รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการประเมินความสามารถในการเข้าถึงสถานีรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน เพื่อสนับสนุนการพัฒนาระบบรางในเขตเมือง

Assessing accessibility of transit terminal for supporting urban railway system development

นายณกร อินทร์พยุง และคณะ

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

รหัสโครงการ 2559A10802170
สัญญาเลขที่ 46/2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการประเมินความสามารถในการเข้าถึงสถานีรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน เพื่อสนับสนุนการพัฒนาระบบรางในเขตเมือง

Assessing accessibility of transit terminal for supporting urban railway system development

นายณกร อินทร์พยุง และคณะ

มหาวิทยาลัยบูรพา
มีนาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 46/2559 ในหัวข้อเรื่อง โครงการประเมินความสามารถในการเข้าถึงสถานีรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนเพื่อสนับสนุนการพัฒนาระบบรางในเขตเมือง

ผู้วิจัยและคณะขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยเพื่อให้เกิดการพัฒนางานวิจัยนี้ขึ้น และเพื่อให้งานวิจัยนี้ได้เป็นส่วนหนึ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาด้านการคมนาคม ที่เป็นประโยชน์ต่อประเทศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยบูรพา และคณะผู้ร่วมงานวิจัยทุกท่าน ที่มีความมุ่งมั่น เสียสละ และตั้งใจทำงานวิจัยจนได้งานวิจัยที่สมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบคุณบิดา มารดา และครู อาจารย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งครอบครัว ที่คอยให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด

นายณกร อินทร์พยุง และคณะนักวิจัย

บทคัดย่อ

การวางแผนและออกแบบสถานีรถไฟฟ้า มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาระบบราง การศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมผู้โดยสารบริเวณสถานี จะช่วยเป็นแนวทางในการวางแผน การกำหนดมาตรฐานในการออกแบบสถานีรถไฟฟ้าและพื้นที่โดยรอบให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในโครงการศึกษานี้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะ (ITS) ในการสำรวจเก็บข้อมูลเพื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองการเดินทาง คณะวิจัยได้สำรวจข้อมูลลักษณะการขึ้นลงของผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้า ในกรณีที่เป็นสถานีเปลี่ยนสายและขบวนรถไฟฟ้า จะมีผู้โดยสารจำนวนมากที่มาใช้สถานี โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน การขึ้นลงของผู้โดยสารมีความหนาแน่นและเบียดเสียด รวมถึงมีความเร่งรีบในการเปลี่ยนถ่ายขบวน

ในการแบ่งกลุ่มผู้โดยสาร วิธีคลัสเตอร์ C-mean ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ โดยใช้ความเร็วในการเดินทางของผู้โดยสารเป็นค่าคุณลักษณะในการแบ่งกลุ่มผู้โดยสาร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 (8.346, 57.719) กลุ่มที่ 2 (7.017, 68.434) และกลุ่มที่ 3 (6.032, 79.695) โดยที่ค่า 8.346, 7.017 และ 6.032 เป็นเวลาการเดินทางมีหน่วยเป็นวินาที และค่า 57.719, 68.434 และ 79.695 เป็นความเร็วในการเดินทางมีหน่วยเป็นเมตรต่อนาที นอกจากนี้ การวิเคราะห์ผลด้านการจราจร จะใช้ความเร็ว การไหลของคนเดินเท้าต่อหน้าตัด ซึ่งจะบ่งบอกถึงปริมาณคนเดินเท้าที่เข้าสู่พื้นที่นั้น ๆ รวมถึงสะท้อนให้เห็นถึงระดับการให้บริการของทางเดินของคนเดินเท้าในบริเวณนั้น ๆ นั่นคือ ที่บริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร สถานีรถไฟฟ้ากรณีศึกษา ที่บริเวณทางเดินกว้าง 6 เมตร ยาว 10 เมตร โดยเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 15 นาที ที่มีการไหลผ่านหน้าตัด 840 คน คิดเป็นการไหลต่อหน้าตัดเท่ากับ 2.8 คน/นาที/ฟุต ซึ่งคิดเป็นการให้บริการที่สถานีรถไฟฟ้าอยู่ในระดับ A

Abstract

The planning and design of electric train station is of importance to the development of rail transportation. The study and analysis of passenger behavior at the station can guide planning and determine the standard of the design of railway station more efficiently. In this study applies the intelligent transportation system (ITS) to survey and collect data in order to develop the travel demand model. We survey passenger behavior at the train station. In case of the interchange station, there is a number of
passengers using the station especially during rush hours. Passengers flow in and out the station resulting the station dense and crowded as well as the quick movement of passengers changing the train lines.

To cluster the passengers, C-mean clustering technique is applied. By defining the velocity of passenger movement. In this study, train passengers are clustered into three groups: Cluster 1 (8.346, 57.719), Cluster 2 (7.017, 68.434) and Cluster 3 (6.032, 79.695), where 8.346, 7.017 and 6.032 are the travel time in seconds, and 57.719, 68.434 and 79.695 are passenger flow velocity in meter per minute. In addition, the analysis of passenger flow, the velocity and flow per segment are used to identify the number of passengers in the section area. That is, at the ticket issuing area of the train station with 6* 10 meters of the walkway by collecting the data for 15 minutes at the flow section 840 persons, as a result the flow per section 2.8 per/ min/ ft. This provides level of service A for the train station in our case study.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก

บทคัดย่อ ..... ข

Abstract ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญภาพ ..... ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา 1-1

1.2 หลักการและเหตุผล 1-2

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 1-4

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 1-4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1-5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองการวางแผนการเดินทาง 2-1

2.2 การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค 2-7

2.3 ความสามารถในการเข้าถึง 2-11

2.4 แบบจำลองคนเดินเท้า 2-13

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

3.1 การพัฒนาแบบจำลองคนเดินเท้าเคลื่อนสู่สถานี 3-1

3.2 การพัฒนาแบบจำลองการเข้าถึงระดับมหภาค 3-3

3.3 กรอบแนวคิดในการพัฒนา 3-5

บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 ผลการสำรวจพฤติกรรมผู้โดยสารที่สถานีรถไฟฟ้า 4-1

4.2 ผลการประยุกต์ใช้ระบบ ITS ในการจัดกลุ่มความเร็วในการเดินของผู้โดยสาร 4-10

4.3 ผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลผู้โดยสารด้วยวิธีคลัสเตอร์ 4-19

4.4 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคนเดินเท้า และระดับบริการผู้โดยสารที่สถานี 4-23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา 5-1

5.2 ข้อเสนอแนะ 5-2

ส่วนประกอบตอนท้าย

รายงานสรุปการเงิน ก-1

บรรณานุกรม ก-2

ภาคผนวก ก-6

ประวัตินักวิจัย ก-8

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 แบบจำลองการเลือกภาพแบบการเดินทางประเภทต่าง ๆ 2-4
ตารางที่ 2-2 แบบจำลองการแจกแจงการเดินทางประเภทต่าง ๆ 2-5
ตารางที่ 2-3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการแก้ปัญหาจราจรติดขัด 2-7
ตารางที่ 2-4 แบบจำลองการวัดความสามารถในการเข้าถึง 2-12
ตารางที่ 2-5 เปรียบเทียบแบบจำลองของคนเดินท้า 2-14
ตารางที่ 3-1 รูปแบบสถานีจำแนกตามความจุ (Capacity) 3-8
ตารางที่ 3-2 การวัดปริมาณอัตราการไฟลของคนเดินเท้าภายในสถานี 3-16
ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยการไหลของระดับการให้บริการทางเดิน และทางเดินด้านข้าง[a] (TRB, 2000) .4-30
ตารางที่ 5-1 ค่าเฉลี่ยการไหลของระดับการให้บริการทางเดิน และทางเดินด้านข้าง 5-1

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 แบบจำลองด้านการขนส่ง 4 ขั้นตอน 2-1
ภาพที่ 2-2 ความสัมพันธ์ Speed-flow curve สำหรับถนน 2-6
ภาพที่ 3-1 กรอบแนวคิดการพัฒนา OPAA Model 3-1
ภาพที่ 3-2 การวิเคราะห์การเดินเท้าเพื่อเข้าถึงสถานีด้วยระบบ Image Processing 3-2
ภาพที่ 3-3 แบบจำลองการเดินเท้าเพื่อเข้าถึงสถานีที่มีสิ่งกีดขวางและมีสภาพติดขัด 3-3
ภาพที่ 3-4 โครงสร้างแบบจำลองการเลือกภาพแบบการเดินทาง 3-4
ภาพที่ 3-5 แผนงานการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่งของประเทศ 3-5
ภาพที่ 3-6 การพัฒนารถไฟทางคู่และทางคู่ขนานทางมาตรฐาน 3-6
ภาพที่ 3-7 การพัฒนารถไฟฟ้าขนส่งมวลชนใน กทม. และปริมณฑล 3-6
ภาพที่ 3-8 สถานีรถไฟใหม่ที่จะทำการก่อสร้าง 3-7
ภาพที่ 3-9 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design) 3-9
ภาพที่ 3-10 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design) 3-9
ภาพที่ 3-11 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design) 3-10
ภาพที่ 3-12 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design) 3-10
ภาพที่ 3-13 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design) 3-11
ภาพที่ 3-14 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design) 3-11
ภาพที่ 3-15 แนวคิดการจัดการสถานีรถไฟและองค์ประกอบทางกายภาพ 3-12
ภาพที่ 3-16 องค์ประกอบการออกแบบสถานีและ Design Guideline 3-13
ภาพที่ 3-17 พื้นที่รอบข้างยังไม่ได้รับการพัฒนา 3-14
ภาพที่ 3-18 ทางเชื่อมแบบ skywalk ยังมีน้อยและมีระยะทางไกล 3-14
ภาพที่ 3-19 ข้อมูลผู้สัญจร ป้ายจราจร บริเวณรอบสถานี ไม่มีความชัดเจน 3-15
ภาพที่ 3-20 แผนผังการพัฒนาการเชื่อมต่อเพื่อให้เกิดอรรถประโยชน์ 3-15
ภาพที่ 3-21 ตัวอย่างการบันทึกภาพและประมวลผลการเคลื่อนที่ด้วยระบบ Face Recognition 3-18
ภาพที่ 3-22 ตัวอย่างการบันทึกภาพและประมวลผลการเคลื่อนที่ด้วยระบบ Face Recognition 3-19
ภาพที่ 3-23 แบบจำลอง A2 การสร้างมาตรฐานสถานีรถไฟ 3-19
ภาพที่ 4-1 การเข้าออกและสลับขบวนรถไฟฟ้าของผู้โดยสารสถานีสยาม 4-1
ภาพที่ 4-2 ลักษณะการยืนรอเพื่อขึ้นรถไฟฟ้าที่สถานีสยาม 4-2
ภาพที่ 4-3 ความหนาแน่นของผู้โดยสารที่เข้าคิวเพื่อออกจากชานชาลาสถานีสยาม 4-3
ภาพที่ 4-4 ระหว่างการรอรถไฟฟ้า และผู้โดยสารที่เดินไปยังทางออกต่างๆ 4-3

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 4-5 การเปลี่ยนขบวนรถของผู้โดยสารจากสายหนึ่งไปยังอีกสายหนึ่ง 4-4
ภาพที่ 4-6 เมื่อผู้โดยสารออกขบวนรถไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกขบวนหนึ่ง 4-4
ภาพที่ 4-7 ลักษณะการเดินขึ้นลงและความหนาแน่นของผู้โดยสาร 4-5
ภาพที่ 4-8 ลักษณะการเดินของผู้โดยสารภายในสถานี 4-5
ภาพที่ 4-9 ลักษณะของบันไดขึ้นลงสถานีอโศก 4-6
ภาพที่ 4-10 ลักษณะการเดิน และความหนาแน่นของผู้โดยสาร 4-6
ภาพที่ 4-11 ลักษณะของสถานีรถไฟฟ้าสถานีอโศก 4-7
ภาพที่ 4-12 ลักษณะของบันไดและการขึ้นลงของผู้โดยสารสถานีพญาไท 4-8
ภาพที่ 4-13 ลักษณะของบันไดและการขึ้นลงของผู้โดยสารสถานีพญาไท 4-8
ภาพที่ 4-14 ลักษณะทางออกและทางเชื่อมต่อไปยัง Airport Rail Link 4-9
ภาพที่ 4-15 ความหนาแน่นของผู้โดยสารสถานีพญาไท 4-10
ภาพที่ 4-16 ตัวอย่างการใช้งานฟังก์ชัน Video Capture 4-12
ภาพที่ 4-17 ตัวอย่างการใช้งานฟังก์ชัน Background Subtraction 4-12
ภาพที่ 4-18 ตัวอย่างการใช้เทคนิค Background Subtraction 4-12
ภาพที่ 4-19 กระบวนการ segmentation เพื่อหาวัตถุด้านซ้าย 4-13
ภาพที่ 4-20 การใส่ค่า Threshold 4-14
ภาพที่ 4-21 ตัวบุคคลที่ทำการ track แล้ว detect พ 4-15
ภาพที่ 4-22 ตัวอย่างการใช้งาน Erosion และ Dilation 4-15
ภาพที่ 4-23 ตัวอย่างการใช้งานเทคนิคในการนับจำนวนคน 4-16
ภาพที่ 4-24 ภาพวิดีโอสดจากกล้องวงจรปิดหรือกล้องเว็บแคม 4-16
ภาพที่ 4-25 ไฟล์วิดีโอเข้ามาแล้วรันโปรแกรม 4-17
ภาพที่ 4-26 ตัวอย่างผลการบันทึกข้อมูลจากกล้องวิดีโอด้วยระบบ ITS ที่สถานีหมอชิด 4-18
ภาพที่ 4-27 การทำงานของฟัซซี่มีน 4-22
ภาพที่ 4-28 การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-mean 4-22
ภาพที่ 4-29 การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี C-mean 4-23
ภาพที่ 4-30 แนวคิดการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าแบบ Social force 4-26
ภาพที่ 4-31 ตัวอย่างหน้าต่างแบบจำลองคนเดินเท้า pedsim 4-29
ภาพที่ 4-32 ตัวอย่างการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าในแบบจำลอง pedsim 4-29

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ยุทธศาสตร์ในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบคมนาคมขนส่งและโลจิสติกส์ของประเทศในทศวรรษหน้ามุ่งเน้นการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางจากระบบถนนไปสู่ระบบรางเนื่องจากเป็นระบบมีต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยต่ำ มีประสิทธิภาพในการขนส่งมวลชนได้จำนวนมาก อีกทั้งช่วยลดการใช้พลังงานและมลภาวะที่เกิดจากการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญ ระบบรางยังใช้เป็นเครื่องมือชี้นำการพัฒนาเมืองโดยการพัฒนาระบบรางจะปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัย อีกทั้งใช้แก้ปัญหาความแออัดที่กระจุกตัวเฉพาะในเขตชุมชนเมือง ถือเป็นการช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนโดยรวม จากความสำคัญดังกล่าวรัฐได้เร่งรัดการลงทุนขยายระบบขนส่งมวลชนระบบรางภายในเมือง ให้ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลคิดเป็นระยะทางรวมประมาณ 291 กม. รองรับการเดินทางเข้าออกเมืองจำนวนกว่า 1.38 ล้านเที่ยวต่อวันในปี พ.ศ. 2557 และปริมาณการเดินทางที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 2.66 ล้านเที่ยวต่อวันในปี 2572 (อ้างอิงการศึกษาโดย สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2554)

การพัฒนาระบบดังกล่าวไม่สามารถดำเนินการได้อย่างยั่งยืนหากขาดการบูรณาการความเชื่อมโยง (Connectivity) กับการขนส่งรูปแบบอื่นๆ ทั้งการเดินทางแบบใช้เครื่องยนต์ (Motorized transportation mode) เช่น รถยนต์ส่วนบุคคล รถโดยสารประจำทาง เรือโดยสาร และการเดินทางแบบไม่ใช้เครื่องยนต์ (Non-motorized) เช่น จักรยานการเดินเท้า ดังนั้น การพัฒนาการเข้าถึงสถานีรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการสนับสนุนให้เกิดการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทาง (Modal shift) ทั้งยังเป็นปัจจัยสำคัญในการสนับสนุนประสิทธิภาพในการดึงดูดผู้โดยสารและรองรับความต้องการในการเดินทางที่จะเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต

การศึกษาในโครงการนี้มุ่งเน้นการประเมินความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ของผู้โดยสารโดยกลุ่มนักวิจัยจะพัฒนาแบบจำลองระดับวางแผนปฏิบัติการเพื่อการประเมินความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพการเข้าถึงพื้นที่ของผู้โดยสารที่เข้ามาใช้สถานี รถไฟฟ้าขนส่งมวลชน แบบจำลองที่พัฒนาจะใช้ตัวกลางที่ใช้เชื่อมแบบจำลองใน 2 ระดับชั้น คือ

1) แบบจำลองระดับมหภาค ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์ผลกระทบของการดำเนินนโยบายการขนส่งในระดับมหภาคและใช้วิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงกรณีมีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อใช้เชื่อมต่อระบบรางในเขตเมือง โดยการศึกษาจะเป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ได้มีการพัฒนาโดย สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) รวมถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องระดับนโยบาย

ระบบขนส่งสาธารณะระบบรางและกลุ่มนักวิจัยจะพัฒนาต่อโดยจะคัดเลือกเฉพาะโครงข่ายการขนส่งและปริมาณการเดินทางที่เชื่อมต่อกับการขนส่งสาธารณะระบบรางในเมืองเป็นหลัก และ

2) แบบจำลองระดับจุลภาค ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของผู้โดยสารที่เดินทางเข้าออกสถานีโดยเป็นผลจากการออกแบบจัดการรูปแบบสถานีและบริเวณพื้นที่โดยรอบแบบสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้าง โดยประยุกต์ใช้ระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะ (ITS) ในการสำรวจข้อมูลการเคลื่อนตัวของผู้โดยสารบริเวณสถานีและพื้นที่โดยรอบ

ดังนั้น แบบจำลองระดับวางแผนปฏิบัติการที่พัฒนานี้จะใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการอธิบายความสามารถในการเข้าถึงอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการกำหนดนโยบายและการจัดการพื้นที่โดยรอบสถานีรถไฟฟ้าดังกล่าว อีกทั้งใช้เป็นเครื่องมืออธิบายถึงปัญหาอุปสรรคในระดับนโยบายและระดับปฏิบัติการอันจะมีส่วนช่วยให้รัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้เพิ่มความสามารถในการเข้าถึงสถานีรถไฟฟ้าและการพัฒนาพื้นที่โดยรอบสถานี (Transit Oriented Development: TOD) ทำให้การเชื่อมต่อระหว่างรูปแบบการเดินทางมีความสมบูรณ์อันจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งระบบรางอย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 หลักการและเหตุผล

- คณะรักษาความสงบแห่งชาติ (คสช.) ได้วางยุทธศาสตร์การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่งของประเทศ ในปี พ.ศ. 2558 - 2565 โดยเน้นการพัฒนาการขนส่งระบบราง ซึ่งมีจุดประสงค์หลัก เพื่อดึงดูดให้ประชาชนหันมาใช้ระบบขนส่งมวลชนระบบราง เพื่อลดการพึ่งพารถยนต์ส่วนบุคคล ลดปัญหาการจราจร และมลภาวะในเขตเมือง การเชื่อมโยงการขนส่งระหว่างเมืองภูมิภาค เพื่อลดต้นทุนการคมนาคมขนส่งในภาพรวม และการเป็นประตูการค้า เชื่อมโยงประเทศเพื่อนบ้าน
- กระทรวงคมนาคมได้มีกลยุทธ์การพัฒนาระบบรางในปี พ.ศ. 2558-2565 โดยเร่งผลักดันโครงการรถไฟฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อดึงดูดผู้โดยสารและรองรับความต้องการในการเดินทางในอนาคต ปรับปรุงระบบรางของการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ให้ได้มาตรฐานสากล อีกทั้งก่อสร้างรางคู่ เพื่อเพิ่มความจุ และเพิ่มความเร็วในการให้บริการ รองรับความต้องการการขนส่งทั้งในและต่างประเทศ และปรับปรุงมาตรฐานโครงสร้างพื้นฐานใหม่ให้มีมาตรฐานระดับสากล
- โครงการพัฒนาการขนส่งระบบรางมีประวัติอันยาวนาน เริ่มตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2540 โดยได้มีโครงการก่อสร้างรถไฟรางคู่ในบริเวณภาคกลาง และโครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนต่างๆ ซึ่งเป็นไปตามนโยบายของรัฐบาลในทุกยุคทุกสมัย เนื่องจากการขนส่งระบบรางได้พิสูจน์ตนเองแล้วว่า เป็นการขนส่งที่สนับสนุนการพัฒนาแบบยั่งยืน โดยทางด้านสิ่งแวดล้อม ระบบรางมีการสร้างมลพิษต่อจำนวนผู้โดยสารน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล ทางด้านเศรษฐกิจ ระบบรางจะมีความสามารถในการเข้าถึงได้ที่สถานี ซึ่งเป็นจุดขึ้นและลง (เข้าและออก) ระบบราง เปรียบเสมือนการนำลูกค้ากลุ่มใหญ่เดินทาง

ไปสู่แหล่งธุรกิจที่ได้จัดเตรียมไว้ โดยไม่ต้องโฆษณา ประชาสัมพันธ์ นอกจากร้านค้าในบริเวณสถานีที่การันตีว่าจะมีลูกค้าผ่านไปมา สร้างโอกาสการค้าขายอย่างแน่นอนแล้ว การมีความสามารถในการเข้าถึงสถานียังส่งผลให้เกิดโอกาสการพัฒนา TOD สร้างรายได้ให้แก่ภาครัฐและภาคเอกชน และเมื่อผนวกกับสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น ระบบตั๋วร่วม เพื่อส่งเสริมการเดินทางต่อเนื่องหลายรูปแบบ ก็จะเป็นการสนับสนุนเศรษฐกิจในพื้นที่แบบพลวัตร กระจายรายได้ที่ได้มาจากการขายความสะดวกให้แก่ผู้โดยสาร ส่วนด้านสังคม ระบบรางเป็นระบบที่ลดระยะเวลาในการเดินทาง ใช้พื้นที่น้อยในการก่อสร้าง (เมื่อเทียบกับความจุที่รองรับได้) ดังนั้น คุณภาพชีวิตของประชาชนจะดีขึ้น มีเวลาทำกิจกรรมส่วนตัวมากขึ้น อีกทั้ง ยังมีพื้นที่เหลือในการพัฒนาเชิงสาธารณะมากขึ้น

- ถึงแม้ว่าสถานีจะเป็นจุดเดียวที่สามารถเข้าถึงระบบราง แต่การวางแผนเป็นเพียงการพิจารณาเกี่ยวกับการค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และความจุของขบวนรถไฟเท่านั้น มิได้คำนึงถึงผลของการออกแบบสถานีที่จะสร้างแรงดึงดูดในการใช้บริการ อีกทั้งการออกแบบสถานี และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆภายในสถานี ซึ่งขึ้นอยู่กับการพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้โดยสาร ยังไม่มีทิศทางที่ชัดเจน โดยในปัจจุบันใช้กฎหมาย กฎระเบียบ มาตรฐานอื่นที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1.2.4.1 กฎหมายควบคุมอาคาร

1) พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยมีกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

- กฎกระทรวง ฉบับที่ 33 พ.ศ. 2535 แก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวง ฉบับที่ 42 พ.ศ. 2537 และ ฉบับที่ 50 พ.ศ. 2540 เรื่อง อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่พิเศษ
- กฎกระทรวง ฉบับที่ 55 พ.ศ. 2543 แก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวง ฉบับที่ 58 พ.ศ. 2546 และ ฉบับที่ 61 พ.ศ. 2550 เรื่อง ลักษณะอาคาร ส่วนต่างๆ ของอาคาร ที่ว่างภายนอก แนวอาคาร และระยะต่างๆ ของอาคาร
- กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527 แก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวง ฉบับที่ 48 พ.ศ. 2540 และ ฉบับที่ 60 พ.ศ. 2549 เรื่อง การออกแบบโครงสร้าง
- กฎกระทรวง ฉบับที่ 7 พ.ศ. 2517 แก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวง ฉบับที่ 41 พ.ศ. 2537 และ ฉบับที่ 64 พ.ศ. 2555 เรื่อง ประเภทของอาคารที่ต้องมีที่จอดรถ จำนวนที่จอดรถ
- กฎกระทรวง ฉบับที่ 39 พ.ศ. 2537 แก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวง ฉบับที่ 63 พ.ศ. 2551 เรื่อง ระบบป้องกันอัคคีภัย ห้องน้ำและห้องส้วม ระบบ

การจัดแสงสว่างและระบายอากาศ ระบบจ่ายพลังงานไฟสำรองกรณีฉุกเฉิน

- กฎกระทรวงกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคารสำหรับผู้พิการหรือทุพพลภาพและคนชรา พ.ศ. 2548
- กฎกระทรวงกำหนดลักษณะหรือการจัดให้มีอุปกรณ์สิ่งอำนวยความสะดวกหรือบริการในอาคาร สถานที่ ยานพาหนะ และบริการขนส่งเพื่อให้คนพิการสามารถเข้าถึงและใช้ประโยชน์ได้ พ.ศ. 2556

2) ข้อกำหนดผังเมืองรวม

1.2.4.2 มาตรฐานสากลและมาตรฐานอ้างอิงที่ใช้ในต่างประเทศ

1) NFPA 130: Standard for Fixed Guide Way Transit and Passenger Rail System
2) NFPA 101: Life Safety Code

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เนื่องจากการวางแผนและออกแบบสถานีรถไฟฟ้า มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาระบบราง การศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมผู้โดยสารบริเวณสถานี จะช่วยเป็นแนวทางในการวางแผน การกำหนดมาตรฐานในการออกแบบสถานีรถไฟฟ้าและพื้นที่โดยรอบให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ ได้แก่

1. ศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้โดยสารบริเวณสถานี
2. ประยุกต์ใช้ระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะ (ITS) เพื่อใช้ในการสำรวจข้อมูลพฤติกรรมของผู้โดยสาร
3. เสนอแนะแนวทางในการออกแบบสถานีรถไฟฟ้าในขั้นตอนการวางแผน

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตการวิจัยครอบคลุมการพัฒนาแบบจำลองระดับปฏิบัติการความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ของสถานีรถไฟฟ้า โดยศึกษาจากสถานีรถไฟฟ้า 1 แห่งในเขตกรุงเทพมหานคร โดยจะทำการติดตั้งระบบตรวจสอบการเคลื่อนตัวของผู้โดยสารซึ่งจะได้นำไปใช้พัฒนาแบบจำลองเบื้องต้น ในส่วนการพัฒนาแบบจำลองระดับมหภาคจะเป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาในโครงการพัฒนาปรับปรุง

บำรุงรักษาระบบฐานข้อมูล ข้อสนเทศและแบบจำลอง เพื่อบูรณาการพัฒนาการขนส่งและจราจร การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและระบบโลจิสติกส์ (TDL) โดย สนข.

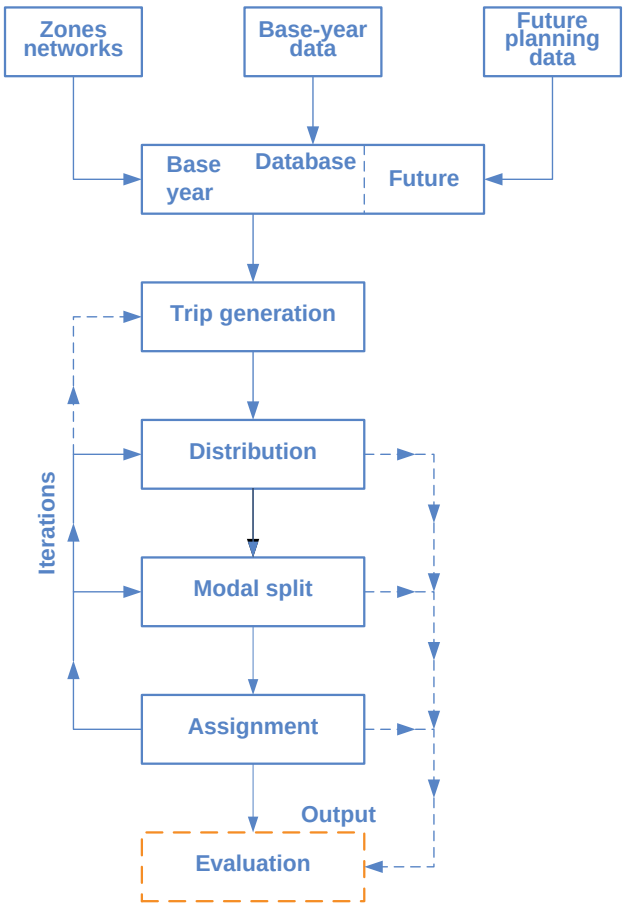
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองเพื่อวัดความสามารถในการเข้าถึงของคนเท้าในระดับมหภาคและจุลภาคเพื่อใช้วิเคราะห์ผลกระทบเชิงนโยบาลและปฏิบัติการเกี่ยวกับการจัดการพื้นที่โดยรอบสถานีรถไฟ ซึ่งหากได้รับการนำไปใช้จริงจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมโยงการเดินทางด้วยระบบขนส่งทางรางในเขตเมือง
2. ได้ต้นแบบและแนวทางเบื้องต้นในการวิเคราะปัญหาการเข้าถึงสถานีรถไฟฟ้าและสามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งหากได้รับการนำไปใช้จริงจะสามารถช่วยให้เกิดความเข้าใจถึงปัญหาความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่อันจะมีส่วนช่วยเพิ่มจำนวนผู้โดยสารที่จะมาใช้ระบบขนส่งทางรางได้อย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองการวางแผนการเดินทาง

ในโครงการวิจัยนี้ เป็นการวางแผนด้านการเดินทางซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการคาดการณ์พฤติกรรมการเดินทางของผู้โดยสาร เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบระบบโครงข่ายที่เหมาะสมและสามารถตอบสนองต่อความต้องการเดินทางได้ ในการคาดการณ์พฤติกรรมการเดินทางดังกล่าวแบบจำลองด้านการขนส่ง 4 ขั้นตอน ได้ถูกพัฒนาขึ้นและใช้อย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ช่วงต้น ค.ศ. 1960 จนถึงปัจจุบันดังแสดงองค์ประกอบหลักใน**ภาพที่ 2-1**



ภาพที่ 2-1 แบบจำลองด้านการขนส่ง 4 ขั้นตอน

(Ortuzar และ Willumsen, 2011)

ในขั้นตอนแรก จะเป็นการคาดการณ์ความต้องการเดินทาง (Trip generation) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการคาดการณ์ว่าจะมีความต้องการเดินทางเข้าและออกพื้นที่อย่างไรบ้าง หลังจากทราบปริมาณความต้องการเดินทาง จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip distribution) เพื่อคาดการณ์ว่าจะมีการเดินทางระหว่างพื้นที่ต่าง ๆ จากจุดเริ่มต้น (Origin) ไปยังจุดปลายทางในลักษณะอย่างไร เมื่อได้ปริมาณความต้องการในการเดินทางระหว่างพื้นที่ต่าง ๆ (Many-to-one destinations) แล้ว แบบจำลองการเลือกภาพแบบการเดินทาง (Modal split) จะถูกใช้ในการประมาณสัดส่วนของภาพแบบการเดินทางนั่นคือ ทางถนน ทางราง ระหว่างคู่จุดเริ่มต้นและจุดปลายทางต่าง ๆ ในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการคาดการณ์เส้นทางที่ใช้ในการเดินทางสำหรับแต่ละภาพแบบการเดินทาง โดยใช้แบบจำลองการแจกแจงการเดินทาง (Traffic assignment)

ในส่วนของแบบจำลองที่ใช้คาดการณ์ภาพแบบการเดินทาง อาจจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ แบบจำลองแบบ Aggregate และแบบจำลองแบบ Disaggregate แบบจำลองแบบ Aggregate จะคาดการณ์ปริมาณการเดินทางแต่ละภาพแบบ โดยใช้ข้อมูลในระดับพื้นที่ ((Zonal/inter-zonal) เป็นหลัก ข้อมูลในระดับพื้นที่ที่ใช้ในการคาดการณ์ปริมาณเดินทางในแต่ละภาพแบบ อาทิเช่น ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการเดินทางสำหรับแต่ละภาพแบบจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่ง เป็นต้น Diversion curve เป็นแบบจำลองเลือกภาพแบบการขนส่งแบบ Aggregate แบบหนึ่งที่ถูกนำมาใช้คาดการณ์ความต้องการเดินทางในภาพแบบต่าง ๆ (Freeman และ Smith, 1967) แบบจำลองแบบ Aggregate อีกแบบหนึ่งที่นำหลักการของ Kirchhoff formulation มาประยุกต์ใช้ สามารถแสดงได้ดังสมการ (Ortuzar และ Willumsen, 2011)

$$P_{ij}^{k} = \frac{\left(C_{ij}^{k}\right)^{-n}}{\sum_{1}^{k}\left(C_{ij}^{k}\right)^{-n}}$$

โดยที่

$P_{ij}^{k} = \frac{\left(C_{ij}^{k}\right)^{-n}}{\sum_{1}^{k}\left(C_{ij}^{k}\right)^{-n}}$ คือ ความต้องการเดินทางจากพื้นที่ i ไปพื้นที่ j โดยใช้ภาพแบบการเดินทาง k,

$P_{ij}^{k} = \frac{\left(C_{ij}^{k}\right)^{-n}}{\sum_{1}^{k}\left(C_{ij}^{k}\right)^{-n}}$ คือ Generalized cost สำหรับการเดินทางจากพื้นที่ i ไปพื้นที่ j โดยใช้ภาพแบบการเดินทาง

Direct demand เป็นแบบจำลองเลือกภาพแบบการเดินทางแบบ Aggregate อีกแบบหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ซึ่งจะเป็นแบบจำลองที่รวม Trip generation, Trip distribution และ Modal split เข้ามาไว้ในขั้นตอนเดียวกัน Kraft (1968) ได้เสนอภาพแบบจำลอง Direct demand ไว้ดังนี้

$$T_{ijk} = \emptyset\left(P_i P_j\right)^{\theta_{k1}}\left(I_i I_j\right)^{\theta_{k2}} \prod_{m}\left[\left(t_{ij}^{m}\right)^{\alpha_{km}^{1}}\left(c_{ij}^{m}\right)^{\alpha_{km}^{2}}\right]$$

โดยที่ P_i คือ จำนวนประชากรในพื้นที่ i, I_i คือ รายได้เฉลี่ยของคนในพื้นที่ i, t_{ij}^k และ t, c หมายถึง ระยะเวลาและต้นทุนในการเดินทางจากพื้นที่ i ไปยังพื้นที่ j โดยใช้ภาพแบบการเดินทาง k และ $\emptyset$, θ, α เป็นค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

แบบจำลองเลือกภาพแบบการเดินทางอีกอันหนึ่งคือแบบ Disaggregate ซึ่งจะแตกต่างจากแบบจำลองแบบ Aggregate ตรงที่มีการนำข้อมูลแต่ละบุคคล (Individual) มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อคาดการณ์การตัดสินใจในระดับบุคคลในการเลือกภาพแบบการเดินทาง โดยทฤษฎีของ Disaggregate discrete choice model (Williams, 1981) ได้กล่าวไว้ว่า “ความน่าจะเป็นที่บุคคลใดบุคคลหนึ่งจะเลือกภาพแบบการเดินทาง จะเป็นฟังก์ชันของลักษณะเชิง Socio-economic ของบุคคลนั้นและความน่าดึงดูด (Relative attractiveness) ของภาพแบบการแต่ละภาพแบบเปรียบเทียบกับภาพแบบการเดินทางแบบอื่น ๆ” ทฤษฎีที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองแบบ Disaggregate discrete choice ก็คือทฤษฎี Random utility ซึ่งกล่าวไว้โดยสรุปว่าบุคคลจะพิจารณาถึงอรรถประโยชน์ (Utility) ของทางเลือกใด ๆ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติ (Attributes) ต่าง ๆ ของทางเลือกนั้น ซึ่งสามารถแสดงในภาพของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้

$$U_{jq} = V_{jq} + \epsilon_{jq}$$

โดยที่ U คือ อรรถประโยชน์สุทธิของทางเลือก j สำหรับบุคคล q, V คือคุณสมบัติที่สามารถวัดได้ของทางเลือก j สำหรับบุคคล q, ϵ คือ Random variable ที่แสดงถึงความรู้สึกส่วนตัว หรือ คุณสมบัติอื่น ๆ ที่วัดไม่ได้ของทางเลือก j สำหรับบุคคล q

ความน่าจะเป็นสำหรับบุคคล q ที่จะเลือกทางเลือก j สามารถคำนวณได้จากทฤษฎีของ Random utility ดังนี้

$$P_{jq} = Prob\{\varepsilon_{iq} \leq \varepsilon_{jq} + (V_{jq} - V_{iq}), \forall A_i$$

โดยที่ P_{jq} คือ ความน่าจะเป็นที่บุคคล q จะเลือกทางเลือก j และ A_i คือ ทางเลือก i

กำหนดให้ Random variable ϵ มีการกระจายแบบ IID Gumbel จะสามารถเขียน P_{jq} ให้อยู่ในภาพแบบดังนี้ได้ (Domencich และ McFadden, 1975)

$$P_{iq} = \frac{e^{(\beta V_{iq})}}{\sum_{A_j \epsilon A(q)} e^{(\beta V_{jq})}}$$

แบบจำลองดังกล่าวเรียกว่า Multinomial และ Nested logit ในกรณีที่กำหนดให้ ϵ มีการกระจายแบบ Multivariate Normal with zero mean and arbitrary covariance matrix (Bunch, 1991) จะได้แบบจำลองเลือกภาพแบบการเดินทางแบบ Multinomial probit อย่างไรก็ตาม การใช้แบบจำลองแบบ Probit จะมีความซับซ้อนมากกว่า Logit และไม่สามารถสร้าง Closed form ในลักษณะเดียวกับ Logit ได้ แบบจำลองการเลือกภาพแบบการเดินทางอีกแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันก็คือ Mixed logit (Ben-Akiva และ Bolduc, 1996; McFadden และ Train, 2000) โดยภาพแบบทั่วไปของ Mixed logit เป็นดังนี้

$$P_{iq} = \int L_{iq}(\theta) f(\theta) d\theta$$

โดยที่ $L_{iq}(\theta)$ คือ ความน่าจะเป็นจากแบบจำลอง Multinomial logit โดยมีกลุ่มพารามิเตอร์ θ ในการคำนวณ $f(\theta)$ คือ Mixing distribution ซึ่งในกรณีทั่วไป $f(\theta)$ จะอยู่ในภาพของ Continuous distribution ที่มีค่า Mean เท่ากับ *B* และมีค่า Covariance matrix เท่ากับ Σ

โดยสรุปแบบจำลองเลือกภาพแบบการเดินทางสามารถแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ตาม**ตารางที่ 2-1**

ตารางที่ 2-1 แบบจำลองการเลือกภาพแบบการเดินทางประเภทต่าง ๆ

Aggregate modal split model	Diversion curve
	Kirchhoff formulation
	Direct demand model
Disaggregate modal split model	Multinomial logit model
	Nested logit model
	Multinomial probit model
	Mixed logit model

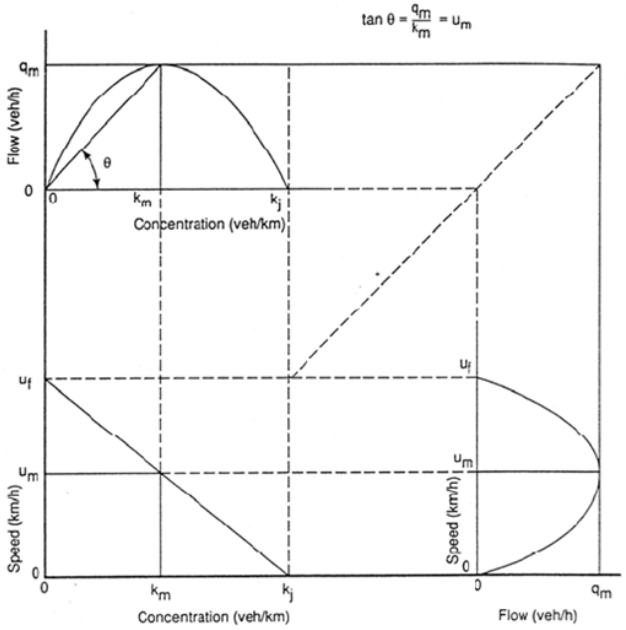
สำหรับแบบจำลองการแจกแจงการเดินทางนั้นสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็นประเภทต่าง ๆ ดังแสดงใน**ตารางที่ 2-2** (Ortuzar และ Willumsen, 2011)

ตารางที่ 2-2 แบบจำลองการแจกแจงการเดินทางประเภทต่าง ๆ

		Stochastic effects included	
		No	Yes
Single user class	**No capacity restraint**	All-or-nothing	Dial's algorithm, Burrell's algorithm
	With capacity restraint	incremental assignment, method of successive average, users equilibrium	Stochastic user equilibrium
Multiple user classes	**No capacity restraint**	All-or-nothing with multi-user classes	Dial's algorithm, Burrell's algorithm with multi-user classes
	With capacity restraint	incremental assignment, method of successive average, users equilibrium with multi-user classes	Stochastic user equilibrium with multi-user classes

จาก**ตารางที่ 2-2** จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการศึกษาแบบจำลองแจกแจงการเดินทางนั้นจะประกอบไปด้วยประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

- ระดับการแบ่งประเภทของผู้ใช้ระบบขนส่งว่าแบบจำลองจะพิจารณาให้ผู้ใช้ระบบขนส่งทั้งหมดอยู่ในประเภทเดียวกัน (Single-user class) หรือแบ่งเป็นหลายระดับ (Multi-user class) ตามลักษณะทาง Socio-economic ของผู้ใช้แต่ละกลุ่ม
- Capacity restraint ของระบบขนส่งที่พิจารณา หมายถึง ระบบขนส่งมีความจุในการให้บริการอย่างจำกัด และระดับการให้บริการจะลดลงเมื่อมีจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการเพิ่มมากขึ้น ในส่วนของถนน Capacity restraint สามารถแสดงได้ด้วย Speed-flow relation ตาม**ภาพที่ 2-2**



ภาพที่ 2-2 ความสัมพันธ์ Speed-flow curve สำหรับถนน

จาก**ภาพที่ 2-2** จะเห็นได้ว่าในช่วงเริ่มต้นบนถนนมีปริมาณจราจร (Flow) เท่ากับ 0 และมีความเร็วที่ยานพาหนะสามารถเดินทางได้สูงสุด หลังจากที่มีปริมาณจราจรเพิ่มมากขึ้นความเร็วจะลดลงเรื่อยจนถึงจุดที่ยานพาหนะไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้อีก เมื่อปริมาณจราจรมากกว่าความจุที่ถนนจะรองรับได้

ในส่วนของ Stochastic effects นั้นจะเกี่ยวข้องสมมติฐานที่ว่าผู้ใช้ระบบแต่ละรายสามารถที่จะรับรู้ถึงคุณสมบัติ (Attributes) ต่าง ๆ ของเส้นทางในการเดินทางที่แตกต่างกัน ทำให้เลือกเส้นทางที่แตกต่างกันไป ถึงแม้ว่าจะเป็นการเลือกเส้นทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางเดียงกันก็ตาม

แบบจำลองแจกแจงการเดินทางที่ง่ายที่สุด ซึ่งไม่ได้พิจารณาทั้งในส่วนของ Capacity restraint และ Stochastic effects นั้นก็คือแบบจำลองแจกแจงการเดินทางแบบ All-or-nothing ซึ่งมีสมมุติฐานว่าผู้ใช้ระบบจะเลือกเส้นทางที่มีระยะทางหรือระยะเวลาหรือต้นทุนรวม (Generalized cost) ในการเดินทางที่สั้นที่สุดเสมอ โดยแบบจำลองแบบ All-or-nothing จะทำการหาเส้นทางที่มีระยะทางหรือระยะเวลาหรือค่าเฉลี่ยของระยะทางและเวลาจากแต่ละคู่ของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางต่ำที่สุด (Dijkstra, 1959) และทำการแจกแจงการเดินทางทั้งหมดสำหรับแต่ละคู่ของจุดต้นทางและปลายทางลงไปบนเส้นทางนั้น

แบบจำลองแจกแจงการเดินทางแบบ Dial (1971) จะมีสมมติฐานว่าผู้ใช้ระบบแต่ละรายสามารถที่จะรับรู้ระยะเวลาหรือระยะทางหรือต้นทุนรวมในการเดินทางที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นการแจกแจงการเดินทางจึงเป็นไปภาพของความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ระบบแต่ละรายจะรับรู้ถึงระยะเวลาหรือระยะทางหรือต้นทุนรวมในการเดินทางของเส้นทางต่าง ๆ

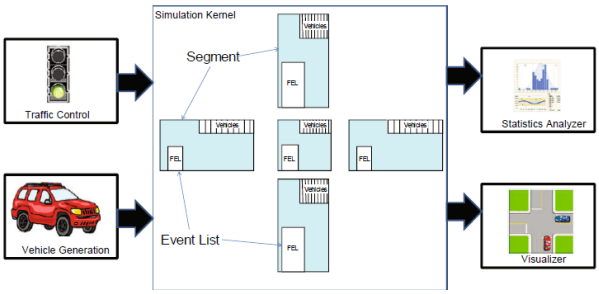
แบบจำลองแจกแจงการเดินทางแบบ Incremental assignment, Successive average และ User equilibrium (Sheffi, 1985) เป็นแบบจำลองที่พิจารณาถึง Capacity restraint ของเส้นทางเป็นหลัก และมีจุดมุ่งหมายหลักของการแจกแจงการเดินทางเพื่อให้มีระยะเวลาหรือต้นทุนรวมบนเส้นทางแต่ละเส้นทางที่เดินทางสำหรับแต่ละคู่ของจุดต้นทางและปลายทางใกล้เคียงกันที่สุด (Wardrop, 1952)

แบบจำลองแจกแจงการเดินทางแบบ Stochastic user equilibrium (Sheffi, 1985) เป็นแบบจำลองที่พิจารณาทั้งในส่วนของ Capacity restraint และ Stochastic effect

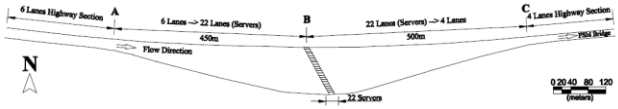
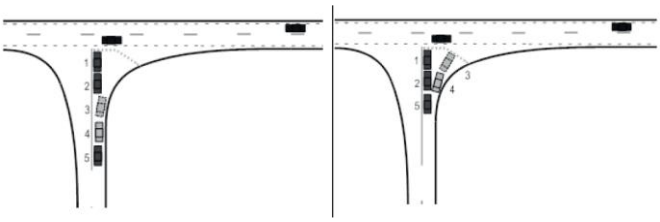
2.2 การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (Traffic microsimulation) ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาแนวทางการจัดการที่เหมาะสมในสถานการณ์จำลองต่างๆ เช่น การออกแบบระบบสัญญาณไฟจราจร การวิเคราะห์ระดับการให้บริการของสายทางหรือบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง การวิเคราะห์พื้นที่พักรถที่เหมาะสม เป็นต้น โดยตัวอย่างการนำแก้ปัญหาเชิงปฏิบัติการด้วยแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคสามารถสรุปได้ดัง**ตารางที่ 2-3**

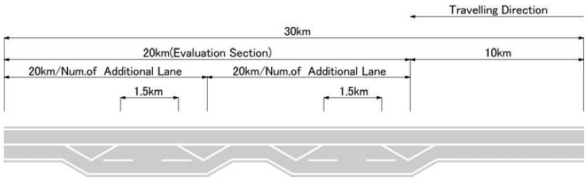
ตารางที่ 2-3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการแก้ปัญหาจราจรติดขัด

สถานการณ์ในแบบจำลอง	ผลจากแบบจำลอง
Lopez-Neri et al. (2010) อธิบายกรอบแนวคิดการนำแบบจำลองมาใช้กับระบบจราจรระดับจุลภาพในเขตเมือง โดยใช้ Agent-based Simulation หรือ แบบจำลองที่พยากรณ์การตัดสินใจของคนแต่ละคนในระบบ	การใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค สามารถอธิบายการตอบสนองของผู้ขับขี่ภายใต้สถานการณ์จำลองต่างๆ ทำให้เข้าใจในสภาพโครงข่ายจราจร และการพฤติกรรมการตอบสนองของผู้ขับขี่ได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ภายใต้การตัดสินใจเหล่านั้นจะทำให้ทราบผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นกับทั้งระบบ ว่าเป็นอย่างไร เหมาะสมหรือไม่ ก่อนที่จะมีการดำเนินการกับสภาพโครงข่ายจราจรจริง 

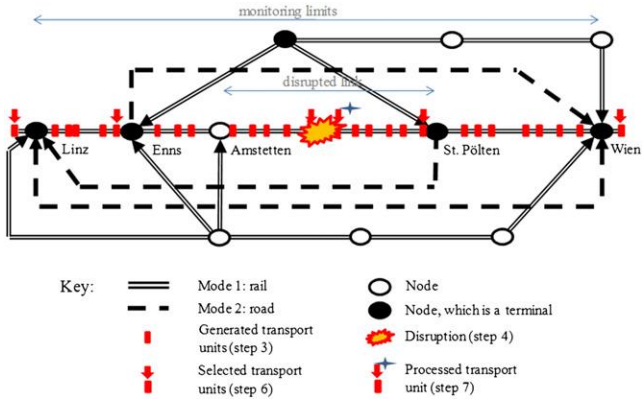
ตารางที่ 2-3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการแก้ปัญหาจราจรติดขัด (ต่อ)

สถานการณ์ในแบบจำลอง	ผลจากแบบจำลอง
Aksoya et al. (2014) ประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์แถวคอยบริเวณก่อนและหลังด่านเก็บค่าผ่านทาง ที่ประเทศตุรกี	แบบจำลองแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรภายใต้สถานการณ์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด่านเก็บเงินค่าผ่านทางที่มี 2 ระบบนั้น จำนวนด่านเก็บเงินที่ลดลงจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความล่าช้าและความยาวแถวคอย อย่างไรก็ตามจำนวนด่านเก็บเงินที่มากเกินไปก็ไม่สามารถลดความล่าช้าได้ เนื่องจาก เกิดคอขวดที่พื้นที่หลังจากผ่านด่านฯ 
Stromgren et al. (2015) วิเคราะห์หาขนาดพื้นที่ช่วงเลี้ยวรถที่เหมาะสม โดยสร้างแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค	แบบจำลองได้วิเคราะห์สภาพปริมาณจราจรบนถนนสายหลักและสายรองแบบต่างๆ พร้อมกับภาพแบบพื้นที่สำหรับเลี้ยวรถแบบต่างๆ ซึ่งผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงความล่าช้าในการเลี้ยวรถจากสายรองเข้าสายหลักที่ลดลงเมื่อรัศมีการเลี้ยวเพิ่มมากขึ้น โดยรัศมีการเลี้ยวขั้นต่ำสำหรับ 1 ช่องจราจรควรมีระยะไม่น้อยกว่า 5 เมตร 

ตารางที่ 2-3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการแก้ปัญหาจราจรติดขัด (ต่อ)

สถานการณ์ในแบบจำลอง	ผลจากแบบจำลอง
Munehiro et al. (2011) ได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวของการเพิ่มช่องจราจรอีก 1 ช่องจราจรจากเดิม 2 ช่องจราจร โดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค เพื่อช่วยยกระดับการให้บริการของถนน 2 ช่องจราจรในสองทิศทาง ในพื้นที่ห่างไกลจากตัวเมืองฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีหิมะตกเป็นจำนวนมาก	ผลจากแบบจำลอง พบว่า การเพิ่มช่องจราจรจาก 2 ช่องจราจรเป็น 2+1 ช่องจราจรสำหรับการจราจรสองทิศทาง ช่วยเพิ่มความสามารถในการให้บริการได้ ในกรณีที่มีปริมาณจราจร 300-500 คันต่อชั่วโมง โดยควรมีอีกช่องจราจรยาว 3-5 กิโลเมตร ในกรณีที่ปริมาณจราจรน้อยกว่า 100 คันต่อชั่วโมง ไม่จำเป็นที่จะต้องเพิ่มช่องจราจร 
Dinga และ Venglara (2012) ทำการวิเคราะห์การทำงานและการควบคุมท่าเรือเฟอรี่ โดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคจากโปรแกรม VISSIM เพื่อทดสอบผลจากการเพิ่มท่าเรือใหม่อีก 2 ท่าที่Port Aransas Ferry ประเทศสหรัฐอเมริกา	Dinga และ Venglara (2012) ได้แสดงผลจากแบบจำลอง ที่สามารถทำการลดความล่าช้าจากการรอและลดความยาวแถวคอยของรถยนต์ที่จะมาขึ้นเรือเฟอรรี่ได้ โดยกำหนดความยาวและพื้นที่ในการรอขึ้นเรือเฟอรี่ได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 2-3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการแก้ปัญหาจราจรติดขัด (ต่อ)

สถานการณ์ในแบบจำลอง	ผลจากแบบจำลอง
Burgholzer et al. (2013) ทำการวิเคราะห์การโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายภาพแบบ โดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคเพื่อทำการวิเคราะห์จุดวิกฤตของโครงข่ายหรือช่วงที่เป็นคอขวดของโครงข่าย ในพื้นที่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศออสเตรเลีย	ผลจากแบบจำลอง ทำให้ทราบจุดวิกฤตของโครงข่ายและสามารถนำมาตรการมาปรับใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม 
วรวิทย์ ปูหนุก และลำดวน ศรีศักดา (2552) วิเคราะห์แนวทางการให้สิทธิพิเศษแก่รถโดยสารประจำทางที่ทางแยกโดยใช้โปรแกรม AIMSUN ที่สี่แยกโชคชัย 4 ถนนลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร	ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การจัดให้มีช่องทางสำหรับรถประจำทางโดยเฉพาะอยู่ทางซ้ายสุดหนึ่งช่องโดยมีที่กั้นช่องจราจรกันไม่ให้รถประเภทอื่นเข้ามาในช่องทางรถโดยสารประจำทางได้และจัดสัญญาณไฟพิเศษ จะทำให้รถประจำทางวิ่งผ่านทางแยกโชคชัย 4 ได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการเดินรถของรถประเภทอื่นจะแย่ลง
ลัดดา ตันวาณิชกุล และคณะ (2555) สร้างแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์หาระดับความจุ ระดับการให้บริการ สำหรับขนาดหน้าตัดที่เหมาะสมของถนนแต่ละประเภท	ผลการวิเคราะห์ทำให้ได้เกณฑ์การออกแบบขนาดหน้าตัดของถนนจากปริมาณจราจรบนสายทางแต่ละประเภท นอกจากนี้ จำนวนของทางเชื่อมมีผลอย่างมากต่อความจุของถนน เมื่อความหนาแน่นของทางเชื่อมเพิ่มมากขึ้นยิ่งส่งผลให้ความจุของถนนลดลง

2.3 ความสามารถในการเข้าถึง

ความสามารถในการเข้าถึง (Accessibility) เป็นแนวคิดสำคัญในการวัดประสิทธิภาพ ด้านการวางแผนขนส่ง การใช้ที่ดิน การวางผังเมืองและผังภาคในหลายประเทศ การประเมิน ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพหรือขีดความสามารถของระบบขนส่งที่เอื้อต่อการเดินทางของผู้สัญจร โดยแนวคิดการวัดความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ได้รับการพัฒนาครั้งแรกโดย Hansen (1959) ซึ่งได้พัฒนาแบบจำลองแบบแรงโน้มถ่วง (Gravity model) ที่สะท้อนถึงความยากในการเข้าถึง (Travel impedance) แต่ถ่วงน้ำหนักด้วยโอกาส (Opportunities) แบบจำลองโดย Hansen เป็นแบบจำลองที่นิยมใช้สำหรับการคำนวณหาความสะดวกในการเข้าถึงพื้นที่ในพื้นที่ขนาดใหญ่เช่นการเดินทางระหว่างอำเภอ จังหวัด และภูมิภาคเป็นหลัก Whitbread (1972) ได้ใช้การวัดประสิทธิภาพการเข้าถึงพื้นที่ของการเดินทางไปทำงานของผู้สัญจรโดยทำการปรับปรุงแบบจำลองของ Hansen โดยใช้ฟังก์ชั่น Negative exponential ถ่วงน้ำหนักด้วยแรงดึงดูดของจำนวนแรงงานในแต่ละโซนที่พิจารณา นอกจากนั้น Whitebread ยังได้ศึกษาประยุกต์ใช้สมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อสร้างแบบจำลองที่สะท้อนปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ เช่น ลักษณะการใช้ที่ดินแบบที่อยู่อาศัยที่อาจจะมีความเชื่อมโยงกับการเดินทางไปทำงาน เป็นต้น แบบจำลองเพื่อการวัดการเข้าถึงพื้นที่ได้รับการพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างมากโดยได้มีการปรับปรุงเพื่อให้สามารถสะท้อนประสิทธิภาพหลายภาพแบบ เช่น การเข้าถึงโดยเป็นการวัดผลประโยชน์จากจัดการระบบขนส่งและลักษณะการใช้ที่ดินที่เหมาะสม (Ben-Akiva and Lerman, 1979) การเข้าถึงสถานที่ (Song, 1996; Handy and Niemeier, 1997), การเข้าถึงของผู้สัญจรเป็นแบบรายบุคคล (Pirie, 1979; Kwan, 1998) การเข้าถึงโดยการวัดผลประโยชน์เชิงเศรษศาสตร์ (Koenig, 1980; Niemeier, 1997) การเข้าถึงโดยการวัดกิจกรรมของผู้สัญจรรายบุคคล (Activity-based accessibility) (Chen, 1996) การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่บางส่วนสามารถสรุปได้ดัง **ตารางที่ 2.3-1** จากตารางพบว่าความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ภาพแบบอรรถประโยชน์ (Utility-based model) ที่เสนอโดย Ben-Akiva and Lerman (1979) ซึ่งใช้กรอบแนวคิดทฤษฎี Random Utility Model (RUM) เป็นทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับในการวัดหาอรรถประโยชน์ของการเดินทางของผู้สัญจรรายบุคคล ใช้สมการหลักในการคำนวณ คือ

$$A = E\left(\underset{k \in K}{Max}\ U_k \right) \quad (1)$$

โดยที่ E คือ ตัวดำเนินการความคาดการณ์ (Expectation operator) K คือกลุ่มทางเลือกที่เป็นไปได้ และ U_k คือ Random utility ของทางเลือก k ใดๆ ที่พิจารณาโดย โครงสร้างแบบจำลองการเลือกภาพแบบการเดินทางดังกล่าว ส่วน Utility function แสดงในสมการที่ 2 ดังนี้

$$U_k = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_k X_k + \varepsilon_k \quad (2)$$

โดยที่ U_k คือ ค่าอรรถประโยชน์ที่เกิดจากการที่ผู้เดินทางเลือกภาพแบบการเดินทาง k (ในกรณีศึกษานี้คือ การเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะระบบราง β_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรมีต่อระดับความพึงพอใจจะได้รับจากการเลือกภาพแบบการเดินทาง k และ ε_k คือ ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของค่าอรรถประโยชน์ ดังจะเห็นได้ว่าการใช้แบบจำลองอรรถประโยชน์เป็นแนวทางที่มีความเหมาะสม ในการศึกษานี้เนื่องจากสามารถใช้สะท้อนถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเดินทางเข้าสู่สถานีรถไฟฟ้า ปัจจัยที่จะทำการศึกษาความสามารถในการเข้าถึงนี้คือปัจจัยย่อย 3 ปัจจัยที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อ (8.2) นั่นเอง

ตารางที่ 2-4 แบบจำลองการวัดความสามารถในการเข้าถึง

ผู้แต่ง	ลักษณะการวัด Accessibility	แนวทางการประเมิน	ระดับการประเมิน	การประยุกต์ในการศึกษานี้
Hansen (1959), Whitbread (1972)	Gravity-based Accessibility Model (or Hansen Model)	ค่าใช้จ่าย หรือ เวลาในการเดินทางถ่วงน้ำหนักด้วยโอกาสการเดินทางที่สะท้อนกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคม	มหภาค เช่น ระดับภูมิภาค ระดับเมือง	ไม่เหมาะสม
Song (1996), Handy and Niemeier (1997)	Location-based Accessibility Model	ใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของประชากร ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และ Consumer Welfare	มหภาค เช่น ระดับภูมิภาค ระดับเมือง	ไม่เหมาะสม
Koenig (1980) Niemeier (1997)	Economic-based Accessibility Model	การเข้าถึงโดยการวัดผลประโยชน์เชิงเศรษฐศาสตร์เช่น ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเดินทาง หรือ การปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการขนส่ง	มหภาค เช่น ระดับภูมิภาค ระดับเมือง	ไม่เหมาะสม
Pirie (1979), Kwan (1998)	Individual-based, Space-time based Accessibility Model	การเข้าถึงของผู้สัญจรเป็นแบบรายบุคคลสำรวจโดยการติดตามพฤติกรรมเดินทางหรือใช้ GPS Tracking	รายบุคคล	เหมาะสมแต่ข้อมูลเน้นการเดินทางของบุคคลหรือกลุ่มที่สนใจจากต้นทางไปยังปลายทาง

ตารางที่ 2-4 แบบจำลองการวัดความสามารถในการเข้าถึง (ต่อ)

ผู้แต่ง	ลักษณะการวัด Accessibility	แนวทางการประเมิน	ระดับการประเมิน	การประยุกต์ในการศึกษานี้
Chen (1996)	Activity-based Accessibility Model	การเข้าถึงของผู้สัญจรเป็นแบบรายบุคคลสำรวจโดยการติดตามพฤติกรรมเดินทาง	รายบุคคล	เหมาะสมแต่ข้อมูลเน้นการเดินทางของบุคคลหรือกลุ่มที่สนใจจากต้นทางไปยังปลายทาง
Ben-Akiva and Lerman, (1979)	Utility-based Accessibility Model	การเข้าถึงของผู้สัญจรเป็นแบบรายบุคคลที่เลือกใช้ภาพแบบการเดินทางที่สนใจ (Travel Choice)	รายบุคคลและกลุ่มบุคคล	เหมาะสมสำหรับการศึกษาครั้งนี้

2.4 แบบจำลองคนเดินเท้า

การประเมินความสามารถในการเข้าถึงสถานีรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนจะช่วยสนับสนุนการพัฒนาพื้นที่รอบสถานีขนส่งมวลชน (Transit Oriented Development: TOD) ที่เสนอโดย Peter Calthorpe สถาปนิกและนักผังเมืองชาวอเมริกัน เมื่อปี 1993 ในการพัฒนาเมืองที่ใช้ระบบขนส่งมวลชนเป็นศูนย์กลาง พร้อมไปกับการพัฒนาพื้นที่รอบสถานีให้มีการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างคุ้มค่าและหลากหลาย (Mix Use) อย่างไรก็ตาม การประเมินประสิทธิภาพของ TOD นั้นมีแนวคิดที่หลากหลาย บางแนวคิดมุ่งเน้นในการประเมินภาพแบบของเมืองและโครงสร้างทางกายภาพของ TOD และบางแนวคิดเน้นในเรื่องประสิทธิภาพของฟังก์ชันต่างๆในการใช้งาน ภาพแบบในการประเมินประสิทธิภาพของ TOD ที่หลากหลาย รวมทั้งการประเมินในเชิงคุณภาพ ทำให้นักวางแผนหรือนักลงทุน ขาดเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือ และส่งผลให้การตัดสินใจลงทุนพัฒนาโครงการที่ผิดพลาด Renne, *et al*. (2005) สำรวจปัจจัยที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของ TOD จากผู้เชี่ยวชาญและวิศวกรขนส่งในประเทศสหรัฐ โดยสรุปเป็น 10 ปัจจัยหลัก ได้แก่

1) ปริมาณการเข้าใช้บริการ (Transit ridership)
2) ความหนาแน่น
3) คุณภาพของลักษณะของถนน (Streetscape)
4) คุณภาพของโครงสร้างเมืองแบบผสม (Mix-use)
5) กิจกรรมของผู้เดินเท้าและความปลอดภัย
6) การเพิ่มมูลค่าของราคาอสังหาริมทรัพย์ (Property value)
7) การเพิ่มขึ้นของภาษีรายได้ (Tax income)

8) การรับรู้การใช้ประโยชน์TOD ในเชิงสาธารณะ (Public perception)
9) จำนวนของภาพแบบการเชื่อมต่อการเดินทางที่สถานี
10) ที่จอดรถ

โดยทั่วไป จากผลงานวิจัยพบว่า ปัจจัยด้านการออกแบบเมืองและการออกสถานีเพื่อสนับสนุนการเดินของผู้โดยสารเข้าสู่สถานี เป็นปัจจัยหลักที่จะดึงดูดการใช้รถไฟฟ้าขนส่งมวลชน (Wey and Chiu, 2013) และมีงานวิจัยจำนวนมากที่พัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนตัวของคนเดินเท้า Kormanova (2013) เปรียบเทียบแบบจำลองประเภทต่างๆ ฟังก์ชันและการประยุกต์ใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งในงานวิจัยจะประยุกต์ใช้แบบจำลองการเคลื่อนตัวของผู้โดยสารที่เดินเท้าเข้าสู่สถานีของ DAAMEN *et al*. (2005) เนื่องจากระบบ ITS ที่ใช้สำรวจข้อมูลในโครงการนี้ จะอาศัยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ปริมาณคนเดินเท้า และความหนาแน่นของผู้เดินเท้าเข้าสู่สถานี (Flow-Density Diagram)

ตารางที่ 2-5 เปรียบเทียบแบบจำลองของคนเดินเท้า

	HELBING (1992)	HUGH (2000)	DAAMEN et al. (2005)	BRUNO et al. (2011)	COLOMBO-ROSINI (2010)
Model based on	Fluid-dynamics	Well-defined observations	Flow-density diagram	Physical model and crowd dynamics	Altered LWR model
Possible problems	Low densities	Low densities	Not described	Not described	Describes only one dimensional movements
Applicable to panic situations	Yes	No	No	No	Yes
Recognizes individuals	Only groups of different types	No	No	Yes	No
Value of variables	Physical meaning	Physical meaning	Physical meaning	Physical meaning	Physical meaning
Parameters calibration	By inspection	Typical values	By inspection	By inspection	By inspection

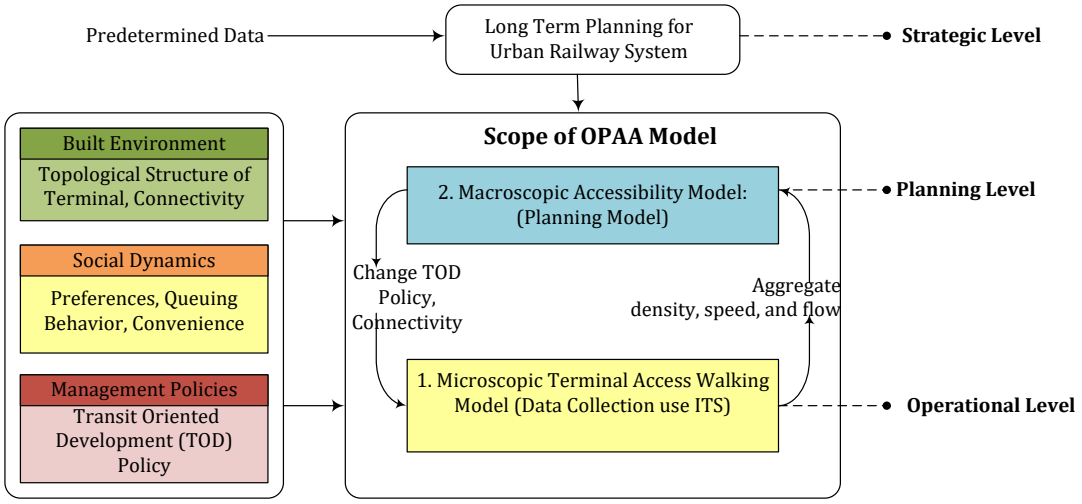
ที่มา: Kormanova (2013)

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

โครงการวิจัยเป็นการพัฒนาแบบจำลองระดับวางแผนปฏิบัติการเพื่อการประเมินความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ (Operational Planning for Accessibility Assessment: OPAA Model) ได้วางกรอบแนวคิดการศึกษาไว้ตามภาพที่ 3-1 ซึ่งประกอบด้วยกรอบแนวคิดย่อยดังนี้

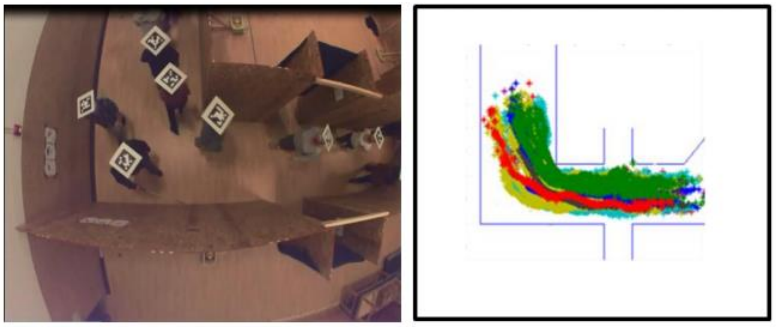
3.1 การพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนตัวของคนเดินเท้าเข้าสู่สถานี (Microcode terminal access walking model)

การออกแบบสถานีและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ภายในสถานี โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างเพื่อสนับสนุนการเดินเท้าของประเทศไทยยังไม่มีทิศทางที่ชัดเจนโดยในปัจจุบันใช้กฎหมายควบคุมอาคารหรือมาตรฐานอื่นๆที่พิจารณาลักษณะการเดินเท้าแบบเป็นองค์รวม อีกทั้งยังไม่มีการพัฒนาแบบจำลองการเดินเท้าของผู้โดยสารที่ชัดเจน การศึกษาครั้งนี้จะได้พัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนตัวของผู้โดยสารที่เดินเท้าเข้าสู่สถานี โดยคณะวิจัยจะประยุกต์ใช้ระบบ ITS บันทึกข้อมูลภาพการเคลื่อนตัวของคนเดินเท้าที่มุ่งหน้าเข้าสู่สถานีผ่านช่องทางต่างๆ เช่น ทางเดินเชื่อมต่อแบบ Skywalk ทางเดินบาทวิถี ลานจอดรถ ป้ายรถโดยสารประจำทาง และจุดจอดแบบจอดแล้วจร เป็นต้น ข้อมูลภาพการเคลื่อนตัวของคนเดินเท้าจะนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพแบบ Image Processing ที่สามารถตรวจสอบความเร็ว ปริมาณ และความหนาแน่น ของพื้นที่เชื่อมต่อดังกล่าว แล้วสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ปริมาณคนเดินเท้า และความหนาแน่น (Speed-Flow-Density Relationship: S-F-D) เบื้องต้น

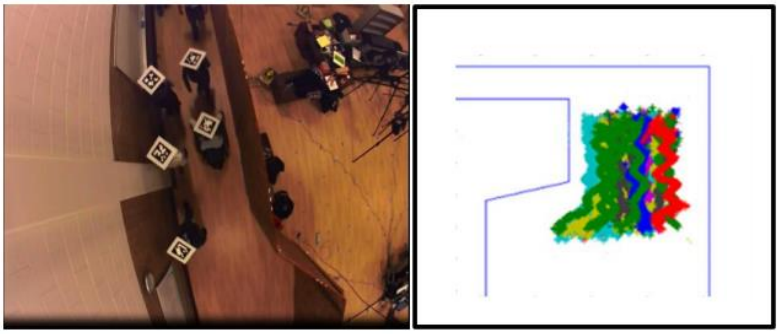


ภาพที่ 3-1 กรอบแนวคิดการพัฒนา OPAA Model

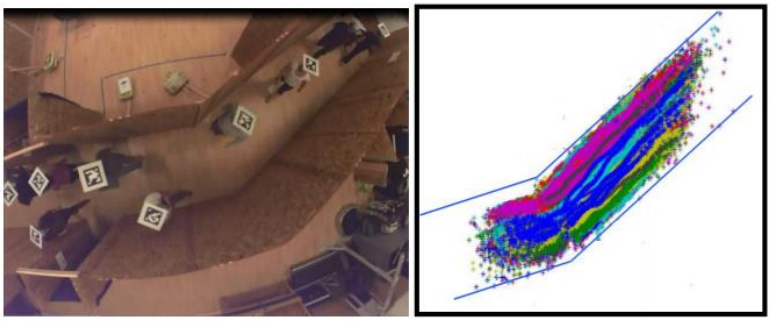
ตัวอย่างการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของคนเดินเท้าด้วย ระบบ Image Processing ทดลองระบบปิดในมหาวิทยาลัยแห่งรัฐยูท่าห์ (Sharifi *et al.*, 2014) แสดงในภาพที่ 3-2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าคนเดินเท้าต้องเดินผ่านจุดคอขวด (Bottlneck) ทางแคบแบบเอียงขวา (Right angle) และทางแนวเฉียง (Oblique) ที่มีลักษณะพฤติกรรมที่แตกต่างกัน อันเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพของเส้นทางเดินเท้าและคุณลักษณะการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ เมื่อได้ภาพดังกล่าวจากภาคสนาม ระบบประมวลผลจะสร้างตำแหน่งและเส้นทางคนเดินเท้า (Trajectory) โดยผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะได้นำมาสร้างความสัมพันธ์ S-F-D และเพื่อใช้ในการสร้างและปรับแก้ (Calibrate) แบบจำลองสถานการณ์ตามตำแหน่งที่สนใจรอบสถานี ทั้งนี้ตัวแปรสำคัญที่ได้จากความสัมพันธ์แบบ S-F-D จะได้มีการรวบรวม (Aggregate) เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการวิเคราะห์การเข้าถึงในระดับมหภาค



Bottleneck



Right angle

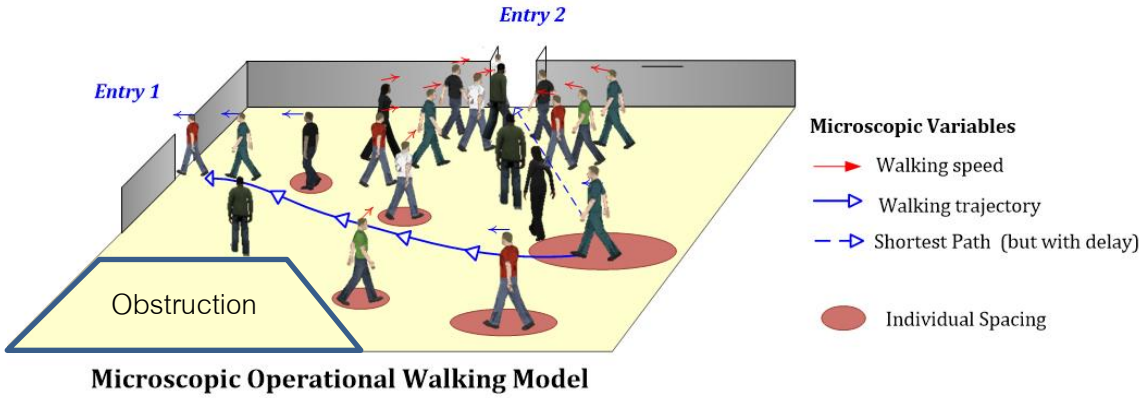


Oblique angle

(ที่มา: Sharifi *et al.*, 2014)

ภาพที่ 3-2 การวิเคราะห์การเดินเท้าเพื่อเข้าถึงสถานีด้วยระบบ Image Processing

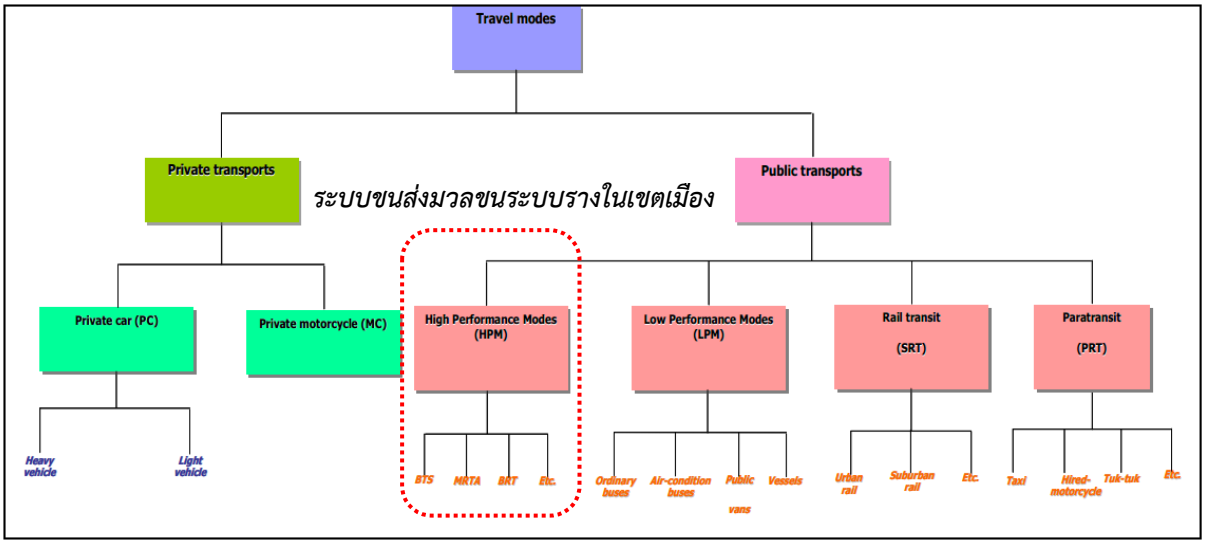
ข้อมูลที่สำรวจในภาคสนามและการพัฒนาความสัมพันธ์แบบ S-F-D จะได้นำไปเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาแบบจำลองคนเดินเท้า ภาพที่ 3-3 แสดงแบบจำลองคนเดินเท้าและสภาพกายภาพของพื้นที่โดยรอบสถานีเพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่ระบบ แบบจำลองที่พัฒนาจะใช้ทดสอบสถานการณ์จำลองเพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการเข้าถึงที่อาจเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจาก สิ่งกีดขวาง (Obstruction) สภาพติดขัด การเปลี่ยนแปลงปัจจัยสิ่งแวดล้อมหรือการจัดการพื้นที่รอบสถานีในระดับมหภาค เป็นต้น



ภาพที่ 3-3 แบบจำลองการเดินเท้าเพื่อเข้าถึงสถานีที่มีสิ่งกีดขวางและมีสภาพติดขัด

3.2 การพัฒนาแบบจำลองการเข้าถึงระดับมหภาค (Macroscopic accessibility model)

แบบจำลองระดับมหภาคเป็นการวิเคราะห์ในระดับวางแผน หรือระดับนโยบายที่เกี่ยวข้องประสิทธิภาพของระบบขนส่งที่เข้ามาเชื่อมต่อกับสถานีรถไฟฟ้า เช่น โครงข่ายถนนและทางหลวง รถโดยสารประจำทาง รถแท็กซี่ และระบบรถไฟฟ้าเอง การวิเคราะห์แบบจำลองดังกล่าวเสนอให้มีการวิเคราะห์อรรถประโยชน์ (Utility) ของการเข้าถึงสถานีรถไฟฟ้า เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาแรงดึงดูด (Attractiveness) ในขั้นตอนการวางแผน โดยผลของอรรถประโยชน์อาจจะต้องคำนึงถึงปัจจัยในระดับวางแผน และปัจจัยในระดับปฏิบัติการที่ได้ทำการวิเคราะห์ในลำดับแรกและรวบรวมเข้าสู่แบบจำลอง การวิเคราะห์ดังกล่าวจะประยุกต์ใช้แบบจำลองการเลือกภาพแบบการเดินทาง (Mode choice model) ที่ได้พัฒนาไว้แล้วในโครงการพัฒนาปรับปรุง บำรุงรักษาระบบฐานข้อมูล ข้อสนเทศและแบบจำลอง เพื่อบูรณาการพัฒนาการขนส่งและจราจร การขนส่งต่อเนื่องหลายภาพแบบและระบบโลจิสติกส์ (TDL) โดย สนข. ภาพที่ 3-4 แสดงโครงสร้างแบบจำลองการเลือกภาพแบบการเดินทางดังกล่าวส่วนฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility function)



ภาพที่ 3-4 โครงสร้างแบบจำลองการเลือกภาพแบบการเดินทาง

และพัฒนาต่อโดยใช้ผลการวิเคราะห์อรรถประโยชน์ที่บูรณการข้อมูลทั้งสองระดับและวัดความสามารถในการเข้าถึงแบบ Logsum Measure (Train, 2003; Dejong, 2005) ด้วยฟังก์ชั่นอรรถประโยชน์ ซึ่งเป็นหลักการเดียวกันกับการวัดค่า Consumer Surplus (CS) ทางเศรษฐศาสตร์ โดยเมื่อได้แบบจำลองเพื่อวัด Logsum คณะผู้วิจัยจะได้ใช้ในการวิเคราะห์สถานการณ์และผลกระทบเชิงนโยบายที่อาจจะมีผลต่อให้เกิดแรงดึงดูดและส่งเสริมความสามารถในการเข้าถึงสถานีรถไฟฟ้า ปัจจัยย่อย 3 ปัจจัยที่สำคัญได้แก่

- ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้าง (Built environment) ซึ่งอาจหมายรวมถึง ลักษณะทางกายภาพของสถานี การเชื่อมโยงกับการขนส่งภาพแบบอื่นๆ ที่สามารถสร้างความต่อเนื่องในการเดินทาง
- ปัจจัยด้านพลวัตสังคม (Social dynamic) ซึ่งอาจหมายรวมถึง ความสะดวกสบายของระบบเชื่อมต่อ พฤติกรรมการรอคอยและแถวคอยของผู้โดยสารที่เดินเท้า
- ปัจจัยด้านนโยบายการจัดการ (Managerial policy) ซึ่งอาจหมายรวมถึง การบริหารจัดการและพัฒนาพื้นที่โดยรอบสถานี (TOD)

อย่างไรก็ตาม การปรับเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าดังกล่าวย่อมส่งผลในระดับมหภาคและดำเนินต่อไปยังระดับจุลภาค กลุ่มนักวิจัยจะได้ทดสอบสถานการณ์ด้วยแนวคิดการประเมินผลแบบสถานการณ์ (What-if scenario) โดยทำการทดลองปรับเปลี่ยนปัจจัยที่เกี่ยวข้องแล้วทำการวัดความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ การวิเคราะห์ดังกล่าวจะช่วยให้นักวางแผนมีความเข้าใจถึงปัจจัยที่มีความอ่อนไหวและส่งผลกระทบต่อระดับความสามารถในการเข้าถึงทั้งในระดับนโยบายที่ส่งผลต่อเนื่องไปสู่ระดับปฏิบัติการต่อไป

3.3 กรอบแนวคิดในการพัฒนา

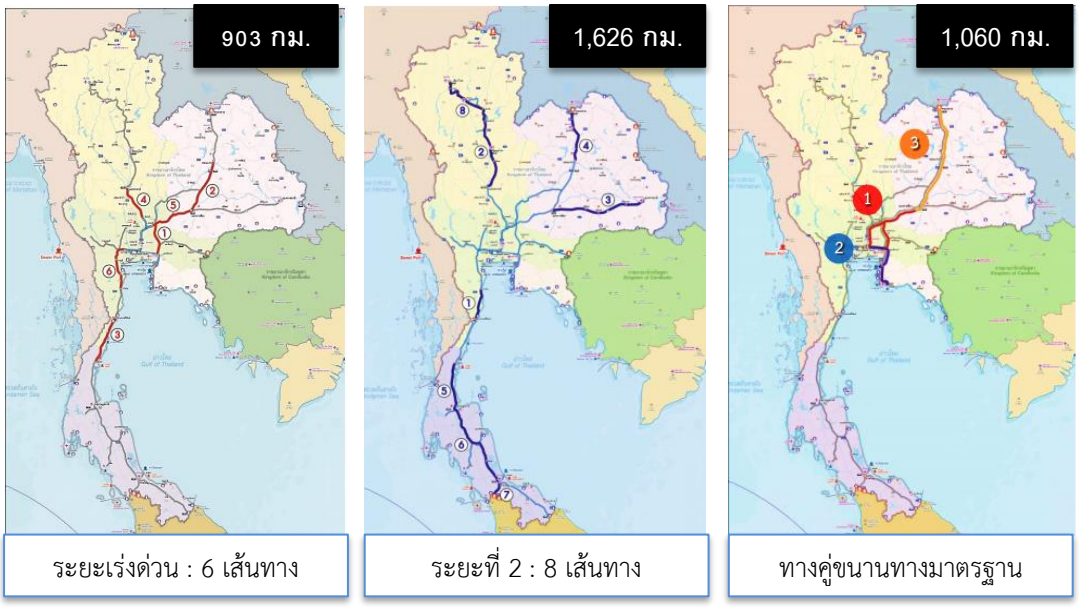
แผนงานการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่งของประเทศ แบ่งออกเป็น 5 แผนงานที่สำคัญด้วยกัน โดยในส่วนของการพัฒนาการขนส่งระบบรางเป็นยุทธศาสตร์หลักในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ โดยแผนงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบรางอยู่ในแผนงานที่ 1 และ 2 ดังภาพที่ 3-5

ที่มา: กระทรวงคมนาคม 2557

ภาพที่ 3-5 แผนงานการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่งของประเทศ

การพัฒนาการขนส่งระบบราง มีหลายเส้นทางด้วยกันที่ถูกกำหนดไว้ในแผนการพัฒนา ซึ่งครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งหมด 47 จังหวัด

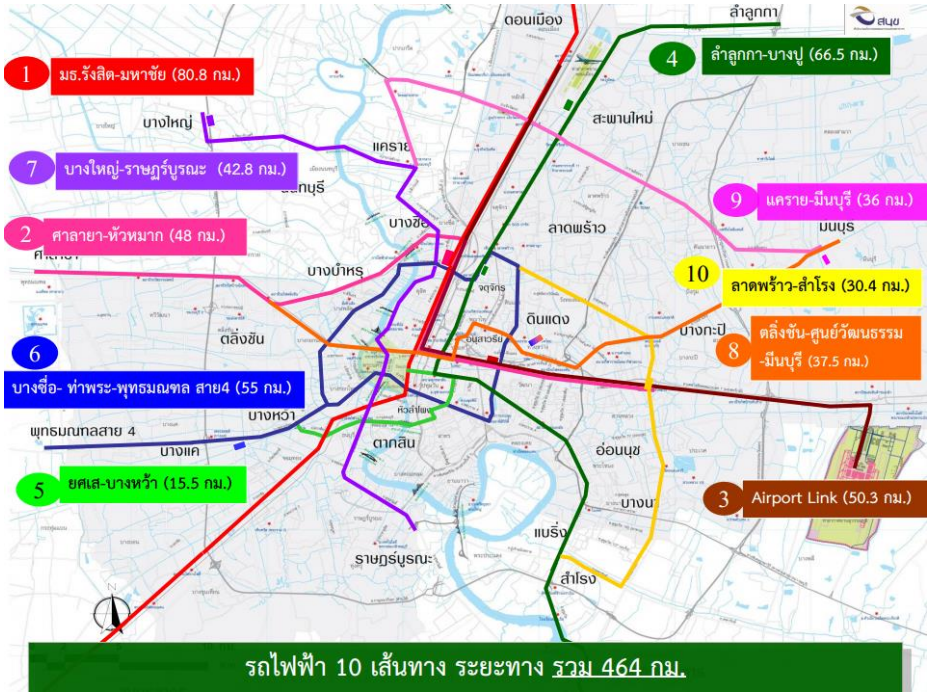
- ระยะเร่งด่วน จำนวน 6 เส้นทาง ระยะทางรวม 903 กิโลเมตร
- ระยะที่ 2 จำนวน 8 เส้นทาง ระยะทางรวม 1,626 กิโลเมตร
- ทางคู่ขนานทางมาตรฐาน ระยะเส้นทางรวม 1,060 กิโลเมตร



ที่มา: กระทรวงคมนาคม 2557

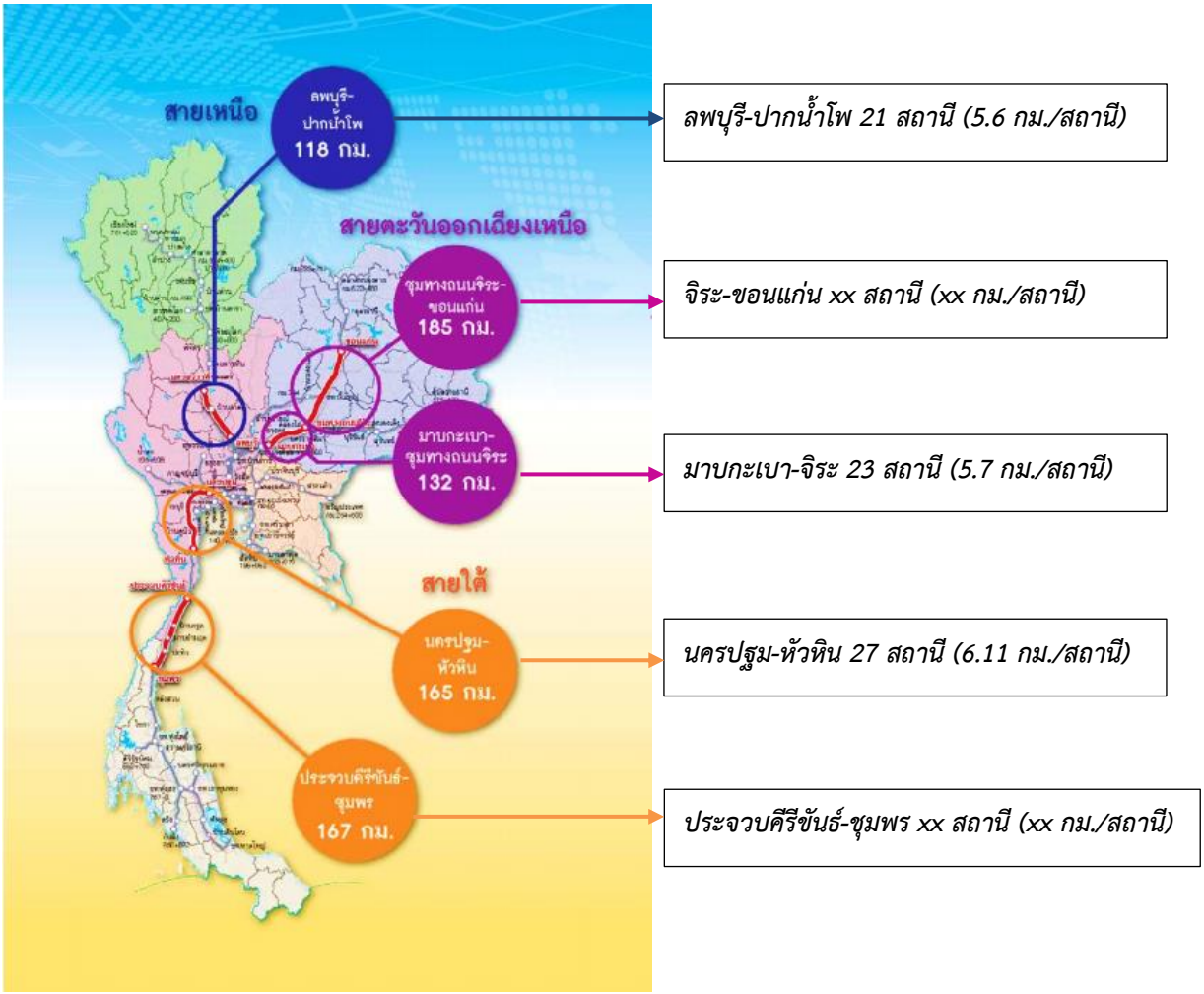
ภาพที่ 3-6 การพัฒนารถไฟทางคู่และทางคู่ขนานทางมาตรฐาน

ตามแผนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน แผนงานที่ 2 การพัฒนาโครงข่ายขนส่งสาธารณะเพื่อแก้ไขปัญหาจราจรในกทม. และปริมณฑล มีแผนการพัฒนารถไฟฟ้า 10 เส้นทางสำคัญ ระยะทางรวม 464 กิโลเมตร **ดังภาพที่ 3-7**



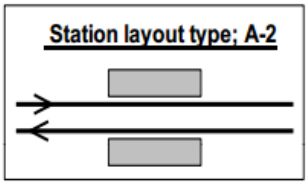
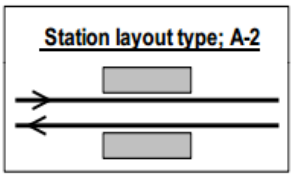
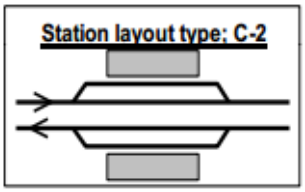
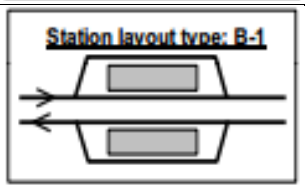
ภาพที่ 3-7 การพัฒนารถไฟฟ้าขนส่งมวลชนใน กทม. และปริมณฑล

สายที่ 1 มธ.รังสิต – มหาชัย	ระยะทาง	80.8	กิโลเมตร
สายที่ 2 ศาลายา – หัวหมาก	ระยะทาง	48	กิโลเมตร
สายที่ 3 Airport Link	ระยะทาง	50.3	กิโลเมตร
สายที่ 4 ลำลูกกา – บางปู	ระยะทาง	66.5	กิโลเมตร
สายที่ 5 ยศเส – บางหว้า	ระยะทาง	15.5	กิโลเมตร
สายที่ 6 บางซื่อ – ท่าพระ – พุทธมณฑล สาย 4	ระยะทาง	55	กิโลเมตร
สายที่ 7 บางใหญ่ – ราษฎร์บูรณะ	ระยะทาง	42.8	กิโลเมตร
สายที่ 8 ตลิ่งชัน – ศูนย์วัฒนธรรม – มีนบุรี	ระยะทาง	37.5	กิโลเมตร
สายที่ 9 แคราย – มีนบุรี	ระยะทาง	36	กิโลเมตร
สายที่ 10 ลาดพร้าว – สำโรง	ระยะทาง	30.4	กิโลเมตร
รวมระยะทางในการพัฒนารถไฟฟ้า 10 เส้นทาง		464	กิโลเมตร



ภาพที่ 3-8 สถานีรถไฟใหม่ที่จะทำการก่อสร้าง

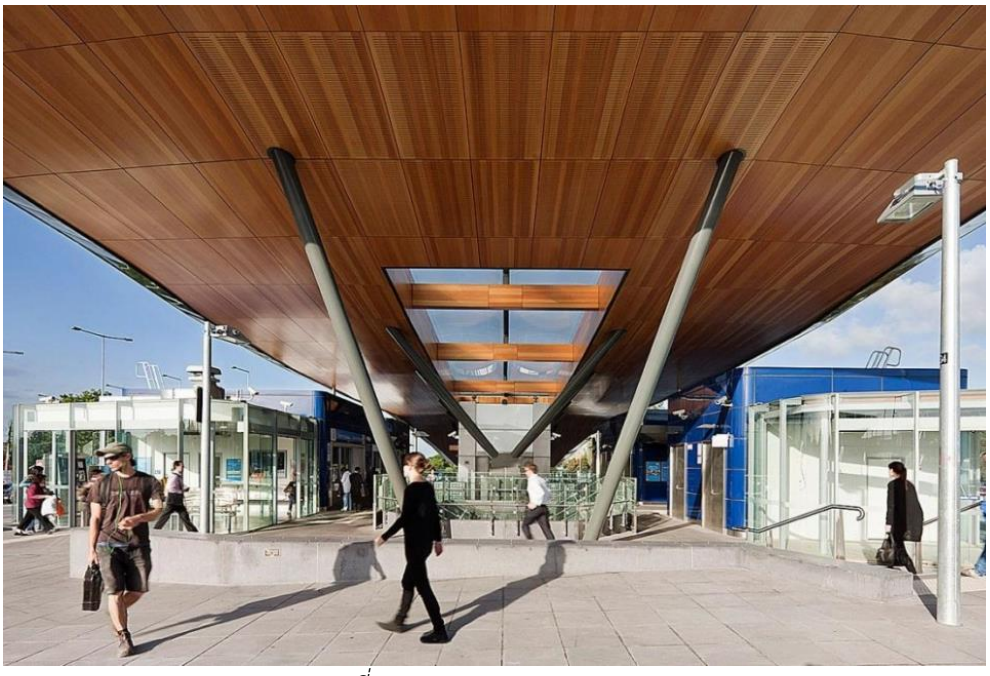
ตารางที่ 3-1 ภาพแบบสถานีจำแนกตามความจุ (Capacity)

ประเภท	ความจุ (คน/วัน)	ภาพแบบสถานี (Station Layout)
สถานีขนาดเล็ก (A-2, SI)	1,000	
สถานีขนาดเล็ก (A-2, SII)	1,000-2,000	
สถานีขนาดเล็ก (C-2, SII)	1,000-2,000	
สถานีขนาดกลาง (B-1, MI)	2,000-5,000	

3.3.1 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design)

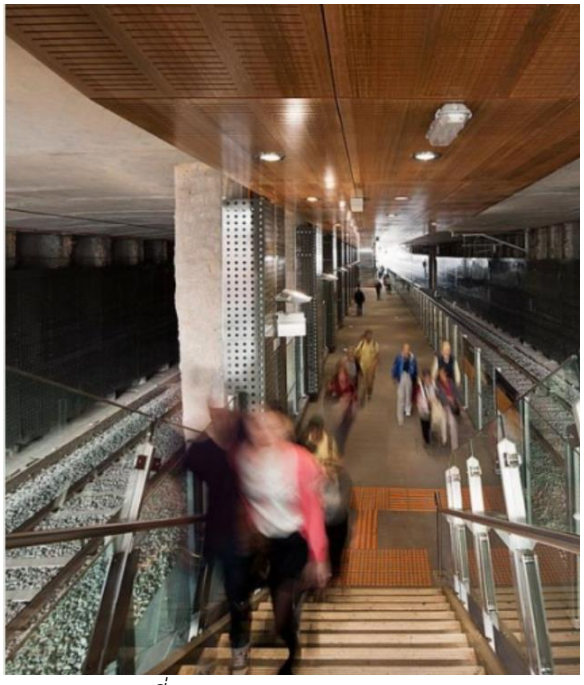
- ภาพแบบสถาปัตยกรรมที่ทันสมัย เข้ากับภูมิอากาศประเทศไทย ใช้วัสดุที่ดูแลรักษาง่าย
- เชื่อมต่อกับการขนส่งภาพแบบอื่นได้อย่างกลมกลืน (คนเดินเท้า, จักรยาน, รถบัส, รถยนต์ส่วนบุคคล)
- เชื่อมต่อระหว่างระดับได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับผู้พิการหรือผู้สูงอายุ
- ออกแบบระบบความปลอดภัย เช่น การอพยพ (Evacuation) ทางหนีไฟอย่างมีมาตรฐาน
- มีระบบแสดงข้อมูลสำหรับผู้โดยสาร (Traveler Information) เช่น เวลารถมาถึง (Arrival) และรถออก (Departure) อย่างชัดเจน
- มีห้องพักรอสำหรับผู้โดยสารและมีการกันส่วนพื้นที่ผู้โดยสารและผู้มาส่งอย่างชัดเจน

- มีสาธารณูปโภคที่จำเป็นพื้นฐานเช่น ห้องน้ำ ระบบโทรศัพท์ ห้องพักรอ ที่มีมาตรฐานและเหมาะสมสำหรับผู้ใช้งานทุกกลุ่ม (Universal Design)



ที่มา : http://architype.org

ภาพที่ 3-9 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design)



ที่มา : http://architype.org

ภาพที่ 3-10 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design)

ที่มา : http://architype.org

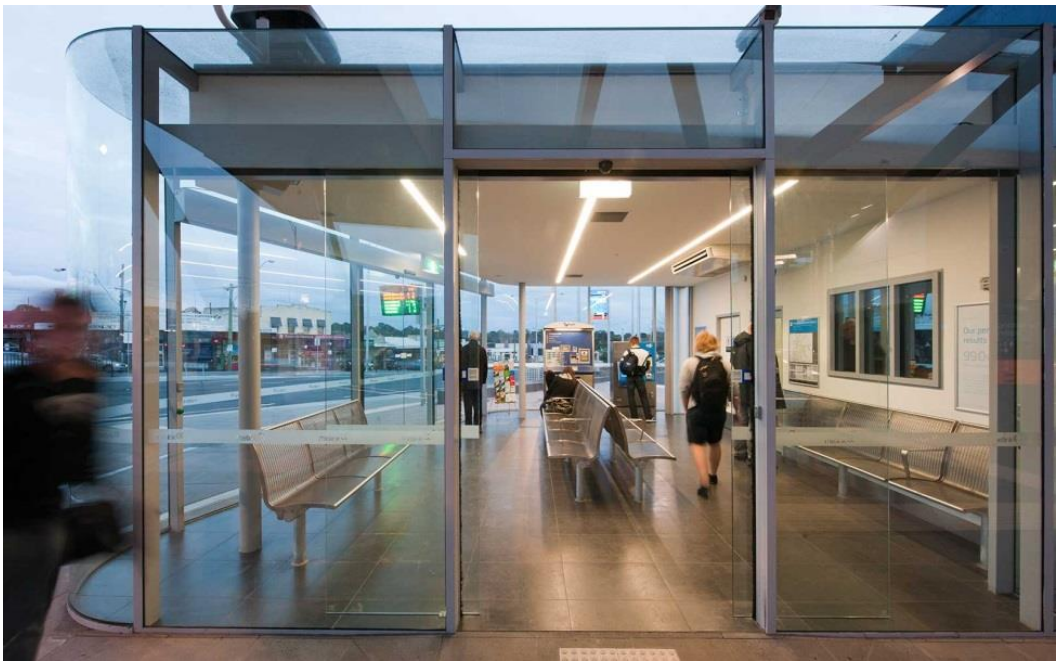
ภาพที่ 3-11 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design)

ที่มา : http://commercial.prebuilt.com.au

ภาพที่ 3-12 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design)

ที่มา : http://commercial.prebuilt.com.au

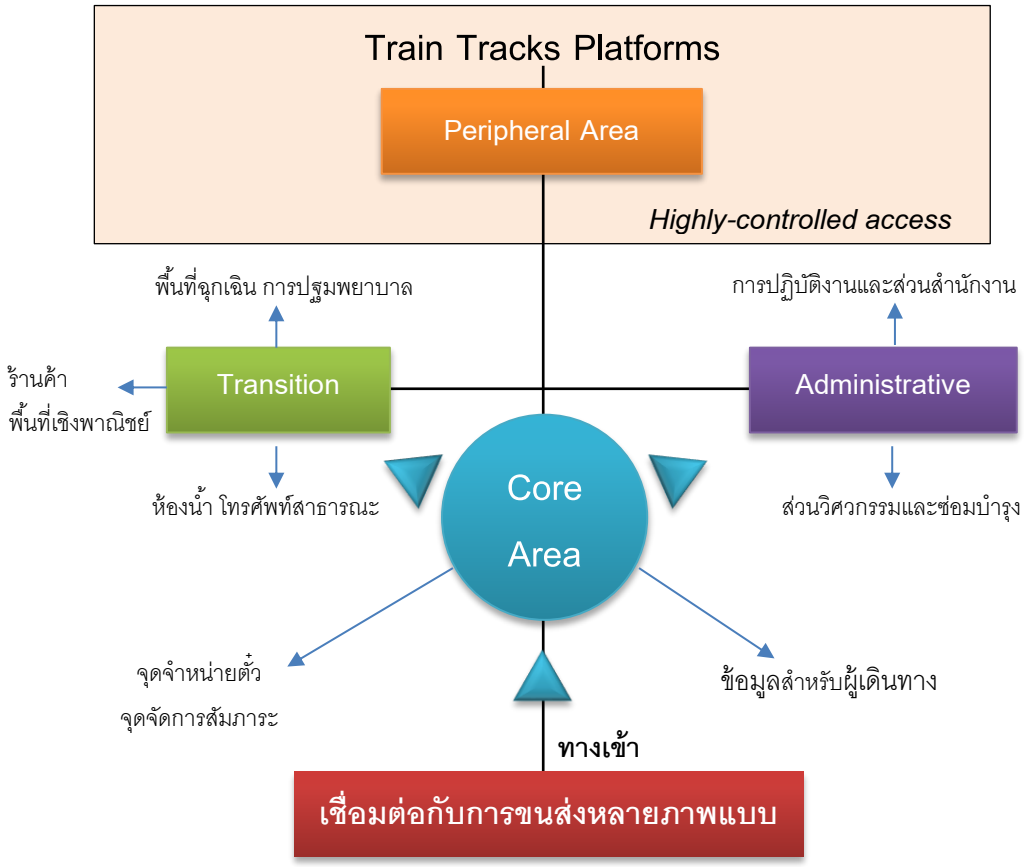
ภาพที่ 3-13 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design)



ที่มา : http://commercial.prebuilt.com.au

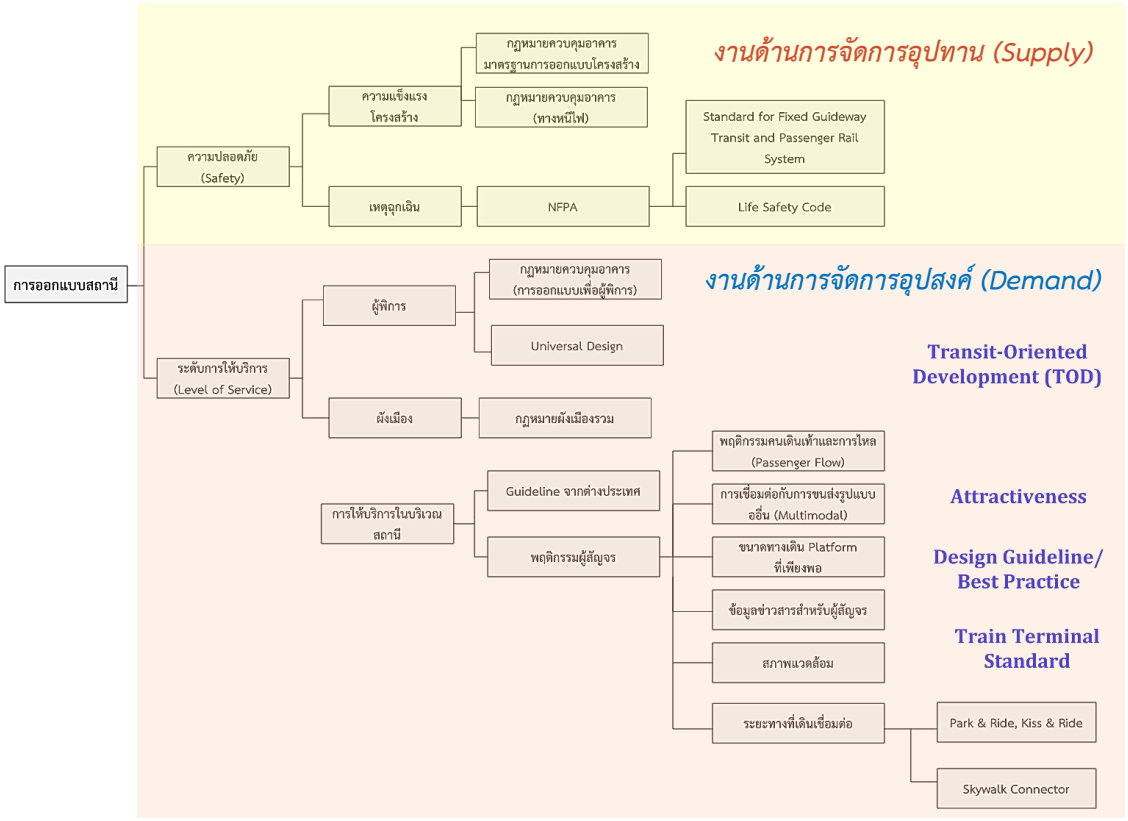
ภาพที่ 3-14 แนวคิดการออกแบบสถานี (Station Design)

3.3.2 แนวคิดการจัดการสถานีรถไฟและองค์ประกอบทางกายภาพ



ที่มา : Adapt from Prototype Intermodal Transportation Center

ภาพที่ 3-15 แนวคิดการจัดการสถานีรถไฟและองค์ประกอบทางกายภาพ



ภาพที่ 3-16 องค์ประกอบการออกแบบสถานีและ Design Guideline

3.3.3 ปัญหาการเชื่อมต่อของสถานีรถไฟฟ้าในปัจจุบัน (กรณีแอร์พอร์ตลิงค์)

- การเข้าถึงสถานี (Accessibility) ยาก (ยิ่งยากกรณีมีสัมภาระ บันไดเลื่อนมีแต่ทางขึ้นสถานีไม่มีทางลง)
- ขาดจุดจอดแล้วจร (Park and Ride) หรือจุดวนเข้าไปส่ง (Kiss and Ride) ทางเข้าไม่เห็นเด่นชัด
- ถนนรอบข้างเป็นถนนขนาดเล็ก การเชื่อมต่อกับถนนหลักไม่ค่อยดี (บางจุดเปลี่ยวมาก)
- พื้นที่รอบข้างยังไม่ได้รับการพัฒนา
- ข้อมูลผู้สัญจร ป้ายจราจร บริเวณรอบสถานี ไม่มีความชัดเจน
- ทางเชื่อมแบบ Skywalk ยังมีน้อยและมีระยะทางเดินไกล

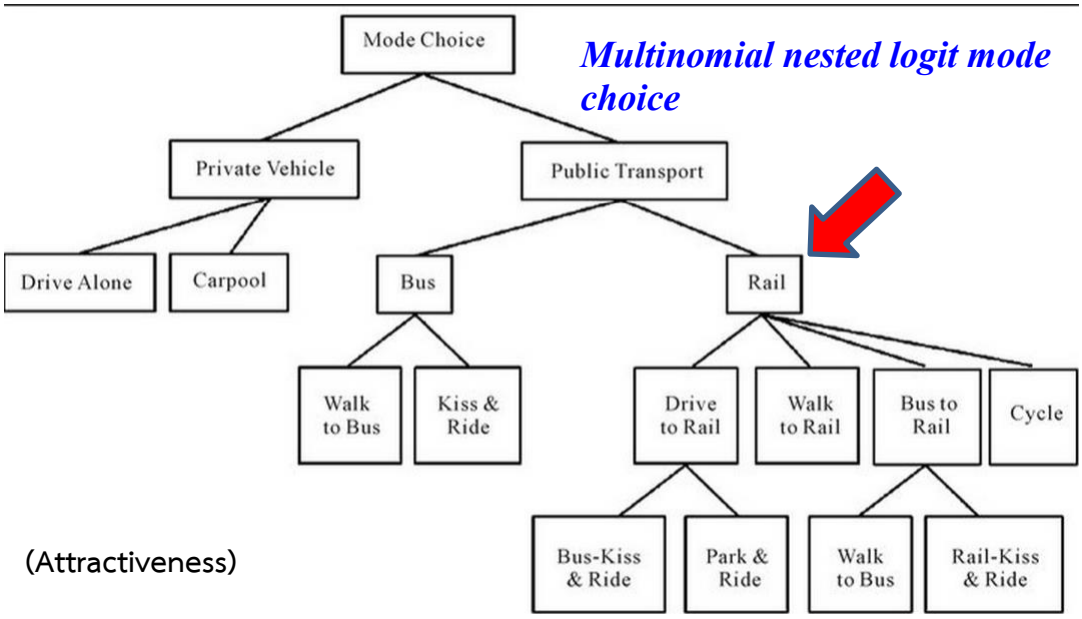
ภาพที่ 3-17 พื้นที่รอบข้างยังไม่ได้รับการพัฒนา

ภาพที่ 3-18 ทางเชื่อมแบบ skywalk ยังมีน้อยและมีระยะทางไกล

ภาพที่ 3-19 ข้อมูลผู้สัญจร ป้ายจราจร บริเวณรอบสถานี ไม่มีความชัดเจน

3.3.4 การเชื่อมต่อกับการขนส่งต่อเนื่องหลายภาพแบบ

การเชื่อมต่อกับการเดินทางภาพแบบอื่นๆ รอบสถานีรถไฟ ทำให้สถานีกลายเป็นจุดเปลี่ยนภาพแบบการเดินทาง (Switching Node) ของผู้สัญจร (จากที่ใช้รถยนต์ เดิน รถประจำทาง จักรยาน) จนก่อให้เกิดอรรถประโยชน์ (Utility) แก่ผู้สัญจรและเพิ่มแรงดึงดูดในการเข้ามาใช้สถานี



ภาพที่ 3-20 แผนผังการพัฒนาการเชื่อมต่อเพื่อให้เกิดอรรถประโยชน์

3.3.5 การศึกษาพฤติกรรมคนเดินท้าภายในสถานี มีด้วยกันหลายภาพแบบ สามารถแบ่งพฤติกรรมได้ดังนี้

1. การเลือกกิจกรรม เป็นการตัดสินใจระดับ Strategic Level เช่น การจัดลำดับการเดินทาง การเลือกสถานที่ที่จะเดินทาง

2. การเลือกเส้นทาง เป็นการตัดสินใจระดับ Tactical Level โดยผู้เดินเท้ามีข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งกีดขวาง จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงมหภาคการไหลของคนเดินเท้า เช่น speed-density-flow

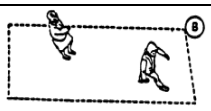
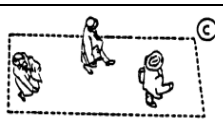
3. การมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม เป็นการตัดสินใจแบบ Operational Level ซึ่งเป็นการอธิบายพฤติกรรมของผู้เดิน เช่น ความเร่ง การเดินเลี่ยงสิ่งกีดขวาง การเดินในทิศทางสวนทางกัน การตัดสินใจเพื่อเลี่ยงการเดินชนกัน

3.3.6 มาตรฐาน Highway Transit Capacity *and Quality of Service Manual - 2nd Edition*

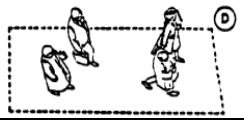
Levels of Service for Walkways in Transit Facilities Transportation Research Board (TRB) ได้กำหนดระดับการให้บริการ ของคนเดินเท้า (Pedestrian LOS) ในสถานีรถขนส่งสาธารณะ โดยพิจารณา 2 ปัจจัย ได้แก่

1. ค่าพื้นที่เฉลี่ยสำหรับคนเดินเท้า (Average pedestrian space)
2. ค่าอัตราการไหลเฉลี่ย (Average flow rate) ระดับความจุ (LOS=E) ของคนเดินเท้าภายในสถานี เท่ากับ 82 คน/หน้าตัด 1 เมตร/นาที

ตารางที่ 3-2 การวัดปริมาณอัตราการไหลของคนเดินเท้าภายในสถานี

P- LOS (V/C)	คุณลักษณะ	ปริมาณการไหลต่อหน้าตัด (p/m/min)
A (0-0.3)		0-23
B (0.3-0.4)		23-33
C (0.4-0.6)		33-49

ตารางที่ 3-2 การวัดปริมาณอัตราการไหลของคนเดินเท้าภายในสถานี (ต่อ)

P- LOS (V/C)	คุณลักษณะ	ปริมาณการไหลต่อหน้าตัด (p/m/min)
D (0.6-0.8)		49-66
E (0.8-1.0)		66-82
F		Variable

3.3.7 การประยุกต์ใช้ TRB Transit Standard ในระบบสถานีรถไฟ ประเทศไทย

- พฤติกรรมการเดินเท้า (Behavioral Factors) (เช่น การต่อแถวเพื่อซื้อตั๋ว การเข้าออกสถานี การแวะซื้อของ เดินดูของ สถานการณ์ตื่นตกใจ (Panic)) ที่แตกต่าง (มีลักษณะเหมือนกับคนในประเทศแถบเอเชีย มากกว่า สหรัฐอเมริกา)
- ระดับการรับรู้ข้อมูลของผู้โดยสาร (Traveler Information) ที่แตกต่าง ทำให้เกิดการรับรู้ข้อมูล (Perception) ซึ่งมีผลต่อการเลือกเส้นทางการเดิน วิธี Interaction กับอุปสรรคที่แตกต่าง
- พฤติกรรมความต้องการพื้นที่รอบตัว (Space) และการทนได้ (Tolerance) ต่อสภาพการติดขัด ของคนไทยมีความแตกต่างกับชาวต่างชาติ

3.3.8 การเคลื่อนตัวของคนเดินเท้าด้วยระบบ Face Recognition

การทดลองบันทึกภาพและประมวลผลการเคลื่อนที่ของคนด้วยระบบ Face Recognition ในประเทศไทยและการประยุกต์ใช้การบันทึกข้อมูลคนเดินเท้าในสถานี

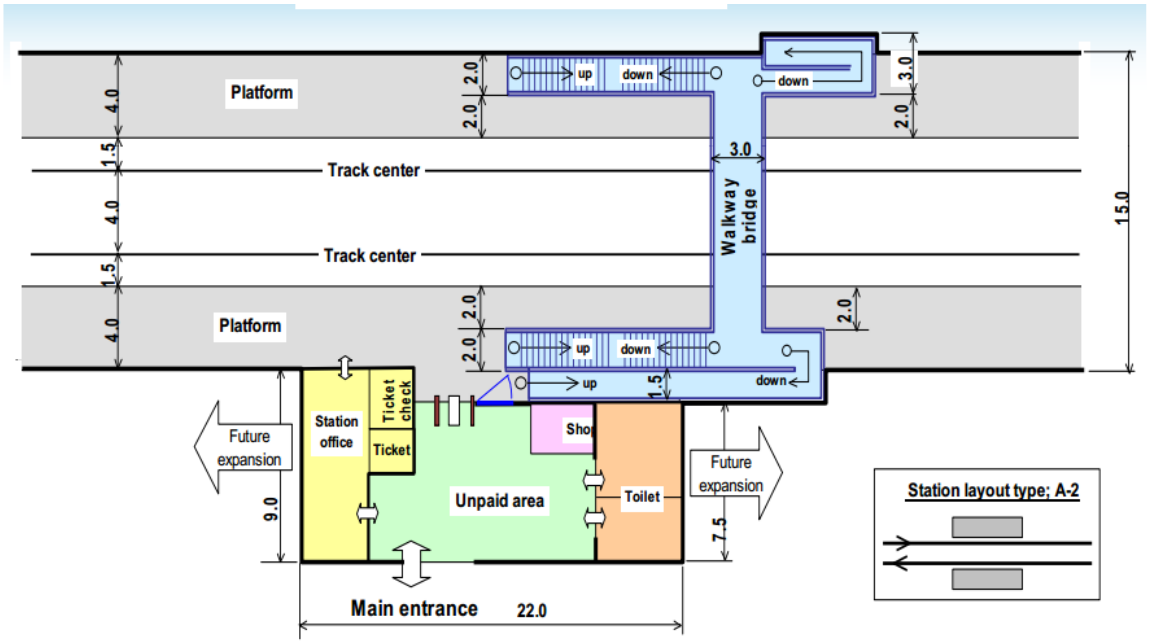
ภาพที่ 3-21 ตัวอย่างการบันทึกภาพและประมวลผลการเคลื่อนที่ด้วยระบบ Face Recognition

ที่มา : https://www.youtube.com/watch?v=XOix5rt-loo

ภาพที่ 3-22 ตัวอย่างการบันทึกภาพและประมวลผลการเคลื่อนที่ด้วยระบบ Face Recognition

3.3.9 ผลการศึกษาเพื่อการสนับสนุนการสร้างมาตรฐานสถานีรถไฟ

ผลที่ได้จากการแบบจำลองจะช่วยสนับสนุนประเมินความเหมาะสมของแบบสถานีในปัจจุบัน พร้อมทั้งเสนอแนะภาพแบบที่เหมาะสม ในการจัดการพื้นที่และสิ่งกีดขวาง ภายในสถานีรถไฟให้มีประสิทธิภาพ



ที่มา : สนข กระทรวงคมนาคม 2557

ภาพที่ 3-23 แบบจำลอง A2 การสร้างมาตรฐานสถานีรถไฟ

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 ผลการสำรวจพฤติกรรมผู้โดยสารที่สถานีรถไฟฟ้า

สถานีรถไฟฟ้าที่ถูกเลือกเพื่อทำการศึกษา จะทำการศึกษาลักษณะของสถานี และจำนวนผู้โดยสารในช่วงเวลาเร่งด่วน โดยสถานีที่ถูกเลือกมีดังต่อไปนี้

4.1.1 สถานีรถไฟฟ้า BTS สถานีสยาม

ภาพที่ 4-1 การเข้าออกและสลับขบวนรถไฟฟ้าของผู้โดยสารสถานีสยาม

4.1.3.1 ลักษณะของสถานีสยาม

เป็นสถานีที่ผู้โดยสารสามารถเปลี่ยนขบวนรถไฟฟ้า หรือเชื่อมต่อไปยังสายสีอื่นได้ ซึ่งทำให้มีผู้โดยสารจำนวนมากที่สถานีนี้ เป็นสถานีแห่งเดียวในระบบรถไฟฟ้าบีทีเอส ที่เป็นแบบชานชาลาตรงกลาง (Central Platform) และมีรถไฟฟ้าวิ่งอยู่ 2 ข้าง เหมาะสำหรับการเปลี่ยนขบวนรถระหว่างสายสุขุมวิทและสายสีลม และเนื่องจากต้องรองรับผู้โดยสารมากเป็นพิเศษ จึงมีขนาดใหญ่กว่าขนาดสถานีมาตรฐาน กว้าง 21 เมตร ยาว 192 เมตร มีชานชาลา 4 ชานชาลา และทางออก 6 ทาง

ตัวสถานีมี 3 ชั้น ประกอบด้วยชั้นจำหน่ายตั๋ว, ชานชาลาชั้นล่างสำหรับขบวนรถมุ่งหน้าสถานีชิดลมและราชดำริ และชานชาลาชั้นบนสำหรับขบวนรถมุ่งหน้าสถานีราชเทวีและสนามกีฬาแห่งชาติ ซึ่งในปัจจุบันชั้นจำหน่ายตั๋วถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อให้ทางออกที่ 3 ไปยังห้างสยามพารากอน และทางออกที่ 4 ไปยังป้ายรถประจำทางหน้าศูนย์การค้าสยามสแควร์วัน สามารถเดินข้ามถนนถึงกันได้

4.1.3.2 ลักษณะการขึ้นลงของผู้โดยสารสยาม

เนื่องจากสถานีสยามเป็นสถานีที่ใช้ในการเปลี่ยนสายและขบวนรถไฟฟ้า ทำให้มีผู้โดยสารจำนวนมากภายในสถานี การขึ้นลงของผู้โดยสารมีความหนาแน่นและเบียดเสียด รวมถึงมีความเร่งรีบในการเปลี่ยนถ่ายขบวน

ภาพที่ 4-2 ลักษณะการยืนรอเพื่อขึ้นรถไฟฟ้าที่สถานีสยาม

4.1.3.3 ลักษณะการเดินของผู้โดยสารที่สถานีสยาม

มีลักษณะผู้โดยสานสามารถเดินสวนกันระหว่างขบวนหนึ่งไปยังอีกขบวนหนึ่ง เพื่อเปลี่ยนสายการเดินทาง และมีผู้โดยสารจำนวนหนึ่งที่เดินมุ่งหน้าไปยังทางออกของชานชาลา

ภาพที่ 4-3 ความหนาแน่นของผู้โดยสารที่เข้าคิวเพื่อออกจากชานชาลาสถานีสยาม

ภาพที่ 4-4 ระหว่างการรอรถไฟฟ้า และผู้โดยสารที่เดินไปยังทางออกต่างๆ

4.1.3.4 ความหนาแน่นของผู้โดยสารที่สถานีสยาม

เนื่องจากสถานีสยามป็นสถานีที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างรถไฟฟ้าหลายสาย ทำให้การเดินทางและจำนวนผู้โดยสารในสถานี มีจำนวนมาก โดยเฉพาะในเวลาเร่งด่วน

ภาพที่ 4-5 การเปลี่ยนขบวนรถของผู้โดยสารจากสายหนึ่งไปยังอีกสายหนึ่ง

ภาพที่ 4-6 เมื่อผู้โดยสารออกขบวนรถไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกขบวนหนึ่ง

4.1.2 สถานีรถไฟฟ้าอโศก

4.1.3.1 ลักษณะของสถานีอโศก

รถไฟฟ้าสถานีอโศก มีลักษณะเป็นแบบที่มีชานชาลาอยู่ 2 ข้าง (Side platform station) และมีทางออก 6 ทาง และสามารถเชื่อมต่อไปยังสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน MRT

4.1.3.2 ลักษณะของบันไดและการขึ้นลงของผู้โดยสารสถานีอโศก

ผู้โดยสารสามารถขึ้นลงชานชาลาได้ 2 ฝั่ง เพื่อออกจากสถานี หรือเชื่อมต่อไปยังรถไฟฟ้าใต้ดิน MRT

ภาพที่ 4-7 ลักษณะการเดินขึ้นลงและความหนาแน่นของผู้โดยสาร

ภาพที่ 4-8 ลักษณะการเดินของผู้โดยสารภายในสถานี

4.1.3.3 ลักษณะการเดินของผู้โดยสารที่สถานีอโศก

จากชานชาลาทางออกจากรถไฟฟ้า สถานีอโศกเป็นสถานีที่มีชานชาลาอยู่ด้านข้าง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า จะมีบันได้สำหรับขึ้นลงชานชาลาทั้ง 2 ฝั่ง เมื่อผู้โดยสารออกจากรถไฟฟ้า จะเดินลงจากชานชาลามาที่บันไดทั้ง 2 ฝั่ง เพื่อไปยังทางออก หรือ เชื่อมต่อไปยัง MRT

ภาพที่ 4-9 ลักษณะของบันไดขึ้นลงสถานีอโศก

ภาพที่ 4-10 ลักษณะการเดิน และความหนาแน่นของผู้โดยสาร

4.1.3.4 ความหนาแน่นของผู้โดยสารที่สถานีอโศก

โดยส่วนใหญ่แล้วผู้โดยสารที่ลงจากชานชาลา จะมุ่งหน้าไปยังทางเชื่อมต่อรถไฟฟ้ามหานคร MRT ซึ่งมีปริมาณหนาแน่นมากกว่า อีกด้านที่เป็นทางออก 1 ที่เส้นทางการเดินของผู้โดยสารไม่ติดขัด และสามารถระบายผู้โดยสารได้อย่างต่อเนื่อง

4.1.3 สถานีรถไฟฟ้า Airport Link สถานีพญาไท

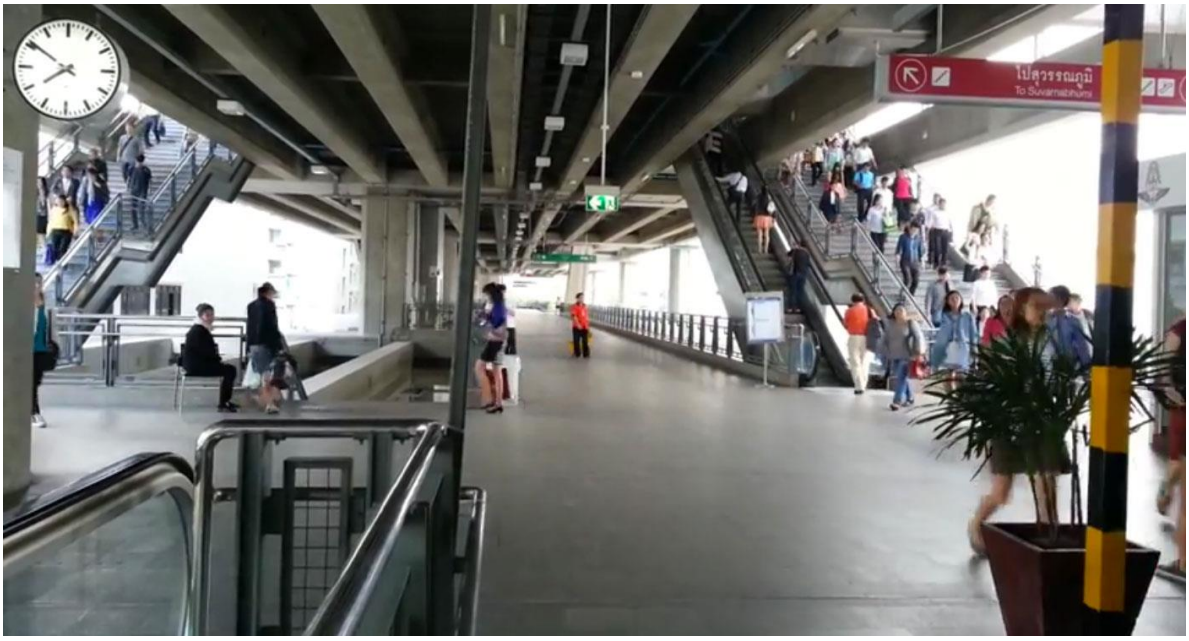
4.1.3.1 ลักษณะของสถานี Airport Link พญาไท

เป็นแบบมีชานชาลาอยู่ 2 ข้าง (side platform station) ขนาดมาตรฐาน กว้างประมาณ 20 เมตร ยาวประมาณ 150 เมตร ประกอบด้วยชั้นขายบัตรโดยสาร และชานชาลา มีทางออก 5 ทางออก

ภาพที่ 4-11 ลักษณะของสถานีรถไฟฟ้าสถานีอโศก

4.1.3.2 ลักษณะของบันไดและการขึ้นลงของผู้โดยสารสถานีพญาไท

จากภาพจะเห็นว่าลักษณะบันไดที่เชื่อมต่อชานชาลาจะอยู่ 2 ข้าง และมีบันไดเลื่อนสำหรับอำนวยความสะดวกการขึ้นแก่ผู้โดยสาร 1 ฝั่งด้านขวา เพื่อไปยังชานชาลาที่จะเดินทางไปสุวรรณภูมิ

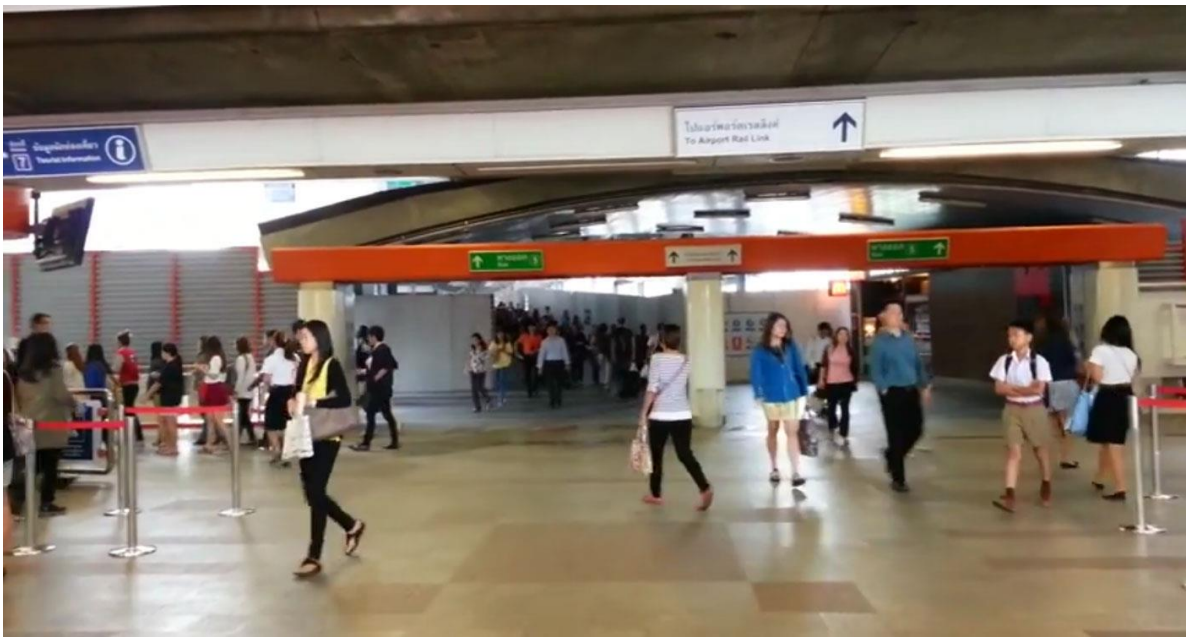


ภาพที่ 4-12 ลักษณะของบันไดและการขึ้นลงของผู้โดยสารสถานีพญาไท

ภาพที่ 4-13 ลักษณะของบันไดและการขึ้นลงของผู้โดยสารสถานีพญาไท

4.1.3.3 ลักษณะการเดินของผู้โดยสารสถานีพญาไท

ที่สถานีพญาไท ผู้โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังรถไฟฟ้า Airport Rail Link จากภาพจะเห็นว่า เป็นทางออก ที่มุ่งหน้าไปยัง Airport Rail Link และด้านขวาจะเป็นจุดจำหน่ายตั๋วและประชาสัมพันธ์ ลักษณะการเดินของผู้โดยสารสามารถเดินสวนทางกันได้ โดยมีทางออก จำนวน 5 ทางออก



ภาพที่ 4-14 ลักษณะทางออกและทางเชื่อมต่อไปยัง Airport Rail Link

4.1.3.4 ความหนาแน่นของผู้โดยสารสถานีพญาไท

จากภาพจะเห็นได้ว่าผู้โดยสารเดินทางมาจากทางเชื่อมต่อระหว่างรถไฟฟ้าสถานีอโศก กับ Airport Rail Link เป็นจำนวนมาก และสามารถเดินสวนกันได้ทุกทิศทาง ผู้โดยสารที่จะไปขึ้นรถไฟฟ้า จะสามารถขึ้นลงได้ที่บันไดเลื่อนและบันไดด้านซ้ายของภาพ หากมีปริมาณผู้โดยสารมาก จะทำให้การขึ้นไปยังสถานีต้องรอคิวเป็นเวลานาน

ภาพที่ 4-15 ความหนาแน่นของผู้โดยสารสถานีพญาไท

4.2 ผลการประยุกต์ใช้ระบบ ITS ในการเก็บข้อมูลพฤติกรรมผู้โดยสาร

การนับจำนวนบุคคลตามพื้นที่ต่าง ๆ ในปัจจุบันส่วนมากจะใช้การให้คนในการนับ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากขางพื้นที่มีจำนวนผู้คนเข้าและออกมาก ดังนั้นผู้เขียนจึงได้ลองเขียนโปรแกรมสำหรับนับจำนวนคนเข้า-ออกอัตโนมัติขึ้น โดยมีความสนใจในการตรวจจับบุคคลภายในภาพแล้วทำการนับจำนวนคน และจัดเก็บข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะการเดินผ่านพื้นที่ดังกล่าว เพื่อลดปัญหาความคลาดเคลื่อนในการนับจำนวนคน โดยใช้ประยุกต์ใช้โปรแกรมที่ได้ถูกพัฒนาโดยเลือกใช้ *OpenCV* และภาษา *Python* ในการเขียน ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งบน Windows, Linux และบนเมนบอร์ด ในการสร้างโปรแกรมการตรวจจับ และติดตามผู้คน เพื่อเก็บข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ ของแต่ล่ะคน หรือแต่ล่ะกลุ่ม ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้รับไปพัฒนาส่วนต่าง ๆ ได้ เช่น การนำความเร็ว สัดส่วนประเภทของผู้คน หรือข้อมูลอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาในหลาย ๆ ด้าน เช่น ด้านการขนส่ง การออกแบบพื้นที่สำหรับคนเดิน รวมถึงการลดค่าใช้จ่ายในการจ้างบุคลากรในการนับ อีกทั้งข้อมูลที่ได้ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองของคนเดินเท้าเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง เพื่อใช้ในการวางแผนของส่วนงานที่เกี่ยวข้อง ระบบการทำงานของโปรแกรมการตรวจนับผู้โดยสารนั้นประกอบด้วยโปรแกรม *OpenCV* และโปรแกรมภาษา *Python* ดังนี้

4.2.1 ภาษา Python [1]

Python คือชื่อภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาหนึ่ง ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาโดยไม่ยึดติดกับแพลตฟอร์ม กล่าวคือสามารถรันภาษา Python ได้ทั้งบนระบบ Unix, Linux , Windows NT, Windows 2000, Windows XP หรือแม้แต่ระบบ FreeBSD อีกอย่างหนึ่งภาษาตัว นี้เป็น OpenSource เหมือนอย่าง PHP ทำให้ทุกคนสามารถที่จะนำ Python มาพัฒนาโปรแกรมของเราได้ฟรีๆโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และความเป็น Open Source ทำให้มีคนเข้ามาช่วยกันพัฒนาให้ Python มีความสามารถสูงขึ้น และใช้งานได้ครบคุมกับทุกลักษณะงาน

4.2.2 โปรแกรม OpenCV [2]

เป็น Library ในภาษา C++ และ Python สำหรับการพัฒนาโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับ Image Processing และ Computer Vision โดยสามารถพัฒนาได้ทั้งในระบบปฏิบัติการวินโดว์และระบบปฏิบัติการ Linux

วิธีใช้งาน OpenCV ใช้ร่วมกับโปรแกรม Visual Studio C++ ในการนำ OpenCV มาใช้งานร่วมกับ Visual Studio C++ เพื่อใช้พัฒนาโปรแกรมนั้น เราจำเป็นต้องตั้งค่าให้กับโปรแกรม Visual Studio C++ ก่อน เพื่อระบุตำแหน่งของ Library ของ OpenCV ตำแหน่งของไฟล์ที่ต้องใช้ในโปรแกรม และตำแหน่งของ Source File ให้ตัวโปรแกรมทราบ และสามารถดึงมาใช้ได้ ซึ่ง Color หรือ Object จะประกอบไปด้วย Histogram ของสีต่างๆ เราจะเก็บลักษณะของ histogram เอาไว้เช็คข้อมูลที่อยู่ในภาพ ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาหากมีลักษณะที่ใกล้เคียงก็สามารถที่จะระบุตำแหน่งของ object หรือ color ภายใน OpenCV มี Sample code และตัวโปรแกรม ที่ compile เสร็จแล้วเอาไว้ให้เล่น แต่จะอยู่ใน C:/ProgramFile/OpenCV/sample/c ใครสนใจก็สามารถที่จะลองเล่นดูได้นะครับ แต่โค๊ดที่มีจะเป็นแค่ ภาษา C ยังไม่ใช่ C++ ก็เลยต้องแก้ไขให้มันใช้ได้กับ C++ เพราะส่วนใหญ่ แล้วก็ต้องใช้ C++ เพื่อให้ส่วนอื่นๆเขียนได้ง่าย

4.2.3 ฟังก์ชั่นที่ใช้และขั้นตอนในการทำโปรแกรม

4.2.3 Video Capture

ขั้นแรกใช้ฟังก์ชั่น *cv2.VideoCapture* ในการนำเข้าข้อมูล (Input) โดยสามารถเลือกได้ว่าจะนำเข้าข้อมูลจากไฟล์วิดีโอหรือภาพวิดีโอสดจากกล้อง โดยเปลี่ยนตรง inputFile = "C:\video-1458844089.mp4" ซึ่งเป็นการนำเข้าไฟล์วิดีโอจากตำแหน่งที่เลือกให้เป็น inputFile = (0) ซึ่งจะเป็นการเรียกใช้การนำเข้าข้อมูลจากกล้องที่เชื่อมต่อกับเครื่องไว้ใช้ฟังก์ชั่น *cv2.VideoWriter* ในการแสดงผลข้อมูล (Output) ที่ได้ออกมา

```
inputFile = "C:\video-1458844089.mp4"
cap = cv2.VideoCapture(inputFile)
ret, frame = cap.read()
w = cap.get(cv2.cv.CV_CAP_PROP_FRAME_WIDTH)
h = cap.get(cv2.cv.CV_CAP_PROP_FRAME_HEIGHT)
fps = cap.get(cv2.cv.CV_CAP_PROP_FPS)
print "video {}x{} @ {}".format(w, h, fps)
print 'width  : ',w
print 'height : ',h
in_cnt = 0
in_cnter = 0

if len(argv) > 2:
    outputFile = argv[2]
    out = cv2.VideoWriter(
            outputFile,
            cap.get(cv2.cv.CV_CAP_PROP_FOURCC),
            cap.get(cv2.cv.CV_CAP_PROP_FPS),
            (int(cap.get(cv2.cv.CV_CAP_PROP_FRAME_WIDTH)), int(cap.get(cv2.cv.CV
else:
    outputFile = False
```

ภาพที่ 4-16 ตัวอย่างการใช้งานฟังก์ชัน Video Capture

4.2.4 Background Subtraction

การใช้เทคนิค *Background Subtraction* ในการหาความต่างของเฟรม *foreground* กับเฟรม *background* โดยประโยชน์ของการหา *Background Subtraction* นั้นจะสามารถบอกได้ว่ามีวัตถุอะไรที่กำลังเคลื่อนไหวอยู่ในเฟรม

```
fgbg = cv2.BackgroundSubtractorMOG()
kernel = cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_ELLIPSE,(15,15)) #np.ones((5,5),np.
kernel2 = cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_ELLIPSE,(27,27)) #np.ones((5,5),np
```

ภาพที่ 4-17 ตัวอย่างการใช้งานฟังก์ชัน Background Subtraction

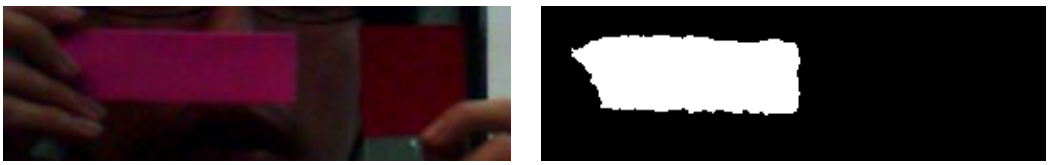
ภาพที่ 4-18 ตัวอย่างการใช้เทคนิค Background Subtraction [3]

4.2.5 Segmentation

กระบวนการ Segmentation เป็นกระบวนการแยกวัตถุ หรือองค์ประกอบต่างๆ ออกจากภาพอินพุท โดยในโครงงานนี้ จะใช้สีของmarker ซึ่งมีความเด่นชัดจากสีของพื้นหลังในการ segmentation ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) ปรับปรุงคุณภาพของภาพ โดยใช้เทคนิคการเบลอภาพ
2) แปลงปริภูมิสีจากปริภูมิ RGB เป็นปริภูมิ HSV
3) ตั้งค่า threshold ของค่า H, S และ V ให้สอดคล้องกับสีของ marker
4) กำหนดให้ค่าของจุดสีที่เป็นองค์ประกอบที่ต้องการพิจารณามีค่าเป็นสีขาว (255) และกำหนดให้ค่าของจุดสีที่ไม่ใช่องค์ประกอบที่ต้องการพิจารณามีค่าเป็นสีดำ (0)

ทำการ *Segmentation* จะทำให้สามารถแยกข้อมูลภาพของส่วนที่ต้องการออกมาได้ดังแสดงในภาพที่ 4-19



ภาพที่ 4-19 กระบวนการ segmentation เพื่อหาวัตถุด้านซ้าย [4]

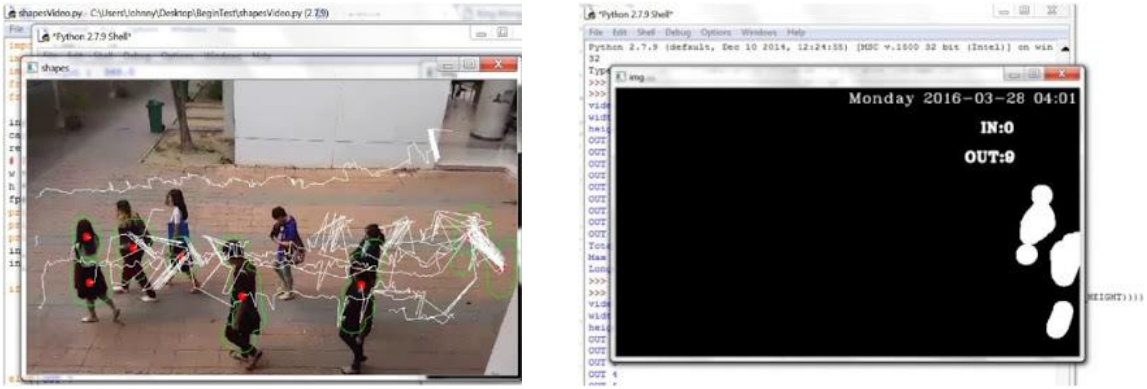
4.2.6 กำหนดค่า Threshold

การใส่ค่า *Threshold* เพื่อเป็นการแยกวัตถุที่เคลื่อนไหวในภาพ กับวัตถุที่ไม่ได้เคลื่อนไหว โดยตัวอย่างการใช้งานแสดงดังภาพที่ 4-21

```
maxContours = 0
biggestContour = 0
frameNumber = 0

followers = []
# line = polyline coordinates showing this follower trace
# x, y : last seen position (=line[-1])
# f : last seen frame number
# x0, y0 : first seen coordinates (=line[0])

threshold = 50

def searchFollower(frameNumber, x, y):
    for f in followers:
        if abs(f['x'] - x) < threshold and abs(f['y'] - y) < threshold:
            f['f'] = frameNumber
            f['line'].append([x,y])
            f['x'] = x
            f['y'] = y
            return

        #position = np.zeros((10,100,2))

        #frame = 400
        #count = 0
        #if f['x'] > frame:
        #    count = count+1
        #    print count

    #not found -> create new one
    followers.append({
        'f'   : frameNumber,
        'x0' : x,
        'y0' : y,
        'x'   : x,
        'y'   : y,
        'line': [[x, y]]
    })
```

ภาพที่ 4-20 การใส่ค่า Threshold

โดยเมื่อแยกภาพออกเป็น segment แล้วจะได้ภาพเดิม โดยมีเส้นเพื่อ track ตัวบุคคล และจะได้อีกภาพเป็นภาพขาว-ดำ โดยสีดำคือ background แล้วสีขาวเป็น foreground ซึ่งคือตัวบุคคลที่ทำการ track แล้ว detect พบ



ภาพที่ 4-21 ตัวบุคคลที่ทำการ track แล้ว detect พบ [4]

4.2.7 Erosion การกร่อนขนาด (Erosion) เป็นการกร่อนขนาดบริเวณขอบของวัตถุ

4.2.8 Dilation การขยาย (Dilation) จะพิจารณาข้อมูลภาพซึ่งเป็นภาพขาว-ดำ เป็นการขยายภาพให้ใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มสีให้กับวัตถุที่แสดงในขั้นตอนสุดท้าย

```
# (try to) remove artefacts
erosion = cv2.erode(fgmask,kernel,iterations = 1)
img = cv2.dilate(erosion,kernel2,iterations = 1)
```

ภาพที่ 4-22 ตัวอย่างการใช้งาน Erosion และ Dilation

ซึ่งการจับวัตถุหรือคนที่เคลื่อนไหวในวีดีโอนั้นจะใช้วิธีการตรวจสอบหาวัตถุที่เคลื่อนไหวโดยเริ่มจากกำหนด Background ของวีดีโอให้เป็นภาพนิ่งก่อน จากนั้นเมื่อตรวจเจอวัตถุที่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวผ่านมานั้นก็จะทำการจับภาพ โดยจะทำการ Erosion ลบค่า noise ให้ได้มากที่สุดจากนั้นจึงทำการ Dilatation ภาพเพื่อขยายวัตถุที่เราต้องการจับเพื่อความแม่นยำในการตรวจจับให้มากขึ้น

4.2.9 ขั้นตอนและเทคนิคในการนับจำนวนคน

หลังจากทำการประมวลผลภาพต่างๆจนสามารถตรวจจับตัวคนได้แล้วนั้น จะทำการนับจำนวนคน โดยจะกำหนดเส้นไว้ ถ้ามีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านเส้นที่กำหนดจะทำการนับ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ภาพการเคลื่อนไหวของวัตถุได้ตรงตามที่กำหนด
2) นำไปบวกกับจำนวนเข้าคนหรือออกจากงานตามที่กำหนดไว้
3) หากมาจากทางซ้ายแสดงว่าคนกำลังเข้าชมงาน

4) หากมาจากทางขวาแสดงว่าคนกำลังออกจากงาน

5) แสดงผลทางหน้าจอที่ได้กำหนดไว้ แสดงผลได้แบบ Real-Time

โดยการใช้งาน**เทคนิคในการนับจำนวนคน**สามารถแสดงดัง**ภาพที่ 4-24**

```
count = 0;
counter = 0;
for f in followers:
    #print 'first point at ',f['line'][0],'\tto last point at ',f['line'][-1
    if f['line'][0][0] < 400 and f['line'][-1][0] >= 400:
        count=count+1
        if in_cnt < count:
            in_cnt = count
            print "IN",in_cnt

    if f['line'][0][0] >= 80 and f['line'][-1][0] < 80:
        counter=counter+1
        if in_cnter < counter:
            in_cnter = counter
            print "OUT",in_cnter
```

ภาพที่ 4-23 ตัวอย่างการใช้งานเทคนิคในการนับจำนวนคน

4.2.4 ผลการทำงานของโปรแกรมตรวจจับและนับจำนวนคนอัตโนมัติ

ในการใช้งานโปรแกรมตรวจจับและนับจำนวนคนอัตโนมัตินั้น ต้องมีข้อมูลนำเข้ามาก่อน เช่น ไฟล์วิดีโอ ภาพวิดีโอสดจากกล้องวงจรปิดหรือกล้องเว็บแคม

ภาพที่ 4-24 ภาพวิดีโอสดจากกล้องวงจรปิดหรือกล้องเว็บแคม [4]

เมื่อนำไฟล์วิดีโอเข้ามาแล้วรันโปรแกรม โปรแกรมจะทำการประมวลผล จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นดังแสดงใน**ภาพที่ 4-25**

ภาพที่ 4-25 ไฟล์วิดีโอเข้ามาแล้วรันโปรแกรม [4]

โดยผลลัพธ์ที่ได้ โปรแกรมสามารถตรวจจับและนับจำนวนคนได้ แต่จะมีปัญหาเมื่อมีคนเดินมาเป็นกลุ่มหรือเดินติดๆกันจะโปรแกรมจะนับเป็นหนึ่งคน ทำให้ยังไม่แม่นยำเท่าที่ควร

โดยผลที่ได้เพิ่มเติมหากต้องการสามารถระบุเพิ่มในโปรแกรมดังกล่าวได้ คือ

- ความเร็ว (Speed) ของคนแต่ล่ะคน
- อัตราการไหล (Flow rate) ผ่านพื้นที่ดังกล่าว
- เวลาการเดินทาง (Travel time) ของคนเดินเท้าแต่ล่ะคน
- เส้นทางการเคลื่อนที่ (Trajectory) ของคนเดินเท้าแต่ล่ะคน

4.2.5 การจัดเก็บข้อมูลด้วยภาพถ่าย VDO ด้วยระบบ ITS

ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ด้านการจักเก็บข้อมูลด้านการจราจรของคนเดินเท้า มีการประยุกต์ใช้ระบบ ITS มาใช้ในการจัดเก็บข้อมูล โดยเทคโนโลยีนี้ประกอบไปด้วย ระบบการตรวจจับวัตถุ (Object detection) และระบบการติดตามวัตถุ (Object tracking) รวมเข้าด้วยกัน ซึ่งได้ผลการดำเนินการดังแสดงในภาพที่ 4-26

ช่วงวินาทีแรก

ช่วงวินาทีที่ 4

ช่วงวินาทีที่ 8

ช่วงวินาทีที่ 12

ภาพที่ 4-26 ตัวอย่างผลการบันทึกข้อมูลจากกล้องวิดีโอด้วยระบบ ITS ที่สถานีหมอชิด

ภาพที่ 4-26 แสดงผลการดำเนินการประยุกต์ใช้ระบบ ITS มาใช้ในการจัดเก็บข้อมูลด้านการจราจรของคนเดินเท้าบริเวณต่าง ๆ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุ ร่วมกับเทคโนโลยีการติดตามวัตถุ ซึ่งมีการพัฒนาจากการใช้ระบบ Python รวมกับ OpenCV โดยไม่มีการเพิ่มประสิทธิภาพรหัสพิเศษใด ๆ วิธีการอาศัยการตรวจหาวัตถุโดยไม่จำเป็นต้องลบพื้นหลัง อัลกอริธึมสามารถติดตามทั้งคนเดินเท้าที่เคลื่อนที่และหยุดนิ่งในเฟรมนั้น ๆ การตรวจจับหัวและสร้าง trajectories เริ่มต้นจากเฟรมแรกและติดตามหัวจากเฟรมต่อเฟรมไปเรื่อย ๆ โดยรายละเอียดการดำเนินการเพิ่มเติมมีอธิบายในส่วนต่อไปนี้

4.2.5.1 การเริ่มต้นและการสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ (Trajectory initialization and termination) การตรวจจับหัวคนเดินเท้าเพื่อหาหัวคนในเฟรมแรกและสร้าง trajectories เริ่มต้น ซึ่งในการตรวจจับเมื่อหัวคนเดินเท้าใหม่จะปรากฏในเฟรมถัดไป โดยจะเรียกใช้การตรวจจับเพื่อค้นหาหัวของคนเดินเท้าในพื้นที่ของแต่ละเฟรมที่

ไม่ได้คาดการณ์ไว้ในภาพแบบการเคลื่อนที่สำหรับเส้นทางการเคลื่อนที่ที่มีอยู่ โดยพยายามเชื่อมโยงหัวคนเดินเท้าใหม่กับเส้นทางที่มีอยู่เดิม เมื่อการตรวจหาหัวใหม่ล้มเหลวจะมีการเริ่มต้นเส้นทางการเคลื่อนที่ใหม่จากกรอบปัจจุบัน จะมีการตัดเส้นทางการเคลื่อนที่ของศีรษะที่พื้นที่ทางออก (exit zone) (ใกล้เคียงกับขอบภาพ) ซึ่งภาพแบบการทำนายการเคลื่อนที่ตำแหน่งนอกกรอบจะถูกตัดออก

4.2.5.2 การจัดการลักษณะเฉพาะตัว (Identity management) การกำหนดและรักษาลักษณะเฉพาะตัวของวัตถุ (ID) โดยอัตโนมัติในระหว่างการติดตามเป็นสิ่งสำคัญ การกำหนดรหัสเฉพาะให้กับแต่ละทางในระหว่างการเริ่มต้นของกระบวนการติดตามและยืนยันตามการจำแนกรักษาลักษณะเฉพาะตัวไว้ในระหว่างการติดตาม Trajectories ที่หายไปชั่วคราว อาจเนื่องจากการถูกบดบัง ซึ่งถูกกำหนด ID ใหม่ที่เป็นอันเดียวกันในการกู้คืนเพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงข้อมูลประจำตัว

4.3 ผลการแบ่งกลุ่มผู้โดยสารด้วยวิธีคลัสเตอร์

วิธี Fuzzy C-means (FCM) [15] เป็นอัลกอริธึมที่ยอมให้ข้อมูลในแต่ละคลัสเตอร์มีการซ้อนทับกันหรือซ้ำกันได้ วิธีการนี้เป็นการจักกลุ่มที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในงานด้วนต่าง ๆ เช่น การแพทย์ วิทยาศาสตร์ วอศวกรรมศาสตร์ โดยอาศัยการให้ค่าการเป็นสมาชิกของกลุ่มข้อมูลต่อกลุ่มข้อมูลต่าง ๆ การได้มาซึ่งค่าการเป็นสมาชิกส่วนหนึ่งมาจากการวัดระยะทางระหว่างข้อมูล และจุดศูนย์กลางของกลุ่มข้อมูลเหล่านั้น การวัดระยะทางจึงมีความสำคัญต่อการจัดกลุ่ม ซึ่งวิธีการวัดระยะทางนั้นมีหลายวิธีการ อาจเป็นการวัดระยะทางแบบยูคลิเดียน (Eulidence distance) หรือการวัดระยะทางแบบมหาลาโนบิส (Mahalanobis distance) สำหรับการวัดระยะทางแบบยูคลีเดียนนั้นไมเหมาะกับข้อมูลที่เกี่ยวเนื่องกัน สำหรับการวัดระยะทางแบบมหาลาโนบิสนั้น เหมาะสำหรับกลุ่มข้อมูลมีข้อมูลโดดออกจากกลุม (Outlier) และกลุ่มข้อมูลมีข้อมูลหนาแน่นต่าง ๆ

การจัดกลุ่มแบบฟัซซี่นั้นเป็นเทคนิคในการจัดกลุ่มที่แก้ไขข้อเสียของ K-mean เนื่องจาก k-mean ไมเหมาะกับข้อมูลที่มีความสำพันธ์กัน (Correlation) เนื่องจากข้อมูลมีโอกาสเป็นสมาชิกเพียงหนึ่งกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น การจุดกลุ่มแบบฟัซซี่นั้น สมาชิกของกลุ่มมีโอกาสหรือค่าการเป็นสมาชิกของข้อมูลระดับต่าง ๆ ในทุกกลุ่ม สำหรับการแบ่งกลุ่มฟัซซี่ (Fuzzy clustering) Dunn ไดมีการปรับปรุงโดย Bezdek

ขั้นตอนการทำงานของฟัซซี่ซีมีน (Fuzzy C-Means) ประกอบด้วย

1. กำหนดกลุ่มข้อมูลที่ต้องการการจัดกลุ่ม เพื่อกำหนดค่าเพื่อเป็นเงื่อนไขในการให้ข้อมูลหยุดการจัดกลุ่ม (ε) กำหนดค่าฟัซซี่พารามิเตอร (m) ซึ่งต้องมากกว่าหนึ่ง และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นของข้อมูล
2. คำนวณค่าการเป็นสมาชิกของข้อมูลต่อกลุ่มข้อมูลต่าง ๆ
3. คำนวณจุดศูนย์กลางของกลุ่มข้อมูลใหม่เพื่อตรวจสอบเงื่อนไขโดยตรวจสอบค่าการเป็นสมาชิกใหม่ลบค่าการเป็นสมาชิกก่อนหน้า
4. ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงคำนวณค่าการเป็นสมาชิกและ Objective function ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จคำนวณค่าการเป็นสมาชิกจากจุดศูนย์กลางล่าสุด (วนรอบ)

การคำนวณ Objective Function สามารถคำนวณจาก

$$J = \sum_{i=1}^{c} \sum_{j=1}^{n} (\mu_{ij})^m d^2(x_j, z_i)$$

โดย J แทน Objective function ของขั้นตอนวิธีฟัซซี่ซีมีน

กำหนดเซตของข้อมูล $X=\{X_1, X_2,...X_n\}$

n แทนจำนวนข้อมูล

c แทนจำนวนกลุ่มข้อมูล

m แทนฟัซซี่พารามิเตอร์ที่ต้องมีค่ามากกว่า 1

μ_{ij} คือค่าการเป็นสมาชิก (membership) ของข้อมูลที่ J ในกลุ่มที่ i

$d^2(x_j, z_i)$ แทนระยะทางยกกำลังสองระหว่าข้อมูล X ที่ j และจุดศูนย์กลางของข้อมูล Z กลุ่มที่ i โดย

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} (\mu_{ij})^m X_j}{\sum_{j=1}^{n} (\mu_{ij})^m}$$

การหาค่าการเป็นสมาชิก μ_{ij} แสดงได้จากสมการดังนี้

$$\mu_{ij} = \frac{(\frac{1}{d^2(x_j - z_i)})^{1/(m-1)}}{\sum_{i=1}^{c}(\frac{1}{d^2(x_j - z_i)})^{1/(m-1)}}$$

สำหรับการวัดค่าระยะทางระหว่างข้อมูลและจุดศูนย์กลางข้อมูลนั้น ใช้แบบยูคลิเดียน สามารถหาได้จากสูตร

$$ED_{ji} = \sqrt{(x_j - z_i)(x_j - z_i)^T}$$

โดย ED_{ji} แทนระยะทางแบบยูคลิเดียนระหว่างข้อมูล X ที่ j และจุดศูนย์กลางของข้อมูล Z กลุ่มที่ I

T แทน Transpose matrix

สำหรับการวัดระยะทางแบบมหาลาโนบิสนั้น เหมาะกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน สามารถหาได้จากสูตร

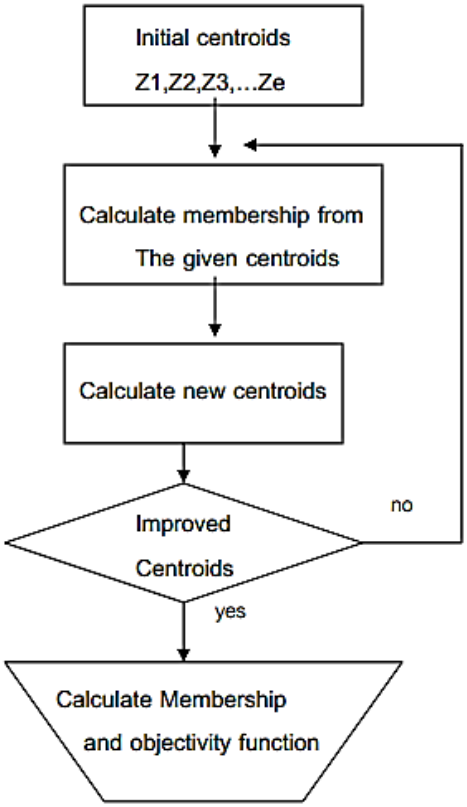
$$MD_{ji} = \sqrt{(x_j - z_i)A^{-1}(x_j - z_i)^T}$$

โดย MD_{ji} แทนระยะทางแบบมหาลาโนบิสระหว่างข้อมูล X ที่ j และจุดศูนย์กลางของข้อมูล Z กลุ่มที่ I

A แทน Variance-covariance matrix คำนวณจากสมการดังนี้

$$A = \frac{\sum_{j=1}^{n}(x_j - z_i)(x_j - z_i)^T}{n-1}$$

รายละเอียดการทำงานของฟัซซี่ซีมีนมีดังนี้



ภาพที่ 4-27 การทำงานของฟัซซี่มีน

4.3.1 ผลการแบ่งข้อมูลด้วยวิธี K-mean

ในการประยุกต์ใช้การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการจัดกลุ่ม แบบ K-mean จะเป็นการเป็นการจัดให้ข้อมูลที่มีลักษณะเหมือนหรือคล้ายกันมาไว้ด้วยกัน สำหรับตัวอย่างการจัดกลุ่มเวลาการเดินของคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทบริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร ที่มีระยะทางในการเคลื่อนที่ 10.5 เมตร ผลการแบ่งกลุ่มแสดงดัง**ภาพที่ 4-28**

```
Python 2.7.13 (v2.7.13:a06454b1afa1, Dec 17 2016, 20:42:59) [MSC v.1500 32 bit (
Intel)] on win32
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
==== RESTART: E:\Clustering\k-mean-20170327T094059Z-001\k-mean\k-mean.py ====
Cluster center [(12.0, 60.0), (9.0, 70.0), (7.0, 80.0)]
Cluster center Loop @ 1 [(7.32, 66.81799999999998), (7.0344827586206895, 68.9972
4137931031), (6.8076923076923075, 71.68423076923075)]
New Cluster center = [(7.32, 66.81799999999998), (7.0344827586206895, 68.9972413
7931031), (6.8076923076923075, 71.68423076923075)]
>>>
```

ภาพที่ 4-28 การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-mean

จากภาพที่ 4-28 เป็นการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-mean ซึ่งระบบจะทำการประมาณผลจนกว่าจะได้ค่าที่ดีที่สุดดังแสดงดังภาพ ซึ่ง New Cluster center จะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลนั้น ๆ จากภาพคือ [(7.527, 65.672), (7.127, 68.628), (6.883, 71.675)] โดยที่ค่า 7.527, 7.127 และ 6.883 เป็นเวลาการเดินทางมีหน่วยเป็นวินาที และค่า 65.672, 68.628 และ 71.675 เป็นความเร็วในการเดินทางมีหน่วยเป็นเมตรต่อนาที โดยตัวอย่างดังกล่าวมีการกำหนดการจักกลุ่ม 3 กลุ่ม ซึ่งถ้าหากต้องการจำนวนกลุ่มที่มากหรือน้อยกว่าก็สามารถกำหนดได้

4.3.2 ผลการแบ่งข้อมูลด้วยวิธี C-mean

เป็นอัลกอริธึมที่ยอมให้ข้อมูลในแต่ละคลัสเตอร์มีการซ้อนทับกันหรือซ้ำกันได้ วิธีการนี้เป็นการจักกลุ่มที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในงานด้วนต่าง ๆ เช่น การแพทย์ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ โดยอาศัยการให้ค่าการเป็นสมาชิกของกลุ่มข้อมูลต่อกลุ่มข้อมูลต่าง ๆ การได้มาซึ่งค่าการเป็นสมาชิกส่วนหนึ่งมาจากการวัดระยะทางระหว่างข้อมูล และจุดศูนย์กลางของกลุ่มข้อมูลเหล่านั้น โดยการจัดกลุ่มแบบฟัซซี่นั้นเป็นเทคนิคในการจัดกลุ่มที่แก้ไขข้อเสียของ K-mean เนื่องจาก k-mean ไมเหมาะกับข้อมูลที่มีความสำพันธ์กัน (Correlation) เนื่องจากข้อมูลมีโอกาสเป็นสมาชิกเพียงหนึ่งกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น การจุดกลุ่มแบบฟัซซี่นั้น สมาชิกของกลุ่มมีโอกาสหรือค่าการเป็นสมาชิกของข้อมูลระดับต่าง ๆ ในทุกกลุ่ม ผลการแบ่งกลุ่มด้วยระบบการประมวลผลแสดงดังภาพที่ 4-29

```
Python 2.7.13 (v2.7.13:a06454b1afa1, Dec 17 2016, 20:42:59) [MSC v.1500 32 bit (
Intel)] on win32
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
= RESTART: E:\Clustering\c-mean-20170327T094032Z-001\c-mean\Fuzzy c-mean1.py =
m =2.5
Cluster center [(12.0, 60.0), (9.0, 70.0), (7.0, 80.0)]
Opject Function = 1.27837797627
Cluster center Loop @ 1 [(8.047418629047012, 60.169580736978794), (7.08805601239
1271, 67.92327877948154), (6.143598988036428, 78.508377808694)]
Opject Function = 0.776295544452
Cluster center Loop @ 2 [(8.083513509426622, 59.58761458162361), (7.022034116773
861, 68.44708403809305), (6.075799722547795, 79.26100203356525)]
Opject Function = 0.519493016276
Cluster center Loop @ 3 [(8.167692361957597, 58.92638150227965), (7.014431122786
32, 68.46956997043311), (6.0402916124530694, 79.63419368951348)]
Opject Function = 0.446797607647
Cluster center Loop @ 4 [(8.244341761230693, 58.39375733915616), (7.015731384301
6995, 68.45061111532249), (6.033254304476796, 79.69504794995925)]
Opject Function = 0.428750582964
Cluster center Loop @ 5 [(8.29568617564929, 58.051205272444555), (7.016755333180
034, 68.44007156168135), (6.032358808063406, 79.69914272469406)]
Opject Function = 0.420932583298
Cluster center Loop @ 6 [(8.327124451952605, 57.843324315136286), (7.01718670958
742, 68.43553826791415), (6.0323392785438354, 79.69682082843639)]
Opject Function = 0.416419950724
Cluster center Loop @ 7 [(8.345946768633405, 57.71890840699376), (7.017352546306
071, 68.43361253990412), (6.032354903587917, 79.69526237150716)]
Opject Function = 0.413618231703
New Cluster center = [(8.345946768633405, 57.71890840699376), (7.017352546306071
, 68.43361253990412), (6.032354903587917, 79.69526237150716)]
>>>
```

ภาพที่ 4-29 การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี C-mean

จากภาพที่ 4-29 เป็นการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี C-mean ซึ่งระบบจะทำการประมาณผลจนกว่าจะได้ค่าที่ดีที่สุดดังแสดงดังภาพ ซึ่ง New Cluster center จะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลนั้น ๆ จากภาพคือ [(8.346, 57.719), (7.017, 68.434), (6.032, 79.695)] โดยที่ค่า 8.346, 7.017 และ 6.032 เป็นเวลาการเดินทางมีหน่วยเป็นวินาที และค่า 57.719, 68.434 และ 79.695 เป็นความเร็วในการเดินทางมีหน่วยเป็นเมตรต่อนาที โดยตัวอย่างดังกล่าวมีการกำหนดการจักกลุ่ม 3 กลุ่ม ซึ่งถ้าหากต้องการจำนวนกลุ่มที่มากหรือน้อยกว่าก็สามารถกำหนดได้

4.4 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคนเดินเท้าและระดับบริการผู้โดยสารที่สถานี

4.4.1 การเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าตามแนวคิด Social Force

ส่วนนี้เป็นการแนะนำเบื้องต้นแบบสั้น ๆ ของแนวคิด Social force ซึ่งมีการสังเกตและทดลองซ้ำ ๆ ในทางเดินโดยทั่วไปและเป็นธรรมชาติของพฤติกรรมของมนุษย์ ผลที่ได้จะเสมือนกับความปั่นป่วน ความไม่สม่ำเสมอ และการไม่สามารถคาดการณ์ได้ การพบกับสิ่งที่ปรากฏขึ้นของการเคลื่อนที่ในบางพื้นที่ที่เสมือนจะต่อเนื่องกัน ที่ซึ่งอาจจะเป็นเช่นเดียวกันที่เกิดช่องว่างของพฤติกรรมโดยรวม อย่างเช่น ขนาดของความเชื่อ ซึ่งเป็นความสามารถที่ดีในระบบ เมื่อเกิดความผันผวนเนื่องจากอิทธิพลที่ไม่ทราบที่ไม่ใหญ่มาก เมื่อถูกเทียบกับทั้งระบบของการกำหนดการเคลื่อนที่ ซึ่งมันถูกใช้ในกรณีของการจราจรของคนเดินเท้า เมื่อผู้คนถูกทำให้เผชิญหน้ากันในสถานการณ์ปกติและการตอบสนองอย่างอัตโนมัติค่อนข้างที่จะดีกว่าการนำไปสู่การตัดสินใจที่ซับซ้อน เช่น ถ้ามีสิ่งหนึ่งเกิดขึ้นจะนำไปสู่การหลีกเลี่ยง พฤติกรรมแบบอัตโนมัตินี้สามารถที่จะตีความได้ว่าเป็นผลของกระบวนการเรียนรู้ (Learning process) ที่อยู่บนพื้นฐานของการลองผิดลองถูก (Trial and error) [5] ที่ซึ่งสามารถที่จะถูกจำลองกับวิธีการที่มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง (Evolutionary algorithms) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องของพฤติกรรมด้านประเพณี ระเบียบแบบแผน สามารถที่จะอธิบายได้โดยความหมายของพัฒนาการของทฤษฎี Game [6]

อีกประการหนึ่งของรายละเอียดการแบ่งแรงในเทรมที่มีผลกระทบเนื่องจากอิทธิพลของความแตกต่างของสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำได้โดยการประมาณค่า แต่มันต้องมีความสอดคล้องกับผลการทดลองที่อยู่บนพื้นฐานของการวัดประสิทธิภาพสำหรับการทดสอบสัตว์และคน ที่มีสาระสำคัญแยกออกจากกัน หรือการนำไปใช้งานพร้อมกันของสิ่งเร้าที่มีความแตกต่างกันในเรื่องความเป็นธรรมชาติและความแข็งแรง หนึ่งอย่างที่ควรแสดงซึ่งพฤติกรรมในสถานการณ์ที่มีการขัดแย้งกันสามารถที่จะอธิบายโดยความซับซ้อนของแรง ที่ความพอดีนำไปสู่แนวคิดโดย Lewin ในปี 1951 ที่เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมที่ถูกแนะนำโดยเรียกว่า Social fields หรือ Social force [7] ในขณะที่ภายหลังมีการพัฒนาเพื่อนำไปสู่เทอมของภาพแบบทางคณิตศาสตร์ [8] ที่เป็นการกำหนด

กลุ่มและทิศทางของระบบการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ที่สามารถจะแสดงเป็นลำดับชั้นของการเคลื่อนที่ที่มีศักยภาพมากขึ้น และสะท้อนผลจากสภาวะสังคมหรือผลการสังเกตจากภาคสนาม ผลจากปฏิกิริยาของการมีปฏิสัมพันธ์ของแต่ละบุคคล และเป็นความสำเร็จโดยเฉพาะในเชิงการอธิบายของพฤติกรรมโดยรวมที่ปรากฏของคนเดินเท้า [5, 8]

สำหรับความน่าเชื่อถือของแบบจำลองของฝูงชนคนเดินเท้า เป็นการมองภาพรวมว่าเพียงพอที่จะประมาณค่าได้ดี ในขณะที่เปอร์เซ็นต์สามารถถูกวัดจากการทดลอง หรือประมาณโดยค่าเฉลี่ยของ Route choice models [9] ในบางครั้งความไม่แน่นอนของกลุ่มพฤติกรรมแต่ละบุคคลจะถูกเฉลี่ยที่แตกต่างจากระดับมหาภาค (Macroscopic level) แต่จะใช้แบบจำลองระดับจุลภาค (Microscopic simulation) ที่มีความยืดหยุ่นมากกว่า ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของแนวคิด Social force ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น การเปลี่ยนแปลงแบบชั่วขณะของสถานที่ $r_\alpha(t)$ ของคนเดินเท้า α ตามสมการของการเคลื่อนที่ที่ 2-5

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

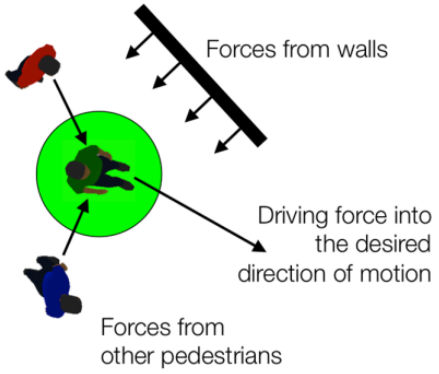
อย่างไรก็ตามถ้า $f_\alpha(t)$ หมายถึงผลรวมอิทธิพลของ Social force คนเดินเท้า α และถ้า $\xi_\alpha(t)$ เป็นอิทธิพลของแต่ละบุคคลที่สะท้อนถึงความแปรปรวนของพฤติกรรมทั้งระบบการเปลี่ยนแปลงความเร็วถูกให้โดยสมการของความเร่ง (Acceleration equation) ดังสมการที่ 2-6

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

ข้อดีของวิธีการนี้นำไปสู่การใช้งานที่ยืดหยุ่นของระยะห่างระหว่างคนเดินเท้าความต้องการที่จะรักษาความต่อเนื่องของการเคลื่อนที่ ซึ่งถูกเปลี่ยนที่จากจุดที่ใช้ในการสังเกตและทดลอง ในธรรมชาติและความแข็งแรง ซึ่ง Social force model สามารถที่จะตีความที่คล้ายคลึงกับ differential game เช่น การเคลื่อนที่ได้มาจากการลดลงของฟังก์ชั่นค่าอรรถประโยชน์ที่พิเศษ [7]

4.4.2 รายละเอียดของ Social Force Model

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



ภาพที่ 4-30 แนวคิดการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าแบบ Social force [7]

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

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

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

เมื่อ $d_{\alpha\beta}=r_\alpha-r_\beta$ เป็นเวกเตอร์ระยะทางจากจุดของคนเดินเท้า β ไป α ขึ้นอยู่กับผลกระทบของมุมที่เกิดการบดบัง โดยปัจจัยอิสระอธิบายถึงปฏิกิริยาการตอบสนองที่ไม่ค่อยสม่ำเสมอของสถานการณ์ของแรงในการถูกเปรียบเทียบกับคนเดินเท้าที่อยู่ข้างหลัง [10-11] โดยเริ่มกำหนดเป็นแบบวงกลม (Circular specification)

4.4.3 ตัวอย่างแบบจำลองคนเดินเท้า

PEDSIM [2] เป็นระบบแบบจำลองฝูงชนคนเดินเท้าระดับจุลภาค เหมาะสำหรับใช้ในการจำลองฝูงชน เช่น การจำลองการอพยพภายในอาคาร การจำลองสถานที่ภายนอกขนาดใหญ่ ผลที่ได้หนึ่งอย่างที่น่าสนใจ คือ ความหนาแน่นของคนเดินเท้าหรือเวลาในการอพยพ เช่นเดียวกับตำแหน่งและเส้นทางของตัวแทนคนเดินเท้าในแบบจำลอง (Agent) แต่ละตัว

สำหรับ PEDSIM สามารถที่จะเก็บข้อมูลของแต่ล่ะบุคคล เนื่องจากต้องสามารถที่จะสร้างการตัดสินใจของแต่ละบุคคล เช่น ทางเลือกเส้นทางตลอดการจำลอง ที่ซึ่งมันเกิดขึ้นแบบทันทีทันใดนอกจากวิธีการตามการสำรวจจากภาคสนาม และต้องแสดงเหตุผลของการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนเดินเท้า ที่ซึ่งออกกฎทั้งสองคือ ภาพแบบแถวคอย และ ภาพแบบ SPH (Smooth Particle Hydrodynamics)

สำหรับแบบจำลองระดับจุลภาค มีสองภาพแบบหลักได้แก่ ภาพแบบที่ขึ้นอยู่กับสมการเชิงอนุพันธ์ควบคู่ (Coupled differential equations) และภาพแบบ Cellular Automata (CA) ในสถานการณ์ที่พิจารณามันเป็นสิ่งสำคัญที่คนเดินเท้าจะสามารถที่จะเคลื่อนย้ายในทิศทางที่แตกต่างกัน โดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อกัน มันเกิดจากเทคนิคการสร้างแบบจำลอง ที่ซึ่งเป็นกฎหลักของภาพแบบ CA ที่มีความแตกต่างกัน ทั่วไปแล้วภาพแบบสมการเชิงอนุพันธ์ควบคู่จะใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าเป็นแบบ Social force model (โดย Helbing และคณะ [12-13]) พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของคนที่เป็นไปตามแบบจำลองของ Helbing และคณะ คนแต่ละคนเมื่อเคลื่อนที่จะมีแรงกระทำซึ่งกันและกันเรียกว่า Social force ซึ่งมีพื้นฐานมาจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันที่เปรียบ agents เสมือนวัตถุมีแรงกริยาและแรงปฏิกิริยากระทำต่อกัน แรงกระทำรอบข้างนี้จะเป็นแรงหลักในการผลักดันให้คนเคลื่อนที่ไปที่ทิศทางอพยพหนีไฟนั้นเอง

พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าที่เลือกใช้เป็นไปตามแบบจำลองของ Helbing และคณะ [13] นอกจากนี้การหลีกเลี่ยงวัตถุ เช่น ต้นไม้จะถูกดำเนินการในแบบจำลอง อีกทั้งแบบจำลองนี้ยังดำเนินการใกล้กับอุปสรรคที่ถูกพบ เช่น ใกล้กับอาคาร อีกยังได้มีการจำลองแบบจำลองภายในของอาคารที่ความเป็นไปได้ในการใช้งานแบบจำลอง ซึ่งจะช่วยให้การใช้งานในขอบเขตเดียวกันของงานได้ เช่น การจำลองการอพยพ เป็นต้น ระบบจำลองการเคลื่อนไหวไม่เพียงแต่ประกอบด้วยการจำลองการเคลื่อนไหวของตัวมันเอง (ที่ซึ่งควบคุมความจำกัดทางกายภาพของตัวแทนคนเดินเท้าในแบบจำลอง) แต่ยังมีส่วนที่มีวิธีการคำนวณระดับที่สูงขึ้นของ agents ในความเป็นจริง มันจะพิจารณาทางด้านกายภาพและด้านชั้นจิตใจของคนเดินเท้าแยกออกจากกันต่างหากโดยมีรายละเอียดดังนี้

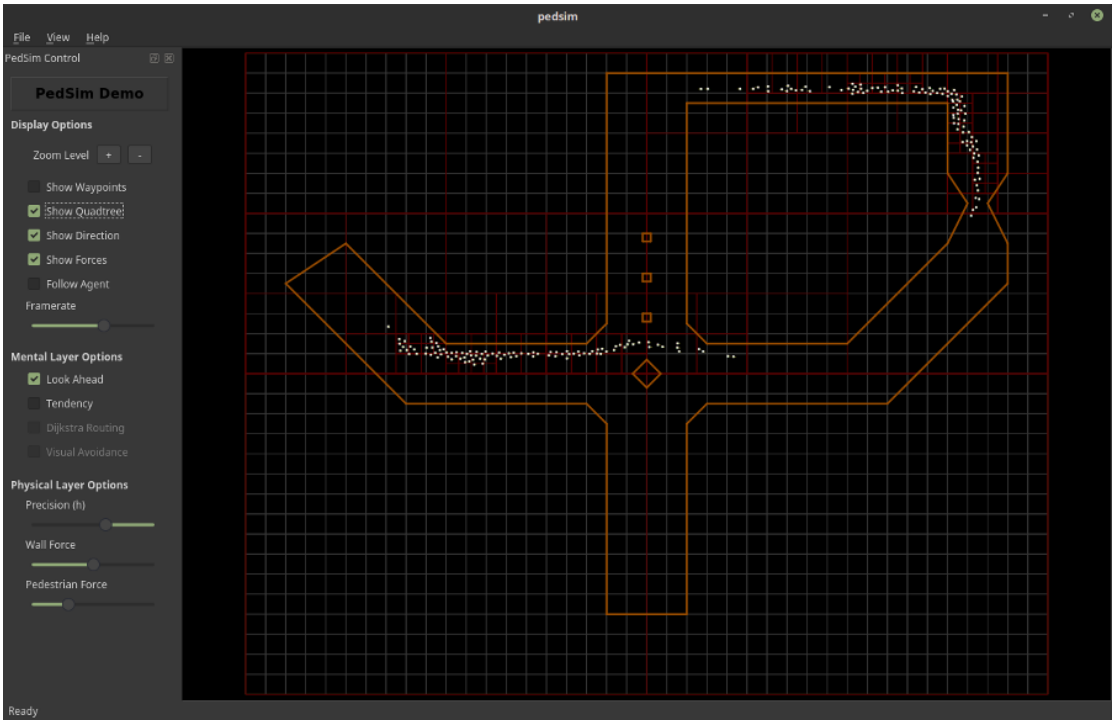
1) ระดับชั้นทางกายภาพ (แบบจำลองการเคลื่อนที่) จะดูเรื่องของลักษณะทางกายภาพของระบบ เช่น การเคลื่อนไหวของ agents ที่ทำงานร่วมกันของ agents ที่มีต่อสภาพแวดล้อมหรือการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่าง agents ด้วยกันเอง
2) ระดับชั้นใช้จิตใจ และสติปัญญาของมนุษย์ ที่ซึ่งจะช่วยปรับปรุงพฤติกรรมของ agents ให้ใกล้ในความเป็นจริง ถ้าระดับชั้นจิตใจเป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนมาก มันไม่มีความจำเป็นสำหรับภาพแบบแรงผลักดันรอบข้าง ในแบบจำลองทางกายภาพ แรงทุกแรงสามารถที่จะให้เป็นศูนย์ โดยสิ่งที่เห็นล่วงหน้าของระดับชั้นจิตใจจะมีวิธีการบอก

agents แต่ละตัว ที่จะมองหา agents ในด้านหน้าของเขาโดยจะนับคนที่ด้านซ้ายและคนที่ด้านขวา จากนั้นจะเดินเข้าไปในทิศทางที่มี agents น้อย การชนกับผนังและคนเดินเท้าอื่น ๆ จะถูกหลีกเลี่ยงโดยการเดินเท้าด้วยตัวของมันเองเองและจะไม่ได้คงที่โดยเป็นไปตามแบบจำลองทางกายภาพพื้นฐาน ตัวอย่างสำหรับส่วนชั้นจิตใจก็คือการสร้างเส้นทาง มันไม่เพียงพอที่จะมี agents เดินไปรอบ ๆ แบบสุ่ม สำหรับการใช้งานจริงมันเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างเส้นทางที่เป็นไปได้สำหรับแต่ละ คนเดินเท้าในความสามารถในการคำนวณเส้นทาง ที่เส้นทางถูกสร้างขึ้น ไม่เพียงทำให้รู้สึกที่เป็นไปได้เท่านั้น ถ้าทราบจุดปลายทางของ agents เทคนิคในการวิจัยการขนส่งคือการสร้างช่วงเวลาที่ยาวนานของวัน สำหรับกิจกรรมของแต่ล่ะ agents และสถานที่เฉพาะของแต่ละกิจกรรม ทางออกถูกทำให้เกิดความซับซ้อนมากในโมดูลของชั้นจิตใจ สำหรับสิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่าง วิเคราะห์โดยภาพรวมของส่วนที่ซึ่งอธิบายระบบที่ agents แต่ละตัวเห็น ที่มันเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่นั้น ๆ ด้านมุมมองของ agents จะมีการถูกวิเคราะห์เหตุการณ์ที่ส่งไปยังระบบการอธิบายสิ่งที่ agents เห็นอีกครั้ง

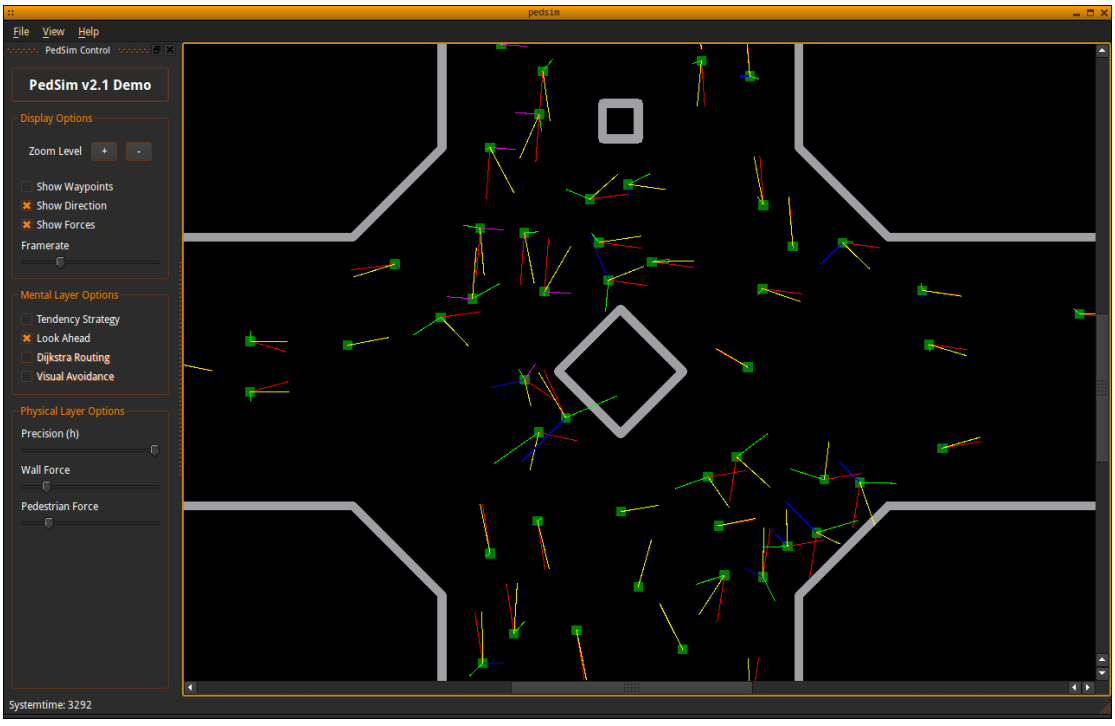
4.4.4 ผลการจำลองด้วยแบบจำลอง pedsim

สำหรับผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองใน pedsim ซึ่งจะอยู่ในภาพแบบของฐานข้อมูล โดยเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาประยุกต์ใช้นั้น สามารถวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ได้ เช่น

- ความเร็ว (Speed) ของคนแต่ล่ะคนและความเร็วเฉลี่ย
- อัตราการไหล (Flow rate)
- เวลาการเดินทาง (Travel time) ของคนเดินเท้าแต่ล่ะคนและเวลาการเดินทางเฉลี่ย
- เส้นทางการเคลื่อนที่ (Trajectory) ของคนเดินเท้าแต่ล่ะคน
- ระดับการให้บริการ (Level of service, [LOS])



ภาพที่ 4-31 ตัวอย่างหน้าต่างแบบจำลองคนเดินเท้า pedsim [14]



ภาพที่ 4-32 ตัวอย่างการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าในแบบจำลอง pedsim [14]

การประยุกต์ใช้ระบบ ITS ในการวิเคราะห์ปัจจัยด้านการจราจรที่ได้รับจากผลการประมวลผลของระบบจะใช้ความเร็ว การไหลของคนเดินเท้าต่อหน้าตัด ซึ่งจะบ่งบอกถึงปริมาณคนเดินเท้าที่เข้าสู่พื้นที่นั้น ๆ รวมถึงสะท้อนให้เห็นถึงระดับการให้บริการของทางเดินของคนเดินเท้าในบริเวณนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น ที่บริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ที่บริเวณทางเดินกว้าง 6 เมตร ยาว 10 เมตร โดยจากเวลาการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 15 นาที ที่มีการไหลผ่านหน้าตัด 840 คน คิดเป็นการไหลต่อหน้าตัดเท่ากับ 2.8 คน/นาที/ฟุต ซึ่งคิดเป็นระดับการให้บริการ A ตามตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 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

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ในโครงการศึกษาแนวทางการวางแผนและออกแบบสถานีรถไฟฟ้า โดยใช้การศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมผู้โดยสารบริเวณสถานีด้วยเทคโนโลยีระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะ (ITS) ในการสำรวจเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาแบบจำลองการเดินทาง โดยการสำรวจข้อมูลลักษณะการขึ้นลงของผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้า ในกรณีที่เป็นสถานีเปลี่ยนสายและขบวนรถไฟฟ้า จะมีผู้โดยสารจำนวนมากที่มาใช้สถานีโดยเฉพาะในเวลาเร่งด่วน การขึ้นลงของผู้โดยสารมีความหนาแน่นและเบียดเสียด รวมถึงมีความเร่งรีบในการเปลี่ยนถ่ายขบวน มีลักษณะผู้โดยสานสามารถเดินสวนกันระหว่างขบวนหนึ่งไปยังอีกขบวนหนึ่ง เพื่อเปลี่ยนสายการเดินทาง และมีผู้โดยสารจำนวนหนึ่งที่เดินมุ่งหน้าไปยังทางออกของชานชาลา

จากการประยุกต์ใช้ระบบ ITS ในสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล คณะวิจัยฯ ได้ประยุกต์ใช้วิธีคลัสเตอร์ C-mean โดยใช้ความเร็วในการเดินทางของผู้โดยสาร ในการแบ่งกลุ่มผู้โดยสารออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ [(8.346, 57.719), (7.017, 68.434), (6.032, 79.695)] โดยที่ค่า 8.346, 7.017 และ 6.032 เป็นเวลาการเดินทางมีหน่วยเป็นวินาที และค่า 57.719, 68.434 และ 79.695 เป็นความเร็วในการเดินทางมีหน่วยเป็นเมตรต่อนาที ซึ่งถ้าหากต้องการจำนวนกลุ่มที่มากหรือน้อยกว่าก็สามารถกำหนดได้ให้มีความเหมาะสมต่อการออกแบบสถานีรถไฟฟ้า

นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้ระบบ ITS ในการวิเคราะห์ปัจจัยด้านการจราจรที่ได้รับจากผลการประมวลผลของระบบจะใช้ความเร็ว การไหลของคนเดินเท้าต่อหน้าตัด ซึ่งจะบ่งบอกถึงปริมาณคนเดินเท้าที่เข้าสู่พื้นที่นั้น ๆ รวมถึงสะท้อนให้เห็นถึงระดับการให้บริการของทางเดินของคนเดินเท้าในบริเวณนั้น ๆ นั่นคือ ที่บริเวณชั้นออกบัตรโดยสาร สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท ที่บริเวณทางเดินกว้าง 6 เมตร ยาว 10 เมตร โดยจากเวลาการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 15 นาที ที่มีการไหลผ่านหน้าตัด 840 คน คิดเป็นการไหลต่อหน้าตัดเท่ากับ 2.8 คน/นาที/ฟุต ซึ่งคิดเป็นระดับการให้บริการ A ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 5-1 ค่าเฉลี่ยการไหลของระดับการให้บริการทางเดิน และทางเดินด้านข้าง[a]

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

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในโครงการวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ระบบ ITS เพื่อสำรวจและเก็บข้อมูลพฤติกรรมคนเดินเท้า และพัฒนาแบบจำลองคนเดินเท้าเพื่อใช้ประเมินความสามารถในการเข้าถึงและระดับบริการที่สถานีรถไฟฟ้า สิ่งที่ควรพิจารณาอย่างรอบคอบเพื่อให้การประเมินความสามารถในการเข้าถึงสถานีและผลการจำลองมีความถูกต้องและมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดมีดังต่อไปนี้

1. การปรับเทียบแบบจำลองควรมีการปรับเทียบทั้งการดูด้วยตา และผลการสร้างแบบจำลอง เพื่อจะได้มองเห็นสิ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการจำลองนั้น ๆ

2. การบูรณาการแบบจำลองระดับการวางแผน (Planning model) และแบบจำลองเชิงปฏิบัติการ (Operations model) ควรจะมีการเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนในขั้นตอนเดียวกัน (Simultaneously planning-operations model) เพื่อให้แบบจำลองสะท้อนถึงพฤติกรรมในการใช้บริการสถานีรถไฟฟ้ามากที่สุด

3. การจำลองในลักษณะพื้นที่ทางกายภาพที่มีลักษณะซับซ้อนต้องมีการตรวจสอบลักษณะการใช้งานของพื้นที่ที่เกิดขึ้นจริง เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองให้การจำลองเสมือนจริงมากที่สุด

ส่วนประกอบตอนท้าย

บรรณานุกรม

[1] bbee in Python, “รู้จักกับภาษา Python” เข้าถึงได้จาก, http://bbee.exteen.com/20080313/python

[2] OpenCV team, “OpenCV” เข้าถึงได้จาก, http://opencv.org/about.html

[3] M. V. Droogenbroeck , “ViBe - a powerful technique for background detection and subtraction in video sequences”. Telecommunications and Imaging Laboratory Institut Montefiore - University of Liege, Belgium, 2011.

[4] Chadchawan Onklampon, “Automatic Counting People System”, 2016

[5] D. Helbing, P. Molnár, I. J. Farkas, and K. Bolay, "Self-organizing pedestrian movement," Environment and Planning B: Planning and Design, vol. 28, pp. 361-383, 2001.

[6] D. Helbing, "A Mathematical Model for Behavioral Changes by Pair Interactions," in Economic Evolution and Demographic Change: Formal Models in Social Sciences, G. Haag, U. Mueller, and K. G. Troitzsch, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1992, pp. 330-348.

รายงานฉบับบสมบูรณ์โครงการศึกษาพัฒนาปรับปรุง บำรุงรักษาระบบฐานข้อมูล ข้อสนเทศและแบบจำลองเพื่อบูรณาการพัฒนาการขนส่งและจราจรการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและระบบโลจิส-ติกส์ (TDL) 2554, สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, พ.ศ. 2554

Aksoya, G., Celikoglua, H.B., Gedizlioglua, E. (2014). Analysis of toll queues by micro-simulation: results from a case study in Istanbul. Selected from the 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation. Procedia - Social and Behavioral Sciences 111, pp.614 – 623.

Ben-Akiva, M., Lerman, S.R. (1979) "Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility," In: Hensher, D.A.,Sopher, P.R. (Eds.), Behavioural Travel Modelling. Croom Helm,Andover, Hants, pp. 654–679.

Ben-Akiva, M.E. and Bolduc, D. (1996) Multinomial probit with a logit kernel and a general parametric specificationof the covariance structure. Working Paper, Department d’Economique, Universit´e Laval

Bing-Feng Si, Ming Zhong, Hao-Zhi Zhang and Wen-long Jin. (2010). An improved Dial’s Algorithm for Logit-Based Traffic Assignment within a Directed Acyclic Network, Transportation Planning and Technology, Vol. 33, p.123-137, China.

Bunch, D.S. (1991) Estimability in the multinomial probit model. Transportation Research 25B, 1–12.

Burgholzer, W., Bauer, G., Posset, M. & Jammernegg W. (2013). Analysing the impact of disruptions in intermodal transport networks: A microsimulation-based model. Decision Support Systems 54, pp. 1580–1586.

Cullinane, K., & Toy, N. (2000). Identifying influential attributes in freight route/mode choice decisions: a content analysis. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 36 (1), 41-53

Chen, C. (1996) "An activity-based approach to accessibility," Doctoral Dissertation," Retrieved from http://www.uctc.net/research/diss078.pdf [Accessed October, 2014]

Dial, R.B. (1971) A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration. TransportationResearch 5, 83–111.

Dijkstra, E.W. (1959) Note on two problems in connection with graphs (spanning tree, shortest path). NumericalMathematics 1, 269–271.

Dinga, L. & Venglara, S. (2012). Analysis for the Port Ferry Operation and Control Alternatives by Using Traffic Micro Simulation Modeling. Selection from the 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies Changsha, China, August 1–3, 2012. Procedia - Social and Behavioral Sciences 43,pp. 805 – 812.

Domencich, T. andMcFadden, D. (1975) Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis. North-Holland, Amsterdam.

Freeman, F., & Smith, W. (1967). London Transportation Study Phase III... The firm.

Handy, S.L. and Niemeier, D.A. (1997) "Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives," Environment and Planning A vol. 29(1), pp. 1175–1194.

Hansen, W.G. (1959) "How accessibility shapes land use. Journal of American Institute of Planners, vol. 25 (1), pp. 73–76.

Jong, D.G., Pieters, M., Daly, A., Graafland, I., Kroes, E. and Koopmans, C. (2005) "Using the Logsum as an evaluation measure literature and case study," Report prepared for AVV Transport Research Centre.

Jun Li, Chunlu Liu and Songxin Xin. (2005). An Algorithm Logit Network Loading Problem by Topological Sorting, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 1209 – 1217, China.

Koenig, J.G. (1980) "Indicators of urban accessibility: theory and applications," Transportation, vol. 9(1), pp. 145–172.

Kormanova, A. (2013) "A review on microscopic pedestrian flow modeling, Acta Informatica Pragensia, vol. 2(2), pp. 39-50.

Kraft, G. (1968) Demand for Intercity Passenger Travel in the Washington-Boston Corridor.North-East CorridorProject Report, Systems Analysis and Research Corporation, Boston, Mass.

Kwan, M.P. (1998) "Space–time and integral measures of individual accessibility: a comparative analysis using a point-based framework," Geographical Analysis, vol. 30 (3), pp.191–216.

Lopez-Neri, E., Ramirez-Trevino, A., Lapez-Mellado, E. (2010) .A modeling framework for urban traffic systems microscopic simulation. Simulation Modelling Practice and Theory 18, pp. 1145–1161.

McFadden, D. and Train, K. (2000). Mixed MNL models for discrete response. Journal of Applied Econometrics 15,447–470.

Michael G.H. Bell. (1995). Alternative to Dial's Logit Assignment Algorithm, Transportation Research, Newcastle, p.287-295.

Mike Maher. (1998). Algorithm for Logit-Based Stochastic User Equilibrium Assignment, Edinburgh, Transportation Research Part B, Vol. 32, p. 539-549, UK.

Munehiro, K., Takemoto, A. Kasai, S. & Asano, M. (2011). Analysis on Rural Highway Design using Traffic Micro-Simulation in Cold Regions.From the 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service Stockholm, Sweden June 28 – July 1, 2011.Procedia Social and Behavioral Sciences 16, pp.388–399.

Niemeier, D.A. (1997) "Accessibility: an evaluation using consumer welfare," Transportation, vol. 24(1), pp. 377–396.

Ortuzar, D.J., & Willumsen, L.G. (2011). *Modelling transport*.John Wiley & Sons.

Pirie, G.H. (1979) "Measuring accessibility: a review and proposal. Environment and Planning A, vol. 11(1), pp. 299–312.

Renne, J.L., Well, J.S. and Bloustein, E.J. (2005) "Transit oriented development: developing a strategy to measure success, Research Results Digest: Transport Research Board.

Sheffi, Y. (1985) Urban Transportation Networks.Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Shlomo Bekhor and Carlo Giacomo Prato. (2008). Methodological Transferability in Route Choice Modeling, Transportation Research Part B, Vol.43, p. 422–437, Israel.

Sittivijan, P. (2009). Application of Disaggregate Discrete Choice Models for Intermodal Stochastic Congested Freight Network Flow Assignment, Master Thesis, Oklahoma State University.

Song, S. (1996) "Some tests of alternative accessibility measures: a population density approach. Land Economics, vol. 72 (4), pp. 474–482.

Stromgren, P., Olstam, J., & Tapani, A. (2015). A model for traffic simulation of flared rural road intersections.Selected from the 4th International Symposium of Transport Simulation-ISTS'14, 1-4 June 2014, Corsica, France. Transportation Research Procedia 6, pp. 239 – 258.

Sharifi, M.S., Stuart, D., Christensen, K., Chen, A., Kim, Y., Chen, Y. (2014) Analysis of walking speeds involving individuals with disabilities in different walking environments. Proceeding of the 93rd Annual Meeting of the Transportation January 2014, Washington D.C.

Train, K. (2003) Discrete choice methods with simulation; Cambridge University Press.

Wardrop, J.G. (1952) Some theoretical aspects of road traffic research. Proceedings of the Institution of Civil Engineers,Part II 1, 325–362.

Wey, W.M. and Chiu, Y.H. (2013) "Assessing the walkability of pedestrian environment under the transit-oriented development," Habitat International, vol. 38, pp. 106-118.

Whitbread M. (1972) "Evaluation in the planning process-the case of accessibility," Planning Methodology Research Unit, University College London, Working Paper 10.

Williams, H.C.W.L. (1981) Travel demand forecasting: an overview of theoretical developments. In D.J. Banister andP.G. Hall (eds.), Transport and Public Policy Planning. Mansell, London.

ภาคผนวก

ตัวอย่าง Source Code: หน้า main ของโปรแกรม pedsim

```
//
// pedsim - A microscopic pedestrian simulation system.
// Copyright (c) 2003 - 2014 by Christian Gloor
//
// Use somethin like this to compile:
// g++ examples/example02.cpp -o example02 -I. -lpedsim -L. -g
//
// Check for memory leaks e.g. like this:
// valgrind --leak-check=yes ./example

#include "ped_includes.h"

#include <iostream>
#include <cstdlib> // rand

using namespace std;

int main(int argc, char *argv[]) {

    /// New class that inherits from the library agent class.  It shows how the
    /// myForce() method can be used to add an additional force component to an
    /// agent to change its behaviour.
    class Tagent2: public Ped::Tagent {
    public:
        Ped::Tvector myForce(Ped::Tvector e) {
            Ped::Tvector lf;
            lf = -100.0*e;
            return lf;
        }
```

```
};


cout << "PedSim Example using libpedsim version " << Ped::LIBPEDSIM_VERSION << endl;

// setup
Ped::Tscene *pedscene = new Ped::Tscene(-200, -200, 400, 400);

Ped::Twaypoint *w1 = new Ped::Twaypoint(-100, 0, 24);
Ped::Twaypoint *w2 = new Ped::Twaypoint(+100, 0, 12);

Ped::Tobstacle *o = new Ped::Tobstacle(0, -50,  0, +50);
pedscene->addObstacle(o);

int nagents = 1;

for (int i = 0; i<nagents; i++) {
    Ped::Tagent *a = new Tagent2();

    a->addWaypoint(w1);
    a->addWaypoint(w2);

    a->setPosition(-50 + rand()/(RAND_MAX/80)-40, 0 + rand()/(RAND_MAX/20) -10, 0);

    pedscene->addAgent(a);
}

// move all agents for 10 steps (and print their position)
for (int i=0; i<10; ++i) {
    pedscene->moveAgents(0.2);

    const vector<Ped::Tagent*>& myagents = pedscene->getAllAgents();
```

```
        for (vector<Ped::Tagent*>::const_iterator iter = myagents.begin(); iter !=
myagents.end(); ++iter) {
            cout << (*iter)->getx() << "/" << (*iter)->gety() << endl;
        }
    }

    // cleanup
    const vector<Ped::Tagent*>& myagents = pedscene->getAllAgents();
    for (vector<Ped::Tagent*>::const_iterator iter = myagents.begin(); iter != myagents.end();
++iter) {
        delete *iter;
    }
    delete pedscene;
    delete w1;
    delete w2;
    delete o;

}
```