยพจากชานชาลาถึงจุดปลอดภัยระดับผิวดิน พบว่า

ประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินจากกรณีที่ 1 จะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 18 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการอพยพเป็นไปตามกรณีที่ 2 และเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 31 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผู้โดยสารอพยพตามกรณีที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอพยพกรณีที่ 2 กับกรณีที่ 3 จะพบว่าประสิทธิภาพการอพยพมากขึ้นเฉลี่ย 17 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่าบันไดเลื่อน 1 เครื่องสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอพยพได้ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6-22 ประสิทธิภาพเวลาการอพยพสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท

การเทียบประสิทธิภาพ	ปริมาณคนเดินเท้า					เฉลี่ย
	2,500	2,800	3,000	3,300	3,500	
กรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 2 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออก บันไดโดยสาร	12	14	13	14	15	13
ชานชาลาถึงจุดปลอดภัย ระดับผิวเดิน	21	17	16	18	17	18
กรณีที่ 2 เทียบกับกรณีที่ 3 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออก บันไดโดยสาร	3	2	3	3	3	3
ชานชาลาถึงจุดปลอดภัย ระดับผิวเดิน	17	18	16	17	16	17
กรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 3 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออก บันไดโดยสาร	14	16	15	17	17	16
ชานชาลาถึงจุดปลอดภัย ระดับผิวเดิน	35	32	29	31	30	31

ตารางที่ 6-23 แสดงประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินรูปแบบสถานีที่ 4 โดยมีสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลมถูกเลือกมาใช้เป็นกรณีศึกษา จากรูปแบบสถานีที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันนี้ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเวลาการอพยพผู้โดยสาร จะพิจารณาเวลาการ

อพยพที่ได้จากการจำลอง พบว่าประสิทธิภาพการอพยพจากชั้นชานชาลาถึงชั้นออกบัตรโดยสาร และจากชานชาลาชั้นล่างถึงจุดปลอดภัยระดับผิวดิน นั้นมีประสิทธิภาพที่สอดคล้องกัน ดังนั้น ประสิทธิภาพการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟใต้ดินจากกรณีที่ 1 จะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 23.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการอพยพเป็นไปตามกรณีที่ 2 และเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ย 38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผู้โดยสารอพยพตามกรณีที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอพยพกรณีที่ 2 กับกรณีที่ 3 จะพบว่าประสิทธิภาพการอพยพมากขึ้นเฉลี่ย 18 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่าบันไดเลื่อน 1 เครื่องสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอพยพได้ประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6-23 ประสิทธิภาพเวลาการอพยพสถานีรถไฟใต้ดินสีลม

การเทียบประสิทธิภาพ	ปริมาณคนเดินเท้า					เฉลี่ย
	2,600	2,800	3,000	3,400	3,600	
กรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 2 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออกบัตรโดยสาร	21	22	28	27	24	24
ชานชาลาชั้นล่างถึงจุดปลอดภัยระดับผิวดิน	24	24	28	21	22	23
กรณีที่ 2 เทียบกับกรณีที่ 3 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออกบัตรโดยสาร	16	17	20	20	23	19
ชานชาลาชั้นล่างถึงจุดปลอดภัยระดับผิวดิน	18	17	16	18	18	17
กรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 3 (เปอร์เซ็นต์)						
ชั้นชานชาลาถึงชั้นออกบัตรโดยสาร	34	35	43	41	42	39
ชานชาลาชั้นล่างถึงจุดปลอดภัยระดับผิวดิน	37	37	39	35	36	37

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมการเดินของผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย โดยแยกตามประเภทของคนเดินเท้าตามช่วงของเพศและอายุ คือ เพศชายและหญิงอายุน้อยกว่า 15 ปี อายุระหว่าง 15-60 ปี และอายุมากกว่า 60 ปี พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้โดยสารเพศชาย มีความเร็วกว่าเพศหญิง และความเร็วของผู้โดยสารที่มีช่วงอายุเดียวกันจะมีความเร็วที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่าความเร็วในการเดินบนทางเดินปกติเฉลี่ยเท่ากับ 71.73, 76.98 และ 54.64 เมตร/นาที บริเวณบันไดทางขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 33.37, 35.81 และ 25.42 เมตร/นาที บริเวณบันไดในทิศทางลงเฉลี่ยเท่ากับ 45.49, 49.08 และ 35.06 เมตร/นาที และบนบันไดเลื่อนที่รวมกับความเร็วของ บันไดเลื่อนที่ 30 เมตร/นาที มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 78.81, 84.59 และ 60.03 เมตร/นาที ตามลำดับ

การศึกษาการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินที่พิจารณานาฬิกาของบันไดที่ช่วยระบายผู้โดยสารในการอพยพโดยพิจารณารูปแบบของบันได 3 รูปแบบ คือ บันไดแบบทางตรง บันไดแบบทางตรงคู่ และบันไดแบบหักกลับ โดยแปรเปลี่ยนความกว้างและความลาดชันของ บันได พบว่าความลาดชันของบันไดที่ระดับ 27–36 องศา มีผลกระทบต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ แต่อัตราการระบายผู้โดยสารในการอพยพไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความลาดชันจะถูกชดเชยด้วยความยาวของบันได และความสะดวกสบายในการเคลื่อนที่บนบันไดที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามความลาดชัน ความกว้างของบันไดที่มากขึ้นจะ ช่วยระบายผู้โดยสารที่อพยพได้มากขึ้น คือ บันไดแบบทางตรง บันไดแบบทางตรงคู่ และบันไดแบบหักกลับ เมื่อเพิ่มความกว้างของบันไดเป็นสองเท่าของความกว้างเดิม จะสามารถระบายผู้โดยสารเพิ่มขึ้นประมาณ 1.93, 1.82 และ 1.73 จากความกว้างเดิม การเพิ่มความกว้างของบันได ควรเพิ่มให้เพียงพอกับความกว้างของผู้อพยพ (0.60 เมตร) หากเพิ่มความกว้างน้อยกว่าความกว้างของคนเดินเท้าจะส่งผลให้อัตราการไหลผ่านในการอพยพมีประสิทธิภาพการระบายผู้โดยสารที่ต่ำ

การศึกษาการอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย ในการวิเคราะห์เวลาการอพยพผู้โดยสารที่มีลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของสถานีที่แตกต่างกัน โดยเลือกกรณีศึกษาทั้งหมด 4 สถานี ได้แก่ สถานีห้วยขวาง สถานีศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย สถานีสุขุมวิท และสถานีสีลม เป็นตัวแทนของสถานีที่มีลักษณะโครงสร้างทางกายภาพที่มี

ความคล้ายคลึงกัน ซึ่งเลือกจากสถานีที่คาดว่าจะมีเวลาในการอพยพมากที่สุดในกลุ่มสถานีเดียวกัน การกำหนดจำนวนผู้โดยสารในการอพยพบนชั้นชานชาลาที่ระดับความความหนาแน่น คือ 60, 70, 80, 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความหนาแน่น 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีความหนาแน่นในการวิเคราะห์ 2.5 คนต่อตารางเมตร หรือคิดเป็นพื้นที่ครอบคลุม 0.40 ตารางเมตรต่อคน และรวมกับผู้โดยสารที่ลงจากขบวนรถไฟจำนวน 500 คนต่อขบวน โดยเวลาการอพยพที่ได้จากการจำลองจะถูกตรวจสอบเทียบกับมาตรฐาน NFPA 130 ที่กำหนดให้การอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังชั้นออกบัตรโดยสารต้องใช้เวลาไม่เกิน 4 นาที (240 วินาที) และเวลาการอพยพผู้โดยสารจากชั้นชานชาลาไปยังจุดปลอดภัยระดับผิวดินจะต้องใช้เวลาไม่เกิน 6 นาที (360 วินาที) พร้อมกำหนดสมมติฐานการอพยพทั้งหมด 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันไดเท่านั้น บันไดเลื่อนทั้งหมดไม่เปิดให้ใช้งาน

กรณีที่ 2 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนเฉพาะทิศทางขึ้น 1 เครื่อง

กรณีที่ 3 ผู้โดยสารอพยพโดยใช้บันได และใช้บันไดเลื่อนทิศทางขึ้น 2 เครื่อง

พบว่าเวลาการอพยพขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการระบายของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในการอพยพ ได้แก่ บันได และบันไดเลื่อน ในช่วงเริ่มต้นการอพยพผู้อพยพจะสามารถออกจากพื้นที่การอพยพได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกยังต่ำ และเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการไหลออกของผู้โดยสารจะมีค่าคงที่ เนื่องจากความจุของสิ่งอำนวยความสะดวกดังกล่าวถูกทำให้เต็มเรียบร้อยแล้ว และจะเริ่มมีการเกิดแถวคอยบริเวณทางเข้าสิ่งอำนวยความสะดวกนั้น ๆ ผลการจำลองสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-1 จำนวนผู้โดยสารที่อพยพมากที่สุดในการอพยพที่ปลอดภัยและอัตราการไหลออก

กลุ่มสถานี	กรณีการอพยพที่	จำนวนผู้อพยพที่มากที่สุด (คน)		อัตราการไหลเฉลี่ย (คน/นาที)	
		ชั้นชานชาลาไปสู่ชั้นออกบัตรโดยสาร	ชั้นชานชาลาไปจุดปลอดภัย	ชั้นชานชาลาไปสู่ชั้นออกบัตรโดยสาร	ชั้นชานชาลาไปจุดปลอดภัย
ห้วยขวาง	1	2,500	2,350	625	588
	2	2,700	3,150	675	788
	3	2,700	3,500	675	875

ตารางที่ 7-1 (ต่อ)

กลุ่มสถานี	กรณีการ อพยพ	จำนวนผู้อพยพที่มากที่สุด (คน)		อัตราการไหลเฉลี่ย (คน/นาที)	
		ชั้นชานชาลา ไปสู่ชั้นนอก	ชั้นชานชาลา ไปจุด	ชั้นชานชาลา ไปสู่ชั้นนอก	ชั้นชานชาลา ไปจุด
		บัตรโดยสาร	ปลอดภัย	บัตรโดยสาร	ปลอดภัย
สุขุมวิท	1	2,500	2,600	625	650
	2	2,800	2,850	695	713
	3	2,850	2,950	713	738
ศูนย์วัฒนธรรม แห่งประเทศไทย	1	1,850	2,300	463	575
	2	2,300	3,050	575	763
	3	2,600	3,650	650	913
สีลม	1	1,850	1,300	463	325
	2	2,100	1,850	525	463
	3	2,450	2,200	613	550

อัตราการไหลดังที่ได้แสดงในตารางที่ 7-1 สามารถนำไปใช้ในการทำนายเวลาการอพยพพื้นฐานได้ โดยการระบายผู้โดยสารออกจากสถานีจะได้รับผลกระทบจากประสิทธิภาพการระบายผู้อพยพของสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น บันไดกว้าง 1.80 เมตร สามารถระบายผู้อพยพเฉลี่ยประมาณ 120 คนต่อนาที บันไดเลื่อน 1 เครื่อง (กว้าง 1 เมตร ความลาดชัน 30 องศา และความเร็ว บันไดเลื่อน 30 เมตรต่อนาที) สามารถระบายผู้อพยพได้เฉลี่ยประมาณ 80-100 คนต่อนาที และจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพเวลาการอพยพจากทั้ง 3 สมมติฐาน จากกรณีศึกษา 4 สถานี ตัวอย่าง พบว่า การเปิดใช้งานบันไดเลื่อน 1 เครื่อง จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอพยพได้เฉลี่ยประมาณ 13-16 เปอร์เซ็นต์

ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางพื้นฐานสำหรับการพิจารณาประกอบการออกแบบ วางแผน และจัดการการอพยพผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย เมื่อมีเหตุการณ์ฉุกเฉินที่ก่อให้เกิดการอพยพ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวอาจก่อให้เกิด

การสูญเสียที่เลวร้ายต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สินของผู้โดยสารได้ หากไม่มีการจัดการหรือมีการวางแผน เพื่อรับมือกับเหตุการณ์ดังกล่าว ซึ่งหากมีปริมาณผู้โดยสารมากกว่าที่แสดงมาข้างต้นอาจต้องหาวิธีแก้ไข เช่น การเพิ่มขนาดความเร็วของบันไดเลื่อน จำกัดปริมาณผู้โดยสารที่จะเข้าสู่สถานี การเพิ่มความถี่หรือตู้ของขบวนรถไฟฟ้าเพื่อลดความหนาแน่นของผู้โดยสารที่รอนบนสถานี หรือมาตรการอื่น ๆ ที่ช่วยให้การระบายผู้โดยสารออกจากสถานีได้เร็วยิ่งขึ้น เพื่อให้ผู้โดยสารมีปริมาณไม่เกินจำนวนดังแสดงในตารางที่ 7-1

ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาแบบจำลองคนเดินเท้าสำหรับการอพยพคนเดินเท้าในอนาคต สิ่งที่น่าสนใจในการพัฒนาความรู้ที่มากขึ้นของการจำลองการอพยพสำหรับคนเดินเท้า เพื่อช่วยเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาให้สอดคล้องกับนโยบายหรือแผนงานในด้านของการขนส่งสาธารณะที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง คือ

1. การประยุกต์ผลของความตื่นตระหนกของฝูงชนร่วมกับการสร้างแบบจำลองการอพยพของคนเดินเท้า เพื่อพิจารณาผลของความตื่นตระหนกที่เกิดขึ้น
2. การบูรณาการทางด้านเทคนิคของแบบจำลองในกรอบของการเพิ่มประสิทธิภาพระหว่างแบบจำลองเสมือนจริงและการใช้งานที่ง่าย
3. พฤติกรรมของมนุษย์เป็นสิ่งสำคัญในการสร้างแบบจำลองการอพยพ ควรมีการศึกษาวิจัยในอนาคตต่อไป เพราะค่าตัวแปรพฤติกรรมที่ต่ำหรือสูงมากอาจมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญกับเวลาการอพยพ ซึ่งควรได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบในผลของความแตกต่างของผลกระทบที่สะท้อนถึงประสิทธิภาพการอพยพที่มีแนวโน้มพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกัน

บรรณานุกรม

- บริษัท การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2558). รายงานงานประจำปี 2558. กรุงเทพมหานคร, 12-13.
- บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน) (2558). รายละเอียดรถ. เข้าถึงได้จาก <http://www.bangkokmetro.co.th>.
- บุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย (2558). *บันไดเลื่อน และทางเลื่อน ข้อเสนอการใช้งาน และข้อสังเกตความผิดปกติ* วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- ภิญญาภรณ์ ชาติการุณ (2546). *ระบบการป้องกันอัคคีภัยและระบบความปลอดภัยของ รฟม.* Engineering Today; 1(2).
- วิวรรณ อัสวสุชี และ ณัฐศักดิ์ บุญมี (2553). *การศึกษาการอพยพหนีไฟในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินด้วยระบบวิธีเชิงตัวเลข*. วิศวกรรมสาร มก.
- สถานีสีลม สถานีที่สร้างยากที่สุด เทคนิคการก่อสร้างชั้นสูงที่เคยเกิดขึ้นในไทย (2559). *รูปแบบสถานี*. เข้าถึงได้จาก <http://pantip.com/topic/34722994>.
- Alexandersson, S. (2013). *Pedestrians in microscopic traffic simulation. Comparison between software Viswalk and Legion for Aimsun*. Master of Science Thesis in the Master's Programme Infrastructure and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology.
- Borgers, A., & Timmermans, H. J. P. (1986). *City centre entry points, store location patterns and pedestrian route choice behaviour: A microlevel simulation model*. Socio-Economic Planning Sciences 20(1), 25-31.
- Burstedde, C., Klauck, K., Schadschneider, A., & Zittartz, J. (2001). *Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 295(3-4), 507-525.
- Cai, Y., Lin, Z.-y., Mao, J. Bai, G., & Hu, J.-w. (2016). *Study on Law of Personnel Evacuation in Deep Buried Metro Station Based on the Characteristics of Fire Smoke Spreading*. Procedia Engineering 135, 544-550.
- Cheng, H., & Yang, X. (2012). *Emergency Evacuation Capacity of Subway Stations*. Procedia - Social and Behavioral Sciences 43, 339-348.

- Cheng, L., Reddy, V., Fookes, C., & Yarlagadda, P. K. D. V. (2014). *Impact of passenger group dynamics on an airport evacuation process using an agent-based model*. Proceedings - 2014 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2014.
- Coleman, J. S. (1990). *Foundations of Social Theory* The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England.
- Dominic E., & Denis S. (1993). *Football stadia disasters in the United Kingdom: Learning from tragedy*. *Industrial & Environmental Crisis Quarterly* 7, No. 3, 205-217.
- Fridolf, K., Nilsson, D., & Frantzich, H. (2013). *Fire Evacuation in Underground Transportation Systems: A Review of Accidents and Empirical Research*. *Fire Technology* 49(2), 451-475.
- Fruin, J.J. (1971). *Pedestrian planning and design*. New York : Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 199-203.
- Fruin, W.M. (1992). *The Japanese Enterprise System: Competitive Strategies and Cooperative Strategies Oxford: Clarendon Press*. *Asia Pacific Journal of Human Resources*, 132–133.
- Fujiyama, T., & Tyler, N. (2010). *Predicting the walking speed of pedestrians on stairs*. *Transportation Planning and Technology* 33(2), 177-202.
- Guo, R. Y., Huang, H. J., & Wong, S. C. (2011). *Collection, spillback, and dissipation in pedestrian evacuation: A network-based method*. *Transportation Research Part B: Methodological* 45(3), 490-506.
- Guo, R. Y., Huang, H. J., & Wong, S. C. (2012). *Route choice in pedestrian evacuation under conditions of good and zero visibility: Experimental and simulation results*. *Transportation Research Part B: Methodological* 46(6), 669-686.
- Guo, X., Chen, J., You, S., & Wei, J. (2013). *Modeling of pedestrian evacuation under fire emergency based on an extended heterogeneous lattice gas model*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 392(9), 1994-2006.
- Helbing, D. & Johansson, A. (2010). *Pedestrian, Crowd and Evacuation Dynamics*. from <https://www.researchgate.net/publication/226065087>.

- Helbing, D. (1991). *A mathematical model for the behavior of pedestrians*. Behavioral Science 36(4), 298-310.
- Helbing, D. (1992). *A Mathematical Model for Behavioral Changes by Pair Interactions*. Economic Evolution and Demographic Change: Formal Models in Social Sciences. G. Haag, U. Mueller and K. G. Troitzsch. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 330-348.
- Helbing, D. (1998). *A Fluid Dynamic Model for the Movement of Pedestrians*. Complex Systems 6, 391-415.
- Helbing, D., & Molnár, P. (1995). *Social force model for pedestrian dynamics*. Physical Review E 51(5), 4282-4286.
- Helbing, D., Buzna, L., Johansson, A., & Werner, T. (2005). *Self-organized pedestrian crowd dynamics: Experiments, simulations, and design solutions*. Transportation Science 39(1), 1-24.
- Helbing, D., Farkas, I. e. J., Moln'ar, P. e., & Vicsek, T. a. (2002). *Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations*.
- Helbing, D., Farkas, I., & Vicsek, T. (2000). *Simulating dynamical features of escape panic*. Nature 407(6803), 487-490.
- Helbing, D., Isobe, M., Nagatani, T., & Takimoto, K. (2003). *Lattice gas simulation of experimentally studied evacuation dynamics*. Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics 67(62).
- Helbing, D., Johansson, A., Al-Abideen, H. Z. (2007). *Dynamics of crowd disasters: An empirical study*. Physical Review E 75(4), 046109.
- Helbing, D., Johansson, A., Mathiesen, J., Jensen, M. H., & Hansen, A. (2006). *Analytical approach to continuous and intermittent bottleneck flows*. Physical Review Letters, 97(16).
- Helbing, D., Molnár, P., Farkas, I. J., & Bolay, K. (2001). *Self-organizing pedestrian movement*. Environment and Planning B: Planning and Design 28(3), 361-383.
- Hofinger, G., Zinke, R., & Künzer, L. (2014). *Human factors in evacuation simulation, planning, and guidance*. Transportation Research Procedia.

- Horst W. H., & Stevanus A. T. (2001). *Mathematical Modelling of Evacuation Problems: A State of Art*. Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 24.
- Isobe, M., Helbing, D., & Nagatani, T. (2004). *Experiment, theory, and simulation of the evacuation of a room without visibility*. Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics 69(62).
- Jiang, C. S., Yuan, F., & Chow, W. K. (2010). *Effect of varying two key parameters in simulating evacuation for subway stations in China*. Safety Science 48(4), 445-451.
- Johansson, A. F. (1981). *Data-Driven Modeling of Pedestrian Crowds*. Dr.-Ing., Technische Universität Dresden.
- Johansson, A., Helbing, D., & Shukla, P. K. (2007). *Specification of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data*. Advances in Complex Systems 10(SUPPL. 2), 271-288.
- Johnson, N. R. (1987). *Panic at "The Who Concert Stampede": An Empirical Assessment*. Social Problems 34(4), 362-373.
- Jungermann, H. (2000). *A psychological model of emergency evacuation from double-deck aircraft*. Paper presented at the 5th Australian Aviation Psychology Symposium, November 20-24, Manly/Sydney.
- Karwowski, W. (2012). *The discipline of human factors and ergonomics, University of Central Florida*.
- Kawaguchi, T. (2014). *Discrete particle simulation for high-density crowd*. Transportation Research Procedia.
- Keith, S. G. (2000). *Crowd dynamics*. Thesis or Dissertation (PhD), University of Warwick.
- Khisty, C.K., & Lall, B.K. (2003). *Local Area Traffic Management*. Transportation Engineering (An Introduction 3th ed), 557-572.
- Kostas, K. V., Ginnis, A.-A. I., Politis, C. G., & Kaklis, P. D. (2014). *Motions Effect for Crowd Modeling Aboard Ships*. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012. U. Weidmann, U. Kirsch and M. Schreckenberg. Cham, Springer International Publishing, 825-833.
- Legion Limited (2016). Legion - Science in motion. Retrieved May 03. from, www.legion.com.
- Legion Product Support (2016). London: Legion Limited.

- Legion SpaceWorks (2012). *Functional Description*. London: Legion Limited.
- Lei, W., Li, A., Gao, R., Hao, X., & Deng, B. (2012). *Simulation of pedestrian crowds' evacuation in a huge transit terminal subway station*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 391(22), 5355-5365.
- Li, D., & Han, B. (2015). *Behavioral effect on pedestrian evacuation simulation using cellular automata*. *Safety Science*, 80, 41-55.
- Li, F., Chen, S., Wang, X., & Feng, F. (2014). *Pedestrian Evacuation Modeling and Simulation on Metro Platforms Considering Panic Impacts*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 138, 314-322.
- Li, Y., Sun, X., Feng, X., Wang, C., & Li, J. (2012). *Study on evacuation in subway transfer station fire by STEPS*. *Procedia Engineering*.
- Ming, L., Fudi, X., Jiaojiao, L., & Dongdong L. (2013). *The Survey and Study on Pedestrian Evacuation in Beijing Underpass of Subway-Mall*. 2013 Fourth International Conference on Digital Manufacturing & Automation.
- Natalie S. G., & Bernardo A. H. (1994). *The Dynamics of Social Dilemmas*. *SCIENTIFIC AMERICAN*, 76-81.
- National Fire Protection Association (2003). *NFPA 101 Life Safety Code*.
- National Fire Protection Association (2007). *NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*.
- Nilsson, D., (2009). *Exit choice in fire emergencies - Influencing choice of exit with flashing lights*.
- Proulx, G. (1995). *Evacuation time and movement in apartment buildings*. *Fire Safety Journal* 24(3), 229-246.
- Pursals, S. C., & Garzón, F. G. (2009). *Optimal building evacuation time considering evacuation routes*. *European Journal of Operational Research*, 192(2), 692-699.
- Qu, Y., Gao, Z., Xiao, Y., & Li, X. (2014). *Modeling the pedestrian's movement and simulating evacuation dynamics on stairs*. *Safety Science* 70, 189-201.

- Reuter, V., Bergner, B. S., Köster, G., Seitz, M., Treml, F., & Hartmann, D. (2014). *On Modeling Groups in Crowds: Empirical Evidence and Simulation Results Including Large Groups*. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012. U. Weidmann, U. Kirsch and M. Schreckenberg. Cham, Springer International Publishing, 835-845.
- Reynolds, C. W. (1994). *Evolution of Corridor Following Behavior in a Noisy World*.
- RWDI_Consulting_Engineers & Scientist. (2003). History of Subway /Tunnel Fires.
- Schadschneider, A., Klingsch, W., Klüpfel, H., Kretz, T., Rogsch, C., & Seyfried, A., (2009). *Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications*. Encyclopedia of Complexity and Systems Science. R. A. Meyers. New York, 3142-3176.
- Schäfer, C. (2013). *Integration und Modellierung von menschlichen Faktoren für die Evakuierung von U-Bahn-Systemen*. In Horbach, M. (Ed.) Informatik 2013. Informatik angepasst an Mensch, Organisation und Umwelt. Series of the Gesellschaft für Informatik (GI), 220, 1619-1633.
- Schmidt, S., & Galea, E. (2013). *Behaviour - security - culture human behaviour in emergencies and disasters: a cross-cultural investigation*. Pabst Science Publishers, Lengerich, Germany.
- Sime, J. D. (1985). *Movement toward the familiar: Person and Place Affiliation in a Fire Entrapment Setting*. Environment and Behavior 17(6), 697-724.
- Sung, M., Gleicher, M., & Chenney, S. (2004). *Scalable behaviors for crowd simulation*. Computer Graphics Forum 23(3), 519-528.
- Tanaboriboon, Y. & Guyano, J. A. (2000). *Level-of-service standards for pedestrian facilities in Bangkok. A case study*. ITE Journal (Institute of Transportation Engineers) 59(11), 39-41.
- Transportation Research Board (1985). Highway Capacity Manual, Special Report 209. Transportation Research Board, Washington DC.
- Trulock, A., (2016). London: Legion Limited.
- TSS. (2016). Aimsun. Retrieved from www.aimsun.com.

- Ulriksen, L., & Dederichs, A. S. (2014). *Evacuation of Day Care Centres for Children 0–6 Years: Simulations Using Simulex*. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012. U. Weidmann, U. Kirsch and M. Schreckenberg. Cham, Springer International Publishing, 959-969.
- Vermuyten, H., Beliën, J., De Boeck, L., Reniers, G., & Wauters, T. (2016). *A review of optimisation models for pedestrian evacuation and design problems*. Safety Science 87, 167-178.
- Viswanathan, V., & Lees, M. (2014). *An Information Processing Based Model of Pre-evacuation Behavior for Agent Based Egress Simulation*. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012. U. Weidmann, U. Kirsch and M. Schreckenberg. Cham, Springer International Publishing, 125-133.
- Von Sivers, I., Templeton, A., Köster, G., Drury, J., & Philippides, A. (2014). *Humans do not always act selfishly: Social identity and helping in emergency evacuation simulation*. Transportation Research Procedia.
- Wan, J., Sui, J., & Yu, H. (2014). *Research on evacuation in the subway station in China based on the Combined Social Force Model*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 394, 33-46.
- Wang, W. L., Lo, S. M., Liu, S. B., & Ma, J. (2015). *On the use of a pedestrian simulation model with natural behavior representation in metro stations*. Procedia Computer Science.
- Wogalter, M. S., Conzola, V. C., & Smith-Jackson, T. L. (2002). *Research-based guidelines for warning design and evaluation*. Applied Ergonomics 33(3), 219-230.
- Wolfgana, H., Stefan, J. L., & Peter, H. (1997). *Surface flow of rotated granular systems and the impact of micromechanical stochastics*. World Scientific, Singapore, 317-322.
- Yi-fan, L. I., Jun-min, C., Jie, J. I., Ying, Z., & Jin-hua, S. U. N. (2011). *Analysis of Crowded Degree of Emergency Evacuation at “Bottleneck” Position in Subway Station Based on Stairway Level of Service*. Procedia Engineering 11, 242-251.
- Zarboutis, N., & Marmaras, N. (2007). *Design of formative evacuation plans using agent-based simulation*. Safety Science 45(9), 920-940.
- Zine-Dine, K., & Madani, A. (2014). *A new modeling of the pedestrians evacuation in panic situations based on vicsek model*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology 66(1), 69-72.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชานชาลาสถานีรถไฟฟ้
ใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 12.60 เมตร (เพศชายอายุน้อยกว่า 15 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)
1	15	50.40	5	13	58.15	8	14	54.00
2	16	47.25	6	16	47.25	9	13	58.15
3	16	47.25	7	14	54.00	10	15	50.40
4	13	58.15						

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชานชาลาสถานีรถไฟฟ้
ใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 12.60 เมตร (เพศชายอายุระหว่าง 15-60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)
1	15	50.40	20	13	58.15	39	10	75.60
2	13	58.15	21	13	58.15	40	13	58.15
3	12	63.00	22	13	58.15	41	13	58.15
4	13	58.15	23	13	58.15	42	13	58.15
5	13	58.15	24	13	58.15	43	15	50.40
6	13	58.15	25	15	50.40	44	13	58.15
7	15	50.40	26	13	58.15	45	15	50.40
8	13	58.15	27	12	63.00	46	13	58.15
9	12	63.00	28	12	63.00	47	12	63.00
10	13	58.15	29	13	58.15	48	13	58.15
11	15	50.40	30	13	58.15	49	13	58.15
12	13	58.15	31	15	50.40	50	13	58.15
13	12	63.00	32	13	58.15	51	13	58.15
14	13	58.15	33	15	50.40	52	13	58.15
15	13	58.15	34	13	58.15	53	15	50.40
16	13	58.15	35	12	63.00	54	13	58.15
17	15	50.40	36	13	58.15	55	15	50.40
18	13	58.15	37	13	58.15	56	13	58.15
19	12	63.00	38	13	58.15	57	17	44.47

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)
58	13	58.15	70	15	50.40	82	13	58.15
59	15	50.40	71	13	58.15	83	13	58.15
60	13	58.15	72	12	63.00	84	15	50.40
61	13	58.15	73	13	58.15	85	13	58.15
62	13	58.15	74	13	58.15	86	12	63.00
63	13	58.15	75	13	58.15	87	13	58.15
64	15	50.40	76	13	58.15	88	13	58.15
65	13	58.15	77	13	58.15	89	13	58.15
66	12	63.00	78	15	50.40	90	13	58.15
67	13	58.15	79	13	58.15	91	15	50.40
68	13	58.15	80	12	63.00	92	13	58.15
69	13	58.15	81	13	58.15			

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชานชาลาสถานีรถไฟฟ้า
ใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 12.60 เมตร (เพศชายอายุมากกว่า 60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)
1	19	39.79	4	17	44.47	6	18	42.00
2	20	37.80	5	18	42.00	7	20	37.80
3	19	39.79						

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชานชาลาสถานีรถไฟฟ้
ใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 12.60 เมตร (เพศหญิงอายุน้อยกว่า 15 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)
1	13	58.15	6	14	54.00	10	15	50.40
2	14	54.00	7	15	50.40	11	15	50.40
3	13	58.15	8	16	47.25	12	15	50.40
4	15	50.40	9	16	47.25	13	16	47.25
5	14	54.00						

ตารางภาคผนวกที่ 5 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชานชาลาสถานีรถไฟฟ้
ใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 12.60 เมตร (เพศหญิงอายุระหว่าง 15-60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)
1	15	50.40	19	15	50.40	37	15	50.40
2	15	50.40	20	12	63.00	38	15	50.40
3	12	63.00	21	15	50.40	39	15	50.40
4	14	54.00	22	15	50.40	40	15	50.40
5	13	58.15	23	15	50.40	41	12	63.00
6	14	54.00	24	15	50.40	42	14	54.00
7	15	50.40	25	12	63.00	43	13	58.15
8	15	50.40	26	14	54.00	44	14	54.00
9	12	63.00	27	13	58.15	45	15	50.40
10	15	50.40	28	14	54.00	46	15	50.40
11	15	50.40	29	15	50.40	47	12	63.00
12	15	50.40	30	15	50.40	48	15	50.40
13	15	50.40	31	12	63.00	49	15	50.40
14	12	63.00	32	15	50.40	50	15	50.40
15	14	54.00	33	15	50.40	51	15	50.40
16	13	58.15	34	22	34.36	52	12	63.00
17	14	54.00	35	15	50.40	53	14	54.00
18	15	50.40	36	12	63.00	54	13	58.15

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 5 (ต่อ)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาທີ)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาທີ)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาທີ)
55	14	54.00	85	15	50.40	115	14	54.00
56	15	50.40	86	15	50.40	116	13	58.15
57	15	50.40	87	12	63.00	117	14	54.00
58	19	39.79	88	14	54.00	118	15	50.40
59	22	34.36	89	13	58.15	119	15	50.40
60	15	50.40	90	14	54.00	120	18	42.00
61	12	63.00	91	15	50.40	121	15	50.40
62	15	50.40	92	15	50.40	122	15	50.40
63	15	50.40	93	12	63.00	123	15	50.40
64	15	50.40	94	15	50.40	124	15	50.40
65	15	50.40	95	15	50.40	125	12	63.00
66	12	63.00	96	19	39.79	126	14	54.00
67	14	54.00	97	15	50.40	127	13	58.15
68	13	58.15	98	12	63.00	128	14	54.00
69	14	54.00	99	15	50.40	129	15	50.40
70	15	50.40	100	15	50.40	130	15	50.40
71	15	50.40	101	15	50.40	131	12	63.00
72	12	63.00	102	15	50.40	132	15	50.40
73	15	50.40	103	12	63.00	133	15	50.40
74	15	50.40	104	14	54.00	134	15	50.40
75	15	50.40	105	13	58.15	135	15	50.40
76	15	50.40	106	14	54.00	136	12	63.00
77	12	63.00	107	15	50.40	137	15	50.40
78	14	54.00	108	15	50.40	138	15	50.40
79	13	58.15	109	12	63.00	139	15	50.40
80	14	54.00	110	15	50.40	140	15	50.40
81	15	50.40	111	15	50.40	141	12	63.00
82	15	50.40	112	15	50.40	142	14	54.00
83	15	50.40	113	15	50.40	143	13	58.15
84	15	50.40	114	12	63.00	144	14	54.00

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 5 (ต่อ)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)
145	15	50.40	154	13	58.15	163	15	50.40
146	15	50.40	155	14	54.00	164	12	63.00
147	12	63.00	156	15	50.40	165	15	50.40
148	15	50.40	157	15	50.40	166	15	50.40
149	15	50.40	158	12	63.00	167	15	50.40
150	15	50.40	159	14	54.00	168	15	50.40
151	15	50.40	160	13	58.15	169	13	58.15
152	12	63.00	161	14	54.00	170	14	54.00
153	14	54.00						

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชานชาลาสถานีรถไฟฟ้
ใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 12.60 เมตร (เพศหญิงอายุมากกว่า 60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)
1	18	42.00	4	20	37.80	7	21	36.00
2	19	39.79	5	19	39.79	8	21	36.00
3	19	39.79	6	19	39.79			

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร
สถานีรถไฟฟ้ใต้ดินสุขุมวิท ระยะ 8.00 เมตร (เพศชายอายุน้อยกว่า 15 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)
1	7	68.57	8	7	68.57	15	6	80.00
2	7	68.57	9	8	60.00	16	7	68.57
3	6	80.00	10	7	68.57	17	7	68.57
4	6	80.00	11	6	80.00	18	8	60.00
5	6	80.00	12	7	68.57	19	6	80.00
6	7	68.57	13	7	68.57	20	7	68.57

ตารางภาคผนวกที่ 8 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะ 8.00 เมตร (เพศชายอายุระหว่าง 15-60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที)
1	6	80.00	17	7	68.57	33	6	80.00
2	9	53.33	18	6	80.00	34	8	60.00
3	8	60.00	19	6	80.00	35	7	68.57
4	6	80.00	20	5	96.00	36	8	60.00
5	7	68.57	21	7	68.57	37	9	53.33
6	7	68.57	22	5	96.00	38	8	60.00
7	7	68.57	23	6	80.00	39	5	96.00
8	9	53.33	24	11	43.64	40	6	80.00
9	6	80.00	25	7	68.57	41	6	80.00
10	7	68.57	26	6	80.00	42	6	80.00
11	8	60.00	27	8	60.00	43	6	80.00
12	10	48.00	28	6	80.00	44	6	80.00
13	10	48.00	29	7	68.57	45	7	68.57
14	7	68.57	30	7	68.57	46	6	80.00
15	7	68.57	31	6	80.00	47	6	80.00
16	7	68.57	32	8	60.00	48	7	68.57
49	7	68.57	79	11	43.64	109	7	68.57
50	7	68.57	80	7	68.57	110	6	80.00
51	7	68.57	81	6	80.00	111	8	60.00
52	7	68.57	82	8	60.00	112	6	80.00
53	7	68.57	83	6	80.00	113	8	60.00
54	7	68.57	84	7	68.57	114	7	68.57
55	8	60.00	85	7	68.57	115	8	60.00
56	6	80.00	86	6	80.00	116	9	53.33
57	9	53.33	87	8	60.00	117	8	60.00
58	8	60.00	88	6	80.00	118	5	96.00
59	6	80.00	89	8	60.00	119	6	80.00
60	7	68.57	90	7	68.57	120	6	80.00
61	7	68.57	91	8	60.00	121	6	80.00
62	7	68.57	92	9	53.33	122	6	80.00

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 8 (ต่อ)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาฬิกา)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาฬิกา)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาฬิกา)
63	9	53.33	93	8	60	123	6	80.00
64	6	80.00	94	5	96	124	7	68.57
65	7	68.57	95	6	80	125	6	80.00
66	8	60.00	96	6	80	126	6	80.00
67	10	48.00	97	6	80	127	7	68.57
68	10	48.00	98	6	80	128	7	68.57
69	7	68.57	99	6	80	129	7	68.57
70	7	68.57	100	7	68.57	130	7	68.57
71	7	68.57	101	5	96.00	131	7	68.57
72	7	68.57	102	6	80.00	132	7	68.57
73	6	80.00	103	11	43.64	133	7	68.57
74	6	80.00	104	7	68.57	134	11	43.64
75	5	96.00	105	6	80.00	135	6	80.00
76	7	68.57	106	8	60.00	136	9	53.33
77	5	96.00	107	6	80.00	137	8	60.00
78	6	80.00	108	7	68.57	138	6	80.00
139	7	68.57	169	6	80.00	199	6	80.00
140	7	68.57	170	8	60.00	200	9	53.33
141	7	68.57	171	6	80.00	201	8	60.00
142	9	53.33	172	7	68.57	202	6	80.00
143	6	80.00	173	7	68.57	203	7	68.57
144	7	68.57	174	6	80.00	204	7	68.57
145	8	60.00	175	8	60.00	205	7	68.57
146	10	48.00	176	6	80.00	206	9	53.33
147	10	48.00	177	8	60.00	207	6	80.00
148	7	68.57	178	7	68.57	208	7	68.57
149	7	68.57	179	8	60.00	209	5	96.00
150	7	68.57	180	9	53.33	210	6	80.00

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 8 (ต่อ)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)
151	7	68.57	181	8	60.00	211	11	43.64
152	6	80.00	182	5	96.00	212	7	68.57
153	6	80.00	183	6	80.00	213	6	80.00
154	5	96.00	184	6	80.00	214	8	60.00
155	7	68.57	185	6	80.00	215	6	80.00
156	5	96.00	186	6	80.00	216	7	68.57
157	6	80.00	187	6	80.00	217	7	68.57
158	11	43.64	188	7	68.57	218	6	80.00
159	7	68.57	189	6	80.00	219	8	60.00
160	6	80.00	190	6	80.00	220	6	80.00
161	8	60.00	191	7	68.57	221	8	60.00
162	6	80.00	192	7	68.57	222	7	68.57
163	7	68.57	193	7	68.57	223	8	60.00
164	7	68.57	194	7	68.57	224	9	53.33
165	5	96.00	195	7	68.57	225	8	60.00
166	6	80.00	196	7	68.57	226	5	96.00
167	11	43.64	197	7	68.57	227	6	80.00
168	7	68.57	198	7	68.57	228	6	80.00

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากกราฟวิเคราะห์นี้เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 9 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 8.00 เมตร (เพศชายอายุมากกว่า 60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาที่)
1	9	53.33	7	10	48.00	13	9	53.33
2	9	53.33	8	9	53.33	14	8	60.00
3	8	60.00	9	10	48.00	15	9	53.33
4	8	60.00	10	9	53.33	16	9	53.33
5	8	60.00	11	8	60.00	17	8	60.00
6	9	53.33	12	9	53.33	18	9	53.33

ตารางภาคผนวกที่ 10 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะ 8.00 เมตร (เพศหญิงอายุน้อยกว่า 15 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาฬิกา)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาฬิกา)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/นาฬิกา)
1	6	80.00	6	6	80.00	11	7	68.57
2	8	60.00	7	7	68.57	12	6	80.00
3	6	80.00	8	7	68.57	13	7	68.57
4	6	80.00	9	7	68.57	14	6	80.00
5	7	68.57	10	7	68.57	15	7	68.57

ตารางภาคผนวกที่ 11 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะ 8.00 เมตร (เพศหญิงอายุ 15-60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาฬิกา/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาฬิกา/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาฬิกา/เมตร)
1	7	68.57	6	8	60.00	11	8	60.00
2	6	80.00	7	7	68.57	12	9	53.33
3	6	80.00	8	7	68.57	13	6	80.00
4	6	80.00	9	7	68.57	14	11	43.64
5	7	68.57	10	7	68.57	15	7	68.57
16	8	60.00	47	6	80.00	77	7	68.57
17	7	68.57	48	10	48.00	78	11	43.64
18	7	68.57	49	6	80.00	79	6	80.00
19	9	53.33	50	7	68.57	80	7	68.57
20	9	53.33	51	6	80.00	81	8	60.00
21	7	68.57	52	7	68.57	82	6	80.00
22	8	60.00	53	7	68.57	83	5	96.00
23	7	68.57	54	7	68.57	84	6	80.00
24	7	68.57	55	9	53.33	85	8	60.00
25	6	80.00	56	8	60.00	86	8	60.00
26	8	60.00	57	7	68.57	87	6	80.00
27	7	68.57	58	9	53.33	88	8	60.00

หมายเหตุ: เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 11 (ต่อ)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)
28	8	60.00	59	9	53.33	89	8	60.00
29	7	68.57	60	6	80.00	90	7	68.57
30	7	68.57	61	11	43.64	91	7	68.57
31	11	43.64	62	7	68.57	92	9	53.33
32	6	80.00	63	8	60.00	93	7	68.57
33	7	68.57	64	7	68.57	94	6	80.00
34	8	60.00	65	7	68.57	95	10	48.00
35	6	80.00	66	9	53.33	96	6	80.00
36	5	96.00	67	9	53.33	97	7	68.57
37	6	80.00	68	7	68.57	98	6	80.00
38	8	60.00	69	8	60.00	99	7	68.57
39	8	60.00	70	7	68.57	100	7	68.57
40	6	80.00	71	7	68.57	101	7	68.57
41	8	60.00	72	6	80.00	102	9	53.33
42	8	60.00	73	8	60.00	103	8	60.00
43	7	68.57	74	7	68.57	104	7	68.57
44	7	68.57	75	8	60.00	105	9	53.33
45	9	53.33	76	7	68.57	106	7	68.57
107	11	43.64	137	11	43.64	167	6	80.00
108	6	80.00	138	7	68.57	168	5	96.00
109	7	68.57	139	8	60.00	169	6	80.00
110	8	60.00	140	7	68.57	170	8	60.00
111	6	80.00	141	7	68.57	171	8	60.00
112	5	96.00	142	9	53.33	172	6	80.00
113	6	80.00	143	9	53.33	173	8	60.00
114	8	60.00	144	7	68.57	174	8	60.00
115	8	60.00	145	8	60.00	175	7	68.57
116	6	80.00	146	7	68.57	176	7	68.57
117	8	60.00	147	7	68.57	177	9	53.33

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 11 (ต่อ)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)
118	8	60.00	148	6	80.00	178	7	68.57
119	7	68.57	149	8	60.00	179	6	80.00
120	7	68.57	150	7	68.57	180	10	48.00
121	9	53.33	151	8	60.00	181	6	80.00
122	7	68.57	152	7	68.57	182	7	68.57
123	6	80.00	153	7	68.57	183	6	80.00
124	10	48.00	154	10	48.00	184	7	68.57
125	6	80.00	155	6	80.00	185	7	68.57
126	7	68.57	156	7	68.57	186	7	68.57
127	6	80.00	157	8	60.00	187	9	53.33
128	7	68.57	158	6	80.00	188	8	60.00
129	7	68.57	159	5	96.00	189	7	68.57
130	7	68.57	160	6	80.00	190	9	53.33
131	9	53.33	161	8	60.00	191	9	53.33
132	8	60.00	162	7	68.57	192	6	80.00
133	7	68.57	163	11	43.64	193	11	43.64
134	9	53.33	164	6	80.00	194	7	68.57
135	9	53.33	165	7	68.57	195	8	60.00
136	6	80.00	166	8	60.00	196	7	68.57
197	7	68.57	227	7	68.57	257	6	80.00
198	9	53.33	228	9	53.33	258	8	60.00
199	9	53.33	229	8	60.00	259	8	60.00
200	7	68.57	230	7	68.57	260	6	80.00
201	8	60.00	231	9	53.33	261	8	60.00
202	7	68.57	232	9	53.33	262	8	60.00
203	7	68.57	233	6	80.00	263	7	68.57
204	10	48.00	234	11	43.64	264	7	68.57
205	6	80.00	235	7	68.57	265	9	53.33
206	7	68.57	236	8	60.00	266	7	68.57

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 1112 (ต่อ)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)
207	8	60.00	237	7	68.57	267	6	80.00
208	6	80.00	238	7	68.57	268	11	43.64
209	5	96.00	239	9	53.33	269	7	68.57
210	6	80.00	240	9	53.33	270	6	80.00
211	8	60.00	241	7	68.57	271	10	48.00
212	8	60.00	242	8	60.00	272	6	80.00
213	6	80.00	243	7	68.57	273	7	68.57
214	8	60.00	244	7	68.57	274	6	80.00
215	8	60.00	245	6	80.00	275	7	68.57
216	7	68.57	246	8	60.00	276	7	68.57
217	7	68.57	247	7	68.57	277	7	68.57
218	9	53.33	248	8	60.00	278	9	53.33
219	7	68.57	249	7	68.57	279	8	60.00
220	6	80.00	250	7	68.57	280	7	68.57
221	10	48.00	251	10	48.00	281	9	53.33
222	6	80.00	252	6	80.00	282	9	53.33
223	7	68.57	253	7	68.57	283	6	80.00
224	6	80.00	254	8	60.00	284	11	43.64
225	7	68.57	255	6	80.00	285	7	68.57
226	7	68.57	256	5	96.00		6	80.00

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 132 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะ 8.00 เมตร (เพศหญิงอายุมากกว่า 60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)
1	8	60.00	5	9	53.33	9	9	53.33
2	10	48.00	6	8	60.00	10	9	53.33
3	8	60.00	7	9	53.33	11	10	48.00
4	8	60.00	8	9	53.33	12	9	53.33

ตารางภาคผนวกที่ 13 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางขึ้นสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศชายอายุน้อยกว่า 15 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	9	33.33	5	9	33.33	9	10	30.00
2	11	27.27	6	9	33.33	10	9	33.33
3	9	33.33	7	9	33.33	11	9	33.33
4	9	33.33	8	9	33.33	12	8	37.50

ตารางภาคผนวกที่ 14 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางขึ้นสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศชายอายุระหว่าง 15-60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	11	27.27	9	10	30.00	17	8	37.50
2	9	33.33	10	8	37.50	18	8	37.50
3	8	37.50	11	8	37.50	19	9	33.33
4	8	37.50	12	8	37.50	20	8	37.50
5	8	37.50	13	8	37.50	21	8	37.50
6	8	37.50	14	8	37.50	22	10	30.00
7	9	33.33	15	8	37.50	23	10	30.00
8	10	30.00	16	8	37.50	24	8	37.50
25	9	33.33	55	8	37.50	85	9	33.33
26	8	37.50	56	8	37.50	86	8	37.50
27	8	37.50	57	8	37.50	87	8	37.50
28	9	33.33	58	8	37.50	88	9	33.33
29	8	37.50	59	7	42.86	89	8	37.50
30	11	27.27	60	8	37.50	90	8	37.50
31	8	37.50	61	8	37.50	91	9	33.33
32	9	33.33	62	8	37.50	92	8	37.50
33	8	37.50	63	8	37.50	93	8	37.5
34	8	37.50	64	9	33.33	94	8	37.5
35	8	37.50	65	10	30.00	95	8	37.5
36	8	37.50	66	8	37.50	96	8	37.5

ตารางภาคผนวกที่ 14 (ต่อ)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)
37	9	33.33	67	8	37.50	97	8	37.5
38	8	37.50	68	8	37.50	98	8	37.5
39	9	33.33	69	8	37.50	99	8	37.5
40	8	37.50	70	8	37.50	100	8	37.50
41	9	33.33	71	8	37.50	101	8	37.50
42	9	33.33	72	10	30.00	102	8	37.50
43	8	37.50	73	8	37.50	103	8	37.50
44	8	37.50	74	8	37.50	104	11	27.27
45	8	37.50	75	9	33.33	105	8	37.50
46	8	37.50	76	10	30.00	106	8	37.50
47	8	37.50	77	8	37.50	107	8	37.50
48	7	42.86	78	8	37.50	108	8	37.50
49	9	33.33	79	11	27.27	109	8	37.50
50	9	33.33	80	9	33.33	110	8	37.50
51	8	37.50	81	8	37.50	111	9	33.33
52	8	37.50	82	8	37.50	112	8	37.50
53	8	37.50	83	9	33.33			
54	8	37.50	84	9	33.33			

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 15 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางขึ้นสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศชายอายุมากกว่า 60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)
1	11	27.27	3	11	27.27	4	12	25.00
2	13	23.08						

ตารางภาคผนวกที่ 16 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางขึ้นสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศหญิงอายุน้อยกว่า 15 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	9	33.33	4	8	37.50	7	10	30.00
2	8	37.50	5	10	30.00	8	9	33.33
3	8	37.50	6	9	33.33			

ตารางภาคผนวกที่ 17 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางขึ้นสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศหญิงอายุระหว่าง 15-60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	8	37.50	12	9	33.33	23	9	33.33
2	8	37.50	13	9	33.33	24	11	27.27
3	9	33.33	14	8	37.50	25	8	37.50
4	12	25.00	15	7	42.86	26	8	37.50
5	8	37.50	16	10	30.00	27	8	37.50
6	8	37.50	17	9	33.33	28	8	37.50
7	8	37.50	18	8	37.50	29	8	37.50
8	8	37.50	19	8	37.50	30	8	37.50
9	8	37.50	20	8	37.50	31	8	37.50
10	10	30.00	21	9	33.33	32	9	33.33
11	9	33.33	22	9	33.33	33	8	37.50
34	9	33.33	64	8	37.50	94	8	37.50
35	9	33.33	65	9	33.33	95	10	30.00
36	10	30.00	66	9	33.33	96	8	37.50
37	11	27.27	67	8	37.50	97	8	37.50
38	9	33.33	68	8	37.50	98	7	42.86
39	9	33.33	69	8	37.50	99	8	37.50
40	9	33.33	70	8	37.50	100	9	33.33
41	10	30.00	71	8	37.50	101	8	37.50

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 17 (ต่อ)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)
42	9	33.33	72	8	37.50	102	8	37.50
43	9	33.33	73	8	37.50	103	8	37.50
44	8	37.50	74	8	37.50	104	9	33.33
45	8	37.50	75	11	27.27	105	8	37.50
46	8	37.50	76	10	30.00	106	8	37.50
47	6	50.00	77	8	37.50	107	8	37.50
48	9	33.33	78	7	42.86	108	8	37.50
49	8	37.50	79	8	37.50	109	8	37.50
50	8	37.50	80	9	33.33	110	8	37.50
51	9	33.33	81	9	33.33	111	8	37.50
52	12	25.00	82	8	37.50	112	8	37.50
53	9	33.33	83	8	37.50	113	9	33.33
54	9	33.33	84	11	27.27	114	8	37.50
55	9	33.33	85	11	27.27	115	8	37.50
56	8	37.50	86	8	37.50	116	8	37.50
57	8	37.50	87	17	17.65	117	8	37.50
58	8	37.50	88	8	37.50	118	9	33.33
59	8	37.50	89	10	30.00	119	11	27.27
60	9	33.33	90	8	37.50	120	8	37.50
61	8	37.50	91	9	33.33			
62	8	37.50	92	9	33.33			
63	8	37.50	93	8	37.50			

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 18 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางขึ้นสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศหญิงอายุมากกว่า 60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)
1	12	25.00	2	11	27.27	2	12	25.00

ตารางภาคผนวกที่ 19 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางลงสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศชายอายุน้อยกว่า 15 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	7	42.86	4	6	50.00	6	6	50.00
2	7	42.86	5	5	60.00	7	6	50.00
3	6	50.00						

ตารางภาคผนวกที่ 20 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางลงสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศชายอายุระหว่าง 15-60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	7	42.86	13	7	42.86	25	7	42.86
2	6	50.00	14	7	42.86	26	9	33.33
3	9	33.33	15	7	42.86	27	10	30.00
4	9	33.33	16	7	42.86	28	7	42.86
5	6	50.00	17	11	27.27	29	10	30.00
6	8	37.50	18	7	42.86	30	6	50.00
7	9	33.33	19	10	30.00	31	7	42.86
8	6	50.00	20	8	37.50	32	9	33.33
9	8	37.50	21	7	42.86	33	7	42.86
10	6	50.00	22	7	42.86	34	6	50.00
11	7	42.86	23	7	42.86	35	9	33.33
12	6	50.00	24	6	50.00	36	9	33.33
37	6	50.00	47	7	42.86	57	7	42.86
38	8	37.50	48	7	42.86	58	9	33.33
39	11	27.27	49	11	27.27	59	10	30.00
40	6	50.00	50	7	42.86	60	7	42.86
41	11	27.27	51	10	30.00	61	10	30.00
42	6	50.00	52	8	37.50	62	6	50.00
43	7	42.86	53	7	42.86	63	7	42.86
44	6	50.00	54	7	42.86	64	9	33.33

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 21 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางลงสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศชายอายุมากกว่า 60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	8	37.50	3	8	37.50	4	7	42.86
2	9	33.33						

ตารางภาคผนวกที่ 22 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางลงสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศหญิงอายุน้อยกว่า 15 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	7	42.86	3	7	42.86	5	8	37.50
2	6	50.00	4	7	42.86	6	7	42.86

ตารางภาคผนวกที่ 23 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางลงสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศหญิงอายุระหว่าง 15-60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	11	27.27	26	7	42.86	51	6	50.00
2	7	42.86	27	7	42.86	52	7	42.86
3	6	50.00	28	9	33.33	53	6	50.00
4	11	27.27	29	8	37.50	54	9	33.33
5	10	30.00	30	8	37.50	55	7	42.86
6	8	37.50	31	11	27.27	56	7	42.86
7	12	25.00	32	10	30.00	57	6	50.00
8	12	25.00	33	9	33.33	58	7	42.86
9	6	50.00	34	7	42.86	59	8	37.50
10	7	42.86	35	8	37.50	60	8	37.50
11	6	50.00	36	8	37.50	61	9	33.33
12	6	50.00	37	11	27.27	62	7	42.86

หมายเหตุ: ■■■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 23 (ต่อ)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)
13	7	42.86	38	7	42.86	63	7	42.86
14	8	37.50	39	6	50.00	64	9	33.33
15	6	50.00	40	11	27.27	65	8	37.50
16	7	42.86	41	10	30.00	66	8	37.50
17	6	50.00	42	8	37.50	67	12	25.00
18	9	33.33	43	12	25.00	68	10	30.00
19	7	42.86	44	12	25.00	69	9	33.33
20	7	42.86	45	6	50.00	70	7	42.86
21	6	50.00	46	7	42.86	71	8	37.50
22	7	42.86	47	6	50.00	72	8	37.50
23	8	37.50	48	6	50.00	73	7	42.86
24	8	37.50	49	7	42.86	74	8	37.50
25	9	33.33	50	8	37.50	75	8	37.50

หมายเหตุ: ■■■ เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 24 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดทิศทางลงสถานี
รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 5.00 เมตร (เพศหญิงอายุมากกว่า 60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)
1	10	30.00	2	9	33.33	2	9	33.33

ตารางภาคผนวกที่ 25 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะ 13.50 เมตร (เพศชายอายุน้อยกว่า 15 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาทีกิโลเมตร)
1	10	81.00	3	11	73.64	5	10	81.00
2	9	90.00	4	12	67.50			

ตารางภาคผนวกที่ 26 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 13.50 เมตร (เพศชายอายุ 15-60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	9	90.00	14	8	101.25	27	8	101.25
2	8	101.25	15	11	73.64	28	11	73.64
3	8	101.25	16	11	73.64	29	11	73.64
4	11	73.64	17	11	73.64	30	11	73.64
5	11	73.64	18	11	73.64	31	11	73.64
6	11	73.64	19	9	90.00	32	11	73.64
7	11	73.64	20	8	101.25	33	9	90.00
8	11	73.64	21	8	101.25	34	9	90.00
9	9	90.00	22	11	73.64	35	8	101.25
10	10	81.00	23	11	73.64	36	8	101.25
11	9	90.00	24	11	73.64	37	9	90.00
12	8	101.25	25	9	90.00	38	8	101.25
13	8	101.25	26	8	101.25	39	8	101.25
40	11	73.64	42	11	73.64	44	8	101.25
41	11	73.64	43	9	90.00	45	8	101.25

ตารางภาคผนวกที่ 27 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะ 13.50 เมตร (เพศชายอายุมากกว่า 60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	14	57.86	3	13	62.31	4	14	57.86
2	12	67.50						

ตารางภาคผนวกที่ 28 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะ 13.50 เมตร (เพศหญิงอายุน้อยกว่า 15 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	11	73.64	4	9	90.00	7	10	81.00
2	9	90.00	5	11	73.64	8	10	81.00
3	11	73.64	6	11	73.64			

ตารางภาคผนวกที่ 29 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะทาง 13.50 เมตร (เพศหญิงอายุ 15-60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	9	90.00	3	11	73.64	5	9	90.00
2	10	81.00	4	9	90.00	6	9	90.00
7	11	73.64	25	9	90.00	43	11	73.64
8	13	62.31	26	10	81.00	44	9	90.00
9	8	101.25	27	11	73.64	45	9	90.00
10	11	73.64	28	9	90.00	46	9	90.00
11	9	90.00	29	9	90.00	47	11	73.64
12	9	90.00	30	9	90.00	48	13	62.31
13	10	81.00	31	11	73.64	49	8	101.25
14	11	73.64	32	13	62.31	50	8	101.25
15	9	90.00	33	8	101.25	51	11	73.64
16	9	90.00	34	8	101.25	52	8	101.25
17	9	90.00	35	11	73.64	53	11	73.64
18	11	73.64	36	8	101.25	54	9	90.00
19	13	62.31	37	11	73.64	55	9	90.00
20	8	101.25	38	9	90.00	56	10	81.00
21	11	73.64	39	9	90.00	57	11	73.64
22	8	101.25	40	9	90.00	58	9	90.00
23	11	73.64	41	9	90.00	59	9	90.00
24	9	90.00	42	10	81.00	60	9	90.00

หมายเหตุ: เป็นค่าการสำรวจที่ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ

ตารางภาคผนวกที่ 30 ผลการสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสารบริเวณบันไดเลื่อนทิศทางขึ้น
สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ระยะ 13.50 เมตร (เพศหญิงอายุมากกว่า 60 ปี)

No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)	No.	เวลาเดินทาง (วินาที)	ความเร็ว (นาที/เมตร)
1	14	57.86	2	13	62.31	2	14	57.86