การวิเคราะห์คุณลักษณะการเดินบริเวณโถงทางเดินภายในสถานีรถไฟฟ้าเตาปูนจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด

Analysis of Pedestrian Flow Characteristics in Tao Poon MRT Station Walkway from Closed-circuit Television (CCTV) Cameras

เสถียร แก้วคำ[1,*] และ ทรงยศ กิจธรรมเกษร[2]

[1] บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
**Corresponding author; E-mail address: satien_kaew@hotmail.com*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าคุณลักษณะการเดินและวิเคราะห์ ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรพื้นฐานการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้า เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกทางเดินภายในสถานีรถไฟฟ้า เก็บข้อมูลด้วยการบันทึกวิดีโอด้วยกล้องวงจรปิด (CCTV) และพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) เพื่อช่วยในการสกัดข้อมูลจากวิดีโอมาคำนวณปรับเทียบค่าพารามิเตอร์โดยใช้แบบจำลองความสัมพันธ์ตัวแปรพื้นฐานทฤษฎีการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้าต่าง ๆ จากการศึกษาความสัมพันธ์ตัวแปรพื้นฐานการไหลของกระแสจราจรคนเดินปรับเทียบค่าพารามิเตอร์กับข้อมูลในพื้นที่การศึกษาแล้วพบว่ามีความเร็วในการเดินเฉลี่ย 1.50 เมตร/วินาที และแบบจำลองของ Underwood มีแนวโน้มการกระจายตัวและความถูกต้องสอดคล้องกับบริบทของพื้นที่ศึกษาดีที่สุดโดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นมีค่า $R^2 = 0.944$ ได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้ ความเร็วและความหนาแน่น $v = 1.9e^{-\frac{k}{0.36}}$, อัตราการไหลและความเร็ว,อัตราการไหลและความหนาแน่น $q = 1.9ke^{-\frac{k}{0.36}}$ และพบว่าทางเดินพื้นที่การศึกษามีระดับการให้บริการที่ระดับ A ตามมาตรฐาน HCM 2010

คำสำคัญ: รถไฟฟ้าขนส่งมวลชน, ทฤษฎีการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้า, คอมพิวเตอร์วิทัศน์

Abstract

This research aims to find pedestrian characteristics and calibration macroscopic pedestrian traffic flow parameter. To provide basic information for design of walkway facilities in the railway station. Collecting data by recording video with CCTV and developing computer vision software to help extract data from video to calibrate the parameters using the basic variable correlation model, the flow theory of various pedestrian traffic flows. In case of study the relationship between the basic variables of the pedestrian traffic flow, the parameters were calibrated with the data in study area and found average walking speed at 1.50 m/s and Underwood's model has the best tendency and accuracy that are consistent with context of study area, in accordance with relationship between velocity and density is $R^2 = 0.944$ and has the relationship equation as follow: Velocity and Density: $v = 1.9e^{-\frac{k}{0.36}}$, Flow Rate and Velocity $q = 0.36v(\ln 1.9 - \ln v)$, Rate and Density: $q = 1.9ke^{-\frac{k}{0.36}}$ .This research found level of service of walkway in this study has A level follow by standard of HCM 2010

Keywords: Mass Rapid Transit, pedestrian traffic flow theory, Computer vision

1. คำนำ

ระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนเป็นระบบขนส่งที่มีประสิทธิภาพ สามารถขนส่งผู้โดยสารได้ครั้งละปริมาณมาก มีความสะดวกและความรวดเร็วในการเดินทาง หากมีการวางแผนจุดจอดแล้วจรที่ดี ราคาค่าโดยสารที่เหมาะสม วางแผนระบบรองเพื่อเชื่อมต่อให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ มีโครงสร้างพื้นฐานการเดินภายในสถานีที่สะดวก ประชาชนที่ใช้รูปแบบการเดินทางรูปแบบอื่นอาจหันมาใช้ระบบขนส่งสาธารณะมากขึ้น ทั้งนี้การลงทุนในโครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนนั้นต้องใช้เงินลงทุนสูง ในหลายจังหวัดที่มีปัญหาการจราจรที่ติดขัด ประชากรหนาแน่น จึงยังไม่มีระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน การออกแบบระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนนั้นส่วนใหญ่มีจุดมุ่งหมายเพื่อความปลอดภัย ความสะดวกต่อผู้ใช้งาน และเงินลงทุนที่เหมาะสม มาตรฐานในการออกแบบ ส่วนใหญ่ล้วนต้องใช้ค่าคุณลักษณะการเดินที่เป็นตัวแปรพื้นฐาน ได้แก่ อัตราการไหล (Flow Rate) ความเร็ว (Speed) และความหนาแน่น (Density) ที่ทำการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์แล้ว โดยเก็บข้อมูล

จากพื้นที่ที่จะก่อสร้าง จากการศึกษาในอดีตพบว่าประชากรในซีกโลกฝั่งตะวันตกและซีกโลกตะวันออกมีค่าตัวแปรพื้นฐานที่แตกต่างกัน ควรหลีกเลี่ยงที่จะนำมาตรฐานจากต่างประเทศมาใช้กับการออกแบบโดยตรง [1] ปัจจัยช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บค่าอัตราการไหล (Flow Rate) ของทางเดินที่เชื่อมต่อกับระบบขนส่งสารธารณะที่แตกต่างกันก็เป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ค่าอัตราการไหล (Flow Rate) ต่างกัน ผู้วิจัยในเรื่องนั้นได้สันนิษฐานไว้ว่าอาจเพราะความถี่ของการมาของรถไฟในแต่ละรอบ [2] ในการเก็บข้อมูลตัวแปรพื้นฐานจากภาคสนามบางครั้งค่าที่เก็บได้ไม่ครอบคลุมทุกระดับความหนาแน่นทำให้ไม่สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบได้ จึงต้องใช้แบบจำลองความสัมพันธ์ตัวแปรพื้นฐานทฤษฎีการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้า ที่ประยุกต์มาจากของยานพาหนะอีกทีทำให้สามารถหาค่าพารามิเตอร์ได้ครบถ้วน

การเก็บข้อมูลคุณลักษณะการเดินมีหลากหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป จากการศึกษาเรื่องการประเมินคุณลักษณะการสัญจรของนักท่องเที่ยวบนถนนคนเดินเชียงใหม่ [3] พบว่าการเก็บข้อมูลคุณลักษณะการเดินจากกล้องวงจรปิด CCTV มีข้อจำกัดคือต้องการพื้นที่ความจุข้อมูลสูง ขาดความยืดหยุ่นในการเก็บข้อมูลไม่สามารถเคลื่อนย้ายกล้องได้ แต่มีข้อดีคือสามารถมองเห็นคนเดินเท้ามุมสูงครอบคลุมพื้นที่กว้างและสามารถตรวจทานข้อมูลย้อนหลังได้

การศึกษานี้จึงเก็บข้อมูลด้วยกล้องวงจรปิด (CCTV) ที่ทางเดินชั้น 1 ของสถานีรถไฟฟ้าเตาปูน เนื่องจากการแปลผลจากวิดีโอค่อนข้างใช้เวลามาก การศึกษานี้จึงพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) เพื่อช่วยในการแปลผลข้อมูลจากวิดีโอออกมาเป็นคุณลักษณะการเดิน โดยนำมาคำนวณตัวแปรพื้นฐานของการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้าและคำนวณค่าปรับแก้ของแบบจำลองความสัมพันธ์ตัวแปรพื้นฐานทฤษฎีการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้า ทำการเปรียบเทียบผลจากหลากหลายแบบจำลอง เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกทางเดินภายในสถานีรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่เข้ากับบริบทของคนไทย ซึ่งอาจใช้เงินลงทุนโครงสร้างพื้นฐานการเดินที่แตกต่างจากการใช้ค่าคุณลักษณะจากต่างประเทศโดยตรง ทั้งอำนวยความสะดวกและมีความปลอดภัยในการใช้งานจากการออกแบบสำหรับคนไทย หากต้องใช้เงินลงทุนน้อยลงมีความเป็นไปได้ที่จะมีการลงทุนในโครงการระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในสถานที่อื่นเพิ่ม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากจำนวนตัวอย่างที่มากและวัตถุประสงค์การเดินทางที่หลากหลาย การศึกษาในครั้งนี้จึงเลือกวิเคราะห์ตัวแปรและใช้แบบจำลองในระดับมหภาค ในการหาตัวแปรพื้นฐานการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้าที่ทางเดินภายในสถานีรถไฟฟ้า วิเคราะห์ ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ความเร็ว อัตราการไหล และความหนาแน่น ผู้ศึกษาได้รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคนเดินเท้า ระดับการให้บริการทางเดิน แบบจำลองทฤษฎีการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้า และการการพัฒนาซอฟต์แวร์ช่วยสกัดข้อมูล ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ลักษณะทั่วไปของคนเดิน

2.1.1 ความต้องการพื้นที่ของคนเดินเท้า

ในการหาพื้นที่ยืนขั้นต่ำเพื่อออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกทางเดินอย่างง่ายทำโดยการกำหนดพื้นที่โดยรอบร่างกายเป็นรูปวงรีมีความยาว 60 เซนติเมตรตามแนวความกว้างของไหล่ ความลึก 50 เซนติเมตรตามความลึกของร่างกาย ทำให้ได้พื้นที่การยืนสำหรับหนึ่งคนมีพื้นที่ 0.3 ตารางเมตร สำหรับการประเมินสิ่งอำนวยความสะดวกทางเดินกำหนดพื้นที่ 0.75 ตารางเมตร/คน โดยเป็นการเพิ่มการเว้นระยะระหว่างแต่ละคน (Buffer Zone) ในการเดินนั้นผู้เดินต้องการพื้นที่ในการเดินละระยะด้านหน้า ซึ่งจะส่งผลต่อความเร็วในการเดิน [4]

2.1.2 ความเร็วการเดิน

โดยทั่วไปค่าความเร็วเฉลี่ยการเดินมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.8–1.8 เมตร/วินาที หากในกลุ่มของผู้เดินที่มีสัดส่วนของผู้สูงอายุที่มีอายุเกิน 65 ปีไม่เกิน 20% จะใช้ค่าความเร็วการเดินเฉลี่ย 1.2 เมตร/วินาที ถ้าสัดส่วนผู้สูงอายุมากกว่า 20% ใช้ค่าความเร็วการเดินเฉลี่ย 1.0 เมตร/วินาที บนทางเท้าค่าความเร็วอิสระการเดิน (Free Flow Speed) ใช้ค่าประมาณ 1.5 เมตร/วินาที [4]

2.1.3 ความกว้างประสิทธิผลการเดิน

ความกว้างประสิทธิผลทางเดินคือระยะความกว้างหลังจากลดทอนค่าความกว้างเมื่อด้านข้างเป็นสิ่งรบกวนการเดิน เช่น ผนังทึบ ขอบถนน เสา สิ่งกีดขวางอื่น ๆ เพื่อการเดินสวนกันอย่างสะดวก ช่องทางเดินควรมีความกว้างอย่างต่ำ 0.8 เมตร [5]

2.2 ระดับการให้บริการทางเดิน

ระดับการให้บริการคือการบ่งบอกถึงคุณภาพในการให้บริการแสดงเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ 6 ตัว ได้แก่ A, B, C, E, D และ F ซึ่งค่าแต่ละค่าจะแสดงถึงลักษณะและสภาพการจราจรที่แตกต่างกันโดยเริ่มจากระดับการให้บริการ A จะแสดงสภาพการจราจรที่ดีที่สุด F เป็นสภาพการจราจรที่แย่ที่สุด เกณฑ์ในการหาค่าระดับการให้บริการนั้นมีหลากหลายเกณฑ์แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ โดยในที่นี้เป็นเกณฑ์อ้างอิงจาก Highway Capacity Manual 2010 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับการให้บริการทางเดิน (**Walkway LOS**)

LOS	Pedestrian Space (m^2/ped)	Expected Flows and Speeds		
		Avg. Speed, V (m/min)	Flow per Unit Width, q (ped/m/min)	V/C
A	> 3.3	79	0.0 - 23	0.0 – 0.3
B	2.3 – 3.3	76	23 - 33	0.3 – 0.4
C	1.4 – 2.3	73	33 - 49	0.4 – 0.6
D	0.9 – 0.4	69	49 - 66	0.6 – 0.8
E	0.5-0.9	46	66 82	0.8 – 1.0
F	< 0.5	<46	Variable	Variable

*** ดัดแปลงจาก [5]*

2.3 ทฤษฎีการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้า

จากมาตรฐาน Highway Capacity Manual [5] อธิบายไว้ว่าลักษณะการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้ามีความคล้ายคลึงกับการไหลของกระแสรจราจรยานพาหนะ สามารถอธิบายลักษณะได้ด้วยตัวแปร อัตราการไหล (Flow Rate) ความเร็ว (Speed) และความหนาแน่น (Density) รายละเอียดเกี่ยวกับตัวแปรมีดังต่อไปนี้

2.3.1 ความเร็วในการเดิน (Pedestrian Speed)

หมายถึงระยะทางคนเดินภายในหนึ่งหน่วยเวลา ในการศึกษานี้แทนด้วยตัวแปรด้วย v ใช้หน่วยเป็น เมตร/วินาที

2.3.2 อัตราการไหลของการเดิน (Pedestrian Flow Rate)

หมายถึงจำนวนผู้เดินเท้าที่เดินผ่านแนวเดียวกับความกว้างทางเดินที่ตั้งฉากกับทางเดิน ในการศึกษานี้แทนตัวแปรด้วย q ใช้หน่วยเป็น คน/เมตร/นาที

2.3.3 ความหนาแน่นของคนเดิน (Pedestrian Density)

หมายถึงจำนวนผู้เดินเท้าที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาแทนตัวแปรด้วย k ใช้หน่วยเป็น คน/ตารางเมตร

2.3.4 ความเร็วอิสระ (Free-Flow Speed)

หมายถึงความเร็วในการเดินเท้าที่คนเดินสามารถใช้ความเร็วได้อิสระโดยไม่มีคนขัดขวางหรือมีคนเดินอยู่

2.3.5 ความหนาแน่นติดขัด (Jam Density)

หมายถึงจำนวนคนต่อพื้นที่ที่อยู่ในสภาพการจราจรที่คนไม่สามารถเดินได้ ซึ่งแสดงถึงความจุ (Capacity) หรือขีดจำกัดของทางเดินนั้น

2.3.6 พื้นที่การเดิน (Pedestrian Space)

หมายถึงขนาดของพื้นที่เฉลี่ยของการเดินของแต่ละคนบนทางเดินหรือบริเวณการเข้าคิว มีหน่วยเป็น ตารางเมตร/คน มักเป็นค่าที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์สิ่งอำนวยความสะดวกทางเดิน ค่าพื้นที่การเดินนี้เป็นส่วนกลับของค่าความหนาแน่นคนเดิน

2.4 แบบจำลองทฤษฎีการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้า

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อคาดการณ์และวิเคราะห์สภาพการจราจรนั้น แบบจำลองแรกเริ่มมีลักษณะเป็นแบบจำลองเดี่ยว (Single-Regime Model) ซึ่งมีเพียงสมการเดียวสำหรับอธิบายสภาพการจราจรตั้งแต่สภาพเบาบางไปจนถึงสภาพติดขัดหนาแน่น แบบจำลอง Greenshield [6] พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพื้นฐาน อัตราการไหล (Flow) ความเร็ว (Speed) และความหนาแน่น (Density) สามารถเขียนออกมาเป็นรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ (1)

$$q = kv \tag{1}$$

โดย q หมายถึง อัตราการไหล (คน/เมตร/นาที)
k หมายถึง ความหนาแน่น (คน/ตารางเมตร)
v หมายถึง ความเร็ว (เมตร/วินาที)

แบบจำลองของ Greenshield เป็นลักษณะของความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเร็ว (Speed) และความหนาแน่น (Density) แต่ข้อมูลจริงนั้นความสัมพันธ์ไม่ได้เป็นเส้นตรงเสมอไป ดังนั้นในปี ค.ศ. 1959 Greenberg [7] จึงได้นำเสนอแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบลอการิทึม เป็นแบบจำลองที่เพิ่มความถูกต้องตามลักษณะที่เกิดขึ้นจริงมากขึ้น แต่มีข้อเสียคือเมื่อความหนาแน่น (Density) เข้าใกล้ศูนย์ ค่าความเร็วอิสระจะเป็นค่าอนันต์ ทำให้ไม่สามารถหาค่าความเร็วอิสระได้ เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของแบบจำลองของ Greenberg ในปีค.ศ. 1961 Underwood [8] ได้นำเสนอแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบเอกซ์โพเนนเชียล ทำให้สามารถหาค่าความเร็วอิสระ (Free Flow Speed) ได้ แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถหาค่าความเร็วที่การจราจรมีความหนาแน่นสูงได้เนื่องจากความเร็ว (Speed) จะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อความหนาแน่น (Density) มีค่าเป็นอนันต์เท่านั้น ในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาแบบจำลองมากมายที่มีความซับซ้อนและความแม่นยำมากขึ้น โดยใช้พื้นฐานจากแบบจำลองข้างต้น รวมทั้งมีการนำเสนอสร้างแบบจำลองที่ใช้ 2 สมการ (Two-Regime) [9] โดยการนำข้อดีของสมการจากแบบจำลองข้างต้นมารวมกันเพื่อให้สามารถใช้งานแบบจำลองได้ในทุกช่วงสถาพการจราจร จากสมการที่ (2) ของแบบจำลอง Greenshield

$$v = v_f\left(1-\frac{k}{k_j}\right) \tag{2}$$

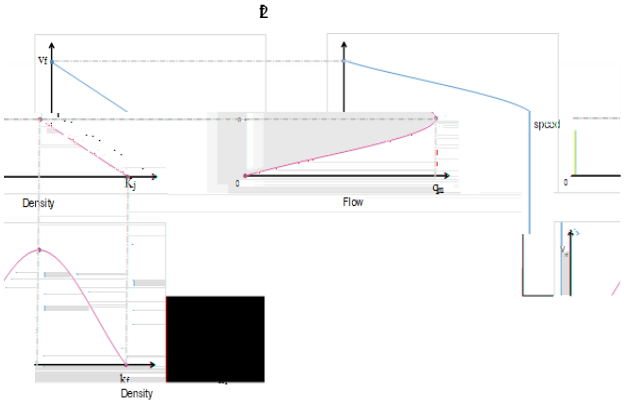
โดย v หมายถึง ความเร็ว มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที
v_f หมายถึง ความเร็วอิสระ มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที
k หมายถึง ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น คน/ตารางเมตร
k_f หมายถึง ความหนาแน่นติดขัด มีหน่วยเป็น คน/ตารางเมตร

เมื่อประยุกต์สมการที่ (1) โดยแทนค่าลงสมการที่ (2) จะได้สมการที่ (3) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการไหลและความหนาแน่น

$$q = v_f\left(k-\frac{k^2}{k_j}\right) \tag{3}$$

เมื่อประยุกต์สมการที่ (1) โดยแทนค่า k ลงสมการที่ (2) จะได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและการไหล ดังสมการที่ (4)

—— (4)



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร Flow Speed Density

ตารางที่ 2 สมการแบบจำลองระดับมหภาค

Model	Equation	Parameter
Greenshield	$v = v_f\left(1-\frac{k}{k_j}\right)$	v_f = ความเร็วอิสระ k_j = ความหนาแน่นติดขัด
Greenberg	$v = v_m \ln\left(\frac{k_j}{k}\right)$	v_m = ความเร็วเหมาะสม k_j = ความหนาแน่นติดขัด
Underwood	$v = v_f e^{-\frac{k}{k_m}}$	v_f = ความเร็วอิสระ k_m = ความหนาแน่นเหมาะสม
Northwestern	$v = v_f e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{k}{k_m}\right)^2}$	v_f = ความเร็วอิสระ k_m = ความหนาแน่นเหมาะสม

2.5 *การปรับเทียบแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation)*

วิธีการประเมินผลด้วย MAE (Mean Absolute Error) คือเกณฑ์ที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองโดยนำหลักสถิติมาช่วยพิสูจน์ความเหมาะสมของแบบจำลองด้วยวิธีผลรวมของการวัดที่พอดี (Aggregate Goodness of Fit Measurement) โดยเป็นวิธีประเมินค่าความผิดพลาดระหว่างค่าของแบบจำลองและค่าที่ได้มาจากข้อมูลที่ไปสำรวจโดยจะใช้ค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ข้อมูล ดังแสดงตามสมการที่ (5)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} | y_i - x_i |}{n} \quad (5)$$

โดย y หมายถึง ค่าที่ได้จากการสำรวจ
x หมายถึง ค่าที่ได้จากแบบจำลอง
n หมายถึง จำนวนข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

2.6 *คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision)*

จากหนังสือ Artification intelligence with Machine Learning AI สร้างได้ด้วยแมชชีนเลิร์นนิ่ง [10] ได้ให้ความหมายของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) ไว้ว่าเปรียบได้กับการสร้างตาให้กับเครื่องจักร สามารถรับรู้สิ่งแวดล้อมจากภาพ เช่น การรู้จำใบหน้ามนุษย์ การจำแนกสิ่งของในภาพ หรือการตรวจหาตำแหน่งสิ่งของที่ต้องการจากภาพ

2.7 *การพัฒนาซอฟต์แวร์ช่วยสกัดข้อมูล*

ด้วยวิธีการเก็บข้อมูลจากกล้องวงจรปิดโดยทั่วไปหากต้องการความแม่นยำและรายละเอียดของตัวอย่างต้องคอยสังเกตเวลาเข้าออกพื้นที่ศึกษาคนแต่ละคนซึ่งในบางครั้งหากต้องการข้อมูลที่มากเพิ่มขึ้นอีก เช่น เพศ การถือกระเป๋า เมื่อมีคนเดินเข้ามาในพื้นที่การศึกษาครั้งละหลายคนอาจทำให้ต้องวนดูหลายรอบและสร้างความสับสนในการสกัดข้อมูลได้ดังรูปที่ 2



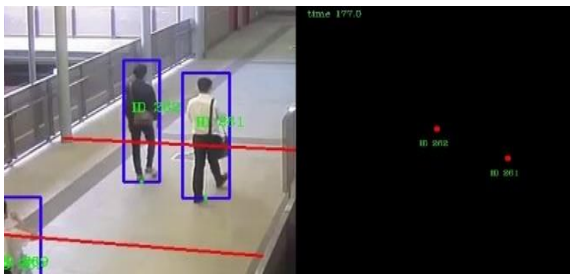
รูปที่ 2 หน้าต่างผลลัพธ์ซอฟต์แวร์ช่วยสกัดข้อมูล

ผู้ศึกษาจึงพัฒนาซอฟต์แวร์โดยใช้ภาษา Python ซึ่งเป็นที่นิยมในการพัฒนาซอฟต์แวร์และระบบต่าง ๆ ร่วมกับการใช้หลักการคอมพิวเตอร์วิทัศน์มาตรวจจับและสร้างกรอบให้กับรูปคนในวิดีโอพร้อมระบุพิกัดที่เท้าและแจกจ่าย ID ให้ทุกคนเพื่อให้ง่ายในการระบุตัวตน ตัวอย่างดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างการตรวจจับระบุจุดที่เท้าและการระบุ ID

ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาสามารถตรวจจับตำแหน่งตรงเท้าของตัวอย่างและใช้เป็นตัวกำหนดการเข้าออกพื้นที่ศึกษา ผู้พัฒนาได้เพิ่มมุมมอง Top View True Scale และข้อความแสดงเวลาเป็นหน่วยวินาทีด้านขวามือของวิดีโอเพื่อเพิ่มความสะดวกและความแม่นยำในการบันทึกข้อมูลการเข้าออกพื้นที่การศึกษาของคนเดิน โดยทำการแปลงพิกัดจากมุมมอง Perspective เป็นมุมมอง Top View โดยใช้สมการ Projective Transformation ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเพิ่มมุมมอง Perspective เป็นมุมมอง Top View

2.8 *งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง*

ยอดพล ธนาบริบูรณ์และ Guyano (1991) [4] ทำการวิเคราะห์การเดินในกรุงเทพมหานครบริเวณทางเดินและบันได เก็บข้อมูลด้วยการบันทึกวิดีโอ สุ่มคนในการคำนวณความเร็วจากการศึกษาพบว่าที่ค่าเฉลี่ยความเร็วในการเดินของคนแต่ละวัยที่ทางเดินมีค่าระหว่าง 49.5-76.44 เมตร/นาที

ที่ทางขึ้นบันไดมีค่าระหว่าง 29.26-32.92 เมตร/นาที ที่ทางลงบันไดมีค่า 36.89-43.89 เมตร/นาที เมื่อเปรียบเทียบผลกับประเทศอื่นมีค่าที่แตกต่างกัน จากผลการศึกษานำมามาปรับการระบุระดับการให้บริการให้เหมาะสมกับลักษณะพฤติกรรมของคนไทยพบว่ามาตรฐานการออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนเดินเท้าในกรุงเทพควรเป็นไปตามมาตรฐานท้องถิ่นและผู้ออกแบบควรพยายามหลีกเลี่ยงการใช้มาตรฐานการออกแบบคนเดินเท้าจากต่างประเทศโดยตรง

Rastogi et al (2013) [11] ทำการศึกษาลักษณะการไหลของกระแสจราจรคนเดินที่สิ่งอำนวยความสะดวกทางเดินแต่ละชนิดและสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ศึกษา 5 พื้นที่ในภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศอินเดีย ทำการเก็บข้อมูลด้วยการบันทึกวิดีโอในพื้นที่ที่ทราบมิติความกว้าง ความยาว สำหรับคำนวณพารามิเตอร์ พบว่าที่ความหนาแน่นต่ำหรือที่อัตราการไหลที่ไม่สูง ในแต่ละประเภทของสิ่งอำนวยความสะดวกทางเดินจะมีลักษณะการไหลของกระแสจราจรที่เหมือนกัน จะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนขึ้นเมื่อความหนาแน่นหรืออัตราการไหลสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาพฤติกรรมการเดินในประเทศสหรัฐอเมริกา สหราชอาณา ประเทศจีน และในกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบว่ามีค่าที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าวัฒนธรรมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ส่งผลต่อลักษณะพฤติกรรมการเดิน และยังพบว่าความเร็วอิสระการเดินในประเทศอินเดียสูงกว่าประเทศส่วนใหญ่ในเอเชีย แต่ความเร็วเฉลี่ยการเดินของประเทศอินเดียจะต่ำกว่า เป็นข้อบ่งชี้ว่าประเทศอินเดียมีการจราจรการเดินที่แออัด ความเร็วในการเดินถูกจำกัดด้วยโครงสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกทางเดิน เพราะอาจมีความจุไม่พอรองรับจำนวนผู้ใช้งาน ซึ่งหากมีการปรับสิ่งอำนวยความสะดวกทางเดินให้เหมาะสมแล้วความเร็วเฉลี่ยของการเดินอาจเพิ่มขึ้น

Patra et al (2017) [12] ทำการประเมินลักษณะกระแสจราจรการเดินที่สิ่งอำนวยความสะดวกทางเดินภายในสถานีรถไฟในประเทศอินเดีย โดยทำการศึกษาที่โถงทางเดิน บันได และบันไดเลื่อน เก็บข้อมูลด้วยการบันทึกวิดีโอแล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลผลจากการศึกษาพบว่าที่ทางเดินที่มีราวกั้นและไม่มีราวกั้นตรงกลาง ที่บันไดและบันไดเลื่อน ค่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ต่ำกว่าการศึกษาในพื้นที่อื่น พบว่าการไหลของกระแสจราจรคนเดิน ที่ทางเดินทั้งแบบมีที่กั้นและไม่มีที่กั้นตรงกลางไม่แตกต่างกัน ที่ทางเชื่อมทางเดินขึ้นบันไดพบว่า เมื่อผู้เดินเดินจากทางเชื่อมมาขึ้นบันไดแล้วความเร็วในการเดินที่บันไดสูงกว่าที่ทางเดิน ที่ทางเดินหากมีผู้เดินข้างหน้าผู้เดินจะเดินตามกันไม่เปลี่ยนช่องทางเดินไม่พูดคุย ที่บันไดหากมีพื้นที่ว่างก็จะมีการเคลื่อนที่ไปทางนั้น ความเร็วในการเดินของกลุ่มผู้เดินแยกตาม เพศ อายุ การถือกระเป๋า มีความแตกต่างกัน จำแนกตามเพศผู้ชายเดินเร็วกว่าผู้หญิง จำแนกตามช่วงอายุผู้สูงอายุเดินช้าที่สุด การถือกระเป๋าใหญ่ทำให้ความเร็วการเดินเฉลี่ยลดลง และจะยิ่งต่างกันชัดเจนเมื่อเป็นทางขึ้นบันได สิ่งที่ค้นพบในการศึกษานี้คือเมื่อผู้เดินเปลี่ยนประเภทสิ่งอำนวยความสะดวกทางเดินถึงแม้จะเชื่อมต่อกัน จะส่งผลให้ความเร็วเปลี่ยนไป ข้อมูลนี้มีประโยชน์ในการออกแบบประเมินประสิทธิภาพของสิ่งอำนวยความสะดวก ในสิ่งแวดล้อมหรือเงื่อนไขแบบของประเทศอินเดียเอง เพราะค่าพารามิเตอร์ที่ได้ค่อนข้างมีความแตกต่างกับการศึกษาในพื้นที่อื่นสามารถประยุกต์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ การเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์

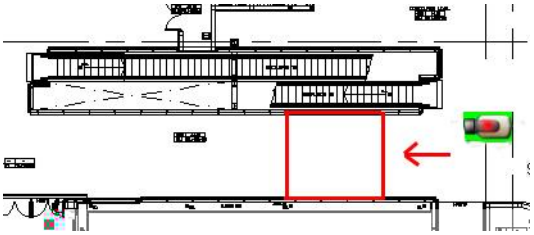
จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงความสำคัญในการสำรวจข้อมูลพฤติกรรมการเดินและปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองของแต่ละพื้นที่ เพราะข้อมูลพฤติกรรมและค่าปรับแก้แต่ละพื้นที่ต่างกัน

3. การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้ข้อมูลเมื่อปี ค.ศ. 2018 ก่อนที่จะมีการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19

3.1 พื้นที่การศึกษา

ทำการเก็บข้อมูลที่บริเวณทางเดินชั้นหนึ่งสถานีรถไฟฟ้าเตาปูนจากกล้องวงจรปิด CCTV วัดระยะขนาดพื้นที่ศึกษากว้าง 4.8 เมตร แต่ใช้ค่า 4.0 เมตร ในการคำนวณเพราะมีเสาและราวกีดขวาง ด้านยาวยาว 4.8 เมตร



รูปที่ 5 แปลนพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 6 พื้นที่การศึกษา

3.2 การเก็บข้อมูล

บันทึกข้อมูลจากกล้องวงจรปิดช่วงเวลา 7.30 – 8.30 น. ของวันทำงานปกติ

3.3 การแปลผลจากวิดีโอ

พัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อช่วยในการระบุ ID ให้แต่ละคน ระบุเวลา และมุมมอง Top View เพื่อให้ง่ายต่อการบันทึกข้อมูลสำหรับประมวลผลในขั้นตอนต่อไป ดังรูปที่ 7

	A	B	C	D	E	F
1	ID	Gen	Hand	Tiem IN	Time OUT	Travel Time
2	138	2	2	61.5	64.4	2.9
3	165	2	2	68.83	73.13	4.3
4	212	2	2	89.33	92.67	3.34
5	213	2	2	89.47	92.03	2.56
6	202	2	2	91.27	95.67	4.4
7	196	1	2	96.93	100.57	3.64
8	220	3	2	99	103.3	4.3

รูปที่ 7 ตารางการบันทึกข้อมูลที่สกัดออกมาได้

ตารางบันทึกข้อมูลจากวิดีโอเพื่อคำนวณพารามิเตอร์และสังเกตพฤติกรรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

ID คือตัวเลขที่จะระบุให้กับคนเดินแต่ละคนไม่ซ้ำกัน

Gen คือตัวแปรสำหรับระบุเพศ โดย 1 คือเพศชาย 2 คือเพศหญิง

Hand คือการถือกระเป๋าโดย 0 คือไม่มีกระเป๋า 1 คือมีกระเป๋าเป้ 2 คือมีกระเป๋าถือ 3 คือมีทั้งกระเป๋าเป้และกระเป๋าถือ

Time In คือเวลาที่ตัวอย่างเดินเข้าพื้นที่ศึกษามีหน่วยเป็นวินาที

Time Out คือเวลาที่ตัวอย่างเดินออกจากพื้นที่ศึกษามีหน่วยเป็นวินาที

Travel Time คือเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านระหว่างเส้นสังเกตทั้งสองมีหน่วยเป็นวินาที

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากตารางบันทึกข้อมูลสามารถคำนวณตัวแปรพื้นฐานการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้า ประกอบด้วยความเร็ว (Speed) ความหนาแน่น (Density) และอัตราการไหล (Flow Rate) ได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 ความเร็วในการเดิน (Speed)

คำนวณความเร็วในการเดินของแต่ละ ID โดยการนำระยะทาง หารด้วยเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ในการศึกษานี้มีระยะทาง 4.8 เมตร ฉะนั้นความเร็วคือ 4.8 หารด้วย Travel Time ของแต่ละ ID จากนั้นหาค่าเฉลี่ยความเร็วการเดินทุก ๆ 1 นาที

3.4.2 ความหนาแน่น (Density)

บันทึกภาพทุก 3 วินาที แล้วนับจำนวนคนในภาพ ใน 1 นาทีได้ 20 ค่า หาค่าเฉลี่ย ทั้ง 20 ค่าเป็นตัวแทนความหนาแน่นทุก ๆ 1 นาที

3.4.3 อัตราการไหล (Flow)

ทำการนับทุกคนที่เดินผ่านเข้ามาบันทึกจำนวนพร้อม ID และข้อมูลทั้งหมดแยกเป็นนาที

หลังจากที่คำนวณทุกค่าเสร็จแล้วทุก 1 ID จะมีค่า เพศ ความเร็วในการเดิน (เมตร/วินาที), การถือกระเป๋า, ค่าอัตราการไหล(คน/เมตร/นาที), ค่าความหนาแน่น (คน/ตารางเมตร) จากการสำรวจทำการเก็บตัวอย่างได้ทั้งหมด 762 คน

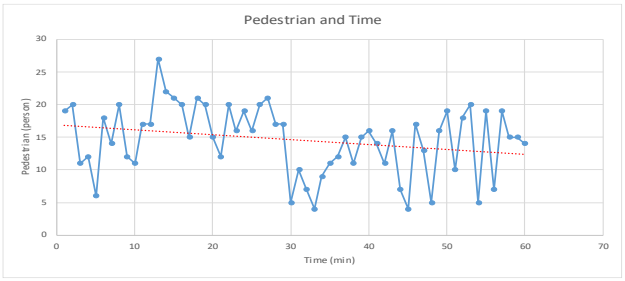
4. ผลการศึกษา

จากการศึกษาตัวอย่าง 762 คน เวลา 1 ชั่วโมงพบว่าผู้เดินเป็นเพศหญิง 510 คน คิดเป็นร้อยละ 66.9 ความเร็วเดินเฉลี่ย 1.49 เมตร/วินาที และเพศชาย 252 คน คิดเป็นร้อยละ 33.18 ความเร็วเดินเฉลี่ย 1.53 เมตร/วินาที มีสัดส่วนผู้ถือกระเป๋าเป้และกระเป๋าถือ สูงถึง 709 คน คิดเป็น ร้อยละ 93 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 รายละเอียดตัวแปรพื้นฐานของกระจราจรคนเดินเท้าจากภาคสนาม

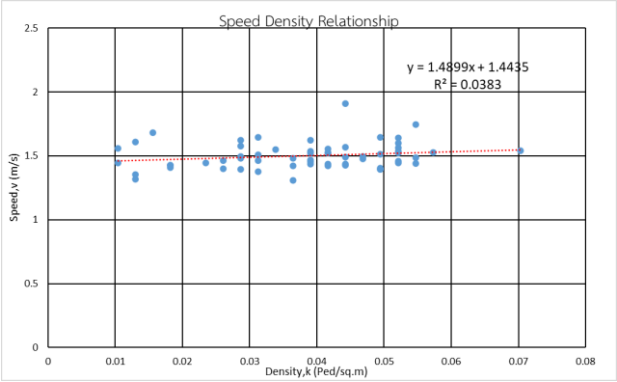
Value	Flow (ped/m/min)	Speed (m/s)	Density(ped/sq.m)
max	5	1.90	0.07
min	1	1.31	0.01
average	3.52	1.50	0.04

จำนวนผู้เดินตั้งแต่เวลาเริ่มสำรวจ 7.30 – 8.30 น. มีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนคนเดินและเวลา

จากการศึกษาได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นดังรูปที่ 9



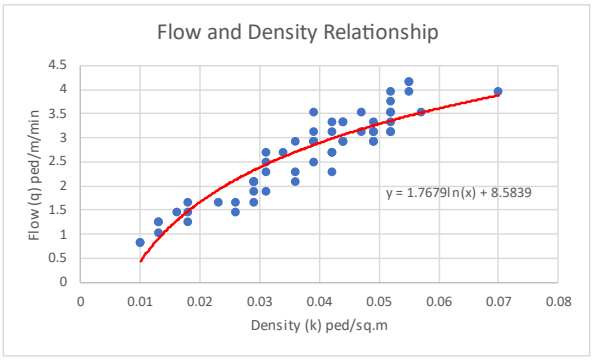
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคนเดินและความหนาแน่น

สร้างสมการเส้นแนวโน้มเชิงเส้นตรง ได้ค่าดังสมการที่ (5)

$$v = 14.899k + 1.4435 \quad (5)$$

มีค่า $R^2 = 0.0383$ โดย v คือความเร็ว และ k คือ ความหนาแน่น

จากรูปที่ 9 กราฟไม่สามารถหาค่า k_j ได้เนื่องจากความชันกราฟเป็นบวก สาเหตุเกิดจากการเก็บข้อมูลที่ไม่ครอบคลุมพอ แก้ไขโดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความหนาแน่น สร้างเส้นแนวโน้มแบบลอการิทึม ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนคนเดินและเวลา

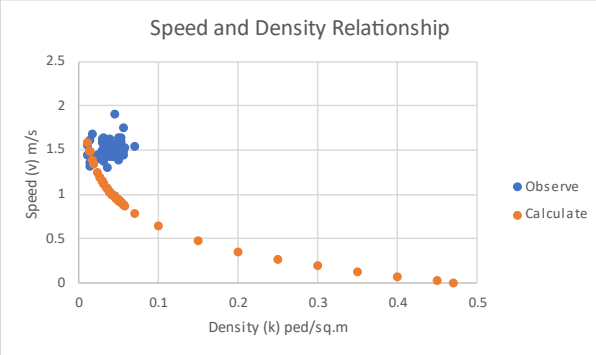
ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความหนาแน่นดังสมการที่ 6

$$q = 1.7679\ln(k) + 8.5839 \quad (6)$$

มีค่า $R^2 = 0.804$

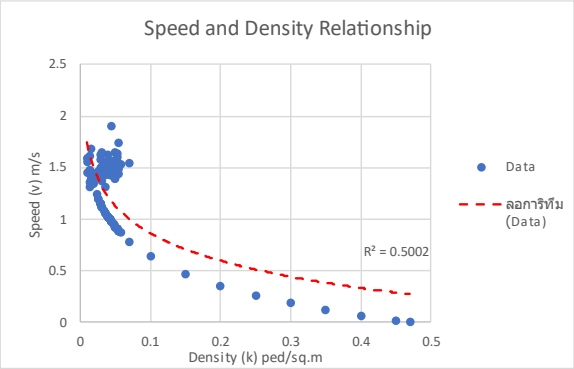
โดย q คืออัตราการไหล และ k คือ ความหนาแน่น

จากนั้นทดลองใส่ค่าความหนาแน่นเริ่มจาก 0.01 ลงในสมการที่ (6) เพิ่มค่าที่ละ 0.01 เพื่อหาค่าความความชันระหว่างแต่ละค่าอัตราการไหลจากการเพิ่มค่าความหนาแน่นจนค่าความชันของกราฟเท่ากับ 0 แล้ว



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น Greenberg

สร้างเส้นแนวโน้มเชิงเส้นเพื่อหาค่า R^2 ของแบบจำลอง Greenberg ได้ผลดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 เส้นแนวโน้มลอการิทึมแบบจำลอง Greenberg

จากรูปที่ 15 แบบจำลอง Greenberg มีค่า $R^2 = 0.500$ เทียบกับข้อมูลที่สำรวจได้

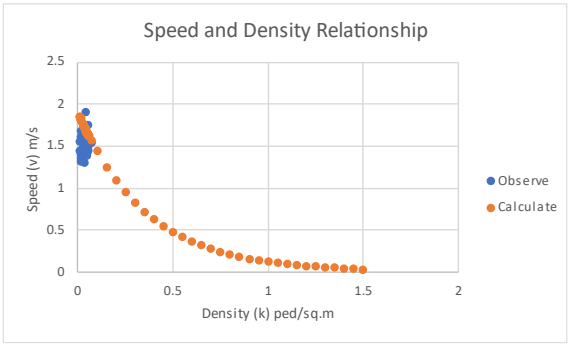
4.1.3 แบบจำลอง Underwood

ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์แบบจำลองของ Underwood ด้วยค่าจากขั้นตอนก่อนหน้า ความเร็วอิสระ $v_f = 1.9$, ความหนาแน่นเหมาะสม $k_m = 0.36$ ได้ดังสมการที่ (9)

$$v = v_f e^{-\frac{k}{k_m}}$$

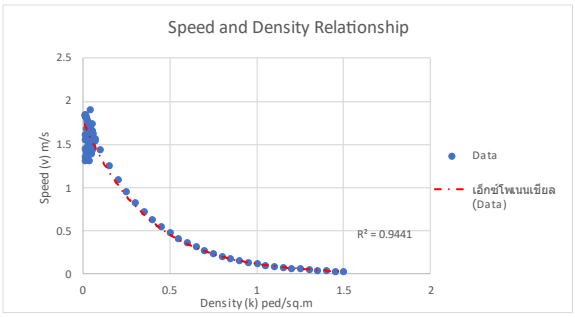
$$v = 1.9e^{-\frac{k}{0.36}} \quad (9)$$

พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นด้วยแบบจำลองของ Underwood และจากข้อมูลจากการสำรวจ ได้ผลดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น Underwood

สร้างเส้นแนวโน้มเชิงเส้นเพื่อหาค่า R^2 ของแบบจำลอง Underwood ได้ผลดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 เส้นแนวเอกซ์โพเนนเชียลแบบจำลอง Underwood

จากรูปที่ 17 แบบจำลอง Underwood มีค่า $R^2 = 0.944$ เทียบกับข้อมูลที่สำรวจได้

4.1.4 Northwestern

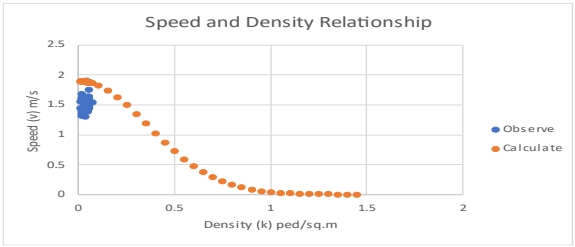
ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์แบบจำลองของ Northwestern ด้วยค่าจากขั้นตอนก่อนหน้า ความเร็วอิสระ $v_f = 1.9$, ความหนาแน่นเหมาะสม $k_m = 0.36$ ได้ดังสมการที่ (10)

$$v = v_f e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{k}{k_m}\right)^2}$$

$$v = 1.9e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{k}{0.36}\right)^2}$$

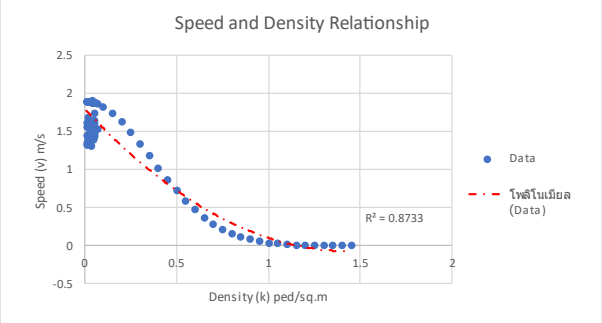
$$v = 1.9e^{-3.858k^2} \quad (10)$$

พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นด้วยแบบจำลองของ Northwestern และจากข้อมูลจากการสำรวจได้ผลดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น Northwestern

สร้างเส้นแนวโน้มเชิงเส้นเพื่อหาค่า R^2 ของแบบจำลอง Northwestern ได้ผลดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 เส้นแนวโน้มโพลิโนเมียลแบบจำลอง Northwestern

จากรูปที่ 19 แบบจำลอง Northwestern มีค่า $R^2 = 0.886$ เทียบกับข้อมูลที่สำรวจได้

ตารางที่ 4 สรุปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่นที่ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์แล้ว

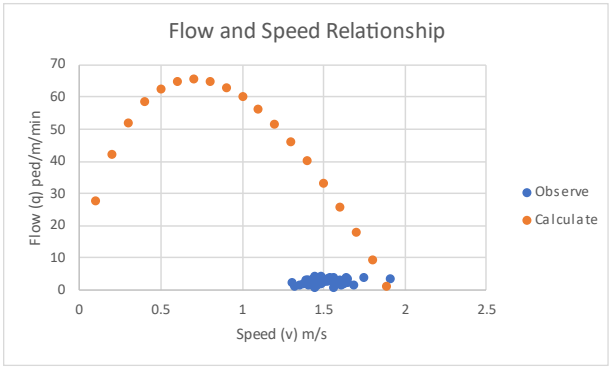
Model	Equation	R^2 value
Greenshield	$v = 1.9\left(1 - \frac{k}{0.72}\right)$	0.790
Greenberg	$v = 0.95\ln\left(\frac{0.720}{k}\right)$	0.500
Underwood	$v = 1.9e^{-\frac{k}{0.36}}$	0.944
Northwestern	$v = 1.9e^{-3.858k^2}$	0.866

จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองของ Underwood มีความสอดคล้องของข้อมูลมากที่สุดจากค่า R^2 ที่สูงถึง 0.944 จึงใช้แบบจำลองของ Underwood สร้างกราฟความสัมพันธ์ตัวแปรพื้นฐานการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้าที่เหลือ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความเร็วด้วยสมการที่ 11

$$q = vk_m(\ln v_f - \ln v) \qquad (11)$$

แทนค่า $v_f = 1.9$, $k_m = 0.36$ ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความเร็วของแบบจำลอง Underwood ดังสมการที่ 12

$$q = 0.36v(\ln 1.9 - \ln v) \qquad (12)$$



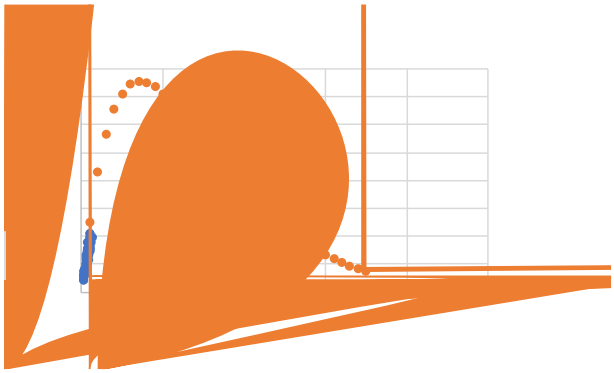
รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความเร็ว Underwood

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความหนาแน่นด้วยสมการที่ 13

$$q = kv_f e^{-\frac{k}{k_m}} \qquad (13)$$

แทนค่า $v_f = 1.9$, $k_m = 0.36$ ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความหนาแน่นของแบบจำลอง Underwood ดังสมการที่ 14

$$q = 1.9ke^{-\frac{k}{0.36}} \qquad (14)$$



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความหนาแน่น Underwood

จากการศึกษาสามารถหาความสัมพันธ์ตัวแปรพื้นฐานการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้าประกอบด้วยอัตราการไหล (Flow Rate) ความเร็ว (Speed) และความหนาแน่น (Density) ด้วยแบบจำลองของ Underwood ที่ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์แล้วได้ดังต่อไปนี้

สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความหนาแน่น (15) สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความเร็ว (16) และสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความหนาแน่น (17)

$$v = 1.9e^{-\frac{k}{0.36}} \quad \text{(Speed-Density)} \qquad (15)$$

$$q = 0.36v(\ln 1.9 - \ln v) \quad \text{(Flow-Speed)} \qquad (16)$$

$$q = 1.9ke^{-\frac{k}{0.36}} \quad \text{(Flow-Density)} \qquad (17)$$

สามารถสรุปพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกทางเดินภายในสถานีรถไฟฟ้า ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับคนเดิน (Pedestrian Modeling) ใช้สำหรับการประเมินระดับการให้บริการทางเดินดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์สำหรับการออกแบบและประเมินระดับการให้บริการ

Parameter	Value	Remark
v_f ความเร็วอิสระ	1.90 m/s	ข้อมูลภาคสนาม
v_m ความเร็วเหมาะสม	0.95 m/s	ข้อมูลภาคสนาม
k_m ความหนาแน่นเหมาะสม	0.35 ped/sq.m	จากแบบจำลอง
k_j ความหนาแน่นติดขัด	3 ped/sq.m	จากแบบจำลอง
q_m อัตราการไหลเหมาะสม	15.09 ped/m/min	จากแบบจำลอง

5. อภิปรายผลการศึกษา

จากจุดมุ่งหมายของการศึกษาเพื่อหาค่าคุณลักษณะการเดินและวิเคราะห์ ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรพื้นฐานการไหลของกระแสจราจรคนเดินเท้าซึ่งโดยปกติทั่วไปความเร็วในการเดินจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.8–1.8 เมตร/วินาที จากการศึกษาข้อมูลรายบุคคลมีความเร็วในการเดินอยู่ระหว่าง 0.8–4 เมตร/วินาที เพราะมีคนวิ่ง แต่เมื่อเฉลี่ยค่าความเร็วเป็นรายนาทีแล้วความเร็วในการเดินมีค่าระหว่าง 1.31–1.90 เมตร/วินาที ซึ่งสูงกว่าการเดินปกติ อาจจะเป็นเพราะวัยของผู้เดินทางที่เลือกใช้ระบบขนส่งสาธารณะไม่มาก และด้วยทางเดินที่กว้างกระแสจราจรและการเดินค่อนข้างคงที่ คนที่ไม่รีบจึงใช้ความเร็วในการเดินปกติค่อนข้างคงที่โดยเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร/วินาที ทั้งเพศชายเพศหญิง ผู้ถือกระเป๋าและไม่ถือกระเป๋าความเร็วแตกต่างกันไม่มากนัก แบบจำลองของ Underwood มีความสอดคล้องของข้อมูลมากที่สุดจากค่า R^2 ที่สูงถึง 0.944 ทั้งนี้ยังคงต้องอาศัยแบบจำลองอื่นเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหลือให้ครบ เพราะบางแบบจำลองมีข้อจำกัดหาค่าพารามิเตอร์ได้ไม่ครบ ในส่วนของแบบจำลองที่หาได้ครบทุกค่า ความสอดคล้องของข้อมูลอาจไม่ดีพอ จึงอาจจำเป็นต้องพิจารณาใช้หลายแบบจำลองในการหาค่าพารามิเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น [4] พบว่าความเร็วในการเดินเฉลี่ยจากการศึกษาครั้งนี้สูงกว่าอดีต อาจเป็นเพราะพฤติกรรมทางสังคมไทยที่เปลี่ยนไปหรือวัตถุประสงค์การเดินแตกต่างกัน ทดลองประเมินระดับการให้บริการกับมาตรฐาน HCM 2010 โดยมีค่าพารามิเตอร์ พื้นที่ = 0.37 ตรม./คน, ความเร็วเฉลี่ย = 90 เมตร/วินาที, อัตราการไหลเฉลี่ย = 2.64 คน/เมตร/นาที, V/C = 0.18 จากตารางที่ 1 แปลผลได้ว่าทางเดินมีระดับการให้บริการที่ระดับ A อาจเป็นเพราะมีการออกแบบเผื่อความต้องการเดินทางในอนาคตที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลการเชื่อมต่อสถานียังไม่ครบ จากผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำข้อมูลไปใช้สำหรับปรับเทียบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) ด้วยวิธีการประเมินผล MAE

ข้อจำกัดในการศึกษาครั้งนี้พบว่าการเดินมีความเร็วที่ค่อนข้างคงที่ทำให้ไม่สามารถหาค่าความหนาแน่นติดขัดจากภาคสนามได้โดยตรง ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นยังทำได้เพียงเป็นเครื่องมือช่วยนับเพราะการระบุพิกัดยังไม่แม่นยำมากพอ

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไปควรพิจารณาเก็บข้อมูลให้นานขึ้นหรือเลือกพื้นที่ศึกษาที่มีลักษณะการเดินที่หลากหลาย ใช้กล้องจากหลากหลายมุมบันทึกไปที่พื้นที่การศึกษา และพัฒนาซอฟต์แวร์เพิ่มเติมให้ระบุตำแหน่งได้แม่นยำมากขึ้น หากซอฟต์แวร์มีความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ก็ไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานคนมาสกัดข้อมูลจากวิดีโอ โดยใช้หลักการเดียวกับการระบุตำแหน่งของ GPS และสมการ Projective Transformation ในการระบุพิกัดให้แม่นยำขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทยที่ให้ความอนุเคราะห์มอบข้อมูลสำหรับการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ทั้งให้คำปรึกษาทางวิชาการและกำลังใจ ขอบคุณครอบครัวแก้วคำและครอบครัวมธุรวาทิน รวมไปถึงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ขอบคุณมากครับ

เอกสารอ้างอิง

[1] Tanaboriboon, Y., Guyano, J. A. (1991). Analysis of pedestrian movements in Bangkok. Transportation Research Record, 1294, 52-56.

[2] ฐกลพัศ เจนจิวัฒนกุลม, ทวีศักดิ์ บรรณวิรุฬห์(2560). ผลของช่วงเวลาการวิเคราะห์ที่มีต่อระดับการให้บริการของคนเดินเท้าบนทางเดินในระบบขนส่งมวลชน. ประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22, นครราชสีมา, 18-20 กรกฎาคม 2560, หน้า 1 - 5

[3] ชมพูนุท สุธีรากล. (2559). การประเมินคุณลักษณะการสัญจรของนักท่องเที่ยวบนถนจังหวัดเชียงใหม่.วิศวกรรมมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

[4] FDOT. (1999). Florida pedestrian planning and design handbook. Florida Department of Transportation.

[5] Highway Capacity Manual. (2010). Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C

[6] Greenshields, B.D. (1935). A study in highway capacity. Highway Research Board Proceedings 14.

[7] Greenberg, H. (1959). An analysis of traffic flow. Operations Research 7.

[8] Underwood, R.T. (1961). Speed, volume and density relationships. Quality and

[9] Edie, L. C. (1961). Car-following and steady-state theory for noncongested traffic. Operations

[10] ปริญญา สงวนสัตย์. (2562). Artificial Intelligence with Machine Learning, AI สร้างได้ด้วยแมชชีนเลิร์นนิ่ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. บริษัท ไอดีซี พรีเมียร์ จำกัด

[11] Rastogi, R., Ilango, T., Chandra, S. (2013). Pedestrian flow characteristics for different pedestrian facilities and situations. European Transport 53(5).

[12] Patra, M., Sala, E., Ravishankar, K. V. R. (2017). Evaluation of pedestrian flow characteristics across different facilities inside a railway station. Transportation Research Procedia,25.