

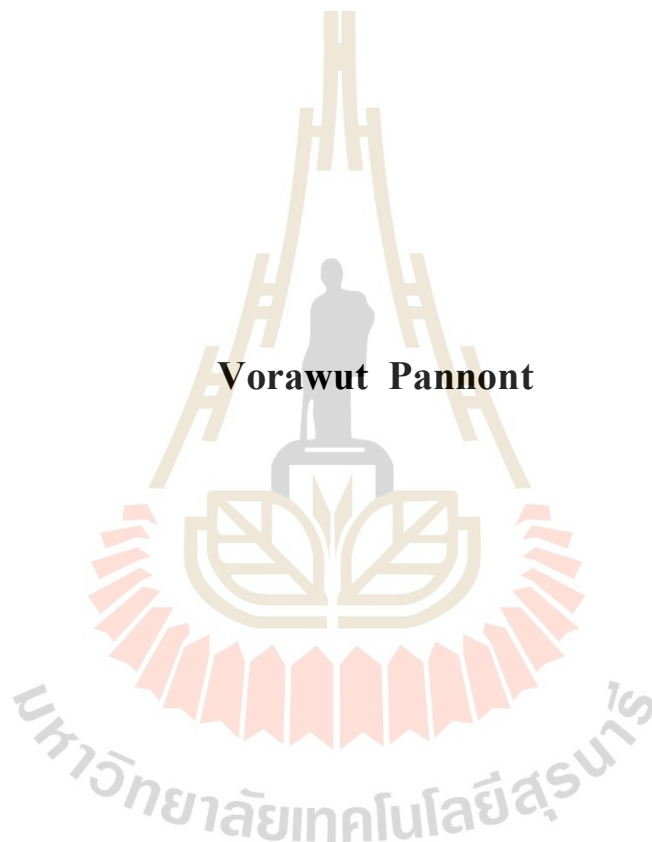
การศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรกระแสจากราคนเดินเท้าโดยการจำลอง
สถานการณ์



นายวรวิทย์ พานนนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ขนส่ง และทรัพยากรธรณี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

**A STUDY OF THE RELATIONSHIP AMONG
PEDESTRIAN TRAFFIC FLOW VARIABLES USING AN
EXPERIMENTAL STUDY**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Civil, Transportation and Geo-
Resources Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2020**

การศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรกระแสร่างคนเดินเท้าโดยการจำลองสถานการณ์

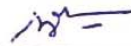
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(อ. ดร.ศิริศด สิริขรร)

ประธานกรรมการ



(อ. ดร.ณัฐกรณ์ เจริญธรรม)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



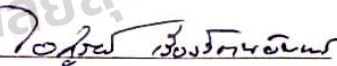
(ผศ. ร.อ. ดร.สุทธิพงษ์ มีใย)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)



(ผศ. ดร.รัฐพล กุ่มบุบผาพันธ์)

กรรมการ



(อ. ดร.ไอลุย์ เรืองรัตนอัมพร)

กรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร.กนัศร ชำนิประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและ

ความพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ดร.พรสิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วรวิทย์ พานนนท์ : การศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรกระแสจราจรคนเดินเท้าโดยการ
จำลองสถานการณ์ (A STUDY OF THE RELATIONSHIP AMONG PEDESTRIAN
TRAFFIC FLOW VARIABLES USING AN EXPERIMENTAL STUDY) อาจารย์ที่
ปรึกษา : อาจารย์ ดร. ณัฐกรณ์ เจริญธรรม, 119 หน้า.

การศึกษาและวิเคราะห์กระแสจราจรคนเดินเท้ามีส่วนสำคัญในการจัดการและออกแบบ
โครงสร้างพื้นฐาน งานวิจัยนี้ศึกษากระแสจราจรโดยคำนึงถึงพฤติกรรมหรือกิจกรรมต่าง ๆ ที่คาดว่า
จะส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรคนเดินเท้า ได้แก่ การเดินอย่างเร่งรีบในช่วงโมงเร่งด่วน การใช้
โทรศัพท์มือถือระหว่างเดิน การสะพายกระเป๋า ซึ่งยังไม่มีการศึกษาในประเทศไทย โดยทำการ
สำรวจกิจกรรมของคนเดินเท้าในสถานีรถไฟฟ้า เพื่อนำสัดส่วนของกิจกรรมดังกล่าวทำการจำลอง
กระแสจราจรซึ่งประกอบไปด้วยคนเดินเท้าที่มีกิจกรรมหลากหลายประเภทแทนการสำรวจจริง
เนื่องจากการจำลองสถานการณ์สามารถกำหนดค่าสัดส่วนให้คงที่ตลอดการทดลองหรือปรับเปลี่ยน
สัดส่วนเพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสจราจร และสามารถออกแบบให้ควบคุมปัจจัย
อื่น ๆ นอกเหนือจากกิจกรรมที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยการวิเคราะห์ผลนั้นได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท
ได้แก่ (1) การเปรียบเทียบความเร็วในการเดินระหว่างสถานการณ์จริงกับสถานการณ์อื่น ๆ (2) การ
สร้างแบบจำลอง Fundamental diagram

ผลการศึกษาจากสถานการณ์ต่าง ๆ พบว่าเมื่อนำสถานการณ์ปัจจุบันหรือสถานการณ์ที่ใช้
สัดส่วนจากการสำรวจจริงมาทำการเปรียบเทียบกับสถานการณ์อื่น ๆ ซึ่งได้ทำการเพิ่มสัดส่วนการ
เดินเร่งรีบให้มากกว่าสถานการณ์ปัจจุบันจะส่งผลให้ค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยมากกว่า
สถานการณ์ปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หากเพิ่มสัดส่วนการเดินช้าหรือเพิ่มสัดส่วนการใช้
โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินให้มากกว่าสถานการณ์ปัจจุบันจะส่งผลให้ค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ย
น้อยกว่าสถานการณ์ปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากนั้นจึงได้ทำการสร้างแบบจำลองสถานการณ์
ต่าง ๆ พบว่า แบบจำลอง Northwestern มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการทำนายตัวแปรมากที่สุด
เมื่อเปรียบจากค่า Residual Standard Error (RSE), ค่า Coefficient of Multiple Determination (R^2)
และค่า Akaike information criterion (AIC)

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา ณัฐกรณ์ เจริญธรรม
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ณัฐกรณ์ เจริญธรรม
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. ณัฐกรณ์ เจริญธรรม

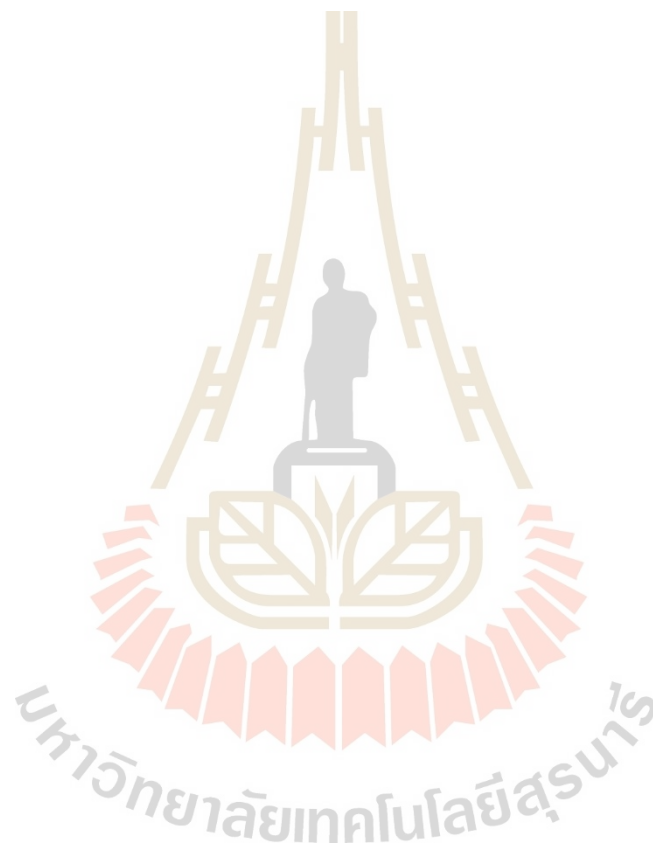
VORAWUT PANNONT : A STUDY OF THE RELATIONSHIP AMONG
PEDESTRIAN TRAFFIC FLOW VARIABLES USING AN
EXPERIMENTAL STUDY.THESIS ADVISOR : NATTAPORN
CHAROENTHAM, Ph.D., 119 PP.

PEDESTRIAN TRAFFIC/WALKING/FUNDAMENTAL DIAGRAM

The study of pedestrian traffic flow is important for management and designing a pedestrian facility. This study aims to examine pedestrian traffic flow with currently common activities of the pedestrians, which potentially influence the pedestrian flow, i.e., hurry walking, mobile phone using, and backpack carrying. These activities are observed on a Mass Rapid Transit station. The proportion of pedestrian activities are allocated to the experimental study instead of the onsite survey for the reason that the mean and variation of factors can be controlled and avoiding an interaction effect between such factors. The analysis of this study is divided into two parts: (1) the comparison between an observed behavior and other scenarios with the controlled factors, (2) the generation and calibration of fundamental diagram.

The results show that the more proportion of the pedestrian with hurry walking, the higher average walking speed occurs statistically significant. In the same manner, the greater proportion of slow walking and mobile phone using result in speed reduction significantly. Finally, the Northwestern model is the best fit for an estimation of the fundamental diagram, according to criteria including: Residual Standard Error (RSE),

Coefficient of Multiple Determination (R^2), and Akaike information criterion (AIC).



School of Transportation Engineering

Academic Year 2020

Student's Signature อ.ดร.วิ

Advisor's Signature วิ

Co-Advisor's Signature วิ

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่กรุณาให้คำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างยิ่งโดยเฉพาะด้านวิชาการและด้านการดำเนินงาน ของการวิจัย ทั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ดังรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ณัฐภรณ์ เจริญธรรม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก ดร.ศุทธิพงษ์ มีโย ผู้ซึ่งมีความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาแก่ผู้วิจัย ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ชี้แนะให้ผู้วิจัยมองเห็นถึงประเด็นปัญหาได้อย่างละเอียดลึกซึ้งและรอบคอบมากขึ้น อีกทั้งยังสละเวลาอันมีค่าตรวจสอบความถูกต้องของวิทยานิพนธ์อย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ศิรฉล ศิริธร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล ภูบุบผาพันธ์ และ อาจารย์ ดร.ไอศูรย์ เรืองรัตนอัมพร ที่ได้แนะแนวทางการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความครบถ้วนสมบูรณ์ เหมาะสมและหนักแน่นทางวิชาการ

ขอขอบพระคุณ เจ้าของทฤษฎี บทความวิชาการ ตำรา และหนังสือทุกฉบับที่ผู้วิจัยได้เล่าเรียนศึกษา อ้างอิง และไม่ได้อ้างอิงถึง ที่ทำให้ผู้วิจัยได้ “ยืนอยู่บนไหล่ของยักษ์”

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์อุบล กลองกระโทก ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านที่พักเพื่อการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นและการสนับสนุนด้านการศึกษาแก่ผู้วิจัยตั้งแต่วัยเยาว์

ขอขอบพระคุณ คุณวันเพ็ญ สืบสาย เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ที่ให้ความช่วยเหลือในการประสานงานด้านเอกสารต่าง ๆ ในระหว่างการศึกษา

ขอขอบคุณ ผู้ร่วมเข้าการทดลองทุกท่าน ที่ได้ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งในการวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอยกความดีงามทั้งหมด แต่ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งได้มอบโอกาสและประสบการณ์อันล้ำค่าแก่ผู้วิจัยตลอดช่วงระยะเวลาในการเล่าเรียนศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา รวมถึง บิดา มารดา ผู้ซึ่งอบรมเลี้ยงดูสนับสนุนและให้ความรู้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

วรวิทย์ พานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 คำถามของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีกระแสจราจร.....	5
2.1.1 แบบจำลอง Single regime.....	6
2.2 ลักษณะทิศทางของการเดิน.....	10
2.3 โครงสร้างพื้นฐานคนเดินเท้า.....	11
2.3.1 ทางเท้า (Sidewalk) และทางเดิน (Walkway).....	12
2.3.2 ทางข้าม (Crosswalk).....	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 บันได (Stairway) และบันไดเลื่อน (Escalator).....	21
2.4 ระดับการให้บริการ.....	23
2.4.1 ทางเดินปกติ.....	23
2.4.2 บันได.....	25
2.5 การจำลองสถานการณ์.....	26
2.6 สรุปการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
3 การดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	32
3.1.1 สถานที่สำรวจข้อมูล.....	33
3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง.....	33
3.2 การสำรวจข้อมูล.....	34
3.2.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น.....	34
3.2.2 การสำรวจข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์.....	37
3.3 การออกแบบสถานการณ์.....	38
3.3.1 ความเร็วในการเดิน.....	39
3.3.2 การใช้โทรศัพท์มือถือ.....	39
3.3.3 การสะพายกระเป๋า.....	40
3.4 การกำหนดกิจกรรมให้ผู้เข้าร่วม.....	41
3.5 สรุปการออกแบบสถานการณ์.....	42
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6.1 การวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างระหว่างสถานการณ์และกลุ่ม ภายในของสถานการณ์.....	44
3.6.2 การวิเคราะห์การถดถอย.....	49
3.6.3 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง.....	50
4 ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล.....	52
4.1 ข้อมูลเบื้องต้นจากการจำลองสถานการณ์.....	52
4.1.1 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 1 : สถานการณ์ปัจจุบัน.....	53
4.1.2 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 2 : สถานการณ์เดินปกติสุดโต่ง.....	53
4.1.3 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 3 : สถานการณ์เดินช้าสุด โต่ง.....	54
4.1.4 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 4 : สถานการณ์เดินเร็วสุดโต่ง.....	55
4.1.5 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 5 : สถานการณ์ใช้มือถือสุดโต่ง.....	55
4.1.6 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 6 : สถานการณ์ไม่ใช้มือถือ.....	56
4.1.7 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 7 : สถานการณ์สะพายเป้สุด โต่ง.....	57
4.1.8 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 8 : สถานการณ์ไม่สะพายเป้.....	58
4.2 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบข้อมูลกลุ่มความเร็วประเภทต่าง ๆ ภายในสถานการณ์.....	58
4.2.1 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของกลุ่มเดินด้วยความเร็ว ปกติ กับ กลุ่มเดินเร่งรีบ ภายในสถานการณ์ต่าง ๆ.....	59
4.2.2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของกลุ่มเดินด้วยความเร็ว ปกติ กับ กลุ่มเดินช้า ภายในสถานการณ์ต่าง ๆ.....	65
4.2.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของกลุ่มเดินด้วยความเร็ว ปกติ กับ กลุ่มใช้มือถือ ภายในสถานการณ์ต่าง ๆ.....	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.4 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของกลุ่มเดินด้วยความเร็วปกติ กับ กลุ่มสะพานเป็ภายในสถานการณืต่าง ๆ.....	78
4.3 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบข้อมูลตัวแปรความเร็วระหว่างสถานการณืต่าง ๆ.....	85
4.3.1 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณืที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณืที่ 2 (เดินปกติสุดโต่ง).....	86
4.3.2 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณืที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณืที่ 3 (เดินช้าสุดโต่ง).....	87
4.3.3 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณืที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณืที่ 4 (เดินเร็วสุดโต่ง).....	88
4.3.4 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณืที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณืที่ 5 (ใช้มือถือสุดโต่ง).....	89
4.3.5 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณืที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณืที่ 6 (ไม่ใช้มือถือ).....	90
4.3.6 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณืที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณืที่ 7 (สะพานเป็สุดโต่ง).....	91
4.3.7 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณืที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณืที่ 8 (ไม่สะพานเป็).....	92
4.4 แบบจำลอง Fundamental diagram.....	93
4.4.1 แบบจำลองของสถานการณืที่ 1 (ปัจจุบัน).....	93
4.4.2 แบบจำลองของสถานการณืที่ 2 (เดินปกติสุดโต่ง).....	94
4.4.3 แบบจำลองของสถานการณืที่ 3 (เดินช้าสุดโต่ง).....	95

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.4 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 4 (เดินเร็วสุดโค้ง)	96
4.4.5 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 5 (ใช้มือถือสุดโค้ง).....	97
4.4.6 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 6 (ไม่ใช้มือถือ).....	98
4.4.7 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 7 (สะพายเป้สุดโค้ง).....	99
4.4.8 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 8 (ไม่สะพายเป้).....	100
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	101
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	101
5.1.1 สรุปผลข้อมูลเบื้องต้นจากการจำลองสถานการณ์.....	101
5.1.2 สรุปผลการเปรียบเทียบข้อมูลกลุ่มเดินปกติ กับ กลุ่มอื่นภายใน สถานการณ์เดียวกัน.....	102
5.1.3 สรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์.....	102
5.1.4 สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลอง.....	105
5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัยในอนาคต.....	106
รายการอ้างอิง.....	108
ภาคผนวก.....	114
ประวัติผู้เขียน.....	119

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	Single-Regime ประเภทต่าง ๆ.....	9
2.2	อิทธิพลที่ส่งผลต่อความเร็วในการเดินประเภทต่าง ๆ.....	12
2.3	ค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน (β) และค่า t-ratio ของแต่ละตัวแปร.....	16
2.4	ความเร็วในการเดินเฉลี่ยในแต่ละประเทศ.....	19
2.5	ความเร็วในการเดินและมุมบันไดในแต่ละงานวิจัย.....	22
2.6	คำอธิบายระดับการให้บริการในระดับต่าง ๆ ของทางเดิน.....	23
2.7	ระดับการให้บริการของทางเท้าในแต่ละประเทศ.....	24
2.8	ตารางแสดงระดับการให้บริการของบันไดในแต่ละประเทศ.....	25
2.9	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยต่าง ๆ.....	30
3.1	สัดส่วนความเร็วในการเดินในแต่ละสถานการณ์.....	39
3.2	สัดส่วนการใช้โทรศัพท์ในแต่ละสถานการณ์.....	40
3.3	สัดส่วนการสะพายกระเป๋าในแต่ละสถานการณ์.....	40
3.4	สรุปการออกแบบสถานการณ์.....	42
3.5	สรุปสถานการณ์ที่ต้องสำรวจข้อมูล.....	43
3.6	จำนวนผู้เข้าร่วมวิจัยต่าง ๆ ภายใน 8 สถานการณ์.....	43
4.1	ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์ปัจจุบัน.....	53
4.2	ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์เดินด้วยความเร็วปกติ สุดโต่ง.....	54
4.3	ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์เดินช้าสุดโต่ง.....	54
4.4	ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์เดินเร็วสุดโต่ง.....	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.5	ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์ใช้มือถือสุดโต่ง.....	56
4.6	ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์ไม่ใช้มือถือ.....	56
4.7	ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์สะพายเป้สุดโต่ง.....	57
4.8	ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์ไม่สะพายเป้.....	58
4.9	ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร่งรีบภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน.....	59
4.10	ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร่งรีบภายใต้สถานการณ์เดินเร็ว สุดโต่ง.....	60
4.11	ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร่งรีบภายใต้สถานการณ์ใช้มือถือ สุดโต่ง.....	61
4.12	ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร่งรีบภายใต้สถานการณ์ที่ไม่มีการ ใช้มือถือสุดโต่ง.....	62
4.13	ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร่งรีบภายใต้สถานการณ์สะพายเป้ สุดโต่ง.....	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร็วรับภายใต้สถานการณ์ไม่ สะพายเป้สุดโต่ง.....	64
4.15 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินช้าภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน.....	65
4.16 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินช้าภายใต้สถานการณ์เดินช้า สุดโต่ง.....	66
4.17 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินช้าภายใต้สถานการณ์ที่ใช้มือถือ สุดโต่ง.....	67
4.18 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินช้าภายใต้สถานการณ์ไม่มีการใช้ มือถือ.....	68
4.19 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินช้าภายใต้สถานการณ์สะพายเป้ สุดโต่ง.....	69
4.20 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินช้าภายใต้สถานการณ์ไม่ สะพายเป้.....	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.31 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่สะพานเป็ภายใต้สถานการณ์เร็วสุดโค้ง.....	81
4.32 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่สะพานเป็ภายใต้สถานการณ์ใช้มือถือ สุดโค้ง.....	82
4.33 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่สะพานเป็ภายใต้สถานการณ์ไม่ใช้มือถือ.....	83
4.34 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่สะพานเป็ภายใต้สถานการณ์สะพานเป็ สุดโค้ง.....	84
4.35 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 2 (เดินปกติสุดโค้ง).....	86
4.36 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 3 (เดินช้าสุดโค้ง).....	87
4.37 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 4 (เดินเร็วสุดโค้ง).....	88
4.38 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 5 (ใช้มือถือสุดโค้ง).....	89
4.39 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 6 (ไม่ใช้มือถือ).....	90
4.40 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 7 (สะพานเป็สุดโค้ง).....	91

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4.41	ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 8 (ไม่สะพายเป้).....	92
4.42	แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 1.....	93
4.43	แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 2.....	94
4.44	แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 3.....	95
4.45	แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 4.....	96
4.46	แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 5.....	97
4.47	แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 6.....	98
4.48	แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 7.....	99
4.49	แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 8.....	100

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วและความหนาแน่น.....	7
2.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ.....	8
2.3	การจำแนกลักษณะของกระแสจากร.....	11
3.1	พื้นที่การจำลองสถานการณ์.....	33
3.2	การกระจายตัวของข้อมูลความถี่ในการก้าวจากการสำรวจภาคสนามเบื้องต้น.....	36
3.3	ตัวอย่างการวิเคราะห์ห่าง.....	38
3.4	ผังการวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างระหว่างสถานการณ์.....	44
5.1	ค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินของสถานการณ์ต่าง ๆ.....	102

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานของระบบขนส่งสาธารณะตามแผนแม่บทเพื่อพัฒนาระบบขนส่งมวลชนทางรางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลสำหรับรถไฟฟ้าในระยะ 10-20 ปี (พ.ศ. 2553-2572) รวมถึงแผนการปรับปรุงและพัฒนาเส้นทางรถไฟรางคู่ของประเทศที่มีระยะทางรวมกว่า 3,000 กิโลเมตร และแผนการก่อสร้างเส้นทางรถไฟความเร็วสูงระยะทางกว่า 1,500 กิโลเมตร (สนข., 2561) อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้าในกรุงเทพมหานคร ซึ่งปัจจุบันมีผู้ใช้บริการประมาณ 1.2 ล้านคน-เที่ยว/วันและจากการคาดการณ์ในอนาคตมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเป็น 4.15 ล้านคน-เที่ยว/วันในอนาคต (สนข., 2560) เพื่อรองรับและดึงดูดให้ผู้ใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลที่มีสัดส่วนถึง 50% มาใช้ระบบการขนส่งสาธารณะมากขึ้น (สนข., 2558) โดยการพัฒนาแบบจุดแล้วจุดเพื่อที่จะรองรับระบบรถไฟฟ้าที่จะแล้วเสร็จในปี พ.ศ 2574 (สนข., 2560) อีกทั้งการขยายตัวพื้นที่ศูนย์กลางทางเศรษฐกิจของกรุงเทพฯ การพัฒนาเมืองอัจฉริยะพื้นที่โดยรอบโดยใช้แนวคิดการพัฒนาพื้นที่รอบสถานีขนส่งมวลชน (Transit Oriented Development : TOD) ซึ่งได้ทำการศึกษาบริเวณบางซื่อ (สนข., 2563) แล้ว เพื่อเน้นการออกแบบการเข้าถึงระบบขนส่งมวลชนอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน คำนึงถึงการเดินทางแบบไม่ใช้เครื่องยนต์ (Non-Motorized Transport : NMT) เพื่อออกแบบการเข้าถึงระบบขนส่งมวลชนอย่างมีประสิทธิภาพและพยายามควบคุมปริมาณการเข้าออกของรถยนต์ภายในบริเวณดังกล่าวและสนับสนุนการใช้ระบบขนส่งสาธารณะเพื่อลดความแออัดของการจราจร

จากการพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานดังกล่าว ทำให้การเดินทางในรูปแบบทางเดินเท้าได้ทวีความสำคัญเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางอีกทั้งเป็นจุดเชื่อมต่อกับระบบการขนส่งรูปแบบอื่น ๆ ดังนั้นโครงสร้างพื้นฐานดังกล่าวควรถูกออกแบบให้สอดคล้องและเหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพ พฤติกรรมของผู้ใช้ในปัจจุบัน เพื่อให้ผู้ใช้ทางเดินเท้ามีความสะดวกสบาย มีความปลอดภัย และส่งเสริมการเดินทางของประชาชนด้วยระบบขนส่งมวลชนซึ่งถือเป็นระบบขนส่งที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดได้อย่างยั่งยืนและถาวร

ในการศึกษาและการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานของทางเดินเท้าที่ Trigo López (2017) แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ระดับ คือ (1) ระดับมหภาค เป็นการศึกษากระแสจราจรของคนเดินเท้าในภาพรวม (2) ระดับจุลภาค เป็นการศึกษาปัจจัยหรือเส้นทางของคนเดินเท้าของแต่ละบุคคลซึ่งจะมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนเดินเท้าด้วยกัน โดยได้มีการศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของทางเดินเท้าในด้านคุณภาพ เช่น การประเมินประสิทธิภาพ ด้วยการสัมภาษณ์คนเดินเท้า เพื่อนำมาประเมินความปลอดภัย หรือความสะดวกสบายของโครงสร้างดังกล่าว และในด้านปริมาณ ได้แก่ แผนภูมิมูลฐาน (Fundamental diagrams) ซึ่งถูกประยุกต์จากการศึกษาแบบจำลองกระแสจราจรของยานพาหนะในระดับมหภาค โดยพยายามจำลองตัวแปรเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ความเร็ว-ความหนาแน่น-การไหล ของยานพาหนะมาเป็นคนเดินเท้า ในอดีตได้มีการใช้ Fundamental Diagrams ในการศึกษาและการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น ทางเดินเท้า (Lam, Morrall, & Ho, 1995) ทางเดินที่มีลักษณะเป็นคอคบ (Seyfried et al., 2009) บันได (Y.-C. Lee, 2005) ทางข้าม (Lam et al., 1995)

ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้มีประโยชน์ต่อการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานอย่างมาก เนื่องจากตัวแปรเหล่านั้นสามารถคาดการณ์และอธิบายกระแสจราจรได้ และตัวแปรดังกล่าวสามารถวัดค่าและเข้าใจได้ง่าย โดยพบว่า ปัจจัยที่ส่งต่อความเร็วในการเดินเท้าขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่น อายุ (วัยทำงานเดินเร็วกว่าผู้สูงอายุ (Fitzpatrick, Brewer, & Turner, 2006), เพศ (เพศชายเดินเร็วกว่าเพศหญิง (Fitzpatrick et al., 2006)), ลักษณะทางกายภาพ วัฒนธรรม (คนในประเทศฝั่งตะวันตกเดินเร็วกว่าคนในประเทศฝั่งตะวันออก (Tanaboriboon, Hwa, & Chor, 1986)) และวัตถุประสงค์ของการเดิน (การเดินเร่งรีบในชั่วโมงเร่งด่วนเพื่อไปสถานที่ทำงานจะเดินเร็วกว่าการเดินปกติ และการเดินเลือกซื้อสินค้านั้นใช้ความเร็วต่ำกว่าความเร็วในการเดินปกติโดยเฉลี่ย (Fang, 2018))

โดยปัจจุบันได้มีการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ควบคู่กันไปด้วยเพื่อวิเคราะห์กระแสจราจรในสภาพปัจจุบัน และในสถานการณ์จำลอง เช่น การอพยพภายในอาคาร (Hoogendoorn, Hauser, & Rodrigues, 2004) การติดตั้งสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เพื่อพัฒนาและออกแบบกลยุทธ์เพื่อจัดการกระแสจราจรให้มีความเสถียรสภาพและไม่คับคั่งจนเกินไปซึ่งจะทำโครงสร้างพื้นฐานได้ถูกใช้งานเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากการจำลองสถานการณ์ดังกล่าวได้นั้นต้องการข้อมูลเชิงประจักษ์หรือข้อมูลจากการสำรวจทั้งภาคสนามและการจำลองสถานการณ์เป็นจำนวนมาก

การศึกษากระแสจราจรคนเดินเท้าในอดีตได้มีการศึกษาแล้วในกรุงเทพมหานคร (Tanaboriboon & Guyano, 1991) อย่างไรก็ตาม โครงสร้างพื้นฐานบางส่วนแตกต่างจากปัจจุบัน เช่น สถานีรถไฟฟ้า พื้นที่ศูนย์กลางทางเศรษฐกิจของกรุงเทพฯ ยังไม่พัฒนาเท่าที่ควร อีกทั้งพฤติกรรมของคนเดินเท้าในอดีตยังไม่ครอบคลุมถึงกิจกรรมของคนเดินเท้าที่ใช้ Smart phone ระหว่างเดินและการ

สะพานกระเป๋าบรรจุสัมภาระที่มีค่อนข้างมีน้ำหนัก เช่น เครื่อง Notebook ที่เห็นกันจนชินตาในปัจจุบัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาระแสจราจรคนเดินเท้าโดยการจำลองสถานการณ์จำลองให้สอดคล้องกับกระแสการจราจรภายในทางเดินเท้าของอาคารสถานีรถไฟฟ้า โดยทำการจำลองภายในอาคาร ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ใช้ Fundamental Diagrams ในการวิเคราะห์และอธิบายผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ โดยข้อดีของการจำลองสถานการณ์สามารถกำหนดหรือศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรดังกล่าวได้ สามารถจำลองสถานการณ์ที่ไม่สามารถสำรวจในสถานที่จริงหรือสถานการณ์จริง ตลอดจนควบคุมและกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรได้แก่ การเพิ่มและลดความเร็วในการเดิน (จำลองให้คล้ายกับการเดินเร่งรีบและการเดินเลือกซื้อสินค้า) การใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดิน การสะพานกระเป๋าส่งปัจจัยดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมโดยจะกล่าวถึงในบทต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษากระแสจราจรคนเดินเท้าโดยทำการจำลองสถานการณ์ แต่ละสถานการณ์ได้กำหนดให้สัดส่วนของผู้เข้าร่วมซึ่งประกอบไปด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วในการเดิน, การใช้โทรศัพท์มือถือ และการสะพานกระเป๋าส่งผลที่แตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบกระแสจราจรคนเดินเท้าในแต่ละสถานการณ์

1.2.3 พัฒนาแบบจำลองสำหรับการทำนายตัวแปรกระแสจราจรสำหรับคนเดินเท้า

1.3 คำถามของงานวิจัย

1.3.1 การเดินเร็วกว่าปกติ (เดินเร่งรีบ) เดินช้ากว่าปกติ (เดินเลือกซื้อสินค้า) การใช้โทรศัพท์มือถือ และการสะพานระหว่างเดินส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรคนเดินเท้ามากน้อยเพียงใด

1.3.2 การจำลองสถานการณ์เพื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนของปัจจัยของผู้เข้าร่วมให้มีค่าเพิ่มขึ้นหรือน้อยลงอย่างสุดโต่งจะส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรคนเดินเท้าอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับกระแสจราจรคนเดินเท้าในสถานการณ์ที่ใช้สัดส่วนจากการเก็บสำรวจจริง

1.3.3 แบบจำลองประเภท Single regime ชนิดใดที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์กระแสจราจรคนเดินเท้าในแต่ละสถานการณ์มากที่สุด

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 การวิจัยนี้ได้จำลองสถานการณ์แทนการศึกษาในภาคสนามหรือสถานที่จริง โดยออกแบบเพื่อพยายามป้องกันปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ได้แก่ การเดินแซง ความเสียดทาน ภายในของคนเดิน หรือ interaction ระหว่างคนเดิน

1.4.2 การวิจัยนี้ได้ใช้กลุ่มตัวอย่างจากนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีซึ่งมีอายุประมาณ 21-23 ปี

1.4.3 การวิจัยนี้ใช้การประมาณค่าสัดส่วนของกิจกรรมโดยใช้สัดส่วนที่สำรวจจากภาคสนามและการประมาณค่าโดยใช้สถิติ

1.4.4 แบบจำลองในการวิจัยนี้เป็นประเภท Single regime

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรในสถานการณ์ปัจจุบันที่เกิดขึ้นจริงและสถานการณ์สุดโต่ง

1.5.3 จากการพัฒนาแบบจำลองเพื่อคาดการณ์กระแสจราจรคนเดินเท้าสามารถอธิบายลักษณะกระแสจราจรคนเดินเท้าในประเทศไทยในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้และสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาอ้างอิงประกอบการออกแบบและจัดการกระแสจราจรคนเดินเท้าในประเทศไทยเพื่อให้โครงสร้างพื้นฐานได้ถูกใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าและเต็มประสิทธิภาพ

บทที่ 2

การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเรื่องการศึกษาลักษณะกระแสจราจรของคนเดินเท้าระดับมหภาคโดยการจำลองสถานการณ์ ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร ความเร็ว-การไหล-ความหนาแน่นของคนเดินเท้า โดยตัวแปรดังกล่าวสามารถอธิบายกระแสจราจรคนเดินเท้าโดยใช้แบบจำลองแผนภูมิมูลฐาน (Fundamental Diagram)

ในบทนี้เป็นการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยผู้วิจัยพยายามเรียบเรียงและจัดประเภทงานวิจัยตามหัวข้อของประเภทงานวิจัยโดยมองภาพใหญ่ (ทฤษฎีกระแสจราจร) ไปสู่ภาพย่อย (การจำลองสถานการณ์) แบ่งออกเป็น 6 หัวข้อ ดังนี้

หัวข้อที่ 1 ทฤษฎีกระแสจราจร

หัวข้อที่ 2 ลักษณะทิศทางของการเดินเท้า

หัวข้อที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานคนเดินเท้า

หัวข้อที่ 4 ระดับการให้บริการ

หัวข้อที่ 5 การจำลองสถานการณ์

หัวข้อที่ 6 สรุปการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีกระแสจราจร

การจราจรที่พบอยู่ในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นกระแสจราจรของยานพาหนะบนถนนประเภทต่าง ๆ เช่น ทางหลวง ทางด่วน และกระแสจราจรของคนเดินเท้าภายในสถานีรถไฟฟ้าห้างสรรพสินค้า หรือแม้กระทั่งทางข้ามถนน โดยทั่วไปพบว่าปริมาณจราจรมีค่าแตกต่างกันไปตามช่วงเวลา ส่งผลให้เกิดสภาพการจราจรที่แตกต่างกัน เช่น ผู้โดยสารรถไฟฟ้าในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนมีจำนวนมากกว่าผู้โดยสารที่ใช้บริการในช่วงเวลาอื่น โดยการศึกษากระแสจราจรนี้ทำให้สามารถประเมินความจุโครงสร้างพื้นฐานเช่น ความจุของถนนหรือความจุของทางเดินเท้า และเข้าใจพฤติกรรมของกระแสจราจร เพื่อทำการตัดสินใจวางแผน ออกแบบโครงสร้างพื้นฐานเพื่อบรรเทาปัญหาหรือควบคุมกระแสจราจรที่เกิดขึ้นอยู่ในปัจจุบันหรือมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

Gupta and Pundir (2015) ได้สรุปตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระแสจราจรของคนเดินเท้าสามารถอธิบายโดยใช้ตัวแปรกระแสจราจรต่าง ๆ ดังนี้

ความเร็วในการเดินเท้า (Walking Speed) : หมายถึง ความเร็วในการเดินเท้าโดยเฉลี่ยต่อช่วงเวลา แทนด้วยตัวแปร u หรือ v มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที โดยงานวิจัยนี้จะใช้ ตัว v

การไหล (Flow) หมายถึง จำนวนคนเดินเท้าที่ผ่านทางเท้าจุดหนึ่งต่อช่วงเวลา แทนด้วยตัวแปร q มีหน่วยเป็น คน/เมตร-นาที

ความหนาแน่น (Density) หมายถึง จำนวนคนเดินเท้าที่อยู่ภายในพื้นที่หนึ่ง แทนด้วยตัวแปร k มีหน่วยเป็น คน/ตารางเมตร

พื้นที่ (Space) หมายถึง พื้นที่เฉลี่ยต่อคนในทางเดินนั้น ๆ หรือเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น

ความเร็วอิสระ (Free-flow speed) หมายถึง ความเร็วในการเดินเท้าที่คนเดินสามารถใช้ความเร็วได้อิสระโดยไม่มีการขัดขวางหรือมีคนเดินอยู่

ความหนาแน่นติดขัด (Jam density) หมายถึง จำนวนคนต่อพื้นที่ที่อยู่ในสภาพการจราจรที่คนไม่สามารถเดินได้ ซึ่งแสดงถึงขีดจำกัดของทางเดินนั้น

2.1.1 แบบจำลอง Single regime

การอธิบายกระแสจราจรของยานพาหนะประเภทรถยนต์ในยุคแรกเริ่มนั้นมีการใช้เพียงแค่สมการเดียวในการอธิบายกระแสจราจรทั้งหมดได้แก่ ช่วงไม่ติดขัด (Non-congested flow) และติดขัด (Congested flow) โดยเรียกแบบจำลองเหล่านี้ว่าเป็นแบบจำลองประเภท Single Regime ซึ่งเริ่มจาก Greenshields, Bibbins, Channing, and Miller (1935) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างสามตัวแปรดังกล่าวสามารถเขียนออกมาเป็นรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ได้แก่สมการ 2.1

$$q = kv \quad (2.1)$$

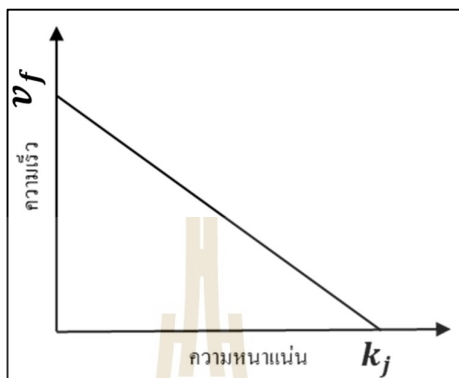
โดยที่ v คือ ความเร็วในการเดิน (เมตร/นาที)

q คือ อัตราการไหล (คน/นาที/เลน)

k คือ ความหนาแน่น (คน/ตารางเมตร)

จากสมการดังกล่าวสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรการไหล ความเร็วและความหนาแน่นของจราจร พบว่าจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วและความหนาแน่นมีลักษณะเป็นเชิงเส้น จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายจุดบนเส้นกราฟกรณีความหนาแน่นเท่ากับ 0 หรือไม่มีการเดินภายในกระแสจราจร ส่งผลให้คนสามารถใช้ความเร็วในการเดินได้อย่างอิสระ

(Free flow speed) เมื่อความหนาแน่นมีค่ามากที่สุดหรือติดขัด ส่งผลให้การเดินหยุดอยู่กับที่หรือเท่ากับ 0 ดังรูปที่ 2.1 และสมการ 2.2



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วและความหนาแน่น
ปรับปรุงจาก: Ni (2015)

$$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right) \quad (2.2)$$

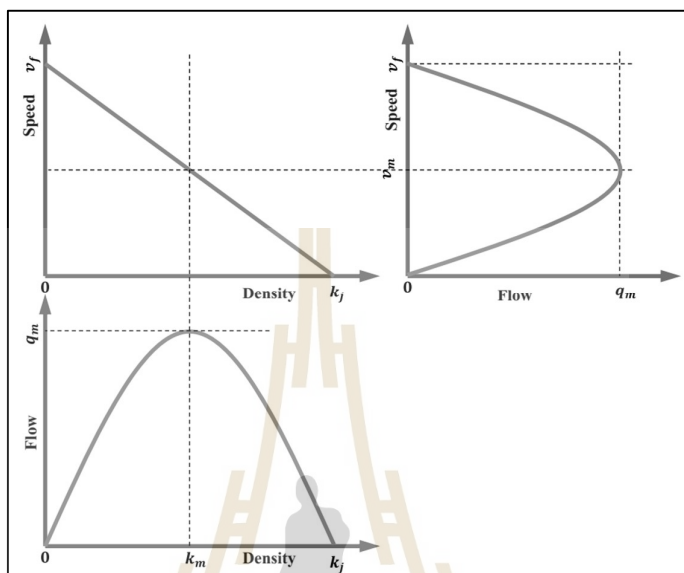
โดยที่ v_f คือ ความเร็วการไหลอิสระ
 k_j คือ ความหนาแน่นติดขัด

เมื่อประยุกต์สมการ $q = kv$ และแทนค่าดังกล่าวลงในสมการ 2.2 จะได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการไหลและความหนาแน่นมีลักษณะเป็นโค้งคว่ำดังรูปที่ 2.2 และสมการ 2.3

$$q = v_f \left(k - \frac{k^2}{k_j}\right) \quad (2.3)$$

เมื่อประยุกต์สมการ $q = kv$ และแทนค่า k ดังกล่าวลงในสมการที่ 2.2 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและการไหลดังสมการ 2.4

$$q = k_j \left(v - \frac{v^2}{v_f} \right) \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ

ที่มา : Ni (2015)

ต่อมาได้มีการพัฒนาต่อออกจากแบบจำลองของ Greenshield โดย Elefteriadou (2014) พบข้อจำกัดแบบจำลองนี้ เนื่องจากเมื่อนำข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามมาพล็อตพบว่า ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรความเร็วกับความหนาแน่นนั้นไม่เหมาะสมที่จะใช้อธิบายกระแสจราจร ต่อมา Greenberg ได้พัฒนาแบบจำลองในรูปแบบของความสัมพันธ์ลอการิทึมซึ่งเหมาะสมกว่าแบบจำลองเชิงเส้นของ Greenshield แต่ก็ยังพบข้อจำกัดในกรณีที่ความหนาแน่นเข้าสู่ 0 ซึ่งทำให้ความเร็วมีค่า ∞ ดังนั้นแบบจำลอง Greenberg นี้จึงไม่เหมาะกับการหาความเร็วในกรณีที่ความหนาแน่นมีค่าน้อย Underwood (1961) พัฒนาแบบจำลองในรูปแบบของความสัมพันธ์เอกซ์โพเนนเชียลเพื่อจัดข้อจำกัดของแบบจำลอง Greenberg แต่พบว่าเมื่อความเร็ว เท่ากับ 0 จะทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่า ∞ ดังนั้นแบบจำลอง Underwood นี้จึงไม่เหมาะกับการหาความเร็วในกรณีที่มีความหนาแน่นมาก Drake, Schofer, and May (1966) หรือแบบจำลอง Northwestern พัฒนาแบบจำลองในรูปแบบของความสัมพันธ์เอกซ์โพเนนเชียลโดยมีลักษณะเป็นโค้งตัว S Drew (1965)

และ Munjal and Pipes (1971) พัฒนาจากรูปแบบสมการของ Greenshield โดยการเพิ่มพารามิเตอร์ เลขยกกำลัง สรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 Single-Regime ประเภทต่าง ๆ

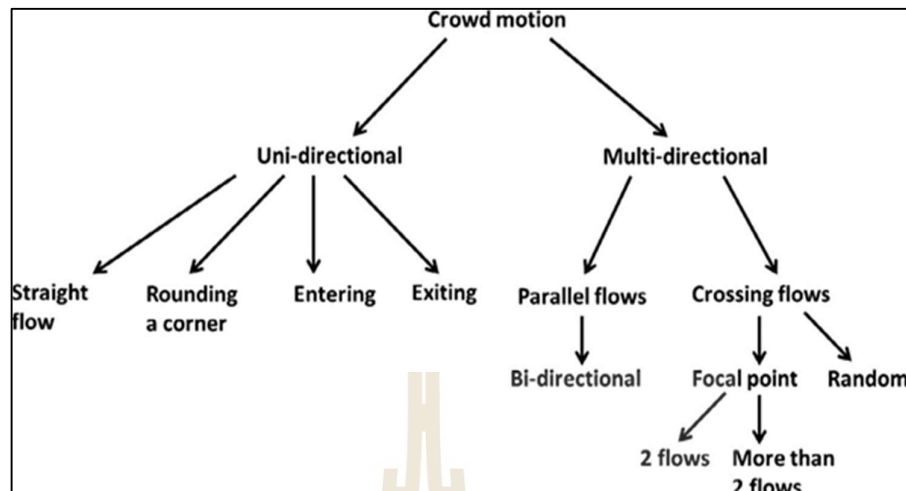
ผู้วิจัย	สมการ	พารามิเตอร์
Greenshields et al. (1935)	$v = v_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$	v_f = ความเร็วอิสระ k_j = ความหนาแน่นติดขัด
Greenberg (1959)	$v = v_m \ln\left(\frac{k_j}{k}\right)$	v_m = ความเร็วเหมาะสม k_j = ความหนาแน่นติดขัด
Underwood (1961)	$v = v_f e^{-\frac{k}{k_m}}$	v_f = ความเร็วอิสระ k_m = ความหนาแน่นเหมาะสม
Drake et al. (1966)	$v = v_f e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{k}{k_m}\right)^2}$	v_f = ความเร็วอิสระ k_m = ความหนาแน่นเหมาะสม
Drew (1965)	$v = v_f \left[1 - \left(\frac{k}{k_j}\right)^{n+\frac{1}{2}}\right]$	v_f = ความเร็วอิสระ k_m = ความหนาแน่นเหมาะสม n = เลขยกกำลังที่เป็นจำนวนเต็ม
Munjal and Pipes (1971)	$v = v_f \left[1 - \left(\frac{k}{k_j}\right)^n\right]$	v_f = ความเร็วอิสระ k_m = ความหนาแน่นเหมาะสม n = เลขยกกำลังที่เป็นจำนวนเต็ม

สมการจากแบบจำลองที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดนั้นมาจากสมมติฐานที่ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วกับความหนาแน่นนั้นสามารถอธิบายได้ทุกช่วงของสภาพการจราจร แต่อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของกระแสจราจรนั้นจะแตกต่างกันไปตามกระแสจราจร จากการสำรวจของ Edie (1961) พบความไม่ต่อเนื่องดังกล่าวที่จุดความหนาแน่นวิกฤต (Critical density) จึงนำเสนอแบบจำลองโดยใช้ 2 สมการ สมการแรกอธิบายสภาพการจราจรที่ไม่ติดขัดของกระแสจราจร (Non-congested flow) ซึ่งตัวแปรความเร็วกับความหนาแน่นมีความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียล หรือแบบจำลอง Underwood สมการที่สองอธิบายสภาพการจราจรที่มีการติดขัดของกระแสจราจร (Congested flow) ซึ่งตัวแปรความเร็วกับความหนาแน่นมีความสัมพันธ์ลอการิทึมหรือแบบจำลอง Greenberg ซึ่งเป็นการรวมข้อดีของ 2 แบบจำลอง

โดยการศึกษาระยะแสรจรรดงกล่าวได้ม้การแยกทศทางตามที่ได้ม้การศกษาลัษณะทศทางของการदन

2.2 ลัษณะทศทางของการदन

Duives, Daamen, and Hoogendoorn (2013) จำแนกและอธิบายตามกลุ่มของคนदनเข้ากระแสรจรรในพ้ที่หนึ่ง ๆ ซ้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) ทศทางเดยว (Unidirectional) ค้ คนदनเข้าภายในพ้ที่นั้นม้ลัษณะการदनในทศทางเดยวกัน โดยจำแนกออกเป็น ทางตรง (Straight flow) ซ้คล้ายกับทางदनภายในสถานีรถไฟฟ้า บริเวณขอบมุม (Rounding a corner) เช่น ขอบมุมของอาคาร ขอบมุมของถนน (Zhang, Klingsch, Rupprecht, Schadschneider, & Seyfried, 2011) การเข้าสู่คอบวด (Entering) เป็นการदनเข้าสู่พ้ที่ซ้มีการจำกัดความกว้างทางदनอย่างเห็นได้ชัด เช่นการदनเข้าภายในอาคาร (Rupprecht, Klingsch, & Seyfried, 2011) การออกจากคอบวด (Exiting) เป็นการदनออกจากพ้ที่ซ้มีการจำกัดของความกว้างทางदनอย่างเห็นได้ชัด เช่นการออกจากอาคาร (Ren, Zhang, Cao, & Song, 2019) (2) หลายทศทาง (Multidirectional) ค้ คนदनเข้าภายในพ้ที่นั้นม้ลัษณะการदनมากกว่า 2 ทศทางซ้ขึ้นไป เช่น ดนสวนกันสองทศทาง (Corbetta, Meeusen, Lee, & Toschi, 2016) การदनมากกว่า 2 ทศทาง (Cao, Seyfried, Zhang, Holl, & Song, 2017) โดยการกลุ่มของคนदनเข้าม้ความจำเป็นที่ด้องจำแนกออกเป็นหลายประเภทตามที่ได้ม้การศกษา เนื่องจากข้อมูลหรือตัวแปรจากการวิเคราะห์พบว่ ทางด้านความเร็วในการदन ความหนาแน่นของกระแสรจรร ลัษณะกระแสรการไหลของการदन หรือตัวแปรอื่น ๆ ระหว่าง 2 ประเภทม้ความแตกต่างกัน สามารถสรุปล้ได้ด้รูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การจำแนกลักษณะของกระแสจราจร

ที่มา : Duives et al. (2013)

จากการศึกษาลักษณะทิศทางของทางเดินพบว่าข้อมูลหรือตัวแปรตั้งที่กล่าวมาข้างต้น มีความแตกต่างเนื่องจากลักษณะของทิศทาง และถึงแม้ว่าลักษณะของทิศทางมีลักษณะทิศทางเหมือนกันก็ยังพบว่ามาตรฐานหรือคู่มือเพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกของทางเดิน หรือบันไดนั้นยังมีความแตกต่างกันในเชิงปริมาณ จากการศึกษาของ Zhang and Seyfried (2013) ศึกษามาตรฐานหรือคู่มือออกแบบซึ่งใช้แบบจำลองแผนภูมิมาตรฐาน ในการอธิบายและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ความเร็ว และการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้า ซึ่งมาตรฐานของแต่ละการศึกษา พบว่า ข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ค่าความหนาแน่นสูงสุด ค่าความเร็วในการเดินอิสระ มีค่าแตกต่างกันเนื่องจากการสำรวจทางเดินหรือการทดลองโดยการจำลองสถานการณ์ อีกทั้งความแตกต่างของตัวแปร ปัจจัย ลักษณะ โครงสร้างพื้นฐาน และคุณลักษณะของคนเดินเท้าด้วย

2.3 โครงสร้างพื้นฐานคนเดินเท้า

ในการศึกษากระแสจราจรคนเดินเท้านั้นพบว่า มีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระแสจราจร โดย Bosina and Weidmann (2017) ได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อิทธิพลที่ส่งผลต่อความเร็วในการเดินประเภทต่าง ๆ

	อิทธิพลแบบคงที่	อิทธิพลแบบพลวัต
อิทธิพลภายใน	<p>คุณลักษณะเชิงกายภาพคนเดินเท้า</p> <ul style="list-style-type: none"> • อายุ • เพศ • น้ำหนัก • ส่วนสูง • สุขภาพ • การสะพายกระเป๋า <p>อิทธิพลเชิงวัฒนธรรม</p> <ul style="list-style-type: none"> • สถานะทางสังคม • สภาพแวดล้อมทางวัฒนธรรม • ขนาดของพื้นที่ชุมชน (Settlement area) 	<p>อิทธิพลในเชิงความรู้สึก</p> <ul style="list-style-type: none"> • นิสัย • ความกดดันด้านเวลา • จุดประสงค์การเดินทาง
อิทธิพลภายนอก	<p>ลักษณะของโครงสร้างพื้นฐาน</p> <ul style="list-style-type: none"> • องศาของทางเดิน • ความสูงของชั้นบันได • ความกว้างของถนน • ระยะเวลาไฟเขียว <p>คุณภาพของทางเดิน</p>	<p>อิทธิพลของสภาพแวดล้อม</p> <ul style="list-style-type: none"> • ช่วงเวลาของวัน • สภาพอากาศ และ อุณหภูมิ • กลุ่มการเดิน • ความหนาแน่นคนเดิน • กระแสการไหลของคนเดิน (ปริมาณ, ทิศทาง) • การตัดกันของกระแสจราจร (ปริมาณ, มุมองศาที่ตัดกัน) • ระยะทางการเดิน • เวลาเปลี่ยนถ่าย (Transfer time) ในสถานี • การดึงดูดของสภาพแวดล้อม

ที่มา : Bosina and Weidmann (2017)

โดยงานวิจัยนี้จะจำแนกโดยยึดโครงสร้างพื้นฐานคนเดินเท้าเป็นหลักแล้วจึงอธิบายปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรตามประเภทของโครงสร้างพื้นฐานคนเดินเท้านั้น ๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้ (1) ทางเท้า (Sidewalk) และทางเดิน (Walkway) (2) ทางข้าม (Crosswalk) (3) บันได (Stairway) และบันไดเลื่อน (Escalator)

2.3.1 ทางเท้า (Sidewalk) และทางเดิน (Walkway)

ทางเท้า หมายถึง ทางที่อยู่ตลอดข้างของถนน มีลักษณะยกตัวขึ้นเหนือพื้นถนน อาจจะมีการใช้ร่วมกับยานพาหนะประเภทอื่นด้วย เช่น จักรยาน ส่วนทางเดินมีลักษณะห่างจากถนน โดยปราศจากจักรยานยนต์ หรือรถยนต์ เช่น ทางเดินภายในห้างสรรพสินค้า สถานีรถไฟฯ โดยประเทศไทยกำหนดให้ทางเดินเท้า ต้องมีความกว้างอย่างน้อย 1.5 เมตร (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2549) อย่างไรก็ตามหากมีวัตถุสิ่งกีดขวางอยู่บนทางเท้า เช่น เสาไฟฟ้า ในการวิเคราะห์ความจุที่ทางเท้าสามารถรองรับได้ จะใช้ความกว้างทางเท้าประสิทธิผล (Effective walkway width) แทนความกว้างของทางเท้าเดิม

โดยแรกเริ่มของการศึกษาทางเดินนั้น Hankin and Wright (1958) เริ่มจากการวิเคราะห์กระแสจราจรของคนเดินเท้าหรือผู้โดยสารภายในสถานีรถไฟใต้ดินของกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษพบว่าเมื่อคนเดินเริ่มหนาแน่นจะความเร็วในการเดินจะลดลง จะเริ่มการเดินสับเท้า ซึ่งมีความเร็วประมาณ 0.48 เมตร/วินาที เนื่องจากคนเดินเท้าจะไม่เหยียบเท้าคนข้างหน้า และเมื่อถึงกระแสจราจรมีค่าการไหลสูงสุด (Maximum flow) ส่งผลให้ความเร็วในการเดินเท้าลดลงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ต่อมา Fruin (1971) ได้ทำการวิเคราะห์ทางเดินบริเวณสถานีรถบัสซึ่งมีทิศทางเดียว (Unidirectional flow) พบว่าได้สามารถสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วกับความหนาแน่นได้ดังสมการที่ 2.5

$$v = 85.8 - 21k \quad (2.5)$$

Tanaboriboon et al. (1986) ได้ทำการศึกษาทางเท้าและทางเดินบริเวณย่านการค้าประเทศสิงคโปร์ 3 แห่ง กำหนดสมมติฐานให้คุณลักษณะหรือพฤติกรรมคนเดินเท้าจากการสำรวจทั้ง 3 แห่งเหมือนกันเพื่อที่จะนำข้อมูลดังกล่าวมารวมกันจากนั้นจึงค่อยทำการวิเคราะห์ความเร็วในการเดินและสร้างแบบจำลอง พบว่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินมีค่า 74 เมตร/นาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศสหรัฐอเมริกา (81 เมตร/นาที) อีกทั้งทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลพบว่าอัตราการไหลสูงสุดของประเทศสิงคโปร์มีค่า 89 คน/เมตร/นาที ซึ่งมากกว่าประเทศสหรัฐอเมริกา

(81 คน/เมตร/นาทีก) โดยแสดงแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วกับความหนาแน่น ดังสมการที่ 2.6

$$v = 73.9 - 15.3k \quad (2.6)$$

จากสมการแสดงค่าสัมประสิทธิ์สมการที่น้อยกว่าสมการของ Fruin ที่ได้ศึกษาจากประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของคนเดินของคนประเทศสิงคโปร์มีขนาดเล็กกว่าจึงทำให้ความต้องการการใช้พื้นที่ในการเดินน้อยกว่า

Tanaboriboon and Guyano (1989) ได้ทำการศึกษาทางเท้าบริเวณย่านศูนย์กลางธุรกิจ 4 แห่ง ที่กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย พบว่า ความเร็วในการเดินอิสระมีค่า 72.85 เมตร/นาทีก โดยค่าดังกล่าวมาจากแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วกับความหนาแน่นดังสมการที่ 2.7 จากสมการดังกล่าวพบว่าความเร็วในการเดินอิสระของประเทศไทยนั้นมีย่านน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วในการเดินอิสระของต่างประเทศฝั่งยุโรปซึ่งมีช่วงความเร็วตั้งแต่ 78.60 ถึง 82 เมตร/นาทีก

$$v = 72.85 - 13.13k \quad (2.7)$$

Tanaboriboon and Guyano (1991) ได้ทำการศึกษาความเร็วในการเดิน บริเวณทางเดินย่านศูนย์กลางธุรกิจ (CBD) กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย พบว่าความเร็วในการเดินระหว่างเพศชาย และเพศหญิง มีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเพศชายมีความเร็วในการเดินเฉลี่ยในช่วงวัยรุ่นและผู้ใหญ่มีค่า 75.96 และ 76.44 เมตร/นาทีก ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าเพศหญิงซึ่งมีความเร็วในการเดินเฉลี่ยในช่วงวัยรุ่นและผู้ใหญ่มีค่า 72.15 และ 70.21 เมตร/นาทีก ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความเร็วในการเดินระหว่างกลุ่มอายุระหว่างวัยรุ่นกับผู้สูงอายุ พบว่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของผู้สูงอายุมีค่า 49.54 เมตร/นาทีก ซึ่งน้อยกว่าวัยรุ่นและผู้สูงอายุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่าความเร็วในการเดินของเอเชียต่ำกว่าฝั่งตะวันตก

VIRKLER and ELAYADATH (1994) ได้ทำการศึกษาทางเดินก่อนเข้าอุโมงค์ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 15 วินาทีเพื่อป้องกันลักษณะการไหลที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป ซึ่งใช้แบบจำลอง 3 ประเภท มาเปรียบเทียบกัน คือ (1) แบบจำลอง Single-regime ได้แก่ Greenshield, Underwood, และ Northwestern (2) แบบจำลอง Two-regime ได้แก่ Greenberg, Edie

และ 2-regime linear (3) แบบจำลอง Three-regime ได้แก่ 3-regime linear ซึ่งนำการทดสอบทางสถิติมาใช้ ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจากค่า R^2 และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) เนื่องจากต้องการแบบจำลองที่สามารถอธิบายสภาพกระแสน้ำที่ผสมผสานที่สุด พบว่าในกรณีที่ใช้แบบจำลอง Single-regime ของ May จะอธิบายสภาพกระแสน้ำได้เหมาะสมที่สุด และในกรณีที่ใช้แบบจำลอง Two-regime หรือ Three-regime พบว่าแบบจำลอง Edie ดังสมการ 2.8 จากสมการดังกล่าวสามารถอธิบายสภาพกระแสน้ำได้เหมาะสมที่สุดเนื่องจากค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมที่สุดและความเร็วที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าของแบบจำลองทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

$$v = 60.6e^{-0.24k} \quad \text{ในกรณีที่ } (k < 1.07) \quad (2.8)$$

$$v = 36.6 \ln\left(\frac{4.32}{k}\right) \quad \text{ในกรณีที่ } (k > 1.07)$$

Lam et al. (1995) ได้ทำการศึกษาทางเดินภายในอาคารและภายนอกอาคาร ประเทศฮ่องกง พบว่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินภายนอกอาคารมีค่า 71.6 เมตร/นาที่ซึ่งมากกว่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินภายในอาคารซึ่งมีค่า 49.8 เมตร/นาที่ เนื่องจากภายในตัวอาคารมีความแออัดมากกว่าและกลุ่มตัวอย่างที่เก็บภายในอาคารนั้นมากกว่าภายนอกอาคารมากกว่า 2 เท่า โดยแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วกับความหนาแน่นของทางเดินภายนอกอาคาร ใช้แบบจำลอง Greenshield ในการอธิบายความสัมพันธ์ดังสมการ 2.9

$$v = 77.4 - 21.5k \quad (2.9)$$

และแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วกับความหนาแน่นของทางเดินภายในอาคารใช้แบบจำลอง Underwood ในการอธิบายความสัมพันธ์ดังสมการ 2.10

$$v = e^{(4.47-0.57k)} \quad (2.10)$$

J. Y. Lee and Lam (2006) ได้ทำการศึกษาทางเดินบริเวณสถานี Causeway Bay ประเทศฮ่องกง โดยแบ่งออกการศึกษาเป็นช่วงระยะเวลา ชั่วโมงเร่งด่วนเช้า นอกชั่วโมงเร่งด่วน

และชั่วโมงเร่งด่วนเย็น โดยสามารถจำแนกความเร็วในการเดินออกเป็น 2 ประเภท โดยใช้ความจุประสิทธิภาพ (Effective Capacity) หรือความสามารถในการรองรับคนเดินของทางเดินเป็นเกณฑ์ในการจำแนก กล่าวคือ เมื่อการไหลของคนเดินเข้าถึงขีดจำกัดของความจุประสิทธิภาพแล้ว พบว่าความเร็วในการเดินเมื่อถึงขีดจำกัด จะมีค่าน้อยกว่า 0.31 เมตร/วินาที ซึ่งเรียกประเภทของความเร็วชนิดช่วงนี้ว่า ช่วงกระจ่างจรคับคั่ง และความเร็วที่มีค่ามากกว่า 0.31 เมตร/วินาที เรียกว่า ช่วงกระจ่างจรไม่คับคั่ง อีกทั้งยังพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระจ่างจรคับคั่งมีค่า 0.02-0.04 เมตร/วินาที ซึ่งแตกต่างจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระจ่างจรไม่คับคั่งซึ่งมีค่า 0.02-0.22 เมตร/วินาที และพบว่าความเร็วในการเดินดังกล่าวมีกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution)

Al-Azzawi and Raeside (2007) ได้ทำการศึกษาทางเดินบริเวณย่านการค้าและย่านธุรกิจเมืองลอนดอน ประเทศสหราชอาณาจักร เบื้องต้นพบว่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยและการใช้พื้นที่ต่อคนเฉลี่ย (Average space) ในย่านธุรกิจมีค่า 55.8 เมตร/นาที และ 4.2 ตารางเมตร/คน ซึ่งมากกว่าย่านการค้าโดยมีค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยและการใช้พื้นที่ต่อคนเฉลี่ย (Average space) 36.6 เมตร/นาที และ 0.64 ตารางเมตร/คน จากนั้นจึงนำการวิเคราะห์ถดถอยหลายตัวแปร (Multivariate regression) เพื่อประมาณค่าความเร็วในการเดินซึ่งมี 4 แบบจำลอง ได้แก่ (1) แบบจำลองแรกจะใช้แค่ตัวแปรเบื้องต้น ได้แก่ การไหล, ความหนาแน่น และคุณลักษณะของทางเท้า เช่น ความชันของทางเดิน (2) แบบจำลองที่สอง นำแบบจำลองแรก มารวมกับตัวแปรลักษณะการใช้พื้นที่บริเวณรอบข้าง เช่น มีลักษณะเป็นย่านการค้าหรือธุรกิจ (3) แบบจำลองที่สาม นำแบบจำลองที่สอง มารวมกับตัวแปรคุณลักษณะของคนเดินเท้า เช่น อายุ ความทุพพลภาพ การสะพายกระเป๋า (4) แบบจำลองสุดท้าย นำแบบจำลองที่สาม มารวมกับตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศ และช่วงเวลาเร่งด่วน สรุปดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน (β) และค่า t -ratio ของแต่ละตัวแปร

ปัจจัย	แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่ 2		แบบจำลองที่ 3		แบบจำลองที่ 4	
	β	t -ratio	β	t -ratio	β	t -ratio	β	t -ratio
ปัจจัยพื้นฐาน และคุณลักษณะของทางเท้า								
Constant	-	38.196	-	58.040	-	67.167	0.027	36.929
Density	2.316	64.012	2.219	58.526	2.226	81.651	1.463	30.074
Density ²	-1.474	45.331	-1.411	-41.462	-1.400	-57.312	-0.631	-16.300
Gradient	0.097	13.203	0.101	13.891	0.089	17.236	0.09	18.720

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน (β) และค่า t-ratio ของแต่ละตัวแปร (ต่อ)

ปัจจัย	แบบจำลองที่ 1		แบบจำลองที่ 2		แบบจำลองที่ 3		แบบจำลองที่ 4	
	β	t-ratio	β	t-ratio	β	t-ratio	β	t-ratio
Guard rail	0.26	21.840	0.191	16.232	0.187	22.286	0.357	9.896
Bus Stop	-0.109	-6.543	-	-	-	-	-	-
New surface	-0.078	-4.306	-	-	-	-	-	-
ปัจจัยพื้นที่รอบข้าง								
Junction	-	-	0.089	8.733	0.093	14.095	0.242	13.333
Retail	-	-	-0.11	-14.191	-0.163	-29.045	-0.183	-17.686
Residential	-	-	-	-	-	-	-0.023	-1.842
Cars	-	-	-	-	-	-	-0.125	-16.541
ปัจจัยคุณลักษณะคนเดินเท้า								
Middle Aged	-	-	-	-	0.153	27.145	0.153	29.401
Elderly	-	-	-	-	0.284	50.337	0.286	54.606
Bag	-	-	-	-	0.259	48.557	0.256	51.599
Accompanied	-	-	-	-	0.027	5.177	0.033	6.780
ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้								
Winter	-	-	-	-	-	-	-0.225	-9.354
Rain	-	-	-	-	-	-	-0.22	-28.461
Peak Time	-	-	-	-	-	-	-0.216	-28.461

หมายเหตุ : β หมายถึง Standardized coefficient

ที่มา : Al-Azzawi and Raeside (2007)

อย่างไรก็ตามตัวแปรเพศในทุกแบบจำลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ พบว่าเมื่อเพิ่มตัวแปรเข้าไปในแบบจำลองถัดไป ประสิทธิภาพในการประมาณค่าความเร็วจะเพิ่มขึ้นโดยมีค่า $R^2 = 67.5\%$, 68.6% , 84.0% และ 86.2% ตามลำดับและมีค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองลดลงโดยมีค่า (Mean absolute percent error : MAPE) = 14.1% , 14.06% , 9.5% และ 8.70% ตามลำดับ

Chen, Ye, and Jian (2010) ได้ทำการศึกษาทางเดินภายในอาคารสถานีรถไฟฟ้า People Square Station (PSS) และ Zhong-Shan Park Station (ZSPS) ประเทศจีนซึ่งเป็นสถานีที่มีผู้โดยสารใช้บริการมาก จึงเหมาะแก่การสำรวจข้อมูลในกรณีที่มีปริมาณผู้ให้บริการสูงในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน โดยข้อมูลที่สำรวจได้ครอบคลุมตั้งแต่ช่วงที่มีปริมาณคนใช้บริการน้อยจนถึงมาก และมีการเดินในลักษณะเป็นการแสดงจรรยาวิชาชีพ โดยแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วกับความหนาแน่น ใช้แบบจำลอง Bell shaped ดังสมการ 2.11

$$v = 81.37e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{k}{1.52}\right)^2} \quad (2.11)$$

ต่อมาเมื่อพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณคนเดินกับความหนาแน่น พบว่ากลุ่มปริมาณจราจรจะเริ่มกระจายตัวห่างกัน เมื่อความหนาแน่นมีค่ามากกว่า 1 คน/ตารางเมตร เรียกว่าสถานะปั่นป่วน (Turbulent state) และเมื่อถึงจุดความหนาแน่นเหมาะสม ปริมาณคนเดินก็จะมีการลดลง

Moussaïd, Perozo, Garnier, Helbing, and Theraulaz (2010) ได้ทำการศึกษาทางเดินบริเวณย่านการค้าตูลูซ ประเทศฝรั่งเศส ได้พบว่าร้อยละ 70 % ของคนเดินเท้าจากการสำรวจนั้น มีลักษณะการเดินเป็นกลุ่มหรือมากกว่า 1 คนขึ้นไป มีลักษณะการเดินเกาะกลุ่มเป็นรูปแบบลักษณะต่าง ๆ เช่น ตัว V หรือ U ซึ่งการเกิดรูปลักษณะเช่นนี้เนื่องจากการพูดคุยกันระหว่างเดินกัน ส่งผลให้การไหลลดลงและความเร็วในการเดินนั้นจะลดลงในลักษณะเชิงเส้น เมื่อคนในจำนวนกลุ่มนั้นเพิ่มขึ้น ดังสมการ 2.12 โดยที่ y คือ ความเร็วในการเดิน (เมตร/วินาที) และ x คือ จำนวนคนในกลุ่ม (คน)

$$y = -0.08x + 1.24 \quad (2.12)$$

Tipakomkiat, Limanond, and Kim (2012) ได้ทำการศึกษาทางเท้าบริเวณย่านธุรกิจประเทศไทย เพื่อหาบริเวณพื้นที่ของคนเดินเท้าที่มีความยาวเท่าไรจึงจะเหมาะสมต่อการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วและความหนาแน่น เนื่องจากแบบจำลองในอดีตได้กำหนดระยะจุดที่ทำการเก็บข้อมูลที่จุดเดียวแล้วจึงวิเคราะห์ออกมาเป็นสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วและความหนาแน่น เบื้องต้นพบว่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินมีค่า 73.8 เมตร/นาที และมีลักษณะการเดินสองทิศทาง (Bidirectional) ผู้วิจัยสรุปว่าการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วและความหนาแน่นนั้น ขนาดพื้นที่ที่จะเก็บข้อมูล

เพื่อที่จะทำนายความเร็วนั้นจะขึ้นอยู่กับ ความยาวของพื้นที่ โดยหากสัดส่วนของการไหลมีค่าแตกต่างกัน ก็จะใช้สมการแบบจำลองที่ต่างกัน โดยพื้นที่ที่จะทำการสร้างแบบจำลองควรมีระยะ 5 ถึง 9 เมตร เพื่อให้ค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปรความเร็วมีค่ามากที่สุดในการประมาณค่าความเร็วในการเดิน

Das, Parida, and Katiyar (2015) ได้ทำการศึกษาทางเดินรอบสถานีรถไฟ ประเทศอินเดีย โดยทำการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นก่อน 16 ชั่วโมงเพื่อศึกษาลักษณะกระแสจราจรคนเดินเท้า หากกลุ่มตัวอย่างที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์และเพื่อทราบชั่วโมงเร่งด่วนที่แท้จริง พบว่าชั่วโมงเร่งด่วนในแต่ละสถานีมีช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เมื่อพล็อตกราฟแจกแจงความน่าจะเป็นความเร็วในการเดินสะสม (Cumulative probability distribution) ทำให้ประมาณความเร็วในการเดินช่วง 15, 50 และ 85 เปอร์เซ็นไทล์ ได้ซึ่งมีค่า 80.5, 73.28, และ 63.8 เมตร/นาที ตามลำดับ จากนั้นจึงเปรียบเทียบแบบจำลอง Greenshield, Underwood และแบบจำลองที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ด้วย Two-layer feedforward network trained with Levenberg–Marquardt algorithm โดยนำเข้าข้อมูล 85% สำหรับการเรียนรู้และ 15% และทำการเพิ่มจำนวนนิวรอนตั้งแต่ 5 ไปจนถึง 20 นิวรอน พบว่าแบบจำลอง ANN สามารถทำนายได้ดีกว่าแบบจำลอง Greenshield และ Underwood เมื่อเปรียบเทียบจากค่า R, ค่า R², ค่าเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error), ค่ากลางของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error)

จากการทบทวนวรรณกรรมโครงสร้างพื้นฐานคนเดินเท้าสำหรับทางเท้าและทางเดิน สามารถสรุปค่าความเร็วในการเดินในแต่ละประเทศ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความเร็วในการเดินเฉลี่ยในแต่ละประเทศ

ผู้เขียน	ประเทศ	ค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ย (เมตร/นาที)	แบบจำลอง
Henderson (1971)	Australia	87	-
Fruin (1971)	USA	86	$v = 85.8 - 21k$
Polus, Schofer, and Ushpiz (1983)	Israel	79	-
Tanaboriboon et al. (1986)	Singapore	74	$v = 73.9 - 15.3k$

ตารางที่ 2.4 ความเร็วในการเดินเฉลี่ยในแต่ละประเทศ (ต่อ)

ผู้เขียน	ประเทศ	ค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ย (เมตร/นาที)	แบบจำลอง
Tanaboriboon and Guyano (1989)	Thailand	73	$v = 72.85 - 13.13 k$
Koushki and Ali (1993)	Kuwait	71	-
Tanaboriboon and Guyano (1991)	Thailand	73.5	-
VIRKLER and ELAYADATH (1994)	USA	-	$v = 60.6e - (0.24k)$ ($k < 1.07$) $v = 36.6\ln(4.32/k)$ ($k > 1.07$)
Lam et al. (1995)	Hong Kong	71.6	$v = 77.4 - 21.5k$ $v = e^{(4.47 - 0.572k)}$
Al-Azzawi and Raeside (2007)	UK	57.86	-
Chen et al. (2010)	China	81.37	$v = 81.37e^{-\frac{1}{2}(\frac{k}{1.52})^2}$
Das et al. (2015)	India	73.48	-
Morrall, Ratnayake, and Seneviratne (1991)	Canada	84	-
Morrall et al. (1991)	Sri-Lanka	75	-
Finnis and Walton (2008)	New Zealand	88	-
Rahman, Ghani, Kamil, and Mustafa (2012)	Bangladesh	69	-
Tipakornkiat et al. (2012)	Thailand	73.8	-

2.3.2 ทางข้าม (Crosswalk)

ทางข้าม มีลักษณะเป็นทางเดินซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้คนเดินเท้าข้ามถนนได้อย่างปลอดภัย ทางข้ามบางแห่งอาจมีการติดตั้งอุปกรณ์จราจรเพิ่ม เช่น สัญญาณไฟจราจร ทางม้าลาย เกาะกลางถนน โดยการเดินข้ามถนนนั้นใช้ความเร็วมากกว่าการเดินปกติบนทางเท้า จากการ

สำรวจในประเทศแคนาดา พบว่าความเร็วการเดินทางปกติ 1.37 เมตร/วินาที เมื่อเทียบกับความเร็วในการเดินเมื่อข้ามถนน 1.61 เมตร/วินาที (Montufar, Arango, Porter, & Nakagawa, 2007) สอดคล้องกับประเทศจีนซึ่งมีค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยประมาณ 1.58 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นเพราะสัญญาณไฟจราจรหรือการหลีกเลี่ยงรถจักรยานยนต์ รถยนต์ต่าง ๆ บนถนนให้เร็วที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อคนเดินข้ามเป็นกลุ่มเพื่อข้ามถนนนั้นพบว่ามีความเร็วเฉลี่ยลดลง (Tarawneh, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวมา (Moussaïd et al., 2010)

Lam, Lee, and Cheung (2002) ได้ทำการศึกษากระแสการไหลสองทิศทางของคนเดินเท้าในช่องกึ่งบริเวณทางข้ามที่มีสัญญาณไฟจราจร โดยใช้วิธีการหาสัดส่วนการไหล (r) จากการไหลหนึ่งทิศทางหารด้วยการไหลทั้งสองทิศทาง ถ้าพบว่า r มีค่า $0.5 \leq r \leq 1$ เรียกว่าทิศทางกระแสหลัก และ r มีค่า $0 < r < 0.5$ เรียกว่าทิศทางกระแสรอง พบว่าเมื่อการไหลมีสัดส่วน 50%:50% จนถึง 80%:20% (Older, อ้างถึงใน Zhang, Schadschneider, and Seyfried, 2014, หน้า 246) พบว่าทั้งสองทิศทางไม่มีความแตกต่างจากการไหลและความเร็วเหมือนทิศทางเดียวอย่างมีนัยสำคัญ

2.3.3 บันได (Stairway) และบันไดเลื่อน (Escalator)

บันไดและบันไดเลื่อนมีโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าในลักษณะทิศทางแนวดิ่ง เป็นส่วนสำคัญในการอำนวยความสะดวกภายในอาคาร และมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อใช้ในการอพยพ โดยจะวิเคราะห์ทั้งทิศบันไดขาขึ้น (Ascending) และบันไดขาลง (Descending) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความเร็วในการเดินขึ้นหรือลงบันไดนั้นมาจาก ความสูงของชั้นบันได (Tanaboriboon & Guyano, 1991) องศาความลาดเอียงของบันได (Fujiyama & Tyler, 2004) Cheung and Lam (1998) ได้สร้างเกณฑ์การประเมินระดับการให้บริการบันไดของคนเดินเท้าของประเทศฮ่องกง โดยการวิเคราะห์ความจุที่สามารถรองรับคนเดินเท้านั้นสามารถรองรับคนได้มากกว่าคนฝั่งทวีปยุโรปเนื่องจากหลักลักษณะทางกายภาพหรือขนาดตัวของคนเอเชียมีขนาดน้อยกว่า Lam and Cheung (2000) ได้สำรวจความเร็วในการเดินโดยการไต่บันไดเลื่อนภายในสถานีขนส่งมวลชนทางราง (MTR) กับสถานี Kowloon-Canton Railway (KCR) ประเทศฮ่องกง พบว่าความเร็วในการเดินภายในสถานี MTR นั้นมากกว่า KCR เนื่องจากพื้นที่ขึ้น (Stepping area) ของบันไดเลื่อนนั้นมีขนาดมากกว่าบันไดของสถานี KCR ส่งผลให้คนเดินเท้าสามารถควบคุมการก้าวเดินและความเร็วได้ และยังได้ศึกษาความเร็วในการเดินโดยการไต่บันไดเมื่อเปรียบเทียบบันไดระหว่างสองสถานีดังกล่าวพบว่าผลลัพธ์เหมือนกับความเร็วในการเดินในกรณีไต่บันไดเลื่อน กล่าวคือพื้นที่ขึ้นของสถานี MTR มากกว่า KCR และยังพบว่าความสูงของชั้นบันไดของสถานี MTR

น้อยกว่า สถานี KCR ซึ่งผลจากลักษณะทางกายภาพของบันได 2 ปีกัจฉนี้ทำให้ความเร็วในการเดินในการใช้บันไดของสถานี MTR นั้นมากกว่า KCR

Fujiyama and Tyler (2004) ได้ทำการศึกษาความเร็วในการเดินขึ้นและลงบันไดภายใน University College London ประเทศสหราชอาณาจักร ในองศาความลาดเอียงที่แตกต่างกัน ดัง ตารางที่ 2.5 พบว่า ค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในกรณีที่ องศาความลาดเอียงมีค่าลดลงทั้งทิศทางขาขึ้นและขาลง อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้ทดสอบกับคนเดินซึ่งมีอายุในช่วงระหว่าง 25 ถึง 60 ปี และกลุ่มอายุ 60 ถึง 81 ปี พบว่าจากการทดสอบทางสถิติพบว่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันแต่ในกรณีที่เดินขึ้น/ลงบันไดตามปกติ แต่ความเร็วในการเดินเฉลี่ยทั้งสองกลุ่มจะมีความแตกต่างกันทางสถิติก็ต่อเมื่อใช้ความเร่งรีบในการขึ้น/ลงบันได เนื่องจากกำลังกล้ามเนื้อส่วนขา (Leg Extensor Power) มีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเดิน กล่าวคือกลุ่มผู้สูงอายุมีกำลังกล้ามเนื้อส่วนขาน้อยกว่ากลุ่มวัยรุ่นและผู้ใหญ่

จากการทบทวนวรรณกรรมโครงสร้างพื้นฐานคนเดินเท้าสำหรับบันได สามารถสรุปค่าความเร็วในการเดินโดยจำแนกตามมุมบันได ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความเร็วในการเดินและมุมบันไดในแต่ละงานวิจัย

งานวิจัย	มุมบันได (องศา)	ความเร็วบันไดขาขึ้น (เมตร/วินาที)	ความเร็วบันไดขาลง (เมตร/วินาที)
Tanaboriboon and Guyano (1991)	35	0.50	0.60
	34	0.47	0.58
	28.61	0.54	0.61
	27.57	0.56	0.62
Fujiyama and Tyler (2004)	38.8	0.46	0.56
	35.5	0.54	0.615
	30.5	0.61	0.69
	24.6	0.74	0.84
Chen et al. (2010)	25.8	0.63	-
	24.4	-	0.77

2.4 ระดับการให้บริการ (Level of Service)

การศึกษาตัวแปรกระแสจราจรทำให้ทราบถึงพฤติกรรมและสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ ได้ โดยเรียกการประเมินทางเท่านี้ว่า ระดับการให้บริการ ซึ่ง HCM (2000) เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการประเมินสภาพกระแสจราจรคนเดินเท้าและประสิทธิภาพของทางเดินเท้า ในรูปแบบระดับการให้บริการ (Level of service : LOS) โดยแบ่งออกเป็น 6 ระดับ เริ่มจากระดับดีที่สุด A จนถึง ระดับที่แย่ที่สุด F ซึ่งระดับดังกล่าวจะแสดงความสะดวกสบายของคนเดินเท้าซึ่งจะขึ้นกับความหนาแน่นของพื้นที่ในช่วงขณะนั้น โดยแบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

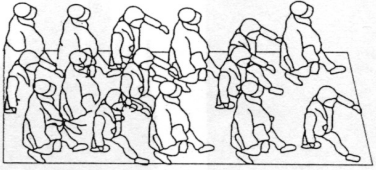
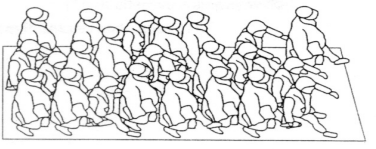
2.4.1 ทางเดินปกติ

ระดับการให้บริการของทางเดินปกติสามารถจำแนก ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 คำอธิบายระดับการให้บริการในระดับต่าง ๆ ของทางเดิน

ระดับการให้บริการ	ความหมาย	รูปภาพ
A	คนเดินเท้าสามารถเลือกทิศทางการเดินและใช้ความเร็วในการเดินได้อย่างอิสระ และไม่ได้รับอิทธิพลจากสิ่งกีดขวางหรือคนอื่น ๆ	
B	คนเดินเท้าสามารถเลือกทิศทางการเดินและใช้ความเร็วในการเดินได้อย่างอิสระ โดยอาจจะต้องหลบเลี่ยงคนเดินเท้าคนอื่น ๆ เพียงเล็กน้อย	
C	คนเดินเท้าใช้ความเร็วในการเดินได้เท่ากับความเร็วอิสระในการเดินผ่านคนเดินอื่น ๆ หากเป็นการเดินสวนกัน มีโอกาสจะเดินชนกันเพียงเล็กน้อย	
D	คนเดินเท้าใช้ความเร็วปกติ และไม่สามารถเดินผ่านคนอื่น ๆ ได้ หากเป็นการเดินสวนกัน มีโอกาสจะเดินชนกันค่อนข้างสูง	

ตารางที่ 2.6 คำอธิบายระดับการให้บริการในระดับต่าง ๆ ของทางเดิน (ต่อ)

ระดับการให้บริการ	ความหมาย	รูปภาพ
E	คนเดินเท้าใช้ความเร็วต่ำกว่าปกติ ช่วงของการก้าวเดินลดลง เริ่มมีการเดินชวยเท้า และไม่สามารถเดินผ่านคนอื่น ๆ ได้ ระดับการรองรับความจุของทางเท้าเข้าสู่ระดับสูงสุด	
F	ความเร็วของคนเดินเท้าถูกจำกัด การเดินทำได้แค่เพียงการเดินชวยเท้าและถูกเบียดเสียดกับคนเดินเท้าคนอื่น ๆ	

ที่มา : HCM (2000)

โดยตารางดังกล่าวเป็นเพียงการอธิบายระดับการให้บริการเชิงคุณภาพเท่านั้นซึ่งระดับการให้บริการในเชิงปริมาณนั้นพบว่าเป็นแต่ละประเทศนั้นมีการกำหนดเกณฑ์ที่มีค่าแตกต่างกันไปเนื่องจาก คุณลักษณะทางกายภาพของคนเดินเท้าในทวีปตะวันตกแตกต่างกับทวีปตะวันออกซึ่งอาจจะครอบคลุมถึงวัฒนธรรมที่แตกต่างกันด้วย

โดยตารางแสดงเกณฑ์การกำหนดระดับการให้บริการของประเทศต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ระดับการให้บริการของทางเท้าในแต่ละประเทศ

ระดับการให้บริการ	ค่าพื้นที่ (ตารางเมตร/คน)		
	สหรัฐอเมริกา HCM (2000)	ไทย Tanaboriboon and Guyano (1989)	จีน Wen, Yan, and Yu (2007)
A	≥ 3.72	≥ 2.38	≥ 3.3
B	2.3-3.7	1.60-2.38	2.3-3.3
C	1.4-2.3	0.98-1.60	1.4-2.3
D	0.9-1.4	0.65-0.98	0.9-1.4

ตารางที่ 2.7 ระดับการให้บริการของทางเท้าในแต่ละประเทศ (ต่อ)

ระดับการให้บริการ	ค่าพื้นที่ (ตารางเมตร/คน)		
	สหรัฐอเมริกา HCM (2000)	ไทย Tanaboriboon and Guyano (1989)	จีน Wen, Yan, and Yu (2007)
E	0.46-0.9	0.37-0.65	0.5-0.9
F	<0.46	<0.37	<0.5

2.4.2 บันได

สำหรับระดับการให้บริการของบันไดนั้นสามารถจำแนกออกเป็น 6 ระดับและมีความหมายใกล้เคียงกับตารางที่ 2.6 อย่างไรก็ตามพบว่าเกณฑ์การกำหนดระดับการให้บริการบันไดของประเทศต่าง ๆ มีความแตกต่างกันในแต่ละระดับการให้บริการ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ระดับการให้บริการของบันไดในแต่ละประเทศ

ระดับการให้บริการ	ค่าพื้นที่ (ตารางเมตร/คน)		
	สหรัฐอเมริกา HCM (2000)	บันไดขาขึ้น ประเทศจีน Cheung and Lam (1998)	บันไดขาลง ประเทศจีน Cheung and Lam (1998)
A	≥ 1.9	≥ 2.33	≥ 2.40
B	1.6-1.9	1.54-2.33	1.65-2.40
C	1.1-1.6	0.94-1.54	1.06-1.65
D	0.7-1.1	0.61-0.94	0.72-1.06
E	0.5-0.7	0.37-0.61	0.45-0.72
F	< 0.5	< 0.37	< 0.45

2.5 การจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์และศึกษากระแสจราจรคนเดินเท้าเริ่มเป็นที่นิยมเมื่อประมาณปี ค.ศ 2000 เป็นต้นมา เนื่องจากเหตุผลหลายประการ ได้แก่

- ผู้วิจัยสามารถเพิ่มตัวแปรและควบคุมตัวแปรได้ เนื่องจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในการศึกษาภาคสนามหรือสถานการณ์จริงนั้น บางเหตุการณ์มีโอกาสเกิดขึ้นจริงได้ยากซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวมีความจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ เช่น การศึกษาอพยพหนีไฟ (Liu, Song, Huo, & Jiang, 2014)
- สัดส่วนกระแสหรือทิศทางการไหลในการสถานการณ์จริงไม่คงที่ ทำให้มีข้อมูลในการวิเคราะห์ไม่เพียงพอต่อการสังเกตว่าสัดส่วนในปริมาณเท่าใดจะส่งผลกระทบต่อความเร็วในการเดิน เป็นไปได้ยากหากใช้ช่วงระยะสำรวจข้อมูลที่มีระยะสั้น ซึ่งการจำลองสถานการณ์นั้นสามารถกำหนดสัดส่วนหรือปัจจัยให้คงที่ตลอดการทดลองสถานการณ์หนึ่ง ๆ
- ข้อจำกัดทางการได้มาของข้อมูล ซึ่งมีความเป็นส่วนตัว ทำให้ไม่สามารถสำรวจภายในบางพื้นที่เช่น ทางเดินสถานีรถไฟฟ้า ทางเดินในห้างสรรพสินค้า
- การสำรวจข้อมูลให้ครอบคลุมทั่วทั้งช่วงของกระแสจราจรทั้งหมดทำได้ยากและใช้เก็บสำรวจเวลาค่อนข้างมาก หากต้องข้อมูลที่สามารถอธิบายหรือวิเคราะห์กระแสจราจรในกรณีปริมาณจราจรมีค่าน้อยหรือช่วงคิดไม่ชัด จนไปถึงปริมาณจราจรค่ามากหรือช่วงติดขัด (Wong et al., 2010) จะใช้เวลาเก็บค่อนข้างนานกว่ามากเนื่องจากไม่สามารถควบคุมปริมาณจราจรที่เกิดขึ้นจริงได้
- การจำลองสถานการณ์สามารถทำซ้ำโดยกำหนดเงื่อนไขให้คงที่ได้ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ค่อนข้างแม่นยำ

การทบทวนวรรณกรรมในหัวข้อนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมากเนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมเพื่อปรับปรุงและพัฒนาระเบียบวิธีวิจัยจากงานวิจัยในอดีต เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด โดย Montgomery (2017) อธิบายขั้นตอนการทดลองอย่างเป็นระบบดังนี้

- 1) กำหนดปัญหา
- 2) กำหนดตัวแปรตอบสนอง
- 3) กำหนดระดับของตัวแปร
- 4) กำหนดวิธีการทดลอง
- 5) ทำการทดลอง

- 6) ใช้สถิติในการวิเคราะห์ผล
- 7) สรุปผลและเสนอแนะ

Daamen and Hoogendoorn (2003) ได้ทำการศึกษากระแสจราจรคนเดินเนื่องจากต้องการข้อมูลที่จะนำไปใช้ปรับเทียบกับแบบจำลองเนื่องจากการใช้ข้อมูลกระแสจราจรคนเดินจากฝั่งทวีปเอเชีย นั้นไม่เหมาะสมกับฝั่งตะวันตก ซึ่งจะทำให้การศึกษาพฤติกรรมของคนเดินเท้าทั้งในระดับตัวแปรมหภาคและจุลภาค เบื้องต้นพบว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องและคาดว่าจะนำมาใช้ในทำการทดลองมีดังนี้

- ความเร็วในการเดิน แบ่งเป็น 3 ระดับ ช้า ปกติ เร็ว
- รูปแบบของกลุ่มในกระแสจราจร แบ่งเป็น เดินคนเดียว, เดินเป็นคู่, เดินเป็นกลุ่มใหญ่
- ความพยายามที่จะรักษาระดับความเร็วอิสระ แบ่งเป็น คนเดินที่จะพยายามปรับเปลี่ยนความเร็ว และคนเดินที่พยายามรักษาความเร็วอิสระให้ได้มากที่สุด
- ความหนาแน่น โดยเริ่มจาก 0% คือพื้นที่ว่างเปล่า ไปจนถึง 100% พื้นที่ที่ถูกใช้เต็ม ซึ่งจะใช้ตั้งแต่ 5%, 25%, 50%, 75% และ 95%
- คอขวด
- สิ่งกีดขวาง

จากการพิจารณาตัวแปรทั้งหมดที่กล่าวมาพบว่าเมื่อนำแต่ละสถานการณ์รวมกันพบว่าไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ครบถ้วนเนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านเวลา ดังนั้นจึงลดตัวแปรและช่วงระดับลงเหลือ 4 ตัวแปรดังนี้

- ความเร็วในการเดิน แบ่งออกเป็น 3 สถานการณ์ย่อย ได้แก่
 - 1) สถานการณ์ปกติ-ใช้ความเร็วปกติ 100%
 - 2) สถานการณ์ในสถานีรถไฟ-ใช้ความเร็วปกติ 60% : ใช้ความเร็วมากกว่าปกติ 40% โดยสมมติให้การใช้ความเร็วมากกว่าปกตินั้นคล้ายกับการเร่งรีบเดินขึ้นรถไฟ
 - 3) สถานการณ์ในย่านสรรพสินค้า-ใช้ความเร็วปกติ 60% : ใช้ความเร็วต่ำกว่าปกติ 40% โดยสมมติให้การใช้ความเร็วต่ำกว่าปกตินั้นคล้ายกับการเดินเลือกดูสินค้าบริเวณหน้าร้านค้าของห้างสรรพสินค้า
- ทิศทางในการเดิน แบ่งออกเป็น 6 สถานการณ์ย่อย ได้แก่
 - 1) ทิศทางเดียว 100% จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก

- 2) สองทิศทาง โดยแต่ละทิศทางมีสัดส่วนเท่ากัน (50% สำหรับทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก : 50% สำหรับทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก)
 - 3) สองทิศทาง โดยแต่ละทิศทางมีสัดส่วนไม่เท่ากัน (90% สำหรับทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก : 10% สำหรับตะวันออกไปทิศตะวันตก)
 - 4) สองทิศทาง มีการตัดกันของในแต่ละทิศทางมีสัดส่วนเท่ากัน (50% สำหรับทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก : 50% สำหรับทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก)
 - 5) สองทิศทาง มีการตัดกันของในแต่ละทิศทางมีสัดส่วนไม่เท่ากัน (90% สำหรับทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก : 10% สำหรับตะวันออกไปทิศตะวันตก)
 - 6) สี่ทิศทาง โดยแต่ละทิศทางมีสัดส่วนเท่ากัน (25% สำหรับทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก : 25% สำหรับทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก : 25% สำหรับทิศเหนือไปทิศใต้ : 25% สำหรับทิศใต้ไปทิศเหนือ)
- คอขวด แบ่งออกเป็น 3 สถานการณ์ย่อย ได้แก่
 - 1) ไม่มีคอขวด
 - 2) มีคอขวด ขนาดความกว้าง 2 เมตร
 - 3) มีคอขวด ขนาดความกว้าง 1 เมตร
 - ความหนาแน่น

ได้ทำการเพิ่มกลุ่มของคนเดินเข้าครั้งละ 8-10 คน โดยแต่ละกลุ่มจะเป็นเพิ่มค่าความหนาแน่นได้ครั้งละประมาณ 12.5% โดยจะเริ่มจาก 12.5%, 25%, 37.5%, 50%, 62.5%, 75%, 87.5% และ 100% ตามลำดับ

เมื่อทำการจำลองในสถานการณ์ที่มีคอขวดขนาด 1 เมตรพบว่า ในช่วงที่คนเดินสามารถใช้ความเร็วอิสระได้หรือกระแสจราจรบางเบาซึ่งมีค่าความหนาแน่น = 0.1 คน/ตารางเมตร จะพบพฤติกรรมคนเดินในลักษณะที่เดินตรงจุดกึ่งกลางของทางเดินคอขวดโดยพยายามห่างกับผนังให้มากที่สุด เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น พฤติกรรมคนเดินจะเริ่มเปลี่ยนแปลงโดยพยายามเดิน โดยแบ่งช่องจราจรเป็นสองทิศทาง แต่ก็พบว่าไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากขนาดของคอขวดที่มีเล็กเกินไป จึงทำได้เพียงการเปลี่ยนลักษณะการเดินเป็นการเดินเฉียงแทน

Seyfried, Steffen, Klingsch, and Boltes (2005) ได้ทำการศึกษา Fundamental Diagram เนื่องจาก การจำแนกขอบเขต (Domain) ในอดีตนั้น พบว่าช่วงความเร็วจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความเร็วกับความหนาแน่นเกิดจากปัจจัยแตกต่างกัน แต่ก็ยังมีความคลุมเครือเนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ส่งผลให้ความเร็วเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น การเดินแซง ความเสียดทานภายใน (Internal

friction) ของคนเดิน เกิดการเดินในลักษณะที่คล้ายกันหรือเดินตามกัน (Self-organization) เพื่อหลีกเลี่ยงปัจจัยดังกล่าวผู้วิจัยจึงสร้างการจำลองสถานการณ์ที่มีลักษณะทางเดินเป็นวงรอบ (Loop) กำหนดให้เป็นการเดินทิศทางเดียว และไม่ให้มีการเดินแข่งกันเพื่อที่จะลดปัจจัยการเกิดปฏิสัมพันธ์ (Interactions) ด้านข้างของคนแข่ง ที่จะส่งผลกระทบต่อความเร็วคนเดินเท้า พบว่าเมื่อความหนาแน่นปานกลางค่าความเร็วในการเดินและระยะการก้าว (Step length) จะเริ่มลดลง เนื่องจากผู้คนจะพยายามรักษาระยะห่าง (Safety margin) คนข้างหน้าไว้เพื่อไม่ให้เดินชนกัน และเมื่อความหนาแน่นมีค่ามากขึ้นพบว่ามีกลุ่มคนพยายามเดินโดยก้าวเท้าโดยพร้อมเพรียงกัน จากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาระยะห่างซึ่งเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเดินเป็นลักษณะเส้นตรง

Chattaraj, Seyfried, and Chakroborty (2009) ได้เปรียบเทียบความเร็วในการเดินอิสระระหว่างประเทศเยอรมนีกับอินเดีย ภายใต้การจำลองสถานการณ์ซึ่งสถานการณ์เหมือนกับ Seyfried et al. (2005) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองความเร็ว-ความหนาแน่นของทั้ง 2 ประเทศ พบว่าค่าความหนาแน่นสูงสุดของคนอินเดียมีค่า 2.61 คน/ตารางเมตร ซึ่งมากกว่าคนเยอรมันเนื่องจากคนอินเดียไม่ sensitive กับการเดินชิดกันซึ่งเป็นการแตกต่างทางวัฒนธรรม

Daamen and Hoogendoorn (2019) ได้ศึกษาวิธีการออกแบบสถานการณ์ต่าง ๆ โดยเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระแสจราจร โดยเหลือแค่ปัจจัย (1) ความเร็วในการเดิน (ความเร็วปกติ, เดินเร่งรีบ, เดินช้อปปิ้ง) (2) ทิศทางในการเดิน (ทิศทางเดียว, 2 ทิศทาง) (3) คอขวด (มี, ไม่มี) (4) ความหนาแน่น (น้อยไปมาก) โดยใช้ Full Factorial Design เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์กระแสจราจรในระดับจุลภาคและระดับมหภาค คอขวด มีลักษณะความกว้างของทางเดินจะลดลงในทันที ส่งผลให้กระแสจราจรเกิดการติดขัดได้ (Daamen, 2004) ได้จำลองสถานการณ์โดยเปรียบเทียบทางเดินที่มีขนาดความกว้างของคอขวด 1.0 เมตร และ 2.0 เมตร พบว่าคนเดินเท้าใช้ความเร็วเฉลี่ย 1.24 และ 0.815 เมตร/วินาที ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Seyfried et al. (2009) ซึ่งได้จำลองสถานการณ์โดยการกำหนดความกว้างคอขวด 0.8, 0.9, 1, 1.1 และ 1.2 เมตร พบว่าคนเดินเท้าใช้ความเร็วเฉลี่ย 1.18, 1.22, 1.17, 0.94 และ 0.99 เมตร/วินาที ตามลำดับ Hoogendoorn and Daamen (2005) สรุปว่าการเพิ่มความกว้างคอขวดจะส่งผลให้การไหลหรือความจุของทางเท้าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น

โดยการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสถานการณ์ทั้งหมดสามารถสรุปตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยต่าง ๆ

ผู้วิจัย (ปี)	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง
Daamen and Hoogendoorn (2003)	<ul style="list-style-type: none"> ● ความเร็วในการเดิน ● ทิศทางในการเดิน ● ความหนาแน่น ● คอขวด ● สิ่งกีดขวาง
Seyfried et al. (2005)	<ul style="list-style-type: none"> ● ความหนาแน่น
Chattaraj et al. (2009)	<ul style="list-style-type: none"> ● ความหนาแน่น ● ประเทศของผู้เข้าร่วม
Daamen and Hoogendoorn (2019)	<ul style="list-style-type: none"> ● ความเร็วในการเดิน ● ทิศทางในการเดิน ● คอขวด ● ความหนาแน่น
Seyfried et al. (2009)	<ul style="list-style-type: none"> ● คอขวด

2.6 สรุปการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการศึกษาระยะจร้าจรของคนเดินเท้าภายในประเทศไทยมีน้อยมากและงานวิจัยจากประเทศไทยที่ถูกอ้างอิงดังกล่าวได้ทำการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2534 ซึ่งผ่านมาเกือบ 30 ปีแล้ว โดยโครงสร้างพื้นฐาน บริเวณแวดล้อม ทางเดิน และพฤติกรรมต่าง ๆ คนเดินเท้าในประเทศไทยได้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด เช่น มีการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าและกำลังก่อสร้างเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต ทางเดินถูกปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น การใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินนั้นสามารถเป็นที่พบเห็นได้ทั่วไปไปตามสถานที่ต่าง ๆ

อย่างไรก็ดีถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสถานการณ์กระแสร้าจรคนเดินเท้าภายในต่างประเทศอยู่บ้าง มีการแบ่งระดับสัดส่วนปัจจัยของตัวแปรต่าง ๆ มากมาย แต่ก็เป็น การแบ่งสัดส่วนจากการสมมติ อีกทั้งยังไม่มีการนำปัจจัยการใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินมาทำการจำลองสถานการณ์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ผู้วิจัยคาดว่า การใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินนี้อาจส่งผลกระทบต่อกระแสร้าจรโดยรวมทั้งหมด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษากระแสจราจรโดยการจำลองสถานการณ์ให้พยายามใกล้เคียงกับความเป็นจริงให้มากที่สุด โดยพยายามนำสัดส่วนต่าง ๆ เช่น สัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดิน สัดส่วนการสะพายกระเป๋าเป้ สัดส่วนการเดินอย่างเร่งรีบเพื่อขึ้นรถไฟฟ้า จากการศึกษาจริงมาทำการจำลองสถานการณ์ในงานวิจัยนี้ โดยวิธีการหาสัดส่วน และขั้นตอนการศึกษาต่าง ๆ นั้นจะกล่าวในบทถัดไป



บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาในการศึกษาลักษณะกระแสรายจรของคนเดินเท้าระดับมหภาคโดยการจำลองสถานการณ์ ทำการศึกษาโดยใช้ทฤษฎีกระแสรายจรในการวิเคราะห์ โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยประกอบไปด้วย 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ส่วนที่ 2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ส่วนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ส่วนที่ 4 การตีความผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

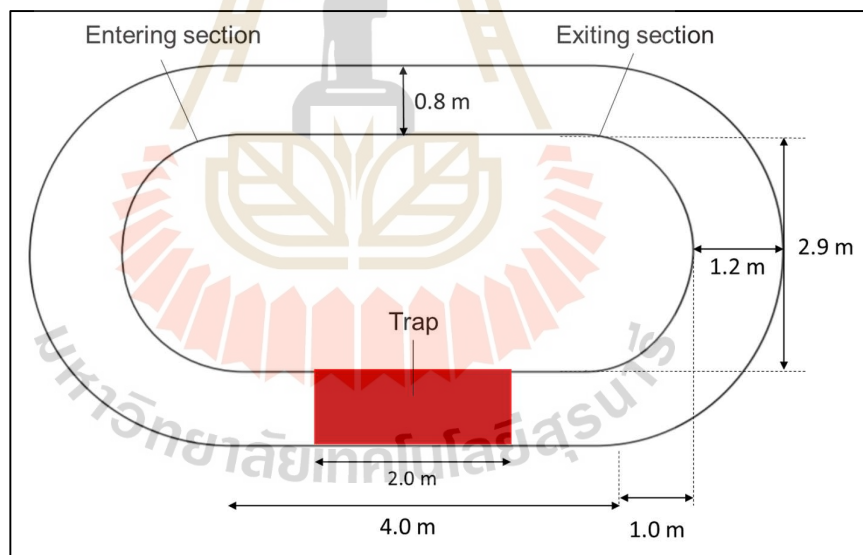
การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาลักษณะกระแสรายจรของคนเดินเท้าแบบมหภาคโดยการจำลองสถานการณ์ ซึ่งจำเป็นต้องเก็บสำรวจข้อมูลภาคสนามก่อนเพื่อศึกษาสภาพการจราจรทั้งหมดภายในสถานีรถไฟฟ้า ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (07.00-08.00 น.) เพื่อต้องการทราบถึงค่าสัดส่วนผู้ใช้โทรศัพท์มือถือ การสะพายกระเป๋าเป้ การเดินเร่งรีบ ของคนเดินในบริเวณทางเดินภายในอาคารอย่างคร่าว ๆ ซึ่งการสำรวจนี้เป็นการสำรวจเบื้องต้น (Pilot survey) เท่านั้น จากนั้นนำสัดส่วนดังกล่าวมาทำการจำลองโดยสร้างสถานการณ์แทน ซึ่งสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้ดังนี้

- กำหนดตัวแปรตอบสนอง
- เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจเบื้องต้น
- กำหนดระดับของตัวแปร
- กำหนดวิธีการจำลองสถานการณ์
- เก็บรวบรวมข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์
- วิเคราะห์ผลข้อมูลเบื้องต้น
- วิเคราะห์ผลข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ
- วิเคราะห์ผลข้อมูลด้วยการใช้แบบจำลอง

3.1.1 สถานที่สำรวจข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้กำหนดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของพื้นที่จำลองให้คล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Seyfried et al. (2005) เนื่องจากการจำลองสถานการณ์จากงานวิจัยดังกล่าว ได้การป้องกันปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อกระแสจราจร เช่น การเดินแซง ความเสียดทานภายในของคนเดิน หรือ interaction ระหว่างคนเดิน

โดยสถานที่เก็บข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้ ทางเดินมีลักษณะเป็นวงรอบ (Loop) แบบปิด ล้อมรอบด้วยเชือกและเก้าอี้ ความยาวของทางเดิน 17.3 เมตร ความกว้างของทางเดินตรง 0.8 เมตรและความกว้างของทางเดินขณะเลี้ยว 1.2 เมตร โดยความกว้างของทางเดินนั้นเหมาะสมกับการเดินที่มีลักษณะเป็นแถวเดิน มีทางเข้า (Entering section) เพื่อให้ผู้เข้าร่วมเข้าสู่การทดลองจะอยู่ทางด้านซ้ายมือ เมื่อผู้เข้าร่วมเสร็จสิ้นการทดลองก็จะออกตรงบริเวณทางออก (Exiting section) ทางเดินจุดที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูลหรือจุด Trap 2 เมตร ดังรูปที่ 3.1 โดยทำการเก็บข้อมูลภายในอาคารปฏิบัติการ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา



รูปที่ 3.1 พื้นที่การจำลองสถานการณ์

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาในครั้งนี้ใช้ผู้เข้าร่วมทั้งหมด 34 คน ซึ่งเป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทั้งหมด โดยผู้เข้าร่วมทุกคนจะได้รับการแนะนำก่อนทำการจำลองสถานการณ์

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ผู้เข้าร่วมจะต้องใช้ความเร็วในการเดินปกติ ไม่มีการแข่งกัน ไม่มีการเดินชนกัน และไม่มีการตื่นตระหนกระหว่างเดิน ยกเว้นจะได้รับเป็นคำสั่งอย่างอื่นซึ่งจะกล่าวในหัวข้อการออกแบบสถานการณ์

โดยการจำลองสถานการณ์นั้นจะจำแนกจำนวนคนตามช่วงของความหนาแน่นของพื้นที่วิ่งรอบ เนื่องจากต้องการข้อมูลของกระแสร่างจรที่ครอบคลุมในกรณีที่มีความหนาแน่นจากน้อยไปมาก แบ่งเป็นจำนวน 5 สถานการณ์ย่อย 15, 20, 25, 30 และ 34 คน ซึ่งต่อไปผู้วิจัยจะใช้ตัวย่อว่า N = 15, 20, 25, 30 และ 34 ตามลำดับ โดยในแต่ละสถานการณ์ย่อยนี้ ลำดับของการเดินจะถูกสุ่มอย่างง่าย (Random sampling) จากกลุ่มตัวอย่างหรือผู้เข้าร่วมทั้งหมด 34 คน โดยการเข้าสู่พื้นที่วิ่งรอบนั้นผู้เข้าร่วมทั้งหมดของสถานการณ์ย่อยจะตั้งแถวอยู่นอกบริเวณ Entering section และทิศทางการเดินมีลักษณะการเดินวนตามเข็มนาฬิกาเป็นแถววงกลม

เนื่องจากสถานการณ์ย่อยที่ใช้คนเดินจำนวน 30 และ 34 นั้น การเก็บข้อมูลกระแสร่างจรภายในวงรอบภายในครั้งเดียวนั้นไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์กระแสร่างจรเนื่องจากคนปลายแถวยังไม่ได้เข้าร่วม และกระแสร่างจรยังไม่เกิดสภาวะคงที่ เพื่อเป็นขจัดข้อจำกัดดังกล่าวผู้วิจัยจึงกำหนดให้เก็บข้อมูลเป็นจำนวนการเดิน 3 รอบถึง 4 รอบต่อสถานการณ์ย่อย จากนั้นจึงเลือกนำข้อมูลกระแสร่างจรที่มีจำนวนเท่ากับจำนวนผู้เข้าร่วมของสถานการณ์ย่อยนั้น ๆ มาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.2 การสำรวจข้อมูล

การสำรวจข้อมูลในงานวิจัยนี้จะมีความแตกต่างกันไปในเรื่องของการสำรวจข้อมูล เช่น ตัวแปรและสถานที่ ดังนั้นผู้วิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ (1) การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น (2) การสำรวจข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์

3.2.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น

จากการทบทวนงานวิจัยที่ก่อนหน้านี้ จึงทำให้ผู้วิจัยทราบว่ามีปัจจัยมากมายที่ส่งผลให้กระแสร่างจรเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อกระแสร่างจรค่อนข้างสูงและเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นปกติ สามารถสังเกตได้ง่ายในชีวิตประจำวัน ได้แก่ (1) การใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดิน (2) การสะพายกระเป๋าเป้ (3) การเดินเร่งรีบ โดยผู้วิจัยจะสำรวจปริมาณการจราจร ภายในสถานีรถไฟฟ้าวัดจันทร์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (07.00-08.00 น.) และทำการคำนวณสัดส่วนเพื่อนำมาปรับใช้ในการจำลองสถานการณ์

พบว่าสัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือและการสะพายกระเป๋าเป้มีสัดส่วนประมาณ 15% จากปริมาณจราจรที่สำรวจมาจากภาคสนามทั้งหมด อย่างไรก็ตามการหาสัดส่วนโดยตรงสำหรับการเดินเร่ร่อนนั้นค่อนข้างยากเนื่องจากค่อนข้างเป็นอัตวิสัยแก่ผู้วิจัย ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าปัจจัยนี้จะส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงรวมปัจจัยนี้เข้าไปด้วย โดยผู้วิจัยใช้จำนวนความถี่ในการก้าวเดิน ซึ่งสามารถวัดหรือเก็บข้อมูลได้โดยมีหน่วยเป็น ก้าว/วินาที แทนการเดินเร่ร่อน จากนั้นจึงตั้งสมมติฐานและใช้วิธีการทางสถิติในการประมาณสัดส่วนดังกล่าว โดยมี 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) อนุมานข้อมูลจำนวนความถี่ในการก้าวเดินที่ได้จากการสำรวจมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution)

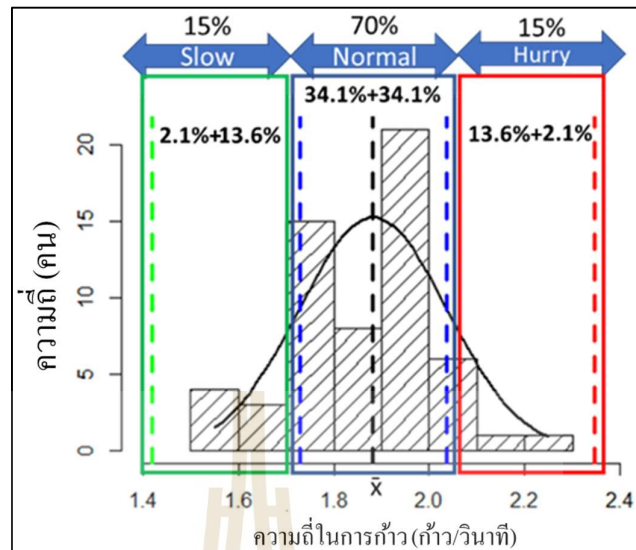
2) ทดสอบ Shapiro-Wilk test กับ ข้อมูลดังกล่าว ที่ระดับนัยสำคัญ 5% โดยกำหนดให้

H_0 : ข้อมูลดังกล่าวมีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลดังกล่าวไม่มีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ

3) จากการทดสอบ พบว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ดังนั้นจึงอนุมานได้ว่าจำนวนความถี่ในการก้าวเดินมีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

4) ใช้กฎเชิงประจักษ์ (Empirical rule) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของการกระจายตัวแบบปกติ โดยการแบ่งสัดส่วนการเดินเร่ร่อนจะใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนความถี่ในการก้าวเดินที่ได้จากการสำรวจ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การกระจายตัวของข้อมูลความเร็วในการก้าวจากการสำรวจภาคสนามเบื้องต้น

จากการกระจายตัวดังกล่าวสามารถจำแนกจำนวนความเร็วในการก้าวเดิน ออกเป็น 3 ระดับดังนี้

- ความเร็วในการก้าวเดินอยู่ในช่วง $[\bar{x} - 1\sigma, \bar{x} + 1\sigma]$ แทน การเดินโดยใช้ความเร็วปกติ
- ความเร็วในการก้าวเดินอยู่ในช่วง $[\bar{x} - 3\sigma, \bar{x} - 1\sigma]$ แทน การเดินโดยใช้ความเร็วต่ำกว่าปกติ (ช้า)
- ความเร็วในการก้าวเดินอยู่ในช่วง $[\bar{x} + 1\sigma, \bar{x} + 3\sigma]$ แทน การเดินโดยใช้ความเร็วสูงกว่าปกติ (เร่งรีบ)

5) จากการใช้กฎเชิงประจักษ์สามารถประมาณค่าสัดส่วนของการเดินในระดับต่าง ๆ ดังนี้

- ความเร็วปกติ $34.1\% + 34.1\% = 68.2\%$ บัตรตัวเลขสัดส่วนเป็น 70%
- ความเร็วต่ำกว่าปกติ (ช้า) $2.1\% + 13.6\% = 15.7\%$ บัตรตัวเลขสัดส่วนเป็น 15%
- ความเร็วสูงกว่าปกติ (เร่งรีบ) $2.1\% + 13.6\% = 15.7\%$ บัตรตัวเลขสัดส่วนเป็น 15%

จากการตั้งสมมติฐานและการใช้วิธีการทางสถิติสามารถสรุปได้ว่า การเดินเร่งรีบจากการเดินช้าและเดินเร่งรีบมีส่วนประมาณ 15% จากปริมาณจราจรที่สำรวจมาทั้งหมด

3.2.2 การสำรวจข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์

การสำรวจข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์จะสำรวจตัวแปรเป็นจำนวน 2 ตัว ได้แก่ (1) ตัวแปรความเร็วในการเดิน (2) ความหนาแน่นของคนเดินเท้า โดยใช้กล้องวิดีโอบันทึกตลอดระหว่างการจำลองสถานการณ์แล้วจึงถอดข้อมูลจากไฟล์วิดีโอ ซึ่งการจำลองสถานการณ์จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

(1) ความเร็วในการเดิน (Walking speed)

เพื่อความสะดวกในการหาความเร็วในงานวิจัยนี้เลือกใช้ความเร็วเฉพาะตำแหน่งเฉลี่ย (Time mean speed) แทนการใช้ความเร็วตามระยะทางเฉลี่ย (Space mean speed) ในการหาความเร็วในการเดิน เนื่องจากค่าความแปรปรวนความเร็วในการเดินของคนนั้นแตกต่างกันและมีค่าน้อยกว่าค่าความแปรปรวนความเร็วของยานพาหนะ โดยค่าความแปรปรวนความเร็วในการเดินของคนมีค่าประมาณจุดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ซึ่งถือว่าน้อยมาก ดังนั้นจึงอนุมานให้ความเร็วเฉพาะตำแหน่งเฉลี่ยเท่ากับความเร็วตามระยะทางเฉลี่ย โดยความเร็วในการเดินของแต่ละคนสามารถหาได้จากเวลาที่เข้าสู่จุด Trap และเวลาออกจากจุด Trap ($t_i^{out} - t_i^{in}$) โดยดูจากเส้นที่ขีดไว้ ดังสมการ 3.1

$$v_i = \frac{l_m}{t_i^{out} - t_i^{in}} \quad (3.1)$$

โดยที่ v_i คือ ความเร็วเฉพาะตำแหน่งเฉลี่ยในการเดินของคนที่ i (เมตร/วินาที)

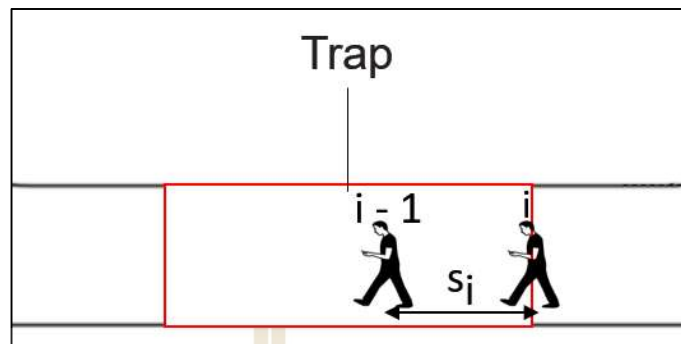
l_m คือ ความยาวจุด Trap (เมตร)

t_i^{out} คือ เวลาที่ออกจุด Trap ของคนที่ i

t_i^{in} คือ เวลาที่เข้าจุด Trap ของคนที่ i

(2) ความหนาแน่น (Density)

การหาความหนาแน่นของพื้นที่นั้นจะใช้ตัวแปรระยะห่าง (Spacing) ซึ่งเป็นส่วนกลับของ ความหนาแน่น โดยการหารระยะห่างของแต่ละคนจะวัดจากช่วงไบหูของคนที่ i และคนก่อนหน้า $i - 1$ ดังรูปที่ 3.3 และสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.2



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการวัดระยะห่าง

$$\rho_i = \frac{1}{s_i} \quad (3.2)$$

โดยที่ ρ_i คือ ความหนาแน่นของคนที่ i (คน/ตารางเมตร)

s_i คือ ระยะห่างระหว่างคนที่ i กับคนก่อนหน้าที่ $i-1$ (เมตร)

3.3 การออกแบบสถานการณ์

การออกแบบสถานการณ์ได้นำปัจจัยและสัดส่วนที่คำนวณมาจากการสำรวจเบื้องต้น จากนั้นทำการคำนวณสัดส่วนดังกล่าวเพื่อกำหนดระดับของสัดส่วนในกรณีของการจำลองสถานการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นจริงได้น้อยมาก เช่น สถานการณ์ที่ไม่มีคนเดินเร่งรีบในช่วงโมงเร่งด่วนเช้า หรือสถานการณ์ที่มีสัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินมากกว่าสัดส่วนที่มาจาก การสำรวจเบื้องต้น ลักษณะรูปแบบที่มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยนี้ อาจส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรใน อนาคต และสามารถเปรียบเทียบได้ว่าสถานการณ์ดังกล่าวเกิดความเปลี่ยนแปลงหรือไม่เมื่อ เปรียบเทียบกับไม่มีปัจจัยนั้น ดังนั้นจึงกำหนดให้สัดส่วนนั้นมีค่าน้อยมากหรือมีค่ามากกว่าสัดส่วน ที่มาจากการสำรวจเบื้องต้น

ดังนั้นผู้วิจัยจะกำหนดหรือเรียกชื่อสถานการณ์ที่มีสัดส่วนคล้ายคลึงสถานการณ์ที่มาจากการสำรวจจริงนั้นว่า “สถานการณ์ปัจจุบัน” ส่วนสถานการณ์ที่มีสัดส่วนมากกว่า น้อยกว่า ซึ่ง แตกต่างกันจากสถานการณ์ที่มาจากการสำรวจจริง ว่า “สถานการณ์สุดโต่ง”

3.3.1 ความเร็วในการเดิน

การกำหนดสัดส่วนความเร็วในการเดินออกเป็น 4 สถานการณ์ประกอบไปด้วย สัดส่วนความเร็วในการเดิน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนความเร็วในการเดินในแต่ละสถานการณ์

สถานการณ์	สัดส่วนความเร็ว น้อยกว่าปกติ	สัดส่วน ความเร็วปกติ	สัดส่วน ความเร็วมากกว่าปกติ
ปัจจุบัน	15%	70%	15%
เดินปกติสุดโต่ง	-	100%	-
เดินเร่งรีบสุดโต่ง	-	70%	30%
เดินช้าสุดโต่ง	30%	70%	-

3.3.2 การใช้โทรศัพท์มือถือ

สัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดิน แบ่งออกเป็น 3 สถานการณ์ โดย สถานการณ์ปัจจุบันนั้นคำนวณจากการปริมาณผู้ใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินบริเวณที่ทำการสำรวจข้อมูลพบว่ามีสัดส่วนประมาณ 15 % จากปริมาณจราจรคนเดินเท้าทั้งหมดตลอดช่วงเวลาที่ทำการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น

ต่อมาการออกแบบสัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือสุดโต่งผู้วิจัยจะอนุมานโดยใช้ กระจายตัวแบบปัวซอง (Poisson) กำหนดให้การใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินเป็นจำนวน สถานการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง กล่าวคือ สัดส่วนการใช้มือถือต่อช่วงเวลา 5 นาที ซึ่งจะทำให้การ หาค่า λ ในกรณีสถานการณ์ปกติก่อน คือ 8 คน/นาที จากนั้นผู้วิจัยจะใช้ช่วงขอบบนความเชื่อมั่น (Upper confidence interval) ที่ 99% เพื่อหาสัดส่วนผู้ใช้โทรศัพท์มือถือสุดโต่ง พบว่า λ มีค่า 21 คน ต่อนาทีเมื่อแปลงเป็นสัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือจะได้สัดส่วนประมาณ 30% และสัดส่วนกรณี ไม่มีผู้ใช้โทรศัพท์มือถือผู้วิจัยจะให้เป็นสัดส่วน 0% ซึ่งหมายความว่าไม่มีผู้ใช้โทรศัพท์มือถือใน กระแสจราจร สรุปได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนการใช้โทรศัพท์ในแต่ละสถานการณ์

สถานการณ์	สัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือ	สัดส่วนการเดินปกติ
ปัจจุบัน	15%	85%
การใช้โทรศัพท์มือถือสุดโต่ง	30%	70%
ไม่มีการใช้โทรศัพท์มือถือ	-	100%

3.3.3 การสะพายกระเป๋า

สัดส่วนการสะพายกระเป๋าเป้ แบ่งออกเป็น 3 สถานการณ์ โดยสถานการณ์ปัจจุบันนั้นคำนวณจากการปริมาณผู้ที่สะพายกระเป๋าระหว่างเดิน โดยนับผู้ที่สะพายกระเป๋าที่มีลักษณะสะพายหลังเท่านั้น จากการสำรวจข้อมูลพบว่ามีสัดส่วนประมาณ 15 % จากปริมาณจราจรคนเดินเท้าทั้งหมดตลอดช่วงเวลาที่ทำการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น

โดยสัดส่วนการสะพายกระเป๋าเป้สุดโต่งผู้วิจัยจะอนุมานโดยใช้กระจายตัวแบบปัวซอง (Poisson) กำหนดให้การสะพายกระเป๋าเป้ เป็นจำนวนสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง กล่าวคือ สัดส่วนการสะพายกระเป๋าเป้ต่อช่วงเวลา 5 นาที ซึ่งจะทำการหาค่า λ ในกรณีสถานการณ์ปกติก่อน คือ 8 คน/นาที จากนั้นผู้วิจัยจะใช้ช่วงขอบบนความเชื่อมั่น (Upper confidence interval) ที่ 99% เพื่อหาสัดส่วนผู้ใช้โทรศัพท์มือถือสุดโต่ง พบว่า λ มีค่า 21 คนต่อนาทีเมื่อแปลงเป็นสัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือจะได้สัดส่วนประมาณ 30% และสัดส่วนกรณีไม่มีการสะพายกระเป๋าผู้วิจัยจะให้เป็นสัดส่วน 0% ซึ่งหมายความว่าไม่มีการสะพายกระเป๋าเป้ในกระแสจราจร ดังสรุปดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนการสะพายกระเป๋าในแต่ละสถานการณ์

สถานการณ์	สัดส่วนการสะพายกระเป๋า	สัดส่วนการสะพายกระเป๋า
ปัจจุบัน	15%	85%
การสะพายกระเป๋าสุดโต่ง	30%	70%
ไม่มีการสะพายกระเป๋า	-	100%

3.4 การกำหนดกิจกรรมให้ผู้เข้าร่วม

เมื่อทราบสัดส่วนของสถานการณ์ต่าง ๆ แล้ว ต่อมาจึงกำหนดให้ผู้เข้าร่วมนั้นกระทำกิจกรรม อย่างใดอย่างหนึ่ง จาก 3 ปัจจัยที่กล่าวมา ได้แก่ เดินอย่างเร่งรีบ ใช้โทรศัพท์มือถือ สะพายกระเป๋า โดยเลือกทำการสุ่มอย่างเป็นระบบแบบวงกลม (Circular systematic sampling) โดยมีขั้นตอนการสุ่มดังนี้ (สำนักนโยบายและวิชาการสถิติ, 2555)

- 1) ให้เลขเรียงลำดับแก่หน่วยทุกหน่วยในประชากรหรือในที่นี้คือผู้เข้าร่วมได้ $1, 2, 3, \dots, N$
- 2) ให้ n เป็นขนาดตัวอย่างที่กำหนดไว้
- 3) คำนวณค่าช่วงการสุ่ม (Sampling interval : I) โดยที่ $I = N / n$
- 4) เลือกเลขสุ่มเริ่มต้น (Random start : R) โดยที่ R ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง N (เลขจำนวนเต็ม) โดยค่า R ในงานวิจัยนี้จะถูกสุ่มด้วยเลขสุ่มคอมพิวเตอร์
- 5) หน่วยที่ถูกเลือกจะถูกใช้เป็นตัวอย่างเป็นการจำลองสถานการณ์ คือ หน่วยที่มีเลขลำดับที่ตรงกับค่า $R, R + I, R + 2I, R + 3I, \dots, R + (n-1)I$

โดยผู้วิจัยจะขอยกตัวอย่างการสุ่มอย่างเป็นระบบแบบวงกลมสำหรับ สถานการณ์ตัวอย่าง 1 สถานการณ์ย่อย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ มีผู้เข้าร่วม 30 คน สัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือ 15% นอกเหนือจากนั้นผู้เข้าร่วมจะเดินด้วยความเร็วปกติ

- 1) ให้เลขเรียงลำดับกับหน่วยทุกหน่วยในประชากรของสถานการณ์ย่อยได้ $N = 30$
- 2) ให้ n เป็นขนาดตัวอย่างที่กำหนด สามารถคำนวณได้จาก ขนาดตัวอย่างสำหรับผู้เข้าร่วมที่ต้องใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดิน $n = 30 \times 15/100 = 4.25 = 4$ (หากมีทศนิยมให้ปัดลง)
- 3) คำนวณค่าช่วงการสุ่ม $I = N / n = 30 / 4 = 7.5 = 7$
- 4) เลือกเลขสุ่มเริ่มต้น โดยมีค่าการสุ่มอยู่ระหว่าง 1 ถึง 7 สุ่มได้เลข $R = 2$
- 5) หน่วยที่มีเลขลำดับที่ตรงกับค่า $R, R + I, R + 2I, R + 3I, R + 4I$ คือ
 $2, 2 + 7, 2 + (2)7, 2 + 3(7)$
- 6) ดังนั้นหน่วยที่มีเลขลำดับที่ตรงกับค่า 2, 9, 16 และ 23 ของสถานการณ์ย่อยนี้ ผู้เข้าร่วมจะต้องใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดิน

3.5 สรุปการออกแบบสถานการณ์

เมื่อนำสถานการณ์ดังกล่าวมารวมกันสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สรุปการออกแบบสถานการณ์

ความเร็ว	การใช้โทรศัพท์มือถือ	การสะพายกระเป๋า
A : สถานการณ์ปัจจุบัน (ความเร็วปกติ 70%:ช้า 15%: เร่งรีบ 15%)	E : สถานการณ์ปัจจุบัน(ใช้มือ ถือ 15%:ไม่ใช้มือถือ 85%)	H : สถานการณ์ปัจจุบัน (สะพาย 15%:ไม่สะพาย 85%)
B : สถานการณ์สุดโต่ง (ความเร็วปกติ 100%)	F : สถานการณ์สุดโต่ง (ใช้มือถือ 30%: ไม่ใช้มือถือ 70%)	I : สถานการณ์สุดโต่ง (สะพาย 30%: ไม่สะพาย 70%)
C : สถานการณ์สุดโต่ง (ความเร็วปกติ 70%: ช้า 30%)	G : สถานการณ์สุดโต่ง (ไม่ใช้มือถือ 100%)	J : สถานการณ์สุดโต่ง (ไม่สะพาย 100%)
D : สถานการณ์สุดโต่ง (ความเร็วปกติ 70%: เร็ว 30%)		

เมื่อทำการรวม (Combinations) ในแต่ละสถานการณ์เพื่อทำการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูล พบว่ามีทั้งสิ้น $4 \times 3 \times 3 = 36$ สถานการณ์ ซึ่งใช้งบประมาณค่อนข้างสูงและใช้เวลาสำรวจข้อมูลค่อนข้างนาน ด้วยข้อจำกัดนี้จึงออกแบบให้เป็นการศึกษาเบื้องต้นกล่าวคือ ผู้วิจัยจะศึกษาผลกระทบครั้งละปัจจัย เช่น หากผู้วิจัยจะทำการศึกษาปัจจัยความเร็ว ผู้วิจัยจะเปลี่ยนสถานการณ์หรือสัดส่วนของการใช้ความเร็วเท่านั้น โดย 2 ปัจจัยที่เหลือ (การใช้โทรศัพท์มือถือ และการสะพายกระเป๋า) ผู้วิจัยจะคงไว้เป็นสถานการณ์ปัจจุบัน จากการศึกษาครั้งละปัจจัยทำให้เหลือสถานการณ์ที่ต้องเก็บข้อมูลเพียง 8 สถานการณ์ ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สรุปสถานการณ์ที่ต้องสำรวจข้อมูล

สถานการณ์	ความเร็ว				การใช้โทรศัพท์มือถือ			การสพายกระเป๋า		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1 : ปัจจุบัน	X				X			X		
2 : เดินปกติสุดโต่ง		X			X			X		
3 : เดินช้าสุดโต่ง			X		X			X		
4 : เดินเร็วสุดโต่ง				X	X			X		
5 : ใช้มือถือสุดโต่ง	X					X		X		
6 : ไม่ใช้มือถือ	X						X	X		
7 : สพายเป้สุดโต่ง	X				X				X	
8 : ไม่สพายเป้	X				X					X

โดยตัวอย่างผลการคำนวณสัดส่วนของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งมีจำนวนทั้ง 8 สถานการณ์ จากกรณี
ที่ผู้เข้าร่วมมี 15 คน หรือ $N = 15$ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 จำนวนผู้เข้าร่วมปัจจัยต่าง ๆ ภายใน 8 สถานการณ์

สถานการณ์ $N = 15$	จำนวนผู้เข้าร่วม (คน)				
	เดินเร็ว	เดินปกติ	เดินช้า	ใช้มือถือ	สพายเป้
1 : ปัจจุบัน	2	9	2	1	1
2 : เดินปกติสุดโต่ง	0	11	0	2	2
3 : เดินช้าสุดโต่ง	0	9	4	1	1
4 : เดินเร็วสุดโต่ง	4	9	0	1	1
5 : ใช้มือถือสุดโต่ง	1	8	1	4	1
6 : ไม่ใช้มือถือ	2	9	2	0	2
7 : สพายเป้สุดโต่ง	1	8	1	1	4

ตารางที่ 3.6 จำนวนผู้เข้าร่วมปัจจัยต่าง ๆ ภายใน 8 สถานการณ์ (ต่อ)

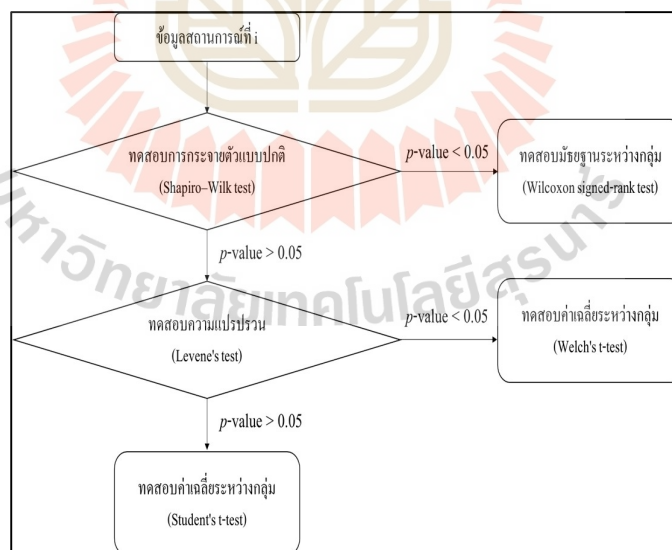
สถานการณ์ N = 15	จำนวนผู้เข้าร่วม (คน)				
	เดินเร็ว	เดินปกติ	เดินช้า	ใช้มือถือ	สะพายเป้
8 : ไม่สะพายเป้	2	9	2	2	0

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน ได้แก่ (1) การวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างระหว่างสถานการณ์และกลุ่มภายในสถานการณ์ (2) การวิเคราะห์ถดถอยเพื่อสร้างแบบจำลอง (3) การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

3.6.1 การวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างระหว่างสถานการณ์และกลุ่มภายในของสถานการณ์

การวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างระหว่างสถานการณ์ทำการวิเคราะห์โดยเริ่มจาก (1) การทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ (2) การทดสอบความแปรปรวน (3) การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสถานการณ์ สามารถเขียนเป็นผังขั้นตอนการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ผังการวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างระหว่างสถานการณ์

1) การทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ

Shapiro and Wilk (1965) หรือการทดสอบ Shapiro–Wilk ใช้ทดสอบกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลว่ามีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ดังสมการ 3.3

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.3)$$

$$a_i = a_1, \dots, a_n = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1})^{1/2}}$$

$$m = (m_1, \dots, m_n)$$

โดยที่

- W คือ ค่าสถิติ W
- $x_{(i)}$ คือ ลำดับที่ i (Order statistic) ของข้อมูล
- x_i คือ ค่าลำดับที่ i ของข้อมูล
- \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
- a_i คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์ a ลำดับที่ i
- m_n คือ ค่าคาดหวังลำดับที่ i ของข้อมูลที่มีการแจกแจงเหมือนกันและเป็นอิสระต่อกันจากการกระจายตัวแบบปกติ
- m^T คือ เมทริกซ์สลับเปลี่ยน (Transpose matrix) ของ m
- V คือ เมทริกซ์ของค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) ของลำดับข้อมูล

โดยมีสมมติฐานการทดสอบดังนี้

H_0 : ข้อมูลมีรูปแบบแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่มีรูปแบบแจกแจงแบบปกติ

2) การทดสอบความแปรปรวน

Levene (1961) หรือการทดสอบ Levene เสนอวิธีการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลซึ่งไม่มีกำหนดลักษณะการแจกแจงของข้อมูล ดังสมการ 3.4

$$W = \frac{(N - k) \sum_{i=1}^k N_i (\bar{Z}_i - \bar{Z})^2}{(k - 1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_i)^2} \quad (3.4)$$

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} Z_{ij}$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} Z_{ij}$$

$$Z_{ij} = |x_{ij} - \bar{x}_i|$$

โดยที่ W คือ ค่าสถิติ W
 \bar{Z}_i คือ ค่าเฉลี่ยของ Z_{ij} ของกลุ่ม i
 \bar{Z} คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม Z_{ij} ทั้งหมด
 Z_{ij} คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม i
 k คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
 x_{ij} คือ ข้อมูลลำดับที่ j ในกลุ่มตัวอย่างที่ i
 \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ i

โดยมีสมมติฐานการทดสอบดังนี้

H_0 : ความแปรปรวนของกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 มีค่าเท่ากัน

H_1 : ความแปรปรวนของกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 มีค่าแตกต่างกัน

3) การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

Ott and Longnecker (2015) แบ่งการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มออกเป็น

3 กรณี ได้แก่

3.1) การทดสอบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มตัวอย่างที่มีการแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนเท่ากัน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.5

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (3.5)$$

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

โดยที่	t	คือ	ค่าสถิติ t
	\bar{x}	คือ	ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
	s_p	คือ	ค่าความแปรปรวนร่วม (Pooled variance)
	s	คือ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของกลุ่มตัวอย่าง
	s^2	คือ	ความแปรปรวน (Variance) ของกลุ่มตัวอย่าง
	n_1, n_2	คือ	ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และกลุ่มตัวอย่างที่ 2

โดยมีสมมติฐานการทดสอบดังนี้

H_0 : ความค่าเฉลี่ยของกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 มีค่าเท่ากัน

H_1 : ความค่าเฉลี่ยของกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 มีค่าแตกต่างกัน

3.2) การทดสอบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มตัวอย่างที่มีการแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันหรือเรียกว่าการทดสอบ Welch สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.6

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (3.6)$$

โดยที่	t	คือ ค่าสถิติ t
	\bar{x}	คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
	s	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง
	s^2	คือ ความแปรปรวน (Variance) ของกลุ่มตัวอย่าง
	n_1, n_2	คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และกลุ่มตัวอย่างที่ 2

โดยมีสมมติฐานการทดสอบดังนี้

H_0 : ความค่าเฉลี่ยของกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 มีค่าเท่ากัน

H_1 : ความค่าเฉลี่ยของกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 มีค่าแตกต่างกัน

3.3) การทดสอบค่ามัธยฐาน (Median) 2 กลุ่มตัวอย่างที่มีการแจกแจงที่ไม่ใช่รูปแบบปกติ (Nonnormal) หรือเรียกว่าการทดสอบ Mann-Whitney U หรือ Wilcoxon rank-sum test ดังสมการที่ 3.7

$$U_1 = n_1 + n_2 + \frac{n_1(n_1 + n_2 + 1)}{2} - \sum R_1 \quad (3.7)$$

$$U_2 = n_1 + n_2 + \frac{n_2(n_2 + n_2 + 1)}{2} - \sum R_2$$

โดยที่	U	คือ ค่าสถิติ U
	n_1	คือ กลุ่มตัวอย่างที่ 1 ที่มีจำนวนน้อย
	n_2	คือ กลุ่มตัวอย่างที่ 2 ที่มีจำนวนมาก
	R_1	คือ อันดับของข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ 1
	R_2	คือ อันดับของข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ 2

จากนั้นเลือกค่าสถิติ U ที่น้อยที่สุดไปทดสอบสมมติฐาน โดยมีสมมติฐานการทดสอบดังนี้

H_0 : ความค่ามัธยฐานของกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 มีค่าเท่ากัน

H_1 : ความค้ำมัชฐานของกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 มีค่าแตกต่างกัน

3.6.2 การวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นการสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง (Response variable) หรือตัวแปรตาม (Dependent variable) กับตัวแปรตัวแปรอธิบาย (Explanatory variable) หรือตัวแปรอิสระ (Independent variable) ว่าตัวแปรอิสระนั้นจะส่งผลต่อตัวแปรตามมากน้อยเพียงใด โดยสามารถกำหนดให้ตัวแปรอิสระนั้นมี 1 ตัวแปรหรือมากกว่านั้น โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีได้แก่

1) การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย

การวิเคราะห์ถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) มีสมมติฐานว่าข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตามนั้นมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น และมีตัวแปรอิสระแค่ 1 ตัวแปร ดังสมการ 3.8

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (3.8)$$

โดยที่ \hat{y} คือ ตัวแปรตาม
 x คือ ตัวแปรอิสระ
 β_0 คือ จุดตัดแกน (Intercept)
 β_1 คือ ความชัน (Slope)
 ε คือ ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random error)

2) การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณ

การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณมีสมมติฐานว่าข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตามนั้นมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น และมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปร ดังสมการ 3.9

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i + \varepsilon \quad (3.9)$$

โดยที่ \hat{y} คือ ตัวแปรตาม

x_i คือ ตัวแปรอิสระที่ i

$\hat{\beta}_0$ คือ จุดตัดแกน (Intercept)

$\hat{\beta}_i$ คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ตัวที่ i

ε คือ ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random error)

3.6.3 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

การนำผลการวิเคราะห์ความถดถอยหรือแบบจำลองเพื่อทำนายหรือประมาณค่าตัวแปรตามนั้นจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยสามารถคำนวณได้จากค่าสถิติต่าง ๆ ของแบบจำลองดังกล่าวก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าแบบจำลองนั้นมีความเหมาะสมและสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงได้ โดยใช้ค่าทางสถิติต่าง ๆ ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ดังนี้

1) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของส่วนที่เหลือ (Residual Standard Error : RSE)

RSE คือ ค่าที่จากผลต่างระหว่างค่าข้อมูลของตัวแปรตามจริงกับค่าข้อมูลของตัวแปรตามจากแบบจำลอง หรือมีอีกชื่อหนึ่งว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของส่วนที่เหลือ (Residual standard deviation) ถ้าหากผลต่างมีค่าน้อยก็แสดงว่าแบบจำลองมีความเหมาะสม โดยการคำนวณได้จากสมการที่ 3.10

$$RSE = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3.10)$$

โดยที่ n คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

y_i คือ ค่าของตัวแปรตามที่ i

\hat{y}_i คือ ค่าของตัวแปรตามที่ i ที่มาจากแบบจำลอง

2) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (Coefficient of Multiple Determination : R^2)

R^2 คือ ค่าสัดส่วนของตัวแปรอิสระทุกตัวในแบบจำลองซึ่งแสดงอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยค่าดังกล่าวมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หาก R^2 มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระทุกตัวสามารถทำนายตัวแปรตามได้ ร้อยละ $R^2 \times 100$ โดยค่า R^2 คำนวณได้จากสมการที่ 3.11

$$R^2 = \frac{SS(\text{Total}) - SS(\text{Error})}{SS(\text{Total})} \quad (3.11)$$

โดยที่ R^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ
 $SS(\text{Total})$ คือ ผลรวมการแปรผันทั้งหมด (Total sum of square)
 $SS(\text{Error})$ คือ ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum of square)

3) เกณฑ์ข้อสนเทศของอาไคเคะ (Akaike information criterion : AIC)

AIC คือ การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่อยู่ภายนอกกลุ่มตัวอย่างซึ่งเกิดจากสมการของแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองตัวใดมี AIC น้อยที่สุดจะเป็นแบบจำลองที่ดีกว่า โดยค่า AIC อาจมีค่าติดลบได้ โดยแบบจำลองที่มีค่าเป็นลบน้อยที่สุดจะเป็นแบบจำลองที่ดีกว่า (Akaike, 1998) โดยการคำนวณค่า AIC สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.12

$$AIC = 2k - \ln(L) \quad (3.12)$$

โดยที่ k คือ จำนวนพารามิเตอร์ในแบบจำลอง
 L คือ ค่าสูงสุดจากฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น (Maximize likelihood function) ของแบบจำลอง

บทที่ 4

ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรกระแสจราจรคนเดินเท้า โดยการจำลองสถานการณ์ออกเป็น 8 สถานการณ์ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

4.1 ข้อมูลเบื้องต้นจากการจำลองสถานการณ์

ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากการจำลองสถานการณ์นั้นสามารถคำนวณได้จาก สมการ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ โดยข้อมูลเบื้องต้นจะใช้ค่าสถิติพรรณนาในการอธิบายผลการวิเคราะห์ที่ได้จากสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย (Mean) ความเร็วในการเดินและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

- 1) v_c หมายถึง ค่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินของผู้เข้าร่วมที่ใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดิน
- 2) v_b หมายถึง ค่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินของผู้เข้าร่วมที่ใช้สะพานกระเปาะระหว่างเดิน
- 3) v_h หมายถึง ค่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินของผู้เข้าร่วมที่ใช้ความเร็วมากกว่าปกติ (เร่งรีบ)
- 4) v_s หมายถึง ค่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินของผู้เข้าร่วมที่ใช้ความเร็วต่ำกว่าปกติ (ช้า)
- 5) v_{norm} หมายถึง ค่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินของผู้เข้าร่วมที่ไม่มีกิจกรรมใด ๆ และใช้ความเร็วปกติ
- 6) v หมายถึง ค่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินของผู้เข้าร่วมทั้งหมดในแต่ละสถานการณ์ย่อย
- 7) ρ_i หมายถึง ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยทั้งหมดในแต่ละสถานการณ์ย่อย

โดยสามารถสรุปค่าสถิติพรรณนาของแต่ละสถานการณ์ ดังตารางที่ 4.1 ถึง ตารางที่ 4.8 และสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นของสถานการณ์ที่ 1 ถึง 8 ในภาคผนวก ก.

4.1.1 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 1 : สถานการณ์ปัจจุบัน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เข้าร่วมในสถานการณ์ปัจจุบัน พบว่า ในภาพรวมความเร็วในการเดินจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย $N = 15$ มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.69 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.07 และ $N = 34$ มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.16 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.02 และความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย $N = 15$ มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.07 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28 ในขณะที่ $N = 34$ มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.81 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.25 ค่าความเร็วในการเดินของผู้เข้าร่วมประเภทอื่น ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์ปัจจุบัน

N	v_c (m/s)	v_b (m/s)	v_h (m/s)	v_s (m/s)	v_{norm} (m/s)	v (m/s)	ρ_i (ped/m ²)
15	0.72(NA)	0.78(NA)	0.68(0.12)	0.65(0.01)	0.69(0.06)	0.69(0.07)	1.07(0.28)
20	0.57(0.02)	0.59(0.01)	0.60(0.02)	0.54(0.03)	0.58(0.03)	0.58(0.03)	1.15(0.31)
25	0.36(0.02)	0.39(0.07)	0.38(0.02)	0.35(0.01)	0.37(0.03)	0.37(0.03)	1.41(0.19)
30	0.25(0.02)	0.24(0.02)	0.25(0.03)	0.26(0.01)	0.25(0.02)	0.25(0.02)	1.66(0.28)
34	0.16(0.02)	0.17(0.03)	0.16(0.01)	0.16(0.02)	0.16(0.02)	0.16(0.02)	1.81(0.25)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.2 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 2 : สถานการณ์เดินปกติสุดโต่ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เข้าร่วมในสถานการณ์ความเร็วปกติสุดโต่ง ซึ่งมีสัดส่วนการใช้ความเร็วปกติ 100% สัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินและสัดส่วนการสะพายกระเป๋าเป้มีค่า 15% พบว่า ในภาพรวมความเร็วในการเดินมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย $N = 15$ มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.80 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.03 และ $N = 34$ มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.12 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.03 และความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย $N = 15$ มีความหนาแน่นเฉลี่ย 0.89 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.25 ในขณะที่เมื่อ $N = 34$ มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.86 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.33 ส่วนค่าความเร็วในการเดินของผู้เข้าร่วมประเภทอื่น ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์เดินด้วยความเร็วปกติสุดโต่ง

N	v_c (m/s)	v_b (m/s)	v_h (m/s)	v_s (m/s)	v_{norm} (m/s)	v (m/s)	ρ_i (ped/m ²)
15	0.80(0.02)	0.78(0.03)	-	-	0.80(0.03)	0.80(0.03)	0.89(0.25)
20	0.57(0.03)	0.57(0.03)	-	-	0.58(0.04)	0.58(0.04)	1.11(0.16)
25	0.44(0.11)	0.45(0.02)	-	-	0.44(0.06)	0.44(0.06)	1.33(0.23)
30	0.23(0.03)	0.23(0.03)	-	-	0.23(0.03)	0.23(0.03)	1.68 (0.3)
34	0.13(0.06)	0.14(0.05)	-	-	0.12(0.03)	0.12(0.03)	1.86(0.33)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.3 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 3 : สถานการณ์เดินช้าสุดโต่ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เข้าร่วมในสถานการณ์เดินช้าสุดโต่ง ซึ่งมีสัดส่วนสัดส่วนการใช้ความเร็วต่ำกว่าปกติ (ช้า):ความเร็วปกติ มีค่า 30%:70% สัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินและสัดส่วนการสะพายกระเป๋าเบ้มีค่า 15% พบว่า ในภาพรวมความเร็วในการเดินมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.29 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.03 และ N = 34 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.10 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.02 และความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.05 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.20 ในขณะที่เมื่อ N = 34 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.86 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.35 ส่วนค่าความเร็วในการเดินของผู้เข้าร่วมประเภทอื่น ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์เดินช้าสุดโต่ง

N	v_c (m/s)	v_b (m/s)	v_h (m/s)	v_s (m/s)	v_{norm} (m/s)	v (m/s)	ρ_i (ped/m ²)
15	0.26(NA)	0.29(NA)	-	0.27(0.04)	0.31(0.03)	0.29(0.03)	1.05(0.20)
20	0.23(0.02)	0.24(0.04)	-	0.23(0.02)	0.23(0.02)	0.23(0.02)	1.20(0.23)
25	0.28(0.03)	0.27(0.04)	-	0.26(0.02)	0.27(0.02)	0.27(0.02)	1.35(0.21)
30	0.16(0.02)	0.17(0.01)	-	0.17(0.02)	0.17(0.02)	0.17(0.02)	1.63(0.24)
34	0.12(0.03)	0.08(0.01)	-	0.10(0.02)	0.09(0.02)	0.10(0.02)	1.86(0.35)

4.1.4 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 4 : สถานการณ์เดินเร็วสุดโต่ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เข้าร่วมในสถานการณ์เดินเร็วสุดโต่ง ซึ่งมีสัดส่วนการใช้ความเร็วมากกว่าปกติ (เร่งรีบ):ความเร็วปกติ มีค่า 30%:70% สัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือถือระหว่างเดินและสัดส่วนการสะพายกระเป๋าเป้มีค่า 15% พบว่า ในภาพรวมความเร็วในการเดินมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.73 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.04 และ N = 34 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.19 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.07 และความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.12 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28 ในขณะที่เมื่อ N = 34 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.80 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28 ส่วนค่าความเร็วในการเดินของผู้เข้าร่วมประเภทอื่น ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์เดินเร็วสุดโต่ง

N	v_c (m/s)	v_b (m/s)	v_h (m/s)	v_s (m/s)	v_{norm} (m/s)	v (m/s)	ρ_i (ped/m ²)
15	0.73(NA)	0.70(NA)	0.75(0.02)	-	0.73(0.04)	0.73(0.04)	1.12(0.28)
20	0.77(0.01)	0.84(0.13)	0.82(0.10)	-	0.79(0.05)	0.80(0.07)	1.11(0.27)
25	0.51(0.10)	0.53(0.10)	0.54(0.07)	-	0.52(0.07)	0.52(0.07)	1.32(0.19)
30	0.3 (0.05)	0.3 (0.05)	0.29(0.05)	-	0.29(0.05)	0.29(0.05)	1.71(0.38)
34	0.15(0.05)	0.19(0.07)	0.19(0.07)	-	0.19(0.07)	0.19(0.07)	1.80(0.28)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.5 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 5 : สถานการณ์ใช้มือถือสุดโต่ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เข้าร่วมในสถานการณ์ใช้มือถือสุดโต่ง ซึ่งมีสัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือถือระหว่างเดิน:ไม่ใช้โทรศัพท์มือถือ มีค่า 30%:70% สัดส่วนการใช้การเดินปกติและสัดส่วนการสะพายกระเป๋าเป้มีค่า 15% พบว่า ในภาพรวมความเร็วในการเดินมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.86 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.06 และ N = 34 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.10 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.04 และความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 0.80 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.10 ในขณะที่เมื่อ N = 34

มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.84 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.30 ส่วนค่าความเร็วในการเดินของผู้เข้าร่วมประเภทอื่น ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์ใช้มือถือสุดโต่ง

N	v_c (m/s)	v_b (m/s)	v_h (m/s)	v_s (m/s)	v_{norm} (m/s)	v (m/s)	ρ_i (ped/m ²)
15	0.88(0.07)	0.82(NA)	0.99 (NA)	0.78 (NA)	0.87(0.06)	0.86(0.06)	0.80(0.10)
20	0.51(0.05)	0.52(0.06)	0.53(0.02)	0.50(0.01)	0.52(0.05)	0.51(0.04)	1.07(0.31)
25	0.26(0.05)	0.31(0.06)	0.28(0.00)	0.24(0.01)	0.27(0.06)	0.27(0.05)	1.44(0.22)
30	0.21(0.04)	0.24(0.03)	0.21(0.02)	0.22(0.03)	0.22(0.04)	0.22(0.03)	1.69(0.19)
34	0.11(0.04)	0.09(0.01)	0.09(0.02)	0.09(0.01)	0.11(0.04)	0.10(0.04)	1.84(0.30)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.6 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 6 : สถานการณ์ไม่ใช้มือถือ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เข้าร่วมในสถานการณ์ไม่ใช้มือถือ ซึ่งมีสัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดิน: ไม่ใช้โทรศัพท์มือถือ มีค่า 0%:100% สัดส่วนการใช้การเดินปกติและสัดส่วนการสะพายกระเป๋าเบ้มีค่า 15% พบว่า ในภาพรวมความเร็วในการเดินมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.80 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.06 และ N = 34 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.15 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.06 และความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 0.91 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.18 ในขณะที่เมื่อ N = 34 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.75 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.42 ส่วนค่าความเร็วในการเดินของผู้เข้าร่วมประเภทอื่น ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์ไม่ใช้มือถือ

N	v_c (m/s)	v_b (m/s)	v_h (m/s)	v_s (m/s)	v_{norm} (m/s)	v (m/s)	ρ_i (ped/m ²)
15	-	0.80(0.02)	0.88(0.11)	0.78(0.03)	0.78(0.04)	0.80(0.06)	0.91(0.18)
20	-	0.68(0.03)	0.66(0.01)	0.65(0.03)	0.66(0.03)	0.66(0.03)	1.10(0.23)

ตารางที่ 4.6 ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์ไม่ใช้มือถือ (ต่อ)

N	v_c (m/s)	v_b (m/s)	v_h (m/s)	v_s (m/s)	v_{norm} (m/s)	v (m/s)	ρ_i (ped/m ²)
25	-	0.42(0.03)	0.41(0.01)	0.43(0.05)	0.4 (0.03)	0.41(0.03)	1.29(0.23)
30	-	0.26(0.07)	0.26(0.06)	0.27(0.04)	0.26(0.05)	0.26(0.05)	1.51(0.41)
34	-	0.12(0.03)	0.12(0.03)	0.15(0.06)	0.16(0.06)	0.15(0.06)	1.75(0.42)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บหมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.7 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 7 : สถานการณ์สะพานเป็สุดโต่ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เข้าร่วมในสถานการณ์สะพานเป็สุดโต่ง ซึ่งมีสัดส่วนการสะพานกระเป้าเป็:ไม่สะพานกระเป้าเป็ มีค่า 30%:70% สัดส่วนการเดินปกติและสัดส่วนใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินมีค่า 15% พบว่า ในภาพรวมความเร็วในการเดินมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.61 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.04 และ N = 34 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.14 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.06 และความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.10 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.21 ในขณะที่เมื่อ N = 34 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.76 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.25 ส่วนค่าความเร็วในการเดินของผู้เข้าร่วมประเภทอื่น ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์สะพานเป็สุดโต่ง

N	v_c (m/s)	v_b (m/s)	v_h (m/s)	v_s (m/s)	v_{norm} (m/s)	v (m/s)	ρ_i (ped/m ²)
15	0.67(NA)	0.59(0.04)	0.60(NA)	0.61(NA)	0.62(0.04)	0.61(0.04)	1.10(0.21)
20	0.54(0.10)	0.57(0.04)	0.63(0.03)	0.55(0.02)	0.58(0.04)	0.58(0.05)	1.12(0.15)
25	0.43(0.04)	0.46(0.04)	0.45(0.05)	0.46(0.03)	0.44(0.03)	0.45(0.03)	1.36(0.19)
30	0.26(0.02)	0.28(0.04)	0.24(0.03)	0.26(0.02)	0.27(0.04)	0.27(0.04)	1.66(0.25)
34	0.19(0.12)	0.13(0.05)	0.15(0.07)	0.1 (0.02)	0.14(0.07)	0.14(0.06)	1.76(0.25)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.8 ข้อมูลจากสถานการณ์ที่ 8 : สถานการณ์ไม่สะพายเป้

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เข้าร่วมในสถานการณ์ไม่สะพายเป้ มีสัดส่วนการสะพายกระเป๋าเป้:ไม่สะพายกระเป๋าเป้ มีค่า 0%:100% สัดส่วนการเดินปกติและสัดส่วนใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินมีค่า 15% พบว่า ในภาพรวมความเร็วในการเดินมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.58 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.09 และ N = 34 มีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 0.15 เมตร/วินาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.04 และความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มมากขึ้น โดย N = 15 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.14 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.26 และเมื่อ N = 34 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.89 คน/ตารางเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.38 ส่วนค่าความเร็วในการเดินของผู้เข้าร่วมประเภทอื่น ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความเร็วในการเดินและความหนาแน่นจากสถานการณ์ไม่สะพายเป้

N	v_c (m/s)	v_b (m/s)	v_h (m/s)	v_s (m/s)	v_{norm} (m/s)	v (m/s)	ρ_i (ped/m ²)
15	0.60(0.11)	-	0.63(0.09)	0.51(0.03)	0.57(0.10)	0.58(0.09)	1.14(0.26)
20	0.45(0.02)	-	0.41(0.04)	0.41(0.07)	0.43(0.04)	0.43(0.04)	1.18(0.25)
25	0.38(0.04)	-	0.38(0.01)	0.38(0.06)	0.4 (0.03)	0.4 (0.03)	1.28(0.27)
30	0.23(0.01)	-	0.22(0.01)	0.22(0.02)	0.21(0.02)	0.22(0.02)	1.60(0.29)
34	0.17(0.05)	-	0.17(0.05)	0.13(0.02)	0.15(0.04)	0.15(0.04)	1.89(0.38)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบข้อมูลกลุ่มความเร็วประเภทต่าง ๆ ภายในสถานการณ์

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น พบว่าความเร็วในการเดินประเภทต่าง ๆ ภายในสถานการณ์ที่ 1 ถึง 8 นั้น มีค่าแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการยืนยันข้อสรุปดังกล่าว จำเป็นต้องมีการทดสอบความแตกต่างโดยใช้เครื่องมือทางสถิติ โดยบทนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเร็วในการเดิน โดยเทียบค่าความเร็วในการเดินปกติ กับความเร็วประเภทอื่น ๆ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบทางสถิติตามผังขั้นตอนดังรูปที่ 3.3 ซึ่งกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบทางสถิติทุกประเภทไว้ที่ 0.05

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของกลุ่มเดินด้วยความเร็วปกติ (v_{norm}) กับกลุ่มเดินเร่งรีบ (v_h) ภายในสถานการณ์ต่าง ๆ

1) ภายในสถานการณ์ที่ 1 : สถานการณ์ปัจจุบัน

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 ของทั้ง 2 กลุ่มมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ t-test ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร่งรีบภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน

N	v_{norm} (m/s)	v_h (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_h			
15	0.690	0.682	0.982	0.994	0.169	0.891	NA
20	0.579	0.604	0.600	0.609	0.487	0.196	NA
25	0.367	0.385	0.737	0.821	0.449	0.375	NA
30	0.253	0.250	0.257	0.422	0.826	0.792	NA
34	0.157	0.159	0.059	0.994	0.476	0.736	NA

หมายเหตุ * p -value < 0.05

2) ภายในสถานการณ์ที่ 4 : สถานการณ์เดินเร็วสุดโต่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15, 20$ และ 30 ของทั้ง 2 กลุ่มมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 25$ และ 34 ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช้การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15, 20$ และ 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร่งรีบภายใต้สถานการณ์เดินเร็วสุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_h (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann-Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_h			
15	0.726	0.755	0.075	0.119	0.255	0.229	NA
20	0.791	0.818	0.424	0.447	0.347	0.452	NA
25	0.518	0.537	0.004*	0.371	0.290	0.564	0.653
30	0.288	0.295	0.306	0.458	0.819	0.643	NA
34	0.190	0.188	0.003*	0.007*	NA	NA	0.948

หมายเหตุ * p -value < 0.05

3) ภายในสถานการณ์ที่ 5 : สถานการณ์ใช้มือถือสุดโต่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของทั้ง 2 กลุ่มมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของทั้ง 2 กลุ่มซึ่งข้อมูลไม่ใช้การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร็วรับภายใต้สถานการณ์ใช้มือถือสุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_h (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_h			
15	0.869	0.859	0.848	0.600	0.595	0.807	NA
20	0.516	0.526	0.418	1.000	0.164	0.761	NA
25	0.275	0.282	0.623	1.000	0.126	0.869	NA
30	0.216	0.215	0.189	0.312	0.253	0.939	NA
34	0.109	0.091	0.000*	0.021*	NA	NA	0.405

หมายเหตุ * p -value < 0.05

4) ภายในสถานการณ์ที่ 6 : สถานการณ์ไม่ใช้มือถือสุดโต่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของทั้ง 2 กลุ่ม กับ $N = 34$ ของกลุ่มเดินเร็ว มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้น สถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า สถานการณ์ย่อย $N = 15$ มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับ สถานการณ์ย่อย $N = 20$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร็วรับภายใต้สถานการณ์ที่ไม่มีการใช้มือถือสุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_h (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_h			
15	0.780	0.878	0.717	1.000	0.472	0.018*	NA
20	0.661	0.657	0.848	1.000	0.202	0.884	NA
25	0.405	0.414	0.614	1.000	0.375	0.715	NA
30	0.262	0.255	0.200	0.349	0.453	0.762	NA
34	0.155	0.120	0.000*	0.142	NA	NA	0.169

หมายเหตุ * p -value < 0.05

5) ภายในสถานการณ์ที่ 7 : สถานการณ์สะพานเป็สุดโค้ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของทั้ง 2 กลุ่ม กับ $N = 34$ ของกลุ่มเดินเร็ว มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้น สถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของทั้ง 2 กลุ่มซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ กับ 20 มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม มีความแปรปรวนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วน $N = 25$ กับ 30 นั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร่งรับภายใต้สถานการณ์สะพานเป็สุดโค้ง

N	v_{norm} (m/s)	v_h (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_h			
15	0.615	0.765	0.197	0.950	0.046	0.270	NA
20	0.582	0.634	0.091	0.950	0.049	0.270	NA
25	0.437	0.452	0.764	0.950	0.477	0.600	NA
30	0.256	0.284	0.441	0.575	0.790	0.254	NA
34	0.137	0.150	0.000*	0.108*	NA	NA	0.875

หมายเหตุ * p -value < 0.05

6) ภายในสถานการณ์ที่ 8 : สถานการณ์ไม่สะพายเป้

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 20$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินปกติ กับ $N = 15$ ถึง 34 ของกลุ่มใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 15$ กับ 34 ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเร่งรับภายใต้สถานการณ์ไม่สะพายเป้สุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_h (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_h			
15	0.574	0.601	0.022*	0.148	NA	NA	0.308
20	0.429	0.414	0.135	0.148	0.872	0.600	NA
25	0.403	0.384	0.206	0.148	0.227	0.445	NA
30	0.215	0.220	0.138	0.682	0.183	0.560	NA
34	0.151	0.167	0.000*	0.059	NA	NA	0.646

หมายเหตุ * p -value < 0.05

4.2.2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของกลุ่มเดินด้วยความเร็วปกติ กับ กลุ่มเดินช้า ภายในสถานการณ์ต่าง ๆ

1) ภายในสถานการณ์ที่ 1 : สถานการณ์ปัจจุบัน

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 ของทั้ง 2 กลุ่ม มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 20$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้น สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ที่ความแปรปรวนมีค่าแตกต่างกัน

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินช้าภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน

N	v_{norm} (m/s)	v_s (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_s	p -value		
15	0.690	0.652	0.982	1.000	0.047*	0.117	NA
20	0.579	0.538	0.600	0.300	0.796	0.063	NA
25	0.367	0.349	0.737*	0.490	0.129	0.347	NA
30	0.253	0.257	0.257	0.842	0.067	0.679	NA
34	0.157	0.156	0.059	0.501	0.406	0.842	NA

หมายเหตุ * p -value < 0.05

2) ภายในสถานการณ์ที่ 3 : สถานการณ์เดินเข้าสู่โค้ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของทั้ง 2 กลุ่ม และ $N = 34$ ของกลุ่มเดินช้า มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้น สถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินช้าภายใต้สถานการณ์เดินเข้าสู่โค้ง

N	v_{norm} (m/s)	v_s (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_s			
15	0.306	0.272	0.292	0.935	0.981	0.087	NA
20	0.231	0.232	0.089	0.249	0.945	0.994	NA
25	0.275	0.262	0.150	0.230	0.717	0.207	NA
30	0.171	0.172	0.545	0.491	0.706	0.897	NA
34	0.095	0.098	0.000*	0.629	NA	NA	0.376

หมายเหตุ * p -value < 0.05

3) ภายในสถานการณ์ที่ 5 : สถานการณ์ใช้มือถือสุดโต่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของทั้ง 2 กลุ่ม กับ $N = 34$ ของกลุ่มเดินช้า มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้น สถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า สถานการณ์ย่อย $N = 15$ มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับ สถานการณ์ย่อย $N = 20$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินช้าภายใต้สถานการณ์ที่ใช้มือถือสุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_s (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_s			
15	0.869	0.784	0.848	0.197	0.138	0.048*	NA
20	0.516	0.501	0.418	0.197	0.220	0.734	NA
25	0.275	0.242	0.623	0.197	0.143	0.424	NA
30	0.216	0.223	0.189	0.381	0.879	0.698	NA
34	0.109	0.086	0.000*	0.708	NA	NA	0.333

หมายเหตุ * p -value < 0.05

4) ภายในสถานการณ์ที่ 6 : สถานการณ์ไม่ใช้มือถือ

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของทั้ง 2 กลุ่ม กับ $N = 34$ ของกลุ่มเดินช้า มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้น สถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินช้าภายใต้สถานการณ์ไม่มีการใช้มือถือ

N	v_{norm} (m/s)	v_s (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_s			
15	0.780	0.753	0.717	0.579	0.810	0.320	NA
20	0.661	0.647	0.848	0.579	0.828	0.592	NA
25	0.405	0.434	0.614	0.579	0.598	0.259	NA
30	0.262	0.269	0.200	0.558	0.296	0.730	NA
34	0.155	0.153	0.000*	0.442	NA	NA	0.895

หมายเหตุ * p -value < 0.05

5) ภายในสถานการณ์ที่ 7 : สถานการณ์สะพานเป็สุดโค้ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของทั้ง 2 กลุ่ม กับ $N = 34$ ของกลุ่มเดินช้า มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้น สถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15, 25$ และ 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้น $N = 20$ ซึ่งมีความแปรปรวนแตกต่างกัน

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินช้าภายใต้สถานการณ์สะพานเป็สุดโค้ง

N	v_{norm} (m/s)	v_s (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_s			
15	0.615	0.625	0.197	0.704	0.717	0.773	NA
20	0.582	0.555	0.091	0.704	0.039	0.773	NA
25	0.437	0.46	0.764	0.704	0.676	0.389	NA
30	0.256	0.231	0.441	0.519	0.646	0.307	NA
34	0.137	0.104	0.000*	0.117	NA	NA	0.289

หมายเหตุ * p -value < 0.05

6) ภายในสถานการณ์ที่ 8 : สถานการณ์ไม่สะพายเป้

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 20$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินปกติ กับ $N = 15$ ถึง 34 ของกลุ่มใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 15$ กับ 34 ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ และกลุ่มที่เดินเข้าภายใต้สถานการณ์ไม่สะพายเป้

N	v_{norm} (m/s)	v_s (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_s			
15	0.574	0.564	0.022*	0.716	NA	NA	0.940
20	0.429	0.410	0.135	0.716	0.159	0.555	NA
25	0.403	0.384	0.206	0.716	0.315	0.475	NA
30	0.215	0.221	0.138	0.245	0.833	0.490	NA
34	0.151	0.127	0.000*	0.018*	NA	NA	0.079

หมายเหตุ * p -value < 0.05

4.2.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของกลุ่มเดินด้วยความเร็วปกติ กับ กลุ่มใช้มือถือ ภายในสถานการณ์ต่าง ๆ

1) ภายในสถานการณ์ที่ 1 : สถานการณ์ปัจจุบัน

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 ของทั้ง 2 กลุ่มมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่ใช้มือถือภายในสถานการณ์ปกติ

N	v_{norm} (m/s)	v_c (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_c			
15	0.690	0.721	0.982	0.684	0.056	0.426	NA
20	0.579	0.566	0.600	0.684	0.720	0.598	NA
25	0.367	0.362	0.737	0.684	0.460	0.826	NA
30	0.253	0.247	0.257	0.061	0.348	0.664	NA
34	0.157	0.157	0.059	0.997	0.608	0.991	NA

หมายเหตุ * p -value < 0.05

2) ภายในสถานการณ์ที่ 2 : สถานการณ์เดินปกติสุดโต่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินปกติ กับ $N = 15$ ถึง 25 ของกลุ่มเดินใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้น $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 25 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่ใช้มือถือภายใต้สถานการณ์เดินปกติสุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_c (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_c			
15	0.803	0.763	0.170	0.535	0.354	0.11	NA
20	0.584	0.588	0.253	0.756	0.995	0.877	NA
25	0.444	0.441	0.186	0.756	0.335	0.95	NA
30	0.230	0.233	0.412	0.028*	NA	NA	0.457
34	0.122	0.131	0.000*	0.000*	NA	NA	0.617

หมายเหตุ * p -value < 0.05

3) ภายในสถานการณ์ที่ 3 : สถานการณ์เดินเข้าสู่คโ่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินปกติ กับ $N = 20$ ถึง 34 ของกลุ่มใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 15$ ของกลุ่มเดินใช้มือถือ กับ $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติ ซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 20$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า สถานการณ์ย่อย $N = 15$ มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับ สถานการณ์ย่อย $N = 20$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่ใช้มือถือภายใต้สถานการณ์เดินเข้าสู่คโ่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_c (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_c			
15	0.306	0.246	0.292	0.000*	NA	NA	0.019*
20	0.231	0.228	0.089	0.475	0.281	0.786	NA
25	0.275	0.279	0.150	0.475	0.618	0.803	NA
30	0.171	0.162	0.545	0.616	0.971	0.442	NA
34	0.095	0.115	0.000*	0.272	NA	NA	0.171

หมายเหตุ * p -value < 0.05

4) ภายในสถานการณ์ที่ 4 : สถานการณ์เดินเร็วสุดโต่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15, 20$ และ 30 ของทั้ง 2 กลุ่มมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 25$ และ 34 ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช้การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15, 20$ และ 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.24 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่ใช้มือถือภายใต้สถานการณ์เดินเร็วสุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_c (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_c			
15	0.726	0.734	0.075	0.258	0.341	0.869	NA
20	0.791	0.763	0.424	0.487	0.257	0.335	NA
25	0.518	0.512	0.004*	0.487	NA	NA	0.979
30	0.288	0.301	0.306	0.312	0.814	0.617	NA
34	0.190	0.148	0.003*	0.258	NA	NA	0.198

หมายเหตุ * p -value < 0.05

5) ภายในสถานการณ์ที่ 5 : สถานการณ์ใช้มือถือสุดโต่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของทั้ง 2 กลุ่มมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของทั้ง 2 กลุ่มซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่ใช้มือถือภายใต้สถานการณ์เดินเร็วสุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_c (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_c			
15	0.869	0.879	0.848	0.730	0.856	0.818	NA
20	0.516	0.510	0.418	0.400	0.915	0.841	NA
25	0.275	0.260	0.623	0.756	0.432	0.541	NA
30	0.216	0.214	0.189	0.914	0.709	0.851	NA
34	0.109	0.107	0.000*	0.000*	NA	NA	0.889

หมายเหตุ * p -value < 0.05

6) ภายในสถานการณ์ที่ 7 : สถานการณ์สะพานเป็สุดโค้ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของทั้ง 2 กลุ่ม กับ $N = 34$ ของกลุ่มใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้น สถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่ใช้มือถือภายใต้สถานการณ์สะพานเป็สุดโค้ง

N	v_{norm} (m/s)	v_c (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_c			
15	0.615	0.673	0.197	0.836	0.888	0.074	NA
20	0.582	0.551	0.091	0.517	0.318	0.356	NA
25	0.437	0.435	0.764	0.517	0.76	0.936	NA
30	0.256	0.28	0.441	0.751	0.27	0.306	NA
34	0.137	0.188	0.000*	0.176	NA	NA	0.404

หมายเหตุ * p -value < 0.05

7) ภายในสถานการณ์ที่ 8 : สถานการณ์ไม่สะพายเป้

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 20$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินปกติ กับ $N = 15$ ถึง 34 ของกลุ่มใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 15$ กับ 34 ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่ใช้มือถือภายใต้สถานการณ์ไม่สะพายเป้

N	v_{norm} (m/s)	v_c (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_c			
15	0.574	0.598	0.022*	0.960	0.655	0.721	NA
20	0.429	0.442	0.135	0.574	0.264	0.571	NA
25	0.403	0.381	0.206	0.574	0.963	0.385	NA
30	0.215	0.226	0.138	0.834	0.235	0.210	NA
34	0.151	0.17	0.000*	0.470	NA	NA	0.235

หมายเหตุ * p -value < 0.05

4.2.4 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของกลุ่มเดินด้วยความเร็วปกติ กับ กลุ่ม สะพายเป้ภายในสถานการณ์ต่าง ๆ

1) ภายในสถานการณ์ที่ 1 : สถานการณ์ปัจจุบัน

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 ของทั้ง 2 กลุ่มมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่สะพายเป้ภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน

N	v_{norm} (m/s)	v_b (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_b			
15	0.690	0.750	0.982	0.985	0.170	0.151	NA
20	0.579	0.572	0.600	0.671	0.692	0.727	NA
25	0.367	0.388	0.737	0.960	0.065	0.458	NA
30	0.253	0.242	0.257	0.056	0.430	0.408	NA
34	0.157	0.169	0.059	0.573	0.343	0.244	NA

หมายเหตุ * p -value < 0.05

2) ภายในสถานการณ์ที่ 2 : เดินปกติสุดโต่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินปกติ กับ $N = 15$ ถึง 25 ของกลุ่มเดินใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช้การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่สะพายเป้ภายใต้สถานการณ์เดินปกติสุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_b (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_b			
15	0.803	0.793	0.170	0.631	0.763	0.619	NA
20	0.584	0.591	0.253	0.917	0.802	0.805	NA
25	0.444	0.452	0.186	0.917	0.233	0.861	NA
30	0.23	0.234	0.412	0.676	0.956	0.708	NA
34	0.122	0.135	0.000*	0.374	NA	NA	0.73

หมายเหตุ * p -value < 0.05

3) ภายในสถานการณ์ที่ 3 : เดินช้าสุด โต้่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินปกติ กับ $N = 15$ ถึง 25 ของกลุ่มเดินใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่สะพายเป้ภายใต้สถานการณ์เดินช้าสุด โต้่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_b (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_b			
15	0.306	0.273	0.292	0.275	0.959	0.174	NA
20	0.231	0.240	0.089	0.461	0.767	0.585	NA
25	0.275	0.269	0.150	0.461	0.274	0.730	NA
30	0.171	0.168	0.545	0.260	0.085	0.763	NA
34	0.095	0.079	0.000*	0.418	NA	NA	0.147

หมายเหตุ * p -value < 0.05

4) ภายในสถานการณ์ที่ 4 : เดินเร็วสุดโต่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินปกติ กับ $N = 15$ ถึง 25 ของกลุ่มเดินใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 25$ และ 34 ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูล ไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15, 20$ และ 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่สะพายเป้ภายใต้สถานการณ์เร็วสุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_b (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_b			
15	0.726	0.730	0.075	0.989	0.583	0.889	NA
20	0.791	0.832	0.424	0.609	0.266	0.297	NA
25	0.518	0.526	0.004*	0.609	NA	NA	0.911
30	0.288	0.297	0.306	0.701	0.821	0.741	NA
34	0.190	0.188	0.003*	0.344	NA	NA	0.999

หมายเหตุ * p -value < 0.05

5) ภายในสถานการณ์ที่ 5 : ใช้มือถือสุดโต่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินปกติ กับ $N = 15$ ถึง 25 ของกลุ่มเดินใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช้การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่สะพายเป้ภายใต้สถานการณ์ใช้มือถือสุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_b (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_b			
15	0.869	0.824	0.848	0.117	0.114	0.254	NA
20	0.516	0.511	0.418	0.493	0.611	0.899	NA
25	0.275	0.307	0.623	0.493	0.939	0.464	NA
30	0.216	0.227	0.189	0.233	0.743	0.559	NA
34	0.109	0.087	0.000*	0.293	NA	NA	0.405

หมายเหตุ * p -value < 0.05

6) ภายในสถานการณ์ที่ 6 : ไม่ใช่มือถือ

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินปกติ กับ $N = 15$ ถึง 25 ของกลุ่มเดินใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นสถานการณ์ย่อย $N = 34$ ของกลุ่มเดินปกติซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่สะพายเป้ภายใต้สถานการณ์ไม่ใช่มือถือ

N	v_{norm} (m/s)	v_b (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_b			
15	0.869	0.824	0.848	0.117	0.114	0.254	NA
20	0.516	0.511	0.418	0.493	0.611	0.899	NA
25	0.275	0.307	0.623	0.493	0.939	0.464	NA
30	0.216	0.227	0.189	0.233	0.743	0.559	NA
34	0.109	0.087	0.000*	0.293	NA	NA	0.405

หมายเหตุ * p -value < 0.05

7) ภายในสถานการณ์ที่ 7 : สะพายเป้สุดโต่ง

จากผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่ม ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินปกติ กับ $N = 20$ ถึง 30 ของกลุ่มเดินใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้น $N = 15$ ของกลุ่มสะพายเป้ กับ $N = 34$ ของทั้ง 2 กลุ่มซึ่งข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 20$ ถึง 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการเดินทั้ง 2 กลุ่มพบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย $N = 15$ ถึง 34 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปดังตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ค่าทดสอบทางสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ใช้ความเร็วในการเดินปกติ กับกลุ่มที่สะพายเป้ภายใต้สถานการณ์สะพายเป้สุดโต่ง

N	v_{norm} (m/s)	v_b (m/s)	Shapiro-Wilk test p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			กลุ่ม v_{norm}	กลุ่ม v_b			
15	0.615	0.587	0.197	0.008*	NA	NA	0.668
20	0.582	0.574	0.091	0.296	0.272	0.689	NA
25	0.437	0.459	0.764	0.435	0.753	0.200	NA
30	0.256	0.264	0.441	0.775	0.514	0.574	NA
34	0.137	0.130	0.000*	0.001*	NA	NA	0.951

หมายเหตุ * p -value < 0.05

4.3 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบข้อมูลตัวแปรความเร็วระหว่างสถานการณ์ต่าง ๆ

การแสดงผลการวิเคราะห์ให้ครอบคลุมถึงการเปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์จากทั้งหมด 8 สถานการณ์ ดังตารางที่ 3.4 ซึ่งทำการเปรียบเทียบครั้งละ 2 สถานการณ์นั้นอาจเกินขอบเขตงานวิจัย เนื่องจากการเปรียบเทียบสถานการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นน้อย 2 สถานการณ์นั้นไม่มีความเกี่ยวข้องและไม่สามารถอธิบายปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสถานการณ์ของกระแสดรเอจเจอร์ในปัจจุบันได้แต่อย่างใด

ดังนั้นหัวข้อนี้จึงแสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบสถานการณ์ปัจจุบันหรือสถานการณ์ที่ 1 อันเป็นสถานการณ์ที่ใช้สัดส่วนจากกระแสดรเอจเจอร์ในปัจจุบันกับสถานการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยหรือสถานการณ์สุดโต่ง เนื่องจากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบที่นำมาวิเคราะห์นี้สามารถเปรียบเทียบได้ชัดเจนและอธิบายถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยได้เหมาะสมกว่า โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีต่อกระแสดรเอจเจอร์เช่น (1) กระแสดรเอจเจอร์จากทั้ง 2 สถานการณ์มีความแตกต่างกันหรือไม่ (2) ความแตกต่างนั้นมาจากปัจจัยใด (3) ปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อกระแสดรเอจเจอร์อย่างไร

โดยการวิเคราะห์นั้นจะใช้ขั้นตอนการทดสอบทางสถิติตามผังขั้นตอนดังรูปที่ 3.3 ซึ่งกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบทุกประเภทไว้ที่ 0.05

4.3.1 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณ์ที่ 2 (เดินปกติสุดโต่ง)

ตารางที่ 4.35 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 2 (เดินปกติสุดโต่ง)

N	v_{S1} (m/s)	v_{S2} (m/s)	Shapiro-Wilk p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			S1	S2			
15	0.692	0.799	0.554	0.284	0.001*	0.000*	NA
20	0.576	0.581	0.917	0.149	0.799	0.632	NA
25	0.368	0.444	0.300	0.105	0.003*	0.000*	NA
30	0.252	0.230	0.337	0.079	0.419	0.000*	NA
34	0.158	0.124	0.043	0.000*	NA	NA	0.000*

หมายเหตุ * p -value < 0.05

จากตารางที่ 4.35 พบว่าผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินทั้ง 2 สถานการณ์ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย N = 15 ถึง 30 ของทั้ง 2 สถานการณ์มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นสถานการณ์ย่อย N = 34 ของทั้ง 2 สถานการณ์ซึ่งข้อมูลไม่ใช้การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า ตั้งแต่สถานการณ์ย่อย N = 20 กับ 30 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น N = 15 กับ 25 ซึ่งมีความแปรปรวนแตกต่างกัน

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของค่าความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 15, 25, 30 และ 34 มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าความเร็วระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น N = 20 ซึ่งมีความแตกต่างกัน

4.3.2 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณ์ที่ 3 (เดินเข้าสูดโค้ง)

ตารางที่ 4.36 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 3 (เดินเข้าสูดโค้ง)

N	v_{S1} (m/s)	v_{S3} (m/s)	Shapiro-Wilk p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			S1	S3			
15	0.692	0.292	0.554	0.790	0.010*	0.000*	NA
20	0.576	0.232	0.917	0.027*	NA	NA	0.000*
25	0.368	0.271	0.300	0.049	NA	NA	0.000*
30	0.252	0.171	0.337	0.246	0.843	0.000*	NA
34	0.158	0.096	0.043*	0.001*	NA	NA	0.000*

หมายเหตุ * p -value < 0.05

จากตารางที่ 4.36 พบว่าผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินสถานการณ์ย่อย N = 15 ถึง 30 ของสถานการณ์ปัจจุบัน กับ N = 15 และ 30 ของสถานการณ์เดินเข้าสูดโค้ง มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 34 ของทั้ง 2 สถานการณ์ กับ N = 20 และ 25 ของสถานการณ์เดินเข้าสูดโค้ง พบว่าข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 15 มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 30 พบว่ามีความแปรปรวนแตกต่างกัน

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของค่าความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 15 ถึง 34 มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าความเร็วระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.3 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณ์ที่ 4 (เดินเร็วสุดโต่ง)

ตารางที่ 4.37 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 4 (เดินเร็วสุดโต่ง)

N	v_{S1} (m/s)	v_{S4} (m/s)	Shapiro-Wilk p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			S1	S4			
15	0.692	0.732	0.554	0.026	0.010*	0.047*	NA
20	0.576	0.803	0.917	0.070	0.056	0.000*	NA
25	0.368	0.523	0.300	0.001	0.001*	0.000*	NA
30	0.252	0.292	0.337	0.089	0.000*	0.000*	NA
34	0.158	0.187	0.043*	0.000*	NA	NA	0.407

หมายเหตุ * p -value < 0.05

จากตารางที่ 4.37 พบว่าผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินสถานการณ์ย่อย N = 15 ถึง 30 ของสถานการณ์ที่ 1 กับ N = 20 และ 30 ของสถานการณ์เดินช้าสุดโต่ง มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 34 ของทั้ง 2 สถานการณ์ กับ N = 15 และ 25 ของสถานการณ์เดินเร็วสุดโต่ง พบว่าข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 15, 25 และ 30 มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแปรปรวนมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 20 พบว่ามีความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของค่าความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 15 ถึง 30 มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าความเร็วระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 34 พบว่ามีความแตกต่างกัน

4.3.4 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณ์ที่ 5 (ใช้มือถือสุดโต่ง)

ตารางที่ 4.38 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 5 (ใช้มือถือสุดโต่ง)

N	v_{S1} (m/s)	v_{S5} (m/s)	Shapiro-Wilk p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			S1	S5			
15	0.692	0.865	0.554	0.583	0.507	0.000*	NA
20	0.576	0.514	0.917	0.209	0.117	0.000*	NA
25	0.368	0.271	0.300	0.501	0.101	0.000*	NA
30	0.252	0.217	0.337	0.159	0.006*	0.000*	NA
34	0.158	0.104	0.043*	0.000*	NA	NA	0.000*

หมายเหตุ * p -value < 0.05

จากตารางที่ 4.38 พบว่าผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินสถานการณ์ย่อย N = 15 ถึง 30 ทั้ง 2 สถานการณ์ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 34 ของทั้ง 2 สถานการณ์ พบว่าข้อมูลไม่ใช้การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 15 ถึง 25 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 30 พบว่ามีความแปรปรวนมีความแตกต่างกัน

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของค่าความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 15 ถึง 34 มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าความเร็วระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.5 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณ์ที่ 6 (ไม่ใช้มือถือ)

ตารางที่ 4.39 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 6 (ไม่ใช้มือถือ)

N	v_{S1} (m/s)	v_{S6} (m/s)	Shapiro-Wilk p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			S1	S6			
15	0.692	0.796	0.554	0.035	NA	NA	0.000*
20	0.576	0.662	0.917	0.489	0.739	0.000*	NA
25	0.368	0.409	0.300	0.422	0.846	0.000*	NA
30	0.252	0.262	0.337	0.100	0.000*	0.170	NA
34	0.158	0.149	0.043	0.000*	NA	NA	0.005*

หมายเหตุ * p -value < 0.05

จากตารางที่ 4.39 พบว่าผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินสถานการณ์ย่อย N = 15 ถึง 30 ของสถานการณ์ปัจจุบัน กับ N = 20 ถึง 30 ของสถานการณ์ไม่ใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 34 ของทั้ง 2 สถานการณ์ และ N = 15 ของสถานการณ์ไม่ใช้มือถือ พบว่าข้อมูลไม่ใช้การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 20 และ 25 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 30 พบว่ามีความแปรปรวนมีความแตกต่างกัน

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของค่าความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 15, 20, 25 และ 34 มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าความเร็วระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน N = 30 พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

4.3.6 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณ์ที่ 7 (สะพานเป็สุดโค้ง)

ตารางที่ 4.40 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 7 (สะพานเป็สุดโค้ง)

N	v_{S1} (m/s)	v_{S7} (m/s)	Shapiro-Wilk p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			S1	S7			
15	0.692	0.610	0.554	0.303	0.017	0.000*	NA
20	0.576	0.578	0.917	0.335	0.109	0.877	NA
25	0.368	0.446	0.300	0.211	0.401	0.000*	NA
30	0.252	0.260	0.337	0.190	0.000*	0.240	NA
34	0.158	0.137	0.043*	0.000*	NA	NA	0.000*

หมายเหตุ * p -value < 0.05

จากตารางที่ 4.40 พบว่าผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินสถานการณ์ย่อย N = 15 ถึง 30 ทั้ง 2 สถานการณ์มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 34 ของทั้ง 2 พบว่าข้อมูลไม่ใช้การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 20 และ 25 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 15 และ 30 พบว่ามีความแปรปรวนมีความแตกต่างกัน

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของค่าความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 15, 25 และ 34 มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าความเร็วระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน N = 20 และ 30 พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

4.3.7 ผลการเปรียบเทียบกันระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับสถานการณ์ที่ 8 (ไม่สะพายเป้)

ตารางที่ 4.41 ค่าทดสอบสถิติเปรียบเทียบความเร็วในการเดินเฉลี่ยระหว่างสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) กับ สถานการณ์ที่ 8 (ไม่สะพายเป้)

N	v_{S1} (m/s)	v_{S8} (m/s)	Shapiro-Wilk p -value		Levene's test p -value	T-test p -value	Mann - Whitney U test p -value
			S1	S8			
15	0.692	0.576	0.554	0.007*	NA	NA	0.004*
20	0.576	0.428	0.917	0.387	0.159	0.000*	NA
25	0.368	0.399	0.300	0.181	0.669	0.002*	NA
30	0.252	0.217	0.337	0.016*	NA	NA	0.000*
34	0.158	0.152	0.043*	0.000*	NA	NA	0.057

หมายเหตุ * p -value < 0.05

จากตารางที่ 4.41 พบว่าผลการทดสอบ Shapiro พบว่าค่า p -value ของ ความเร็วในการเดินสถานการณ์ย่อย N = 15 ถึง 30 ของสถานการณ์ปัจจุบัน กับ N = 20 และ 25 ของสถานการณ์ไม่ใช้มือถือ มีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสถานการณ์ย่อย N = 34 ของทั้ง 2 สถานการณ์ และ N = 15 และ 30 ของสถานการณ์ไม่สะพายเป้ พบว่าข้อมูลไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

ต่อมาใช้การทดสอบ Levene ทดสอบความแปรปรวนความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 20 และ 25 มีค่า p -value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ข้อมูลระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแปรปรวนไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ขั้นตอนสุดท้ายจึงใช้การทดสอบ T-test และ Mann-Whitney U ทดสอบความแตกต่างของค่าความเร็วในการเดินระหว่าง 2 สถานการณ์พบว่า สถานการณ์ย่อย N = 15, 20, 25 และ 30 มีค่า p -value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ค่าความเร็วระหว่าง 2 สถานการณ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน N = 34 พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

4.4 แบบจำลอง Fundamental diagram

จากข้อมูลความเร็วและความหนาแน่นในแต่ละสถานการณ์ สามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองกระแสจราจร โดยใช้การวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง Greenshield, แบบจำลอง Greenberg, แบบจำลอง Underwood และแบบจำลอง Northwestern โดยจะแสดงแบบจำลองต่าง ๆ ของแต่ละสถานการณ์ดังนี้

4.4.1 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน)

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น และสรุปได้ดังตารางที่ 4.42

ตารางที่ 4.42 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 1

Scenario	แบบจำลอง	สมการแบบจำลอง	R^2	RSE	AIC
1	Greenshield	$v = 1.07(1 - \frac{k}{2.33})$	0.604	0.155	-315.4
	Greenberg	$v = 0.56\ln(\frac{2.83}{k})$	0.595	0.156	-307.8
	Underwood	$v = 1.58e^{-\frac{k}{1.00}}$	0.600	0.155	-312.2
	Northwestern	$v = 0.98e^{-\frac{1}{2}(\frac{k}{1.05})^2}$	0.630	0.149	-342.0

จากตารางที่ 4.42 สามารถอธิบายพารามิเตอร์จากแบบจำลองที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเร็วอิสระ, ความเร็วเหมาะสม, ความหนาแน่นติดขัด และความหนาแน่นเหมาะสม ดังนี้

- แบบจำลอง Greenshield มีความเร็วอิสระ 1.07 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.33 คน/ตารางเมตร มีค่า $R^2 = 0.604$, ค่า RSE = 0.155 และค่า AIC = -315.4
- แบบจำลอง Greenberg มีความเร็วเหมาะสม 0.56 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.83 คน/ตารางเมตร มีค่า $R^2 = 0.595$, ค่า RSE = 0.156 และค่า AIC = -307.8
- แบบจำลอง Underwood มีความเร็วอิสระ 1.58 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 1.00 คน/ตารางเมตร มีค่า $R^2 = 0.600$, ค่า RSE = 0.155 และค่า AIC = -312.2

- แบบจำลอง Northwestern มีความเร็วอิสระ 0.98 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 1.05 คน/ตารางเมตร มีค่า $R^2 = 0.630$, ค่า $RSE = 0.149$ และค่า $AIC = -342.0$

4.4.2 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 2 (เดินปกติสุดโต่ง)

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น และสรุปได้ดังตารางที่ 4.43

ตารางที่ 4.43 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 2

Scenario	แบบจำลอง	สมการแบบจำลอง	R^2	RSE	AIC
2	Greenshield	$v = 1.10(1 - \frac{k}{2.27})$	0.700	0.147	-359.8
	Greenberg	$v = 0.64 \ln(\frac{2.57}{k})$	0.710	0.144	-375.3
	Underwood	$v = 1.88e^{-\frac{k}{0.87}}$	0.720	0.142	-388.5
	Northwestern	$v = 1.12e^{-\frac{1}{2}(\frac{k}{0.94})^2}$	0.780	0.127	-470.1

จากตารางที่ 4.43 สามารถอธิบายพารามิเตอร์จากแบบจำลองที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเร็วอิสระ, ความเร็วเหมาะสม, ความหนาแน่นติดขัด และความหนาแน่นเหมาะสม ดังนี้

- แบบจำลอง Greenshield มีความเร็วอิสระ 1.10 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.27 คน/ตารางเมตร มีค่า $R^2 = 0.700$, ค่า $RSE = 0.147$ และค่า $AIC = -359.8$

- แบบจำลอง Greenberg มีความเร็วเหมาะสม 0.64 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.57 คน/ตารางเมตร มีค่า $R^2 = 0.710$, ค่า $RSE = 0.144$ และค่า $AIC = -375.3$

- แบบจำลอง Underwood มีความเร็วอิสระ 1.88 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 0.87 คน/ตารางเมตร มีค่า $R^2 = 0.720$, ค่า $RSE = 0.142$ และค่า $AIC = -388.5$

- แบบจำลอง Northwestern มีความเร็วอิสระ 1.12 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 0.94 คน/ตารางเมตร มีค่า $R^2 = 0.780$, ค่า $RSE = 0.127$ และค่า $AIC = -470.1$

4.4.3 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 3 (เดินเข้าสู่โค้ง)

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น และสรุปได้ดังตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 3

Scenario	แบบจำลอง	สมการแบบจำลอง	R ²	RSE	AIC
3	Greenshield	$v = 0.44(1 - \frac{k}{2.78})$	0.410	0.070	-885.2
	Greenberg	$v = 0.22\ln(\frac{3.63}{k})$	0.400	0.070	-881.0
	Underwood	$v = 0.61e^{-\frac{k}{1.32}}$	0.410	0.070	-882.5
	Northwestern	$v = 0.38e^{\frac{1}{2}(\frac{k}{1.34})^2}$	0.420	0.070	-890.1

จากตารางที่ 4.44 สามารถอธิบายพารามิเตอร์จากแบบจำลองที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเร็วอิสระ, ความเร็วเหมาะสม, ความหนาแน่นติดขัด และความหนาแน่นเหมาะสม ดังนี้

- แบบจำลอง Greenshield มีความเร็วอิสระ 0.44 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.78 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.410, ค่า RSE = 0.07 และค่า AIC = -885.2
- แบบจำลอง Greenberg มีความเร็วเหมาะสม 0.22 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 3.63 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.410, ค่า RSE = 0.070 และค่า AIC = -881.0
- แบบจำลอง Underwood มีความเร็วอิสระ 0.61 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 1.32 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.410, ค่า RSE = 0.070 และค่า AIC = -882.5
- แบบจำลอง Northwestern มีความเร็วอิสระ 0.38 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 1.32 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.420, ค่า RSE = 0.070 และค่า AIC = -890.1

4.4.4 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 4 (เดินเร็วสุดโถ่ง)

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น และสรุปได้ดังตารางที่ 4.45

ตารางที่ 4.45 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 4

Scenario	แบบจำลอง	สมการแบบจำลอง	R ²	RSE	AIC
4	Greenshield	$v = 1.14(1 - \frac{k}{2.47})$	0.570	0.167	-267.2
	Greenberg	$v = 0.65 \ln(\frac{2.88}{k})$	0.600	0.162	-288.8
	Underwood	$v = 1.91e^{-\frac{k}{0.98}}$	0.600	0.160	-292.2
	Northwestern	$v = 1.08e^{-\frac{1}{2}(\frac{k}{1.09})^2}$	0.610	0.160	-299.0

จากตารางที่ 4.45 สามารถอธิบายพารามิเตอร์จากแบบจำลองที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเร็วอิสระ, ความเร็วเหมาะสม, ความหนาแน่นติดขัด และความหนาแน่นเหมาะสม ดังนี้

- แบบจำลอง Greenshield มีความเร็วอิสระ 1.14 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.47 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.570, ค่า RSE = 0.167 และค่า AIC = -267.2
- แบบจำลอง Greenberg มีความเร็วเหมาะสม 0.65 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.88 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.600, ค่า RSE = 0.162 และค่า AIC = -288.8
- แบบจำลอง Underwood มีความเร็วอิสระ 1.91 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 0.98 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.600, ค่า RSE = 0.160 และค่า AIC = -292.2
- แบบจำลอง Northwestern มีความเร็วอิสระ 1.08 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 1.09 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.610, ค่า RSE = 0.160 และค่า AIC = -299.0

4.4.5 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 5 (ใช้มือถือสุดโค้ง)

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น และสรุปได้ดังตารางที่ 4.46

ตารางที่ 4.46 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 5

Scenario	แบบจำลอง	สมการแบบจำลอง	R ²	RSE	AIC
5	Greenshield	$v = 1.07(1 - \frac{k}{2.17})$	0.680	0.145	-372.6
	Greenberg	$v = 0.63 \ln(\frac{2.42}{k})$	0.692	0.142	-387.4
	Underwood	$v = 1.88e^{-\frac{k}{0.81}}$	0.689	0.143	-383.1
	Northwestern	$v = 1.03e^{-\frac{1}{2}(\frac{k}{0.94})^2}$	0.728	0.133	-433.3

จากตารางที่ 4.46 สามารถอธิบายพารามิเตอร์จากแบบจำลองที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเร็วอิสระ, ความเร็วเหมาะสม, ความหนาแน่นติดขัด และความหนาแน่นเหมาะสม ดังนี้

- แบบจำลอง Greenshield มีความเร็วอิสระ 1.07 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.17 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.680, ค่า RSE = 0.145 และค่า AIC = -372.6
- แบบจำลอง Greenberg มีความเร็วเหมาะสม 0.63 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.42 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.692, ค่า RSE = 0.142 และค่า AIC = -387.4
- แบบจำลอง Underwood มีความเร็วอิสระ 1.88 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 0.81 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.689, ค่า RSE = 0.143 และค่า AIC = -383.1
- แบบจำลอง Northwestern มีความเร็วอิสระ 1.03 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 0.94 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.728, ค่า RSE = 0.133 และค่า AIC = -433.3

4.4.6 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 6 (ไม่ใช่มือถือ)

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น และสรุปได้ดังตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.47 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 6

Scenario	แบบจำลอง	สมการแบบจำลอง	R ²	RSE	AIC
6	Greenshield	$v = 0.97(1 - \frac{k}{2.38})$	0.510	0.180	-211.4
	Greenberg	$v = 0.56\ln(\frac{2.69}{k})$	0.547	0.174	-240.0
	Underwood	$v = 1.72e^{-\frac{k}{0.89}}$	0.553	0.172	-245.4
	Northwestern	$v = 0.96e^{-\frac{1}{2}(\frac{k}{1.00})^2}$	0.557	0.172	-248.3

จากตารางที่ 4.47 สามารถอธิบายพารามิเตอร์จากแบบจำลองที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเร็วอิสระ, ความเร็วเหมาะสม, ความหนาแน่นติดขัด และความหนาแน่นเหมาะสม ดังนี้

- แบบจำลอง Greenshield มีความเร็วอิสระ 0.97 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.38 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.510, ค่า RSE = 0.180 และค่า AIC = -211.4
- แบบจำลอง Greenberg มีความเร็วเหมาะสม 0.56 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.69 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.547, ค่า RSE = 0.174 และค่า AIC = -240.0
- แบบจำลอง Underwood มีความเร็วอิสระ 1.72 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 0.89 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.553, ค่า RSE = 0.172 และค่า AIC = -245.4
- แบบจำลอง Northwestern มีความเร็วอิสระ 0.96 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 1.00 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.557, ค่า RSE = 0.172 และค่า AIC = -248.3

4.4.7 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 7 (สะพานเป็สุดโค้ง)

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น และสรุปได้ดังตารางที่ 4.48

ตารางที่ 4.48 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 7

Scenario	แบบจำลอง	สมการแบบจำลอง	R ²	RSE	AIC
7	Greenshield	$v = 1.17(1 - \frac{k}{2.16})$	0.675	0.131	-444.6
	Greenberg	$v = 0.76 \ln(\frac{2.34}{k})$	0.696	0.127	-469.9
	Underwood	$v = 2.56e^{-\frac{k}{0.73}}$	0.693	0.127	-466.3
	Northwestern	$v = 1.15e^{-\frac{1}{2}(\frac{k}{0.94})^2}$	0.715	0.123	-493.4

จากตารางที่ 4.48 สามารถอธิบายพารามิเตอร์จากแบบจำลองที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเร็วอิสระ, ความเร็วเหมาะสม, ความหนาแน่นติดขัด และความหนาแน่นเหมาะสม ดังนี้

- แบบจำลอง Greenshield มีความเร็วอิสระ 1.17 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.16 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.675, ค่า RSE = 0.131 และค่า AIC = -444.6
- แบบจำลอง Greenberg มีความเร็วเหมาะสม 0.76 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.34 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.696, ค่า RSE = 0.127 และค่า AIC = -469.9
- แบบจำลอง Underwood มีความเร็วอิสระ 2.56 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 0.73 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.693, ค่า RSE = 0.127 และค่า AIC = -466.
- แบบจำลอง Northwestern มีความเร็วอิสระ 1.15 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 0.94 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.715, ค่า RSE = 0.23 และค่า AIC = -493.4

4.4.8 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 8 (ไม่สะพานเป็)

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น และสรุปได้ดังตารางที่ 4.49

ตารางที่ 4.49 แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 8

Scenario	แบบจำลอง	สมการแบบจำลอง	R ²	RSE	AIC
8	Greenshield	$v = 0.84(1 - \frac{k}{2.49})$	0.519	0.138	-407.1
	Greenberg	$v = 0.46\ln(\frac{3.00}{k})$	0.564	0.132	-443.3
	Underwood	$v = 1.36e^{-\frac{k}{1.01}}$	0.565	0.132	-443.7
	Northwestern	$v = 0.80e^{-\frac{1}{2}(\frac{k}{1.09})^2}$	0.541	0.135	-424.5

จากตารางที่ 4.49 สามารถอธิบายพารามิเตอร์จากแบบจำลองที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเร็วอิสระ, ความเร็วเหมาะสม, ความหนาแน่นติดขัด และความหนาแน่นเหมาะสม ดังนี้

- แบบจำลอง Greenshield มีความเร็วอิสระ 1.17 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.16 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.519, ค่า RSE = 0.138 และค่า AIC = -407.1
- แบบจำลอง Greenberg มีความเร็วเหมาะสม 0.76 เมตร/วินาที ความหนาแน่นติดขัด 2.34 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.564, ค่า RSE = 0.132 และค่า AIC = -443.3
- แบบจำลอง Underwood มีความเร็วอิสระ 2.56 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 0.73 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.565, ค่า RSE = 0.132 และค่า AIC = -443.7
- แบบจำลอง Northwestern มีความเร็วอิสระ 1.15 เมตร/วินาที ความหนาแน่นเหมาะสม 0.94 คน/ตารางเมตร มีค่า R² = 0.541, ค่า RSE = 0.135 และค่า AIC = -424.5

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

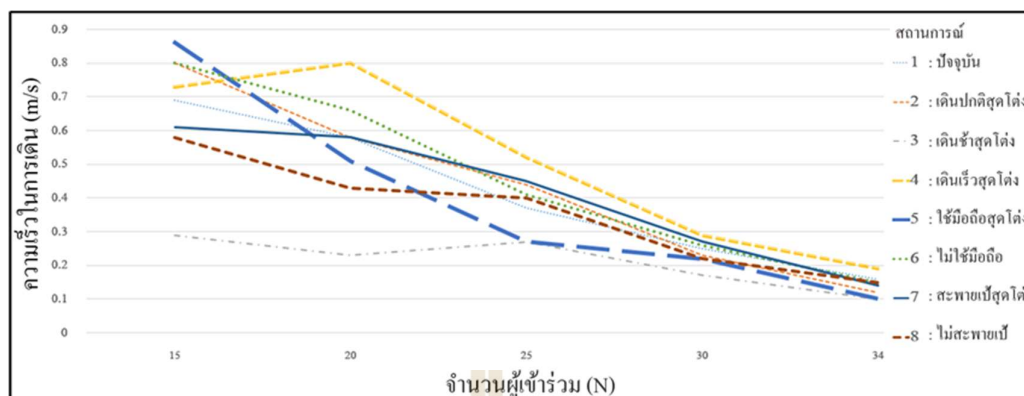
5.1.1 สรุปผลข้อมูลเบื้องต้นจากการจำลองสถานการณ์

จากข้อมูลเบื้องต้นในบทที่ 4.1 ซึ่งได้ทำการจำลองทั้งหมด 8 สถานการณ์ พบว่า ค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินของแต่ละสถานการณ์ $N = 15$ มีช่วงความเร็วตั้งแต่ 0.29-0.86 เมตร/วินาที ซึ่งช่วงความเร็วมีความแตกต่างกันอย่างมาก เนื่องจากสัดส่วนของปัจจัยของผู้เข้าร่วมในแต่ละสถานการณ์ที่มีสัดส่วนแตกต่างกัน เช่น ในสถานการณ์ที่ 3 (เดินช้าสุดโต่ง) ทำการเพิ่มสัดส่วนผู้เข้าร่วมที่เดินช้าให้มากขึ้นกว่าปกติ ซึ่งการเพิ่มสัดส่วนดังกล่าวทำให้มีจำนวนผู้เข้าร่วมที่เดินช้าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ผู้เข้าร่วมคนอื่น ๆ ภายในกระแสจราจรของสถานการณ์ดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ความเร็วให้น้อยกว่าผู้เข้าร่วมที่ถูกกำหนดให้เดินช้ากว่าปกติ เนื่องจากผู้เข้าร่วมคนอื่น ๆ ที่อยู่ข้างหลังไม่สามารถแซงผู้เข้าร่วมที่ถูกกำหนดให้เดินช้ากว่าปกติ จึงทำให้ค่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินมีค่า 0.29 เมตร/วินาที

อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ที่ได้ทั้งหมดจากการวิจัยนี้เกิดจากปล่อยให้ผู้เข้าร่วมทยอยเดินเข้าวงรอบอย่างต่อเนื่องโดยมีการตั้งแถวรอไว้บริเวณ Entering section แล้ว ซึ่งผู้วิจัยคาดว่า การปล่อยแถวลักษณะเช่นนี้อาจส่งผลต่อการวิเคราะห์กระแสจราจรที่จะเกิดขึ้น โดยการปล่อยแถวนั้นสามารถปล่อยได้หลายลักษณะเช่น 1) การเว้นระยะช่วงเวลาในการปล่อยให้ผู้เข้าร่วมเข้าทีละคน เช่น ปล่อยทุก ๆ 5 วินาที 2) การปล่อยแถวเข้าทีละกลุ่มคน เช่น ปล่อยทุก ๆ 5 คน แล้วเว้นระยะเป็นช่วงระยะเวลา 5 นาที เป็นต้น

เมื่อทำการเพิ่มจำนวนผู้เข้าร่วมไปเรื่อย ๆ ทำให้ค่าในการเดินเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง และช่วงความเร็วในการเดินลดลง โดยเฉพาะสถานการณ์ย่อย $N = 34$ ซึ่งมีช่วงความเร็วที่แคบลงอย่างมาก โดยมีค่าตั้งแต่ 0.10-0.19 เมตร/วินาที เนื่องจาก กระแสจราจรมีความหนาแน่นมากจึงทำให้ผู้เข้าร่วมที่มีปัจจัยต่าง ๆ ต้องชะลอความเร็วในการเดินของตนเองเพื่อป้องกันไม่ให้เดินชนคนข้างหน้า ถึงแม้ว่าจะได้รับคำสั่งให้เดินอย่างเร่งรีบ หรือคำสั่งอื่น ๆ ก็ตาม

โดยสามารถสรุปเป็นกราฟแสดงค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินของแต่ละสถานการณ์ โดยแบ่งออกเป็นสถานการณ์ย่อย $N = 15-34$ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินของสถานการณ์ต่าง ๆ

จากรูปที่ 5.1 พบว่าสถานการณ์ที่ 4 (เดินเร็วสุดโต่ง) ในสถานการณ์ย่อย N = 15 นั้นมีค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยน้อยกว่า N = 20 จากการตรวจสอบภาพจากกล้องที่ทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหวขณะทำการจำลองสถานการณ์ พบว่าผู้เข้าร่วมที่ถูกกำหนดให้ใช้โทรศัพท์มือถือนั้นเดินช้ากว่าปกติภายในสถานการณ์ย่อย N = 15 จึงทำให้ผู้เข้าร่วมที่เดินอยู่ข้างหลังจำเป็นต้องลดความเร็วในการเดินลงมีลักษณะเหมือนกับเกิดแถวคอยเนื่องจากต้องเดินตามคนที่ใช้โทรศัพท์มือถือ จึงทำให้ความเร็วเฉลี่ยในการเดิน สถานการณ์ย่อย N = 15 นั้นน้อยกว่า N = 20 ของสถานการณ์ที่ 4 (เดินเร็วสุดโต่ง)

5.1.2 สรุปผลการเปรียบเทียบข้อมูลกลุ่มเดินปกติ กับ กลุ่มอื่นภายในสถานการณ์เดียวกัน

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินภายในสถานการณ์เดียวกันซึ่งกระจายจากรคนเดินเท่านั้นประกอบไปด้วย กลุ่มเดินปกติ, เดินเร็ว, เดินช้า, สะพายเป้ และเล่นมือถือ โดยทำการเปรียบเทียบซึ่งยึดกลุ่มเดินปกติเพื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ ในภายในสถานการณ์เดียวกัน พบว่าค่าความเร็วระหว่าง 2 กลุ่ม ในแต่ละสถานการณ์ที่ 1 ถึง 8 ส่วนใหญ่แล้วไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งหมายความว่าปัจจัยนั้น ๆ ส่งผลกระทบท่อกระจายจรรทั้งหมดจนกระทั่งทำให้ค่าเฉลี่ยความเร็วในแต่ละกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกัน

5.1.3 สรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์

เพื่อให้การเปรียบเทียบมีความชัดเจนและสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยได้เหมาะสม การสรุปผลในบทนี้จึงสรุปผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของสถานการณ์ที่ 1 หรือสถานการณ์ปัจจุบัน กับสถานการณ์อื่น ๆ โดยยึดสถานการณ์ที่ 1 หรือสถานการณ์ปัจจุบันเป็นหลักโดยผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติมีดังนี้

เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่ 2 (เดินปกติสุดโต่ง) พบว่าค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของสถานการณ์ย่อย $N = 15$ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าความเร็วของสถานการณ์เดินปกติสุดโต่งมีค่ามากกว่า สามารถอธิบายได้ว่าในช่วงที่ผู้เข้าร่วมน้อยหรือเบาบาง การไม่มีผู้เข้าร่วมที่เดินเร็วและเดินช้าภายในกระแสจราจรนั้นจะส่งผลต่อความเร็วกระแสจราจรทั้งหมด เมื่อเพิ่มผู้เข้าร่วม $N = 25$ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าความเร็วของสถานการณ์เดินปกติสุดโต่งมีค่ามากกว่าเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มผู้เข้าร่วม $N = 30$ และ 34 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าความเร็วของสถานการณ์ปัจจุบันมีค่ามากกว่า เมื่อดูจากสถานการณ์ปัจจุบันคนที่เดินเร่งรีบพยายามใช้ความเร็วในการเดินมากกว่าปกติซึ่งส่งผลให้คนที่เดินต่อท้ายได้เดินเร็วขึ้นด้วย

เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่ 3 (เดินช้าสุดโต่ง) พบว่าค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของ สถานการณ์ย่อย $N = 15-34$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มสัดส่วนผู้เข้าร่วมที่เดินช้ากว่าปกติในกรณีสุดโต่งในสถานการณ์ที่ 3 นั้น ส่งผลกระทบต่อความเร็วของกระแสจราจรในภาพรวม กล่าวคือถ้าหากเพิ่มสัดส่วนผู้เข้าร่วมที่เดินช้ากว่าปกติให้มีสัดส่วน 30% จะส่งผลให้ค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของกระแสจราจรลดลง อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Azzawi and Raeside (2007) ซึ่งสถานการณ์ที่ 3 นี้ได้พยายามจำลองสถานการณ์ให้คล้ายคลึงทางเดินบริเวณย่านศูนย์การค้าซึ่งมีคนเดินดูหรือเลือกซื้อสินค้าเป็นจำนวนมาก

เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่ 4 (เดินเร็วสุดโต่ง) พบว่าค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของ ของสถานการณ์ย่อย $N = 15-30$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มสัดส่วนผู้เข้าร่วมที่เดินเร็วกว่าปกติในกรณีสุดโต่งในสถานการณ์เดินเร็วสุดโต่งนั้น ส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรในภาพรวม กล่าวคือถ้ากรณีที่สัดส่วนผู้เข้าร่วมที่ใช้ความเร็วในการเดินมากกว่าปกติมีสัดส่วน 30% จะส่งผลให้ค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของกระแสจราจรมากกว่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของสถานการณ์ปกติ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fang (2018) ซึ่งสถานการณ์ที่ 4 นี้ได้พยายามจำลองสถานการณ์ให้คล้ายคลึงทางเดินบริเวณสถานีรถไฟฟ้าในช่วงเวลาชั่วโมงเร่งด่วนเช้าซึ่งมีคนเดินที่เร่งรีบขึ้นรถไฟฟ้าในทันเวลา สำหรับกรณี $N = 34$ นั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจาก พื้นที่ในการเดินหรือความหนาแน่นถึงขีดจำกัดจึงทำให้ผู้ที่เดินเร็วไม่สามารถใช้ความเร็วได้เพียงพอ

เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่ 5 (ใช้มือถือสุดโต่ง) พบว่าค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของสถานการณ์ย่อย $N = 20-34$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มสัดส่วนผู้เข้าร่วมใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินในสถานการณ์ใช้มือถือสุดโต่ง นั้น ส่งผล

กระทบต่อกระแสจราจรในภาพรวม กล่าวคือถ้ากรณีที่สัดส่วนผู้เข้าร่วมใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินมีสัดส่วน 30% ก็จะส่งผลให้ค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของกระแสจราจรลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Alsaleh, Sayed, and Zaki (2018) ที่ความเร็วของคนที่ใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินมีค่าน้อยกว่าการเดินปกติ อย่างไรก็ตามสำหรับสถานการณ์ N = 15 พบว่าผู้เข้าร่วมที่ต้องเดินช้ากว่าปกติไม่ได้เดินช้ากว่าปกติแต่อย่างใดจึงทำให้กระแสจราจรโดยรวมมีความเร็วมากกว่าสถานการณ์ปัจจุบัน

เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่ 6 (ไม่ใช้มือถือ) พบว่าค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของสถานการณ์ย่อย N = 15-25 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสถานการณ์ที่ไม่มีการใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินเลยมีความเร็วในการเดินเฉลี่ยมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น N = 30 พบว่าไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อ N = 34 พบว่า ความเร็วของสถานการณ์ไม่ใช้มือถือมีค่าน้อยกว่าสถานการณ์ปัจจุบัน เนื่องจากผู้เข้าร่วมมีพฤติกรรมหยุดเดินเป็นช่วง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่ 7 (สะพายเป้สุดโต่ง) พบว่าค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของสถานการณ์ย่อย N = 15 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างไรก็ตามพบว่าความแตกต่างนี้เกิดจากผู้เข้าร่วมที่เดินช้าใช้ความเร็วในการเดินช้ามากจึงส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรทั้งหมด เมื่อจำนวนผู้เข้าร่วมมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น (ตั้งแต่ N = 20) นั้นพบว่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของ 2 กลุ่ม ดังกล่าวไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อ N = 34 พบว่าความเร็วของสถานการณ์สะพายเป้สุดโต่งมีค่าน้อยกว่าสถานการณ์ปัจจุบัน มีค่าน้อยกว่าสถานการณ์ปัจจุบัน เนื่องจากผู้เข้าร่วมมีพฤติกรรมหยุดเดินเป็นช่วง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่ 8 (ไม่สะพายเป้) พบว่าค่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยของสถานการณ์ย่อย N = 15, 20 และ 30 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างไรก็ตามพบว่าความแตกต่างนี้เกิดจากผู้เข้าร่วมที่เดินช้าใช้ความเร็วในการเดินช้ามากซึ่งคาดว่าเกิดจากอาการเหนื่อยล้าจากการทดลองติดต่อกันนานเป็นเวลาหลายชั่วโมงจึงส่งผลกระทบต่อกระแสจราจรทั้งหมด

สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มปัจจัยสัดส่วนการเดินช้าให้มีค่าสุดโต่งนั้น ส่งผลให้กระแสจราจรมีค่าเฉลี่ยความเร็วลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ปกติหรือสัดส่วนผู้เข้าร่วมเดินช้าปกติ โดยเกิดขึ้นทั่วทั้งช่วงที่กระแสจราจรมีผู้เข้าร่วมน้อย หรือช่วงบางเบาจนไปถึงผู้เข้าร่วมมากที่สุดหรือช่วงหนาแน่น (สถานการณ์ย่อย N = 15-34)

การเพิ่มปัจจัยสัดส่วนการเดินเร็วให้มีค่าสัดส่วนสุดโต่ง ก็ส่งผลในทิศทางตรงกันข้ามกับการเดินช้า เช่นเดียวกัน กล่าวคือส่งผลให้กระแสจราจรมีค่าเฉลี่ยความเร็วมากกว่าความเร็ว

สถานการณ์ปกติซึ่งมีสัดส่วนสัดส่วนผู้เข้าร่วมเดินเร็วปกติ โดยเกิดขึ้นทั่วทั้งช่วงที่กระแสร่างมีผู้เข้าร่วมน้อย หรือช่วงบางเบาจนไปถึงผู้เข้าร่วมมากที่สุดหรือช่วงหนาแน่น (สถานการณ์ย่อย N = 15-30)

การเพิ่มปัจจัยสัดส่วนการใช้โทรศัพท์มือถือระหว่างเดินให้มีค่าสัดส่วนสุดโต่ง ส่งผลให้กระแสร่างมีค่าเฉลี่ยความเร็วลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ปกติหรือสัดส่วนใช้มือถือปกติ โดยเกิดขึ้นทั่วทั้งช่วงที่กระแสร่างมีผู้เข้าร่วมน้อย หรือช่วงบางเบาจนไปถึงผู้เข้าร่วมมากที่สุดหรือช่วงหนาแน่น (สถานการณ์ย่อย N = 20-34)

สำหรับการเพิ่มปัจจัยผู้เข้าร่วมที่ใช้สะพานกระเปาะระหว่างเดินให้มีค่าสัดส่วนสุดโต่ง นั้นเนื่องจากปัจจัยผู้เข้าร่วมที่เดินช้านั้นส่งผลต่อกระแสร่างมากเกินไปจึงทำให้ผลการวิเคราะห์อาจมีความไม่แน่นอน

5.1.4 สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลอง

พบว่าเมื่อใช้แบบจำลองในการจำลองความสัมพันธ์ของกระแสร่างทั้งหมด 8 สถานการณ์พบว่า แบบจำลอง Northwestern นั้นมีประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการจำลองกระแสร่างมากที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 มากที่สุดและ AIC ที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 1 จากการแบบวิเคราะห์แบบจำลอง Northwestern พบว่า ค่าความเร็วอิสระ 0.98 เมตร/วินาที ค่าความหนาแน่นเหมาะสม 1.05 คน/ตารางเมตร และมีค่า $R^2 = 0.630$, $RSE = 0.149$ และ $AIC = -342.0$

แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 2 จากการแบบวิเคราะห์แบบจำลอง Northwestern พบว่า ค่าความเร็วอิสระ 1.12 เมตร/วินาที ค่าความหนาแน่นเหมาะสม 0.94 คน/ตารางเมตร และมีค่า $R^2 = 0.780$, $RSE = 0.127$ และ $AIC = -470.1$

แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 3 จากการแบบวิเคราะห์แบบจำลอง Northwestern พบว่า มีค่าความเร็วอิสระ 0.38 เมตร/วินาที ค่าความหนาแน่นเหมาะสม 1.32 คน/ตารางเมตร และมีค่า $R^2 = 0.42$, $RSE = 0.070$ และ $AIC = -890.1$

แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 4 จากการแบบวิเคราะห์แบบจำลอง Northwestern พบว่า มีค่าความเร็วอิสระ 1.08 เมตร/วินาที ค่าความหนาแน่นเหมาะสม 1.09 คน/ตารางเมตร และมีค่า $R^2 = 0.610$, $RSE = 0.160$ และ $AIC = -229.0$

แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 5 จากการแบบวิเคราะห์แบบจำลอง Northwestern พบว่า มีค่าความเร็วอิสระ 1.03 เมตร/วินาที ค่าความหนาแน่นเหมาะสม 0.94 คน/ตารางเมตร และมีค่า $R^2 = 0.728$, $RSE = 0.133$ และ $AIC = -433.3$

แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 6 จากการแบบวิเคราะห์แบบจำลอง Northwestern พบว่า มีค่าความเร็วอิสระ 0.96 เมตร/วินาที ค่าความหนาแน่นเหมาะสม 1.00 คน/ตารางเมตร และมีค่า $R^2 = 0.557$, $RSE = 0.172$ และ $AIC = -248.3$

แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 7 จากการแบบวิเคราะห์แบบจำลอง Northwestern พบว่า มีค่าความเร็วอิสระ 1.15 เมตร/วินาที ค่าความหนาแน่นเหมาะสม 0.94 คน/ตารางเมตร และมีค่า $R^2 = 0.715$, $RSE = 0.123$ และ $AIC = -493.4$

แบบจำลองของสถานการณ์ที่ 8 จากการแบบวิเคราะห์แบบจำลอง Underwood พบว่า มีค่าความเร็วอิสระ 1.36 เมตร/วินาที ค่าความหนาแน่นเหมาะสม 1.01 คน/ตารางเมตร และมีค่า $R^2 = 0.565$, $RSE = 0.132$ และ $AIC = -443.7$

ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการประมาณค่าแบบจำลองสามารถประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์กระแสจราจรคนเดินเท้าบริเวณต่าง ๆ เช่น แบบจำลองในสถานการณ์ที่ 1 (ปัจจุบัน) เหมาะสำหรับการคาดการณ์กระแสจราจรในสถานการณ์ทั่วไปบริเวณทางเท้าหรือทางเดินปกติ ส่วนแบบจำลองในสถานการณ์ที่ 4 (เดินเร่งรีบ) เหมาะสมที่จะคาดการณ์กระแสจราจรที่เกิดบริเวณสถานีรถไฟฟ้าหรือทางเท้าบริเวณสถานที่ทำงานในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน หรือนำค่าพารามิเตอร์มาใส่ในซอฟต์แวร์แบบจำลองคอมพิวเตอร์ซึ่งต้องการข้อมูลพารามิเตอร์เพื่อที่จะทำการจำลองกระแสจราจรคนเดินเท้า เช่น ค่าความเร็วอิสระ ค่าความหนาแน่นติดขัด

5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัยในอนาคต

จากการผลการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

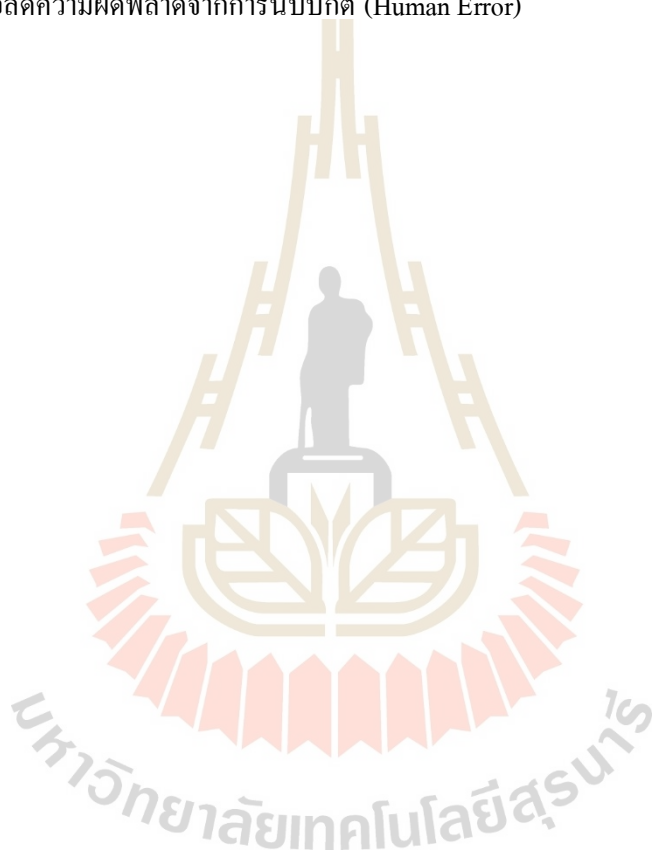
1) ในการสุ่มเลือกกลุ่มตัวอย่างควรเลือกกลุ่มตัวอย่างหรือผู้เข้าร่วมให้ครอบคลุมทุกช่วงอายุ เช่น วัยเด็กหรือวัยรุ่น เนื่องจากความเร็วเฉลี่ยในการเดินนั้นมีความแตกต่างกันไปตามช่วงอายุ

2) ในการทำการทดลองควรเพิ่มจำนวนครั้งหรือจำนวนการเดินในวงรอบของการทดลองให้มากขึ้น และทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างใหม่ทั้งหมดเพื่อหลีกเลี่ยง outlier ที่อาจจะเกิดจากกลุ่มตัวอย่างที่มาจากทำการทดลองเพียงครั้งเดียว

3) ในการกำหนดสถานการณ์ควรมีการเพิ่มการจำลองสถานการณ์สำหรับโครงสร้างพื้นฐานประเภท บันได, ขอบมุมอาคาร และคอคบวค ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานดังกล่าวเป็นส่วนสำคัญสำหรับการศึกษากระแสจราจร เช่นเดียวกัน

4) ลักษณะของกระแสจราจรที่ควรพิจารณาทำการทดลองเพิ่มได้แก่ เช่น เดินตัดกัน, เดินสวนกัน

5) ในการถอดข้อมูล ควรใช้ระบบอัตโนมัติ เช่น Computer vision ในการคำนวณความเร็วในการเดินเพื่อลดความผิดพลาดจากการนับปกติ (Human Error)



รายการอ้างอิง

กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2549). เกณฑ์และมาตรฐานผังเมืองรวม พ.ศ.2549. สืบค้นจาก <http://subsites.dpt.go.th/edocument/index.php/sd-urban/5-2017-04-03-03-01-02>

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2561). โครงการศึกษาการวางแผนเชิงระบบการจัดการเดินรถเพื่อยกระดับการให้บริการไฟฟ้าขนส่งมวลชน รายงานฉบับสุดท้าย. สืบค้นจาก https://www.otp.go.th/uploads/tiny_uploads/ProjectOTP/2561/Project07/FinalReport.pdf

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2561). โครงการศึกษาสำรวจความต้องการเดินทาง (Travel Demand Survey) และปรับปรุงฐานข้อมูลการเคลื่อนย้ายสินค้าเพื่อการวางแผนระบบขนส่งของประเทศ. สืบค้นจาก http://www.otp.go.th/uploads/tiny_uploads/ProjectOTP/2560/Project01/FinalReportTDS.rar

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2558). โครงการบริหารจัดการความต้องการในการเดินทาง (Demand Management) เพื่อรองรับการพัฒนาโครงข่ายการจราจรและระบบขนส่งสาธารณะในเขตกรุงเทพมหานคร โดยวิธีคัดเลือก. สืบค้นจาก http://www.otp.go.th/uploads/tiny_uploads/ProjectOTP/2558/Project10-Demand/FinalReportTDM.pdf

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2560). โครงการศึกษาจัดทำโครงการจัดระบบจอดแล้วจรในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. สืบค้นจาก http://www.otp.go.th/uploads/tiny_uploads/ProjectOTP/2560/Project13/ReportPlanBKK.rar

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2563). แผนการพัฒนาเมืองอัจฉริยะพื้นที่โดยรอบสถานีกลางบางซื่อ. สืบค้นจาก http://www.otp.go.th/uploads/tiny_uploads/PDF/2563-04/25630410-PDF-SmartCity.pdf

สำนักนโยบายและวิชาการสถิติ. (2555). เทคนิคการสุ่มตัวอย่างและการประมาณค่า. สืบค้นจาก <http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/Toneminute/files/55/A3-16.pdf>

Akaike, H. (1998). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In Selected papers of hirotugu akaike (pp. 199-213): Springer.

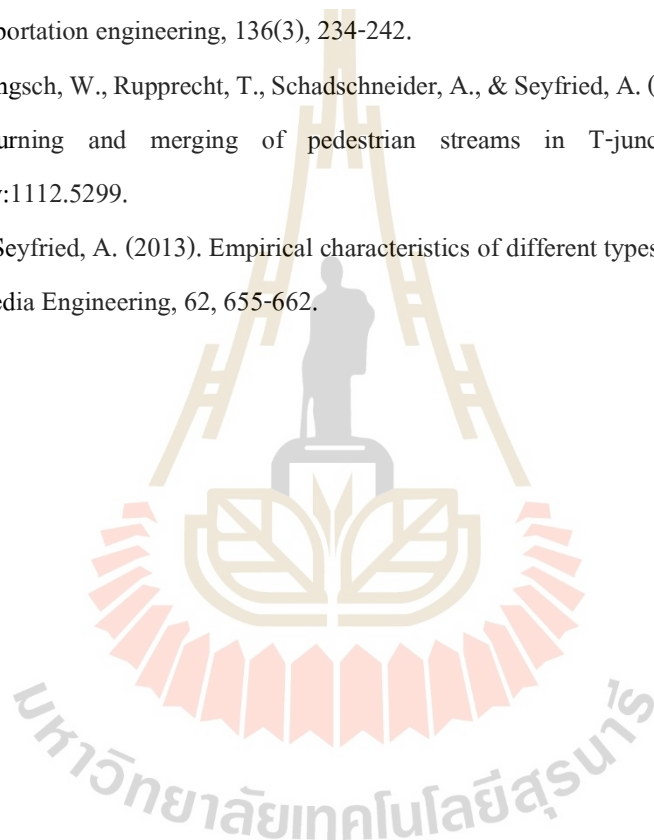
- Al-Azzawi, M., & Raeside, R. (2007). Modeling pedestrian walking speeds on sidewalks. *Journal of Urban Planning and Development*, 133(3), 211-219.
- Alsaleh, R., Sayed, T., & Zaki, M. H. (2018). Assessing the Effect of Pedestrians' Use of Cell Phones on Their Walking Behavior: A Study Based on Automated Video Analysis. *Transportation Research Record*, 2672(35), 46-57.
- Bosina, E., & Weidmann, U. (2017). Estimating pedestrian speed using aggregated literature data. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 468, 1-29.
- Cao, S., Seyfried, A., Zhang, J., Holl, S., & Song, W. (2017). Fundamental diagrams for multidirectional pedestrian flows. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2017(3), 033404.
- Chattaraj, U., Seyfried, A., & Chakroborty, P. (2009). Comparison of pedestrian fundamental diagram across cultures. *Advances in complex systems*, 12(03), 393-405.
- Chen, X., Ye, J., & Jian, N. (2010). Relationships and characteristics of pedestrian traffic flow in confined passageways. *Transportation Research Record*, 2198(1), 32-40.
- Cheung, C., & Lam, W. H. (1998). Pedestrian route choices between escalator and stairway in MTR stations. *Journal of transportation engineering*, 124(3), 277-285.
- Corbetta, A., Meeusen, J., Lee, C.-m., & Toschi, F. (2016). Continuous measurements of real-life bidirectional pedestrian flows on a wide walkway. *arXiv preprint arXiv:1607.02897*.
- Daamen, W. (2004). Modelling passenger flows in public transport facilities.
- Daamen, W., & Hoogendoorn, S. P. (2003). Experimental research of pedestrian walking behavior. *Transportation Research Record*, 1828(1), 20-30.
- Daamen, W., & Hoogendoorn, S. P. (2019). Controlled experiments to derive walking behaviour. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 3(1).
- Das, P., Parida, M., & Katiyar, V. (2015). Analysis of interrelationship between pedestrian flow parameters using artificial neural network. *Journal of Modern Transportation*, 23(4), 298-309.
- Drake, J., Schofer, J. L., & May, A. (1966). A Statistical Analysis of Speed-Density Hypotheses. *Highway Research Record* 154, 53-87.
- Drew, D. R. (1965). Deterministic aspects of freeway operations and control: Texas Transportation Institute College Station, TX.

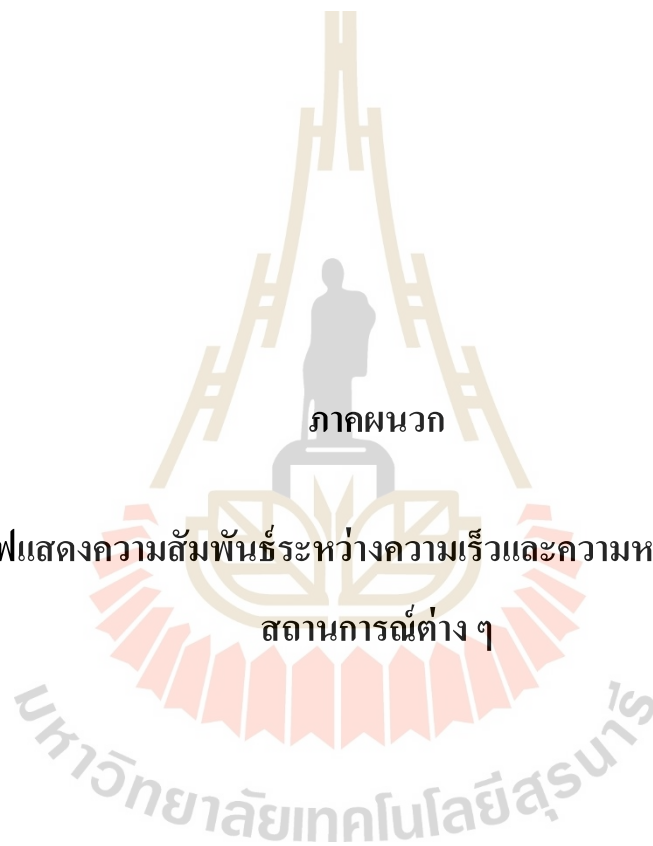
- Duives, D. C., Daamen, W., & Hoogendoorn, S. P. (2013). State-of-the-art crowd motion simulation models. *Transportation research part C: emerging technologies*, 37, 193-209.
- Edie, L. C. (1961). Car-following and steady-state theory for noncongested traffic. *Operations research*, 9(1), 66-76.
- Elefteriadou, L. (2014). *An introduction to traffic flow theory* (Vol. 84): Springer.
- Fang, S. H. (2018). Analysis of Pedestrian Walking Microscopic Characteristics in Urban Rail Transit Station Different Types Passageway. *MS&E*, 392(6), 062131.
- Finnis, K. K., & Walton, D. (2008). Field observations to determine the influence of population size, location and individual factors on pedestrian walking speeds. *Ergonomics*, 51(6), 827-842.
- Fitzpatrick, K., Brewer, M. A., & Turner, S. (2006). Another look at pedestrian walking speed. *Transportation Research Record*, 1982(1), 21-29.
- Fruin, J. J. (1971). *Designing for pedestrians: A level-of-service concept*.
- Fujiyama, T., & Tyler, N. (2004). An explicit study on walking speeds of pedestrians on stairs.
- Greenberg, H. (1959). An analysis of traffic flow. *Operations research*, 7(1), 79-85.
- Greenshields, B., Bibbins, J., Channing, W., & Miller, H. (1935). A study of traffic capacity. Paper presented at the Highway research board proceedings.
- Gupta, A., & Pundir, N. (2015). Pedestrian flow characteristics studies: A review. *Transport Reviews*, 35(4), 445-465.
- Hankin, B., & Wright, R. A. (1958). Passenger flow in subways. *Journal of the Operational Research Society*, 9(2), 81-88.
- HCM, H. C. M. (2000). *Highway capacity manual*. Washington, DC, 2, 1.
- Henderson, L. (1971). The statistics of crowd fluids. *nature*, 229(5284), 381-383.
- Hoogendoorn, S. P., & Daamen, W. (2005). Pedestrian behavior at bottlenecks. *Transportation science*, 39(2), 147-159.
- Hoogendoorn, S. P., Hauser, M., & Rodrigues, N. (2004). Application of Microscopic Pedestrian Flow Simulation to Station Design Evaluation in Lisbon Train Stations.
- Koushki, P. A., & Ali, S. Y. (1993). Pedestrian characteristics and the promotion of walking in Kuwait City Center. *Transportation Research Record*, 1396, 30-33.

- Lam, W. H., & Cheung, C.-y. (2000). Pedestrian speed/flow relationships for walking facilities in Hong Kong. *Journal of transportation engineering*, 126(4), 343-349.
- Lam, W. H., Lee, J. Y., & Cheung, C. (2002). A study of the bi-directional pedestrian flow characteristics at Hong Kong signalized crosswalk facilities. *Transportation*, 29(2), 169-192.
- Lam, W. H., Morrall, J. F., & Ho, H. (1995). Pedestrian flow characteristics in Hong Kong. *Transportation Research Record*(1487).
- Lee, J. Y., & Lam, W. H. (2006). Variation of walking speeds on a unidirectional walkway and on a bidirectional stairway. *Transportation Research Record*, 1982(1), 122-131.
- Lee, Y.-C. (2005). Pedestrian walking and choice behavior on stairways and escalators in public transport facilities.
- Levene, H. (1961). Robust tests for equality of variances. *Contributions to probability and statistics. Essays in honor of Harold Hotelling*, 279-292.
- Liu, X.-d., Song, W.-g., Huo, F.-z., & Jiang, Z.-g. (2014). Experimental study of pedestrian flow in a fire-protection evacuation walk. *Procedia Engineering*, 71, 343-349.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*: John Wiley & sons.
- Montufar, J., Arango, J., Porter, M., & Nakagawa, S. (2007). Pedestrians' normal walking speed and speed when crossing a street. *Transportation Research Record*, 2002(1), 90-97.
- Morrall, J. F., Ratnayake, L., & Seneviratne, P. (1991). Comparison of central business district pedestrian characteristics in Canada and Sri Lanka. *Transportation Research Record*(1294).
- Moussaïd, M., Perozo, N., Garnier, S., Helbing, D., & Theraulaz, G. (2010). The walking behaviour of pedestrian social groups and its impact on crowd dynamics. *PloS one*, 5(4), e10047.
- Munjal, P., & Pipes, L. A. (1971). Propagation of on-ramp density perturbations on unidirectional two-and three-lane freeways. *Transportation Research/UK/*.
- Ni, D. (2015). *Traffic flow theory: Characteristics, experimental methods, and numerical techniques*: Butterworth-Heinemann.
- Older, S. (1968). Movement of pedestrians on footways in shopping streets. *Traffic engineering & control*, 10(4).
- Ott, R. L., & Longnecker, M. T. (2015). *An introduction to statistical methods and data analysis*: Nelson Education.

- Polus, A., Schofer, J. L., & Ushpiz, A. (1983). Pedestrian flow and level of service. *Journal of transportation engineering*, 109(1), 46-56.
- Rahman, K., Ghani, N. A., Kamil, A. A., & Mustafa, A. (2012). Analysis of pedestrian free flow walking speed in a least developing country: a factorial design study. *Research journal of applied sciences, engineering and technology*, 4(21), 4299-4304.
- Ren, X., Zhang, J., Cao, S., & Song, W. (2019). Experimental study on elderly pedestrians passing through bottlenecks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2019(12), 123204.
- Rupprecht, T., Klingsch, W., & Seyfried, A. (2011). Influence of geometry parameters on pedestrian flow through bottleneck. In *Pedestrian and Evacuation Dynamics* (pp. 71-80): Springer.
- Seyfried, A., Passon, O., Steffen, B., Boltes, M., Rupprecht, T., & Klingsch, W. (2009). New insights into pedestrian flow through bottlenecks. *Transportation science*, 43(3), 395-406.
- Seyfried, A., Steffen, B., Klingsch, W., & Boltes, M. (2005). The fundamental diagram of pedestrian movement revisited. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2005(10), P10002.
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591-611.
- Tanaboriboon, Y., & Guyano, J. A. (1989). Level of service standards for pedestrian facilities in Bangkok: A case study. *ITE journal*, 59(11), 39-41.
- Tanaboriboon, Y., & Guyano, J. A. (1991). Analysis of pedestrian movements in Bangkok. *Transportation Research Record*, 1294, 52-56.
- Tanaboriboon, Y., Hwa, S. S., & Chor, C. H. (1986). Pedestrian characteristics study in Singapore. *Journal of transportation engineering*, 112(3), 229-235.
- Tarawneh, M. S. (2001). Evaluation of pedestrian speed in Jordan with investigation of some contributing factors. *Journal of safety research*, 32(2), 229-236.
- Tipakornkiat, C., Limanond, T., & Kim, H. (2012). Determining an influencing area affecting walking speed on footpath: A case study of a footpath in CBD Bangkok, Thailand. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(22), 5453-5464.
- Trigo López, M. (2017). Universality of the Fundamental Diagram in Pedestrian Dynamics.

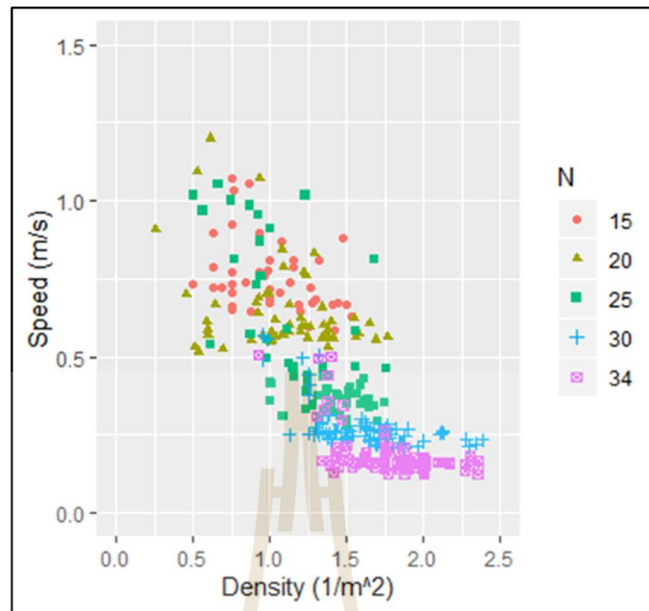
- VIRKLER, M., & ELAYADATH, S. (1994). Pedestrian speed-flow-density relationships: Pedestrians and pedestrian facilities. *Transportation Research Record*(1438), 51-58.
- Wen, Y., Yan, K., & Yu, C. (2007). Level of service standards for pedestrian facilities in shanghai metro stations. Paper presented at the International Conference on Transportation Engineering 2007.
- Wong, S. C., Leung, W., Chan, S. H., Lam, W. H., Yung, N. H., Liu, C., & Zhang, P. (2010). Bidirectional pedestrian stream model with oblique intersecting angle. *Journal of transportation engineering*, 136(3), 234-242.
- Zhang, J., Klingsch, W., Rupprecht, T., Schadschneider, A., & Seyfried, A. (2011). Empirical study of turning and merging of pedestrian streams in T-junction. *arXiv preprint arXiv:1112.5299*.
- Zhang, J., & Seyfried, A. (2013). Empirical characteristics of different types of pedestrian streams. *Procedia Engineering*, 62, 655-662.



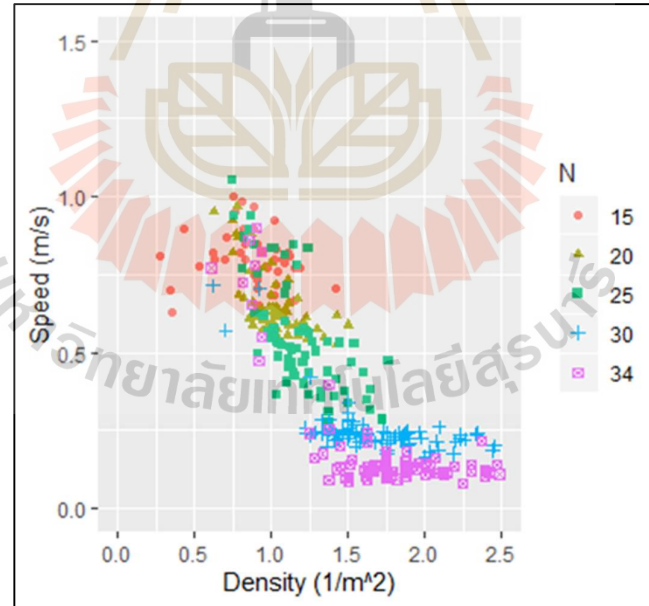


ภาคผนวก

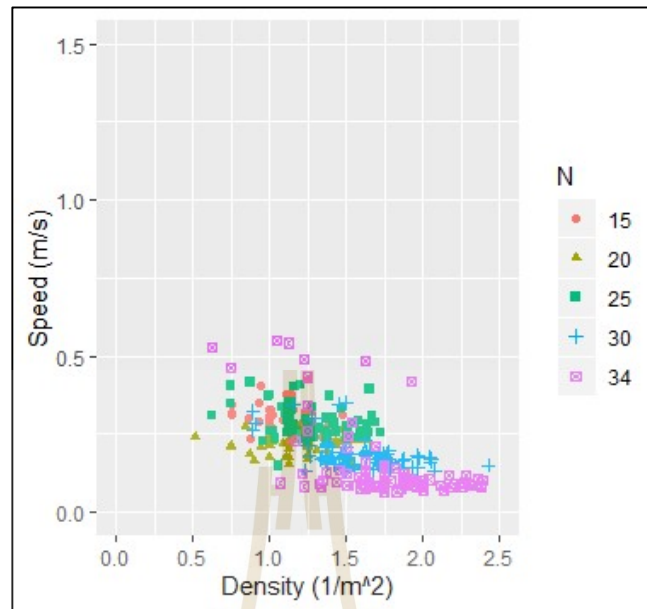
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นของ
สถานการณ์ต่าง ๆ



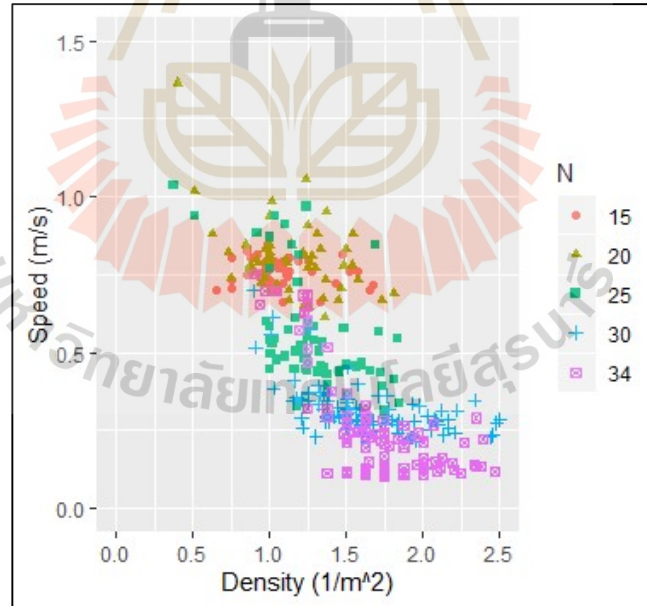
รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นของสถานการณ์ที่ 1



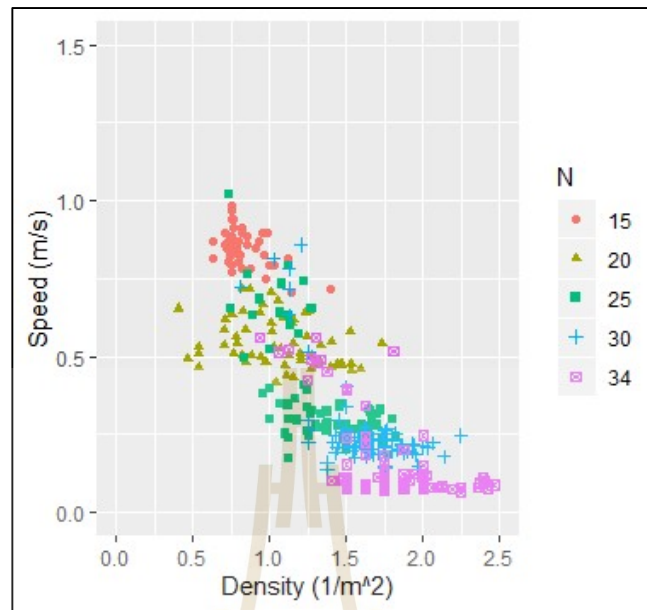
รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นของสถานการณ์ที่ 2



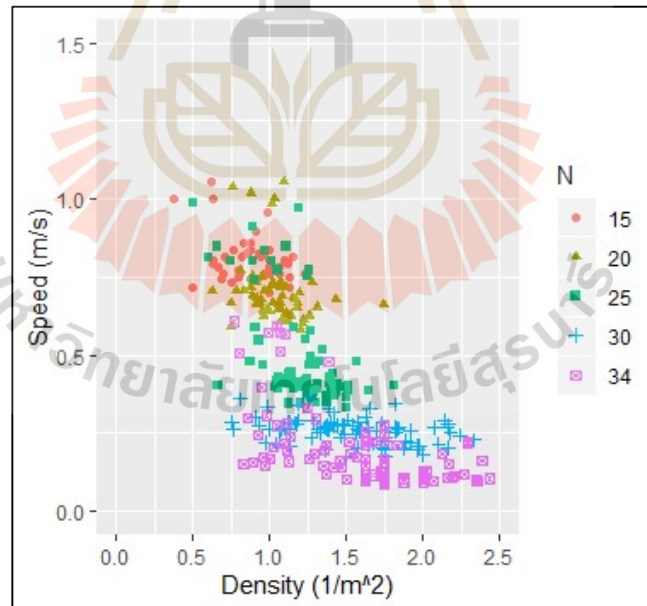
รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นของสถานีการณที่ 3



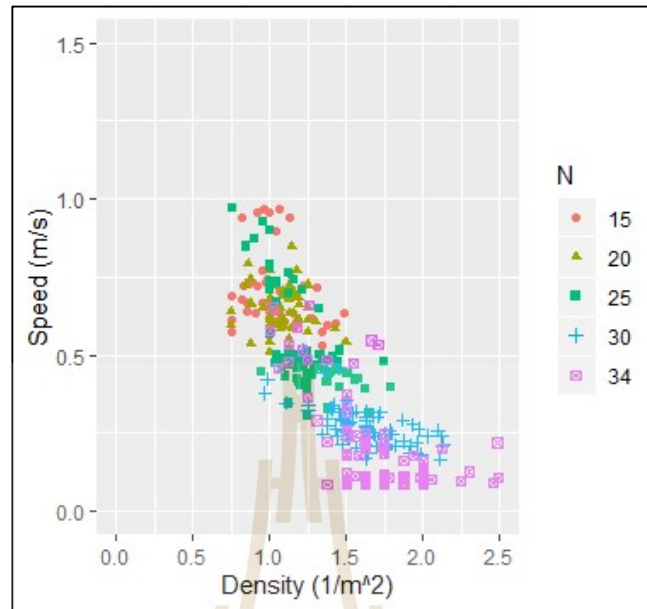
รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นของสถานีการณที่ 4



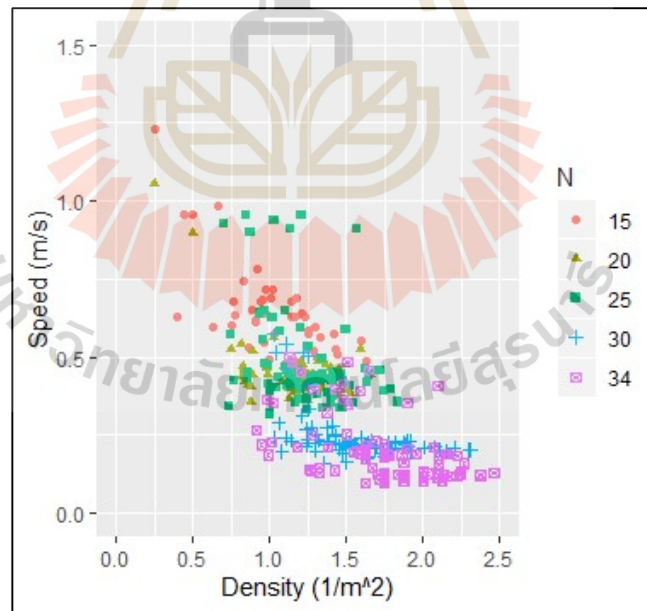
รูปที่ ก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นของสถานีการณที่ 5



รูปที่ ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นของสถานีการณที่ 6



รูปที่ ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นของสถานการณ์ที่ 7



รูปที่ ก.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นของสถานการณ์ที่ 8

ประวัติผู้เขียน

นายวรวุฒิ พานนนท์ เกิดเมื่อวันที่ 25 เดือนกรกฎาคม พ.ศ 2537 จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จ การศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในปี การศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรม ขนส่งและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2560 จากนั้นได้รับทุนวิจัยจาก แหล่งทุนภายนอกจากกองทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา (ทุนOROG) จึงศึกษาต่อในระดับ ปริญญาโท สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ 2560

ขณะที่กำลังศึกษานั้น ได้มีโอกาสเป็นผู้สอนปฏิบัติการ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 6 รายวิชา ได้แก่ (1) การจำลองปัญหาโลจิสติกส์ (SIMULATION FOR LOGISTICS) (2) การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING) (3) วิธีทางสถิติในงานขนส่งและโลจิสติกส์ (STATISTICAL METHODS IN TRANSPORTATION AND LOGISTICS) (4) ปฏิบัติการวิเคราะห์อุปสงค์การเดินทาง (TRAVEL DEMAND ANALYSIS LABORATORY) (5) การจำลองในงานขนส่งและโลจิสติกส์ (SIMULATION AND TRANSPORTATION AND LOGISTICS) (6) แบบจำลองการเดินทาง (TRANSPORT MODELING)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี