การศึกษาพฤติกรรมของคนเดินเท้าบริเวณทางข้ามที่มีสัญญาณไฟ: กรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

A study pedestrian behavior crossroads at signal light: Case study in Chiang Mai

ธนา น้อยเรือน[1]* พรภวิษย์ ตาจุมปา[1] พันธศิริ สลิดแก้ว[1] และภูมิพิชญ์ จันทร์เทพ[1]

[2] หลักสูตรวิศวกรรมโยธา สาขาวิสวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.เชียงใหม่

**Corresponding author; E-mail address: tanatop@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

คนเดินเท้าที่ข้ามถนนเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงมากต่อการประสบอุบัติเหตุและเสียชีวิต อัตราการเสียชีวิตโซนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คิดเป็น 13% ปัญหาอาจเกิดจากผู้คนไม่ปฏิบัติตามกฎจราจร การศึกษาพฤติกรรมของคนเดินเท้าบริเวณทางข้ามที่มีสัญญาณไฟสำหรับคนเดินเท้า ในบริเวณเมืองเชียงใหม่ เพื่อใช้ประกอบการออกแบบและวางแผนเวลาที่เหมาะสมของสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางข้ามสำหรับคนเดินเท้า เก็บข้อมูลความเร็ว และลักษณะการเดินของกลุ่มคนเดินเท้า ผลการศึกษาพบว่าความเร็วของคนเดินเท้าเพศชายมีความเร็วกว่าคนเดินเท้าเพศหญิง และคนเดินเท้าที่อยู่ในช่วงอายุเดียวกันจะมีความเร็วที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยความเร็วในการเดินบนทางข้ามทางเดินเท้าปกติเฉลี่ยในเพศชายและเพศหญิงอายุน้อยกว่า 18 ปี ระหว่าง 18 - 60 ปี และมากกว่า 60 ปี เท่ากับ 1.42, 1.30, 1.55, 1.50, 1.38 และ 1.37 m/s ตามลำดับ อัตราการไหลอิ่มตัวสูงสุดที่ทางข้ามถนนเท่ากับ 43 ped/m/s การประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริงของยานพาหนะร่วมกับคนเดินเท้า พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมของสัญญาณไฟที่อนุญาตให้คนเดินเท้าข้ามและช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมของสัญญาณไฟที่ปล่อยให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ ต้องเหมาะสมตามปริมาณของเดินเท้าและปริมาณจราจรในขณะนั้นที่ปริมาณประชากรคนเดินเท้า 500-1,000, 1,001-2,000 และ 2,001-3,000 ped/h ระยะเวลาเหมาะสมที่อนุญาตให้คนเดินเท้าข้ามทางคือ 10, 20 และ 30 วินาที และระยะเวลาเหมาะสมของสัญญาณไฟที่ปล่อยให้ยานพาหนะเคลื่อนที่คือ 240-300, 120-240 และ 30-120 วินาที ตามลำดับ

คำสำคัญ: คนเดินเท้า, ทางข้าม, สัญญาณไฟสำหรับคนเดินเท้า

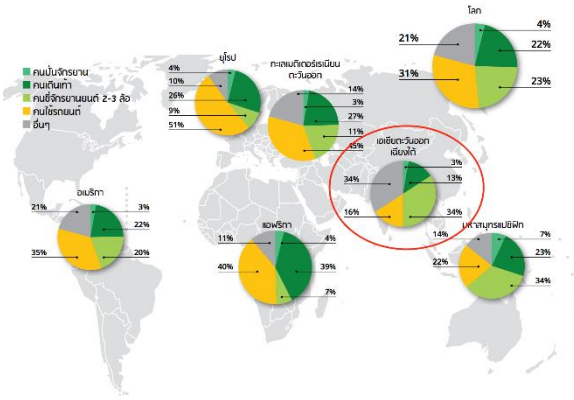
Abstract

Pedestrians are a group of people that have higher risks to have an accident and death. as compared to drivers or passengers traveling by car at the percentage of 13 in the Southeast Asian region. The researchers could find the main problem that most people do not follow traffic rules. Therefore, this study aimed at studying the behavior of pedestrians at crosswalks around traffic lights in the city of Chiang Mai. Then, there were planning and design for the appropriate time of traffic lights on the pedestrian route. The data in this research was collected by video recording on the footpath. The results demonstrated that the speed of male pedestrians was faster than female's, and the speed of pedestrians in the same age range was relatively similar speed. The average walking speeds of male and female under 18th, male and female between 18th to 60th and male and female over 60th pedestrians were 1.42, 1.30, 1.55, 1.50, 1.38 and 1.37 m/s respectively and the maximum flow rate saturation is 43 ped/min/m. The study of the vehicle virtualization program by analyzing pedestrian population, the optimum duration of the signal light that allows pedestrians to cross, and the appropriate duration of the light signal that allows the mobile vehicle must be appropriate with the population of pedestrian and vehicle volume at that time, the population of 500-1,000, 1,001-2,000 and 2,001-3,000 ped/h. is suitable to the period of time that allows pedestrians to cross the road at 10 seconds. The optimum duration of the light signal that allows vehicles to move is 240-300, 120-240 and 30-120 seconds respectively.

Keywords: Pedestrian, Crosswalk, Signal light of Pedestrian

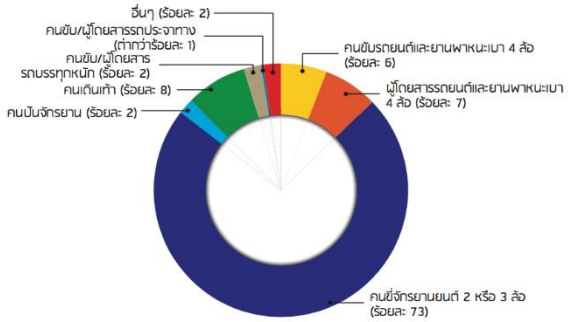
1. บทนำ

คนเดินเท้าเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในกลุ่มของผู้ใช้ถนนที่อาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บและเสียชีวิตได้ ข้อมูลองค์การอนามัยโลกระบุว่าคนเดินเท้าในโซนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีอัตราการเสียชีวิต 13% ในปี 2015 คิดเป็นอันดับ 4 รองจากคนใช้รถรถยนต์ [1] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเสียชีวิตจากการจราจรทางถนนแบ่งตามประเภทตามกลุ่มภูมิภาคขององค์การอนามัยโลก [1]

สาเหตุส่วนใหญ่มักมาจากพฤติกรรมเสี่ยงของคนเดินเท้าและผู้ใช้รถ ที่มีความประมาท การตัดสินใจที่ผิดพลาด และผู้ใช้รถขาดวินัยทางจราจร ธรรมชาติการเดินของคนเดินเท้าโดยทั่วไปจะไม่สามารถคาดคะเนความเร็วและเส้นทางการเดินได้ชัดเจน รูปแบบการเดินเป็นแบบอิสระ เมื่อมีสิ่งกีดขวางก็จะไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าคนเดินเท้าจะหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางไปในเส้นทางใด ด้วยปัจจัยเหล่านี้จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดอุบัติเหตุต่อคนเดินเท้าได้ เมื่อคนเดินเท้าหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางหรือเดินล้ำเข้ามาในเขตทางของยานพาหนะจะส่งผลกระทบต่อการจราจร รวมถึงเกิดความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุแก่คนเดินเท้ามากขึ้น ในปี 2012 ประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตของคนเดินเท้า 8% ของการเสียชีวิตบนถนน ซึ่งเป็นอันดับ 2 รองจากผู้ใช้จักรยานยนต์ 2 หรือ 3 ล้อ [2] ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเสียชีวิตแบ่งตามประเภทของผู้ใช้ถนน [2]

การศึกษาพฤติกรรมของคนเดินเท้าที่บริเวณทางข้ามที่มีสัญญาณไฟในบริเวณเมืองเชียงใหม่ เป็นการศึกษาพฤติกรรมทางด้านวิศวกรรมของคนเดินเท้าของสองทิศทาง ได้แก่ การไหล และความเร็ว ที่บริเวณทางข้ามที่มีสัญญาณไฟบริเวณเมืองเชียงใหม่ และวิเคราะห์เวลาที่เหมาะสมของสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางข้ามสำหรับคนเดินเท้าที่สอดคล้องกับปริมาณคนเดินเท้าต่อชั่วโมงที่ต่างกันของคนเดินเท้า ตามวิธี Minimum Safe Crossing Gap เพื่อวิเคราะห์เวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสมต่อจำนวนคนเดินเท้าที่ใช้ทางข้ามนั้น ๆ โดยการจัดเก็บพฤติกรรมการเดินของคนเดินเท้าในเมืองเชียงใหม่ บริเวณทางข้ามถนนที่มีสัญญาณไฟจราจร โดยแบ่งพฤติกรรมตามช่วงอายุ และเพศ โดยกำหนดความเชื่อมั่นของข้อมูลที่ 95% ใช้โปรแกรมแบบจำลอง Anylogic ช่วยในการวิเคราะห์และประมวลผลการศึกษา

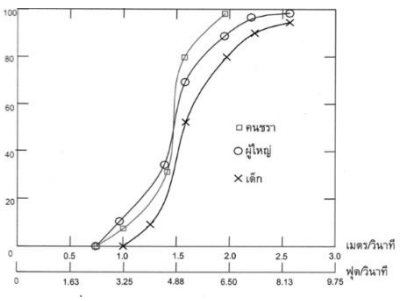
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คนเดินเท้า (Pedestrian) คือบุคคลที่เคลื่อนที่ด้วยเท้าไปยังสถานที่ต่าง ๆ โดยไม่มียานพาหนะ คนเดินเท้าแต่ละคนมีการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางหรือความเร็วในการเดินต่างกันไปตามปัจจัยและความต้องการแต่ละบุคคล โดยมักจะหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางเพื่อให้ไปถึงยังจุดหมายให้เร็วที่สุด เช่น กลุ่มคนเดินเท้าด้วยกันเอง กลุ่มคนเดินเท้าที่เคลื่อนที่สวนทางกัน และกลุ่มคนเดินเท้าที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่น้อยว่าตัวคนเดินเท้านั้น ๆ [3, 4]

2.1.1 ความเร็วของคนเดินเท้า (Pedestrian speed) คือความเร็วในการเดินเฉลี่ย โดยปกติคนเดินเท้าจะมีความเร็วในการเดินอยู่ที่ 0.9-1.4 m/s ความเร็วการเดินเท้าของผู้ชายจะเดินเร็วกว่าผู้หญิง และอัตราความเร็วของคนชรา ผู้ใหญ่ และเด็ก จะไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3

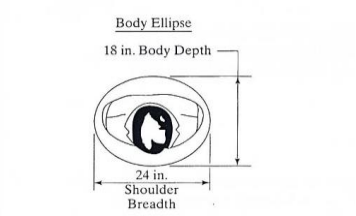
2.1.2 ความหนาแน่นของคนเดินเท้า (Pedestrian density) เป็นการวัดปริมาณของคนเดินเท้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ยิ่งความหนาแน่นต่อพื้นที่มากขึ้นจะเกิดความขัดแย้งมากขึ้น อัตราการไหลและระดับการให้บริการลดลง ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้โดยการวัดขนาดของพื้นที่ทางเดินและสิ่งอำนวยความสะดวกในพื้นที่ตัวอย่าง จากนั้นทำการกำหนดจำนวนสูงสุดของคนเดินเท้าที่จะทำการเก็บตัวอย่างข้อมูลในช่วงตามระยะเวลาที่กำหนด

2.1.3 อัตราการไหลของคนเดินเท้า (Pedestrian flow rate) คือจำนวนที่คนเดินเท้าเดินผ่านพื้นที่หนึ่งต่อหน่วยเวลา ซึ่งมีจุดอ้างอิงเป็นเส้นตั้งฉากกับความกว้างของทางเดิน การหาการไหลของคนเดินเท้าจะแบ่งเป็นช่วงละ 15 นาที ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์การไหล เพื่อหาค่าการไหลของคนเดินเท้าสูงสุดที่ 15 นาที



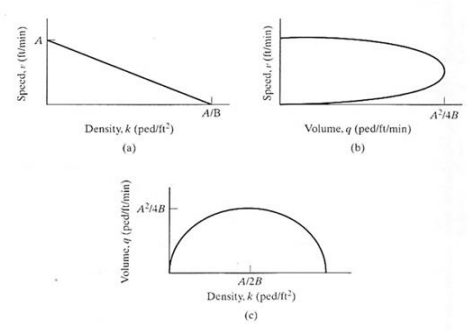
รูปที่ 3 แสดงอัตราการเดินของเด็ก ผู้ใหญ่ และคนชรา [5]

2.1.4 ความต้องการพื้นที่ของคนเดินเท้า (Pedestrian Space) คือพื้นที่ที่คนเดินเท้าใช้ในการเดินของแต่ละบุคคล คนเดินเท้าทุกคนต้องการใช้พื้นที่ในการยืนและการเดิน โดยคนแต่ละคนต้องการพื้นที่เฉลี่ยน้อยสุดเมื่อยืนเป็นรูปวงรี [3, 4] แสดงดังรูปที่ 4 โดยพื้นที่ที่คนเดินเท้าใช้ในการเดินแล้วสะดวกสบายที่สุดประมาณ 0.65–0.93 m^2/ped



รูปที่ 4 พื้นที่ที่ต้องการรูปวงรีสำหรับคนเดินเท้า [3]

2.2 ความเร็ว การไหล และความหนาแน่นของคนเดินเท้า (Pedestrian speed-flow-density relationship) คือ ความสัมพันธ์ที่ใช้ความเร็วเป็นตัวกำหนดและมีผลต่อตัวแปรอื่น ๆ ตามทฤษฎีความสัมพันธ์ความเร็ว การไหล และความหนาแน่น รูปที่ 5 (a) ถ้าความเร็วมากความหนาแน่นจะน้อย (b) ที่ปริมาณคนเดินเท้าใด ๆ จะมีค่าความเร็วของคนเดินเท้า 2 ค่า และ (c) ที่ปริมาณคนเดินเท้าใด ๆ จะมีค่าความหนาแน่นของคนเดินเท้า 2 ค่า [3, 4]



รูปที่ 5 ความเร็ว การไหล และความหนาแน่น [3]

ความสัมพันธ์ความเร็ว ความหนาแน่น การไหล และพื้นที่ของคนเดินเท้า เมื่อความหนาแน่นต่อพื้นที่น้อยลงจะทำให้ความเร็วในการเดินเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อมีความหนาแน่นต่อพื้นที่มากจะทำให้ความเร็วในการเดินลดลง เมื่อความเร็วอยู่ที่จุดสูงสุดและจุดที่ต่ำที่สุดจะทำให้มีอัตราการไหลที่น้อยมาก ในทางกลับกันเมื่อมีความเร็วคงที่ไม่มากและไม่น้อยจนเกินไปจะทำให้มีอัตราการไหลที่สูงมาก โดยถือว่าเป็นช่วงที่อัตราการไหลมีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อคนเดินเท้าต้องการพื้นที่มากขึ้นจะทำให้อัตราการไหลลดน้อยลง และเมื่อคนเดินเท้าต้องการพื้นที่ปานกลางหรือน้อยจะทำให้อัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีพื้นที่ในการเดินน้อยลงจะทำให้ความเร็วในการเดินลดลง และเมื่อพื้นที่ในการเดินมากจะทำให้ความเร็วในการเดินของคนเดินเท้าเพิ่มขึ้น

2.3 พฤติกรรมของคนเดินเท้า คนเดินเท้ามักจะเลือกพื้นที่และระยะทางเดินที่พอใจ จากการสำรวจมีระยะทางประมาณ 800 เมตร หรือใช้เวลาในการเดินประมาณ 10 นาที คนเดินเท้าจะเลือกทางเดินที่ประหยัดเวลาในการเดินมากที่สุด และมักจะหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีกลุ่มประชากรหนาแน่นมาก ๆ หรือเลือกเดินไปในทางที่สามารถเดินไปได้ในระยะสายตา และหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางบนทางเดิน ที่ทำให้ใช้เวลาในการเดินมากขึ้นและอาจก่อให้เกิดพฤติกรรมเสี่ยงที่เกิดจากการหลบหลีกสิ่งกีดขวางจากความประมาทของคนเดินเท้า การตัดสินใจที่ผิดพลาด และผู้ขับขี่ยานพาหนะขาดวินัยจราจร ก่อให้เกิดอุบัติเหตุต่อคนเดินเท้าได้ ซึ่งคนเดินเท้ามักข้ามถนนในจุดที่สะดวก และมักจะไม่คำนึงถึงความปลอดภัย แม้จะมีสะพานลอย ทางม้าลาย และจุดที่มีสัญญาณไฟสำหรับคนข้ามถนนก็ตาม [4]

2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเดินของคนเดินเท้า โดยทั่วไปประกอบด้วย ความเร็ว อัตราการไหล ความหนาแน่น ระยะทาง และ สิ่งกีดขวาง ทางข้ามคนเดินเท้าหรือที่เรียกกันว่าทางม้าลายที่เป็นเครื่องมือหนึ่งในระบบการจราจรที่ช่วยลดปัญหาจากการมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างผู้เดินเท้าและผู้ขับขี่ยานพาหนะ แม้ประสิทธิภาพของทางข้ามจะไม่เท่าเทียมกับสะพานลอย แต่ข้อดีคือต้นทุนที่ต่ำกว่ามากสะพานลอยจึงถูกสร้างในบริเวณที่มีความจำเป็นหรือมีความเสี่ยงสูงต่อผู้เดินเท้าเป็นส่วนมาก การพัฒนาทางข้ามให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นจึงมีความสำคัญทั้งในด้านการลดความล่าช้าของระบบและความปลอดภัย

2.3.2 การเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า เป็นพฤติกรรมเชิงลึกที่มีความซับซ้อน ซึ่งถูกรวบรวมและได้ความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์จำนวนมาก ทำให้เกิดจากการสำรวจที่แสดงให้เห็นว่ามนุษย์มีการใช้ความฉลาดหรือสัญชาตญาณแรกในการได้รับสิ่งที่มีความซับซ้อน [4] แต่ปฏิสัมพันธ์อย่างง่ายสามารถนำไปสู่รูปแบบการเคลื่อนที่ โดยการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าเป็นการเคลื่อนที่ที่ไม่สามารถคาดเดาได้หรือไม่มีรูปแบบที่แน่นอน การเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าที่ทางข้ามสำหรับคนเดินเท้าประกอบไปด้วย

- Starting time เป็นเวลาที่คนเดินเท้าใช้ตัดสินใจเดินข้ามถนนผ่านทางข้ามทางเดินเท้าในระหว่างที่ยานพาหนะจอด เริ่มนับเวลาเมื่อคนเดินเท้าเริ่มก้าวเท้าจากฟุตบาทลงไปยังทางข้ามคนเดินเท้า

- Crossing time เป็นระยะเวลาที่คนเดินเท้าใช้ในการเดินข้ามทางข้ามทางเดินเท้า

- Waiting time เป็นระยะเวลาที่คนเดินเท้าใช้ในการรอหลังจากกดปุ่มสัญญาณไฟจราจร ในขณะที่ยานพาหนะได้รับสัญญาณไฟสีเขียว โดยค่า Median waiting time ส่วนมากมีค่าเท่ากับ 7.0 วินาที

- Gap acceptance of pedestrian หรือช่องว่างที่ยอมรับได้ของคนเดินเท้า (ระยะเวลาที่สัญญาณไฟทางข้ามของคนเดินเท้าเป็นสีเขียว) คือ ช่องว่างระหว่างยานพาหนะที่แล่นตามกันมาซึ่งคนเดินเท้าตัดสินใจเดินแทรกผ่านหลังจากกดสัญญาณไฟจราจรขอข้ามทาง

2.3.3 ช่วงห่างระหว่างรถที่เพียงพอให้คนข้ามได้อย่างปลอดภัย (Safety gap) การเก็บข้อมูลช่วงห่างระหว่างรถเป็นการศึกษาช่วงห่างระหว่างรถน้อยที่สุดที่เพียงพอให้คนเดินเท้าสามารถข้ามทางเดินเท้าได้อย่างปลอดภัย (Minimum safe crossing gap) สามารถวิเคราะห์ช่วงห่างของเวลาของช่องว่างรถที่เหมาะสมที่สุดที่เพียงพอให้คนเดินเท้าสามารถข้ามทางข้ามทางเดินเท้าได้อย่างปลอดภัย [5] ดังสมการที่ 1

$$Min.SafeGap = \frac{Street\ Width + 2(N - 1) + Reaction\ Time}{Walking\ Rete} \quad (1)$$

เมื่อ *Min. Safe Gap* = ช่วงระยะเวลาปลอดภัย (s)
Street Width = ความกว้างของทางข้าม (m)
Walking Rete = ความเร็วในการเดินเฉลี่ย (m/s)

N = จำนวนคนที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์

Reaction Time = ระยะเวลาการตอบสนอง ทั่วไปมีค่า 3 วินาที

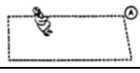
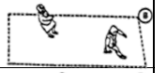
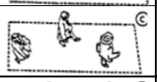
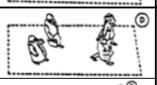
2.3.4 อุปสรรคที่มีผลต่อการเดินของคนเดินเท้า คือ ความไม่ปลอดภัยในการเดินของคนเดินเท้า เช่น จากยานพาหนะ และทางเดินเท้าที่ไม่มีราวกั้น เป็นต้น ทำให้คนเดินเท้าเกิดความกังวลและลังเลในการข้ามทางเดินเท้าที่อาจนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุ ปัญหาและอุปสรรคจากการเดินเท้าที่เกิดมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ความรู้สึกไม่ปลอดภัย (กลัวรถชน) การจอดรถบนทางเดินเท้า และมลภาวะเป็นพิษ ตามลำดับ นอกจากพฤติกรรมเสี่ยงอันตรายของคนเดินเท้าแล้วสภาพถนนที่ไม่ปลอดภัย เช่น มีสิ่งกีดขวางทางเท้า ไม่มีป้ายเตือนอยู่ในจุดที่ผู้ขับขี่มองไม่เห็น และพฤติกรรมในการขับรถของผู้ขับขี่ที่ไม่เคารพกฎจราจร ไม่หยุดรถให้คนข้ามถนนในจุดที่กำหนด นับเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุกับคนเดินเท้าได้เช่นกัน

2.3.5 ผลกระทบที่มีผลต่อการเดินของคนเดินเท้า ขึ้นอยู่กับความกว้างที่ต้องการเดินของคนเดินเท้า ที่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ทุกทิศทางอย่างต่อเนื่อง ความกว้างของทางเดินเท้าที่มีอิทธิพลกับคนเดินเท้าเรียกว่า “Clear walkway width” ปัจจัยที่ทำให้ทางม้าลายของไทยไม่ปลอดภัยเป็นเพราะพฤติกรรมของคนขับรถที่ขาดวินัยการขับขี่ ซึ่งจริง ๆ แล้วทางม้าลายที่สร้างขึ้นมานั้นควรเป็นหน้าที่ของผู้ขับรถที่ต้องหยุดเพื่อให้คนที่ใช้ได้ข้ามไปอย่างปลอดภัย

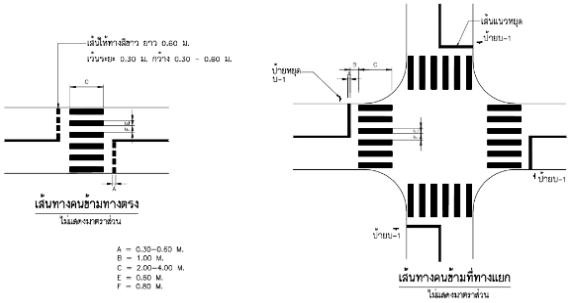
2.4 ระดับการให้บริการของทางเดิน (level-of-service, LOS) คือการวัดประสิทธิภาพของทางข้ามที่ส่งผลมาจากการเดินของคนเดินเท้า สิ่งอำนวยความสะดวกและสิ่งกีดขวางในบริเวณทางข้ามมาเป็นตัวแปร โดยสามารถจำแนกความเร็ว ความต้องการพื้นที่ และอัตราการไหล ในแต่ละระดับการให้บริการของทางเดินดังตารางที่ 1

2.5 โคมสัญญาณไฟสำหรับคนข้ามถนน เป็นอุปกรณ์สำหรับอำนวยความสะดวกสำหรับคนข้ามถนน ช่วยในการตัดสินใจขณะข้ามถนน มี 2 ประเภท ได้แก่ ชุดสัญญาณไฟแบบนับเวลาถอยหลัง และ ชุดสัญญาณไฟแบบไม่มีการนับเวลาถอยหลัง [6]

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยการไหลของระดับการให้บริการทางเดิน [3,4]

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

2.6 ลักษณะของทางข้ามสำหรับคนเดินเท้า คือลักษณะทางกายภาพของทางข้าม ประกอบด้วย ความกว้างของถนน ไหล่ทาง และเกาะกลาง โดยทั่วไปความกว้างของช่องทางจราจรในเขตเมืองจะเท่ากับ 3.0–3.5 เมตร และไหล่ทางหรือทางเท้ากว้าง 2 เมตร [8] และความกว้างทางมาลาย 2.0–4.0 เมตร ตามแบบมาตรฐานงานทางดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แบบมาตรฐานเส้นทางข้ามทางตรงและทางแยก [7]

2.8 โปรแกรมสร้างแบบจำลองเสมือนจริง Anylogic เป็นซอฟแวร์แบบจำลองที่ช่วยให้ได้รับข้อมูลเชิงลึกและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการขนส่งในรูปแบบต่าง ๆ การสร้างแบบจำลองของคนเดินเท้าสามารถประเมินหาค่าความหนาแน่น อัตราความเร็ว และพื้นที่ของคนเดินเท้า แบบจำลองเสมือนจริงเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบที่ดีและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถเห็นภาพการจำลองเสมือนจริง และวิเคราะห์พฤติกรรมของคนเดินเท้าได้ โดยคนเดินเท้าในแบบจำลองจะมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมรอบ ๆ ตามคุณสมบัติของคนเดินเท้าในแต่ละประเภท และสามารถหลีกเลี่ยงการปะทะกันของคนเดินเท้าด้วยกันเอง การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงจะช่วยในการประเมินความเหมาะสมของการจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกที่สอดคล้องกับข้อกำหนดด้านความปลอดภัย และสามารถดึงศักยภาพได้สูงที่สุดเมื่อทำการจำลองโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจริง

2.9 การปรับเทียบแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมากที่สุด ตัวแปรที่ใช้เป็นตัวชี้วัดความถูกต้องของแบบจำลอง เช่น ปริมาณการจราจร ความเร็ว ความยาวแถวคอย ความล่าช้า และเวลาในการเดินทาง เป็นต้น หลักเกณฑ์การปรับเทียบจำลองจะใช้ค่าทางสถิติ GEH เน้นการเปรียบเทียบปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจจริงใน 1 ชั่วโมงเท่านั้น การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคของความเร็ว และเวลาการเดินทางของคนเดินเท้าจะใช้ค่า MAE

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tanaboriboon และ Guyano ศึกษาระดับการให้บริการของคนเดินเท้าในกรุงเทพฯ ในปี 1989 [9] เพื่อเปรียบเทียบระดับการให้บริการของประเทศไทยกับระดับการให้บริการของสหรัฐอเมริกา พบว่าระดับการให้บริการของคนเดินเท้าในกรุงเทพ ฯ เมื่อนำมาเปรียบเทียบประเทศสหรัฐอเมริกาได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ในปี 2011 Claudio และ Riccardo ประเมินผลกระทบของคนเดินเท้าที่ทางข้ามในวงเวียน [10] เพื่อหาอัตราการไหลและแก้ไขความล่าช้าที่

เกิดขึ้น โดยเก็บข้อมูล ยานพาหนะที่รอการเข้าวงเวียน อัตราการไหลของยานพาหนะ ยานพาหนะที่อยู่ในวงเวียน ประเภทของยานพาหนะ คนเดินเท้าที่กำลังเดินเข้าทางข้าม และคนเดินเท้าที่กำลังเดินออกทางข้าม จากการวิเคราะห์เวลาที่คนเดินเท้าและปริมาณพาหนะในบริเวณทางเข้าวงเวียน จะได้ค่าอัตราการไหลของยานพาหนะต่อความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อมาในปี 2013 Satish และ Anish ศึกษาความเร็วของคนเดินเดินเท้าโดยใช้เส้นโค้งการแจกแจงทางสถิติ [11] ทำการศึกษาในเมืองของประเทศอินเดียที่มีลักษณะการเดินไม่เหมือนกัน 2 ประเภทคือ ทางเท้า และทางข้าม โดยเลือกที่จะทำการศึกษาที่ทางข้ามถนน โดยใช้ฐานข้อมูลของ CSIR (council for scientific and industrial research) ที่บันทึกปี 2008–2009 โดยทำการศึกษาแบบแบ่งตามเพศของคนเดินเท้า หาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 15, 50 และ 80 เปอร์เซ็นต์ไทล์ และหาอัตราส่วนความเร็ว พบว่าตามค่าอัตราส่วนความเร็ว ผู้ชายเดินเร็วกว่าผู้หญิง และสถานที่ต่างกันความเร็วในการเดินก็จะไปไม่เท่ากัน

ตารางที่ 2 ระดับการให้บริการของคนเดินเท้าในประเทศไทยกับประเทศสหรัฐอเมริกา **[11]**

Level of Service	THAILAND		U.S.	
	Space (M) (m^2/ped)*	Flow Rate (ped/m/min)**	Space (M) (m^2/ped)*	Flow Rate (ped/m/min)**
A	2.38 or more	28 or less	3.2 or more	23 or less
B	1.60-2.38	28-40	2.30-3.20	23-33
C	0.98-1.60	40-61	1.40-2.30	33-49
D	0.65-0.98	61-81	0.90-1.40	49-66
E	0.37-0.65	81-101	0.50-0.90	66-82
F	0.37 or less	101 or variable	0.50 or less	82 or variable

*Square meter per pedestrian
**Pedestrian per meter width per minute

ในปี 2013 Pengfei และคณะ ศึกษาพฤติกรรมของคนข้ามถนนที่ช่วงกลางของถนนหน้าโรงเรียนประถมที่ไม่มีสัญญาณไฟในประเทศจีน [12] โดยวิเคราะห์จาก 4 ตัวแปร คือ ความเร็วในการข้ามถนน การรอเวลาก่อนข้ามถนน การวิ่งข้ามถนน และการมองรถก่อนข้ามถนน แบ่งกลุ่มของคนเดินเท้าออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ผู้ใหญ่เดินข้ามถนนคนเดียว ผู้ใหญ่และเด็กเดินข้ามถนนด้วยกัน และ เด็กเดินข้ามถนนคนเดียว พบว่า การเดินข้ามถนนในช่วงครึ่งถนนแรกจะมีความเร็วที่ช้ากว่าครึ่งถนนที่เหลือ พฤติกรรมของเด็กในการข้ามถนนจะถูกชังจูงจากผู้ใหญ่ในการตัดสินใจข้ามถนน และการที่เด็กข้ามคนเพียงคนเดียวจะเกินอาการณ์ลังแลในการตัดสินใจมากกว่ากลุ่มที่เด็กเดินข้ามกับผู้ใหญ่ ภายหลังได้มีการศึกษารูปแบบการเดินข้ามถนนที่ทางข้ามถนนแบบไม่มีสัญญาณไฟในประเทศจีน ในปี 2015 โดย Rolla และคณะ เพื่อศึกษารูปแบบของการเดินข้ามถนนและความเร็วที่ใช้ในการข้ามถนน [13] พื้นที่การศึกษาเป็นทางข้ามที่ไม่มีสัญญาณไฟ ใกล้กับสถานีรถบัสขนาด 4 ช่องจราจร 2 ช่องทางจักรยาน จำกัดความเร็วที่ 60 km/h ทำการจำแนกเส้นทางที่คนเดินเท้าตัดสินใจจะข้ามจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง พบว่าคนเดินข้ามถนนจะเลือกรูปแบบการเดินที่สั้นที่สุดต่อจุดหมายของตัวเองมีหลีกเลี่ยงการรบกวนจากการจราจรและคนเดินเท้าคนอื่นทั้งที่เดินในทิศทางเดียวกันและเดินสวนทางกัน ปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อรูปแบบการข้ามถนน คือ คนเดินเท้าที่เดินด้วยกันเป็นกลุ่มจะมีการจูงใจให้คนเดินเท้าอื่น ๆ ตัดสินใจในการข้ามถนนในรูปแบบเดียวกัน

ในปี 2016 Emese และ Petre ได้มีการทำการประเมินพฤติกรรมของคนเดินเท้าที่เมืองกียอร์ประเทศฮังการี [14] เพื่อสำรวจและศึกษาการละเมิดกฎระเบียบข้อบังคับในการจราจรของผู้ขับขี่และคนเดินเท้าและเพิ่มความปลอดภัยของการใช้รถใช้ถนน พบว่าผู้ใช้รถจะกระทำผิดกฎมากที่ทางข้ามที่ไม่มีเกาะกลางถนน สามารถแก้ไขปัญหาได้โดยการทำเกาะกลางถนนและติดตั้งสัญญาณไฟ และพบว่าปัจจัยที่จะเพิ่มความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนน คือ คนเดินเท้า ผู้ใช้รถ และโครงสร้างพื้นฐาน เช่น เกาะกลางถนน และสัญญาณไฟ วิธีการจัดการกับอัตราการเสียชีวิได้ดีที่สุด คือการให้ความรู้แก่คนใช้รถใช้ถนนให้มีความรู้มากขึ้นและมีวินัยในการใช้รถใช้ถนนมากขึ้น ที่เมืองบังคาลอร์ รัฐกรณาฏกะ ประเทศอินเดีย ในปี 2016 Nicrolas ศึกษาความสัมพันธ์ของอายุและเพศที่มีผลต่อการข้ามถนน [15] พบว่าผู้หญิงจะใช้ระยะการรอข้ามถนนนานกว่าผู้ชาย ผู้หญิงใช้ระยะเวลาการรอข้ามถนนเฉลี่ยเท่ากับ 34.4 วินาที ผู้ชายใช้ระยะเวลาการรอข้ามถนนเฉลี่ยเท่ากับ 18.3 วินาที คิดเป็นความแตกต่างจะได้ร้อยละ 88 และการใช้ระยะเวลาการรอข้ามถนนของคนที่มีอายุมากจะใช้ระยะเวลาการรอข้ามถนนมากกว่าคนที่อายุน้อยกว่า ต่อมาในปี 2016 Pelin และ Yalcin ศึกษาความเร็วและความปลอดภัยของทางเท้าในการข้ามถนนในเมืองอิซมีร์ ประเทศตุรกี ผลลัพธ์ที่ได้คือ ความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินคือ 1.31 m/s และมีความเร็วเฉลี่ยที่ 15 เปอร์เซ็นต์ไทล์เท่ากับ 1.07 m/s [16] คนเดินเท้ามีช่วงเวลาล่าช้าในการข้ามถนนตั้งแต่ช่วงแรกที่เริ่มเดินและมีการเพิ่มความเร็วในการเดินเมื่อจะถึงช่วงสัญญาณไฟจะเป็นสีแดง จึงจะต้องมีการเพิ่มเวลาของรอบสัญญาณไฟและเพิ่มความปลอดภัยของทางเท้าโดยการขยายทางเท้าให้กว้างมากขึ้น ที่เมืองโดฮา เมืองหลวงของประเทศการ์ต้า ในปี 2017 Deepti และคณะศึกษาพฤติกรรมของคนเดินข้ามถนนที่ทางแยกในทางเลี้ยวขวา [17] ทางข้ามมีความกว้าง 3 เมตร ยาว 5.5 เมตร อยู่บนทางเลี้ยวขวาของทางแยก พบว่าเวลาที่คนเดินเท้ารอข้ามถนนเห็นได้ว่าเวลาที่คนเดินเท้าที่รอข้ามถนนมีความอิสระที่ปริมาณของยานพาหนะน้อย และความเร็วในการเดินข้ามถนนมีความรวดเร็วทำให้เกิดการติดขัดของการจราจรน้อย

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานศึกษาสำรวจและเก็บข้อมูล มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การสำรวจพื้นที่และเก็บข้อมูล เลือกพื้นที่ในเขตเมืองจังหวัดเชียงใหม่ที่ทางข้ามสำหรับคนเดินเท้าที่มีสัญญาณไฟ โดยมีปัจจัยดังต่อไปนี้

3.1.1 ลักษณะทางกายภาพของทางข้ามที่มีสัญญาณไฟแบบกด ประกอบด้วย ความกว้าง ความยาวของทางข้าม ความกว้างของเกาะกลาง

3.1.2 ลักษณะด้านการจราจรของคนเดินเท้า ได้แก่ ความเร็ว ความต้องการพื้นที่ เพศ และช่วงอายุของคนเดินเท้า ทั้งสองทิศทาง

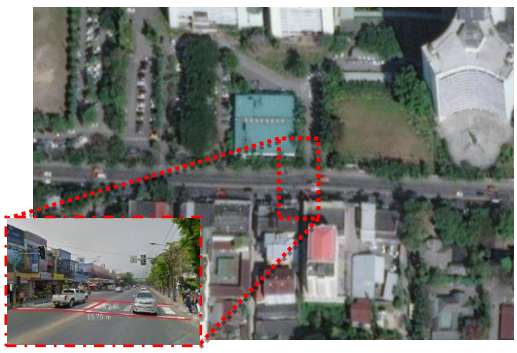
3.2 จำนวนประชากรหรือกลุ่มตัวอย่าง เลือกจำนวนประชาการและกลุ่มตัวอย่างคนเดินเท้าสำหรับเก็บข้อมูล โดยแบ่งตามเพศ และช่วงอายุ ได้แก่ ชายและหญิง อายุน้อยกว่า 18 ปี ระหว่าง 18-60 ปี และมากกว่า 60 ปี ตามลำดับ รวม 6 ประเภท ไม่ต่ำกว่า 200 คนต่อประเภทของคนเดินเท้า

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล ของคนเดินเท้าใช้วิธีการเก็บข้อมูลด้วยการบันทึกภาพวีดีโอ บริเวณทางข้ามที่มีสัญญาณไฟช่วงละ 15 นาที รวมเวลา 3

ชั่วโมง ในช่วงที่มีความหนาแน่นของคนเดินเท้าสูงและต่ำ (ช่วงที่คนเดินเท้าใช้ความเร็วได้อิสระ) เพื่อหารูปแบบการเดิน ความเร็ว และความหนาแน่นต่อพื้นที่ สำหรับใช้หาความเหมาะสมของสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางข้าม

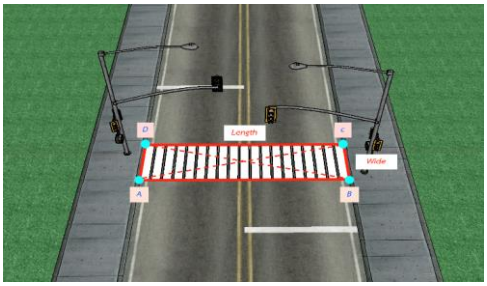
3.3.1 การเก็บข้อมูลของสัญญาณไฟทางข้าม คือ รอบของสัญญาณไฟ 1 รอบ ที่ใช้ในการข้ามถนน พื้นที่ที่สำรวจตั้งอยู่บนถนนอารักษ์ตัดกับถนนบุญเรืองฤทธิ์ ตรงข้ามกับโรงเรียนวัฒโนทัยพายัพ พิกัด 18°47’2.44’’ N และ 98°58’41.08’’ E ดังรูปที่ 8 และทางข้ามบริเวณโรงพยาบาลมหาราช ถนนสุเทพ พิกัด 18°47’20’’ N และ 98°58’30’’ E ดังรูปที่ 9

รูปที่ 8 ทางข้ามที่บริเวณโรงเรียนวัฒโนทัยพายัพเชียงใหม่



รูปที่ 9 ทางข้ามที่บริเวณโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่

3.3.2 การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของคนเดินเท้าบริเวณทางข้ามที่มีสัญญาณไฟ มีรายละเอียดดังนี้ ความเร็วในการเดินของคนเดินเท้า กรณีที่ 1 เมื่อคนเดินเท้าเริ่มเดินจากจุด A หรือ D ไปยังจุด C หรือ B โดยมีระยะ A ถึง B หรือ D ถึง C เป็นระยะทางในการเดินของคนเดินเท้า กรณีที่ 2 เมื่อคนเดินเท้าเริ่มเดินจากจุด A หรือ D โดยการเดินเป็นเส้นทแยง ไปยังจุด C หรือ B โดยมีระยะ A ถึง C หรือ D ถึง B โดยความเร็วของคนเดินเท้าจะสามารถหาได้จากระยะทางของทางข้ามทางเดินเท้าต่อระยะเวลาที่คนเดินเท้าเดิน เช่น ระยะเวลาในการเดินของคนเดินเท้า 12 วินาที และระยะทางข้ามแบบเส้นตรงเท่ากับ 15.75 เมตร ความเร็วของคนเดินเท้าเท่ากับ 0.76 m/s ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 เส้นทางการเดินของคนเดินเท้าสำหรับเก็บข้อมูลความเร็ว

3.3.3 พื้นที่ที่ต้องการของคนเดินเท้าใช้เดินข้ามทางข้าม สามารถหาได้จากพื้นที่คนเดินเท้าเดินข้ามต่อจำนวนคนเดินเท้าในพื้นที่นั้น ๆ

3.4 การสร้างแบบจำลองเสมือนจริง แบ่งเป็น 3 กระบวนการ ได้แก่ กำหนดเงื่อนไขการสร้างแบบจำลอง เพื่อใช้ในการระบุขนาดพื้นที่บริเวณทางข้ามที่เหมาะสม เพื่อปรับเทียบแบบจำลองเสมือนจริงและประเมินศักยภาพของของทางข้ามคนเดินเท้าที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ตามลำดับ ดังต่อไปนี้

3.4.1 ปรับเทียบแบบจำลองเสมือนจริงเพื่อระบุขนาดและลักษณะกายภาพของทางข้ามของคนเดินเท้า และพฤติกรรมการเดินของคนเดินเท้า ได้แก่ ความเร็ว เวลาการเดินทาง และจำนวนคนเดินเท้า

3.4.2 สร้างแบบจำลองเสมือนจริงในการเปรียบเทียบ และประเมินศักยภาพของของบริเวณทางข้ามคนเดินเท้ารูปแบบและช่วงเวลาต่าง ๆ

3.4.3 วิเคราะห์แบบจำลองเสมือนจริงโดยวิเคราะห์ในกรณีที่ 1 คือให้คนเดินเท้ามีอิสระในการเคลื่อนที่ โดยมีการรบกวนจากสิ่งกีดขวางบนทางข้ามสำหรับคนเดินเท้า และยานพาหนะ

3.4.4 วิเคราะห์แบบจำลองเสมือนจริงโดยวิเคราะห์ในกรณีที่ 2 คือให้คนเดินเท้ามีอิสระในการเคลื่อนที่ โดยเคลื่อนที่ในช่วงระยะเวลาที่อนุญาตของสัญญาณไฟเขียวสำหรับคนเดินเท้าเท่ากับ 10 20 และ 30 วินาที ตามลำดับ คนเดินเท้าเคลื่อนที่โดยปราศจากการรบกวนจากสิ่งกีดขวางบนทางข้ามของคนเดินเท้าและยานพาหนะ

3.4.5 วิเคราะห์แบบจำลองเสมือนจริงโดยวิเคราะห์ในกรณีที่ 3 คือให้คนเดินเท้ามีอิสระในการเคลื่อนที่ โดยเคลื่อนที่ในช่วงระยะเวลาที่สัญญาณไฟที่อนุญาตให้คนเดินเท้าเคลื่อนที่ผ่าน เท่ากับ 10 20 และ 30 วินาที ตามลำดับ โดยคนเดินเท้าจะมีสิ่งกีดขวางและถูกรบกวนโดยยานพาหนะ

3.5 การปรับเทียบแบบจำลองเสมือนจริง ข้อมูลตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย อัตราการไหลของคนเดินเท้า เวลาการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า และปริมาณคนเดินเท้าภายในหนึ่งชั่วโมง ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้อง เกิดจากการวิเคราะห์การปรับเทียบแบบจำลอง โดยนำข้อมูลผลการสร้างแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการสำรวจจริง ว่าผลที่วิเคราะห์ได้จากการแบบจำลองเสมือนจริงสอดคล้องกับผลการสำรวจหรือไม่ โดยอัตราการไหลและจำนวนคนเดินเท้าจะปรับเทียบโดยใช้ค่า GEH เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะสำหรับการปรับเทียบข้อมูลจากการสำรวจและแบบจำลองในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงเท่านั้น ส่วนค่า MAE จะใช้ในการปรับเทียบเวลาการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า เนื่องจากเป็น

ค่าการวัดผลการปรับเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการสำรวจกับข้อมูลที่ได้จากการจำลอง

3.6 การสร้างสถานการณ์การวิเคราะห์ในแบบจำลองเสมือนจริง

3.6.1 สถานการณ์วิเคราะห์ที่ทางข้ามสำหรับคนเดินเท้าที่ความกว้างเท่ากับ 5.7 เมตร และความยาว 15.75 เมตร โดยมีการแปรเปลี่ยนจำนวนของคนเดินเท้าที่ 500, 600, 700, 800, 900, 1,000, 1,200, 1,400, 1,600, 1,800, 2,000, 2,200, 2,400, 2,600, 2,800, และ 3,000 คนต่อชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับระยะเวลาสัญญาณไฟทางข้ามสำหรับคนเดินเท้าโดยการเปรียบเทียบปริมาณคนเดินเท้าต่อชั่วโมงใด ๆ ในระยะเวลาสัญญาณไฟทางข้ามสำหรับคนเดินเท้าที่ 10, 20, และ 30 วินาที ตามลำดับ

3.6.2 สร้างสถานการณ์วิเคราะห์ระยะเวลาสัญญาณไฟทางข้ามสำหรับคนเดินเท้ากับการไหลผ่านสุทธิของยานพาหนะ โดยแบ่งช่วงเวลาการเดินของคนเดินออกเป็นช่วงเวลา 10, 20, และ 30 วินาที โดยเปรียบเทียบระยะเวลาสัญญาณไฟทางข้ามสำหรับคนเดินเท้ากับการไหลผ่านสุทธิของยานพาหนะในระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรที่ให้ยานพาหนะไหลผ่านสุทธิไปที่ช่วงเวลา 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, และ 300 วินาที ตามลำดับ

การเลือกเวลาของคนเดินเท้าเริ่มต้นเท่ากับ 10 วินาที เนื่องจากความกว้างของถนนที่สำรวจทั้งสองจุดมีความกวางน้อยที่สุดเท่ากับ 8.40 เมตร เวลาดังกล่าวจึงเป็นเวลาที่คนเดินเท้าที่เดินช้าที่สุดสามารถเดินข้ามพื้นที่สำรวจได้

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาข้อมูลทางด้านกายภาพ แสดงในรูปที่ 11

(ก) (ข)

รูปที่ 11 (ก) ทางข้ามคนเดินเท้าบนถนนสุเทพหน้าโรงพยาบาลมหาราช (ข) ทางข้ามคนเดินเท้าบนถนนอารักษ์หน้าโรงเรียนวัฒโนทัยพายัพ

4.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมของคนเดินเท้าบริเวณทางข้ามที่มีสัญญาณไฟ ได้แก่ จำนวนคนเดินเท้า สัดส่วนของคนเดินเท้าในช่วง 1 ชั่วโมงสูงสุด ความเร็ว ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็ว ความต้องการพื้นที่ ความหนาแน่น อัตราการไหล และระดับการให้บริการ โดยแบ่งตามประเภทของคนเดินเท้าดังตารางที่ 3 และ 4

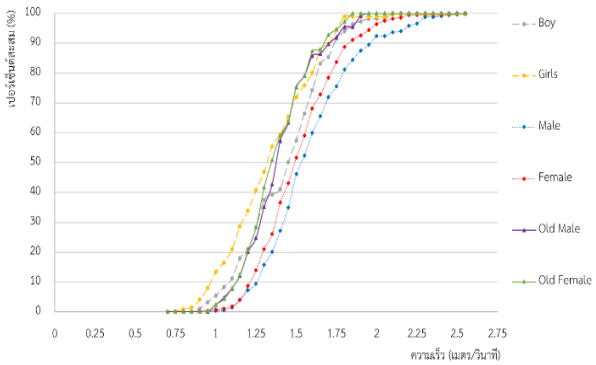
ตารางที่ 3 พฤติกรรมของคนเดินเท้าบริเวณทางข้ามที่มีสัญญาณไฟ (ความเร็ว พื้นที่ที่ต้องการ และจำนวนของคนเดินเท้า)

ตำแหน่ง	ความเร็วของคนเดินเท้า					
	เพศชาย			เพศหญิง		
	<18	18-60	>60	<18	18-60	>60
จำนวนคนเดินเท้า (คน)	161	397	154	210	578	202
สัดส่วนของคนเดินเท้า (%) (701 คน/ชั่วโมง)	2.10	1.00	30.20	38.00	13.00	15.70
ความเร็วเฉลี่ยในการเดิน (m/s)	1.42	1.55	1.38	1.30	1.50	1.36
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็ว	0.27	0.27	0.27	0.24	0.21	0.20
พื้นที่ของคนเดินเท้า (m^2/ped)	1.30	2.12	1.98	1.30	2.12	1.98

ตารางที่ 4 พฤติกรรมของคนเดินเท้าบริเวณทางข้ามที่มีสัญญาณไฟ (ความหนาแน่นต่อพื้นที่ อัตราการไหล และระดับการให้บริการ)

สถานที่	ความหนาแน่น (ped/m^2)	อัตราการไหล (ped/min/m)	Level of Service (LOS)
โรงพยาบาลมหาราชนคร	0.25	43	D
โรงเรียนวัฒโนทัยพายัพ	0.74	29	C

จากการวิเคราะห์ข้อมูลกายภาพและจำนวนของคนเดินเท้าที่ทำการศึกษามีจำนวนคนเดินเท้าเท่ากับ 1,702 คน ซึ่งสามารถแสดงค่าเฉลี่ยความเร็วสะสมของคนเดินเท้าแต่ละประเภท ดังแสดงในรูปที่ 12 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่วิเคราะห์ได้ควรอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ค่าที่น้อยแสดงถึงข้อมูลที่สำรวจมีการกระจายตัวของความเร็วน้อย ส่วนของค่าความเร็วเฉลี่ยของคนเดินเท้าในแต่ละประเภทสามารถนำมาปรับเทียบกับข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองเสมือนจริงโดยค่าดังกล่าวไม่ควรจะมีค่าห่างกันเกิน 5%



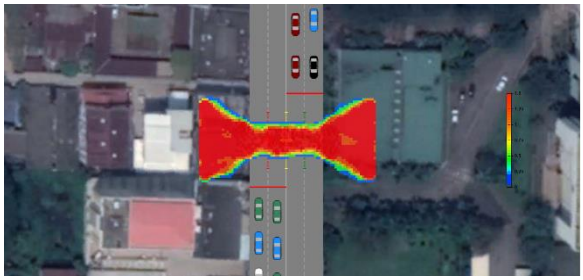
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างความถี่ร้อยละสมสมกับความเร็ว

4.3 การปรับเทียบแบบจำลองเสมือนจริง วัตถุประสงค์ เพื่อให้ได้ผลของการจำลองที่ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด การปรับเทียบแบบจำลองพฤติกรรมคนเดินเท้าบริเวณทางข้ามสำหรับคนเดินเท้า 3 ตัวแปร ที่ใช้ในการพิจารณา ได้แก่ อัตราการไหล จำนวน และเวลาการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า ผลการปรับเทียบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการปรับเทียบแบบจำลองบริเวณทางข้ามสำหรับคนเดินเท้า

การปรับเทียบแบบจำลองบริเวณทางข้ามสำหรับคนเดินเท้า				
ตัวแปรในการพิจารณา	การสำรวจ	การจำลอง	เกณฑ์พิจารณา	
			GEH	MAE
อัตราการไหลของคนเดินเท้า (peds/min/m)	43	68	0.45	-
จำนวนคนเดินเท้าภายในหนึ่งชั่วโมง (peds/hour)	700	710	0.01	-
เวลาการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้า (sec)	12.33	12.20	-	1.05

4.4 ผลการจำลองแบบจำลองเสมือนจริง จากการจำลองพฤติกรรมกายภาพของคนเดินเท้าและยานพาหนะตามพฤติกรรมจริงที่ได้ทำการสำรวจดังแสดงรูปที่ 13 พบว่าระยะเวลาสำหรับการเดินข้ามทางข้ามคนเดินเท้ากับจำนวนคนเดินเท้าต่อชั่วโมง ได้ค่าระยะเวลาของคนเดินเท้าที่ต้องการต่อจำนวนคนเดินเท้าภายในหนึ่งชั่วโมง ดังตารางที่ 6 การจำลองแบบจำลองเสมือนจริงโดยนำข้อมูลอัตราการไหลของคนเดินเท้าจากการสำรวจมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ จะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลออกมาในรูปแบบความสัมพันธ์เวลาที่ต้องการในการเคลื่อนที่ต่ออัตราการไหลของคนเดินเท้า ดังแสดงในรูปที่ 14 และ 17

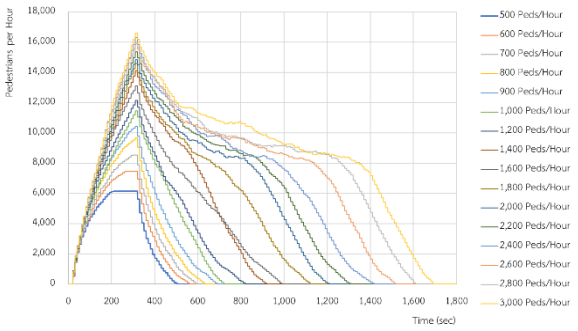


รูปที่ 13 ความหนาแน่นต่อพื้นที่ของคนเดินเท้าจากแบบจำลองเสมือนจริง

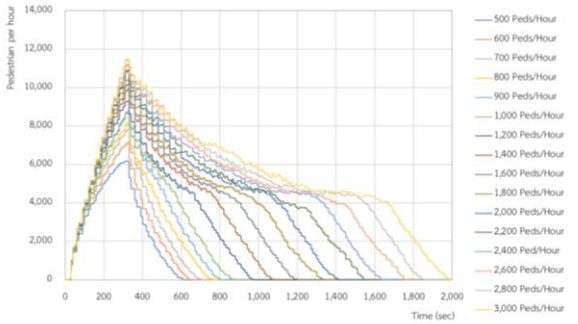
ตารางที่ 6 เวลาที่ต้องการในการเคลื่อนที่ต่อจำนวนของคนเดินเท้าภายในหนึ่งชั่วโมง

	ประชากรคนเดินเท้าต่อหนึ่งชั่วโมง (คน)							
	500	600	700	800	900	1,000	1,200	1,400
ระยะเวลาที่ต้องการ (วินาที)	498	549	579	619	669	709	799	909
	ประชากรคนเดินเท้าต่อหนึ่งชั่วโมง (คน)							
	1,600	1,800	2,000	2,200	2,400	2,600	2,800	3,000
ระยะเวลาที่ต้องการ (วินาที)	969	1,109	1,189	1,289	1,399	1,499	1,589	1,679

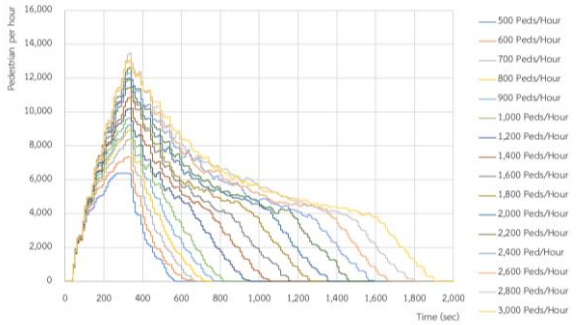
จากรูปที่ 14 และ 17 แสดงผลการวัดอัตราการไหลของคนเดินเท้าบริเวณพื้นที่สำรวจต่อความกว้างใด ๆ โดยคนเดินเท้าแต่ละคนเดินมาถึงปลายทางทั้ง 2 ทิศทาง โดยคนเดินเท้าจะมาถึงอย่างต่อเนื่องจนครบจำนวนคนเดินเท้าที่ทำการจำลอง พบว่าอัตราการไหลของคนเดินเท้าภายในหนึ่งชั่วโมงแปรผันตรงกับช่วงระยะเวลาที่คนเดินเท้าต้องการใช้ เมื่ออัตราการไหลของคนเดินเท้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาที่คนเดินเท้าต้องการใช้จะเพิ่มขึ้นตาม เช่นเดียวกันเมื่ออัตราการไหลของคนเดินเท้าลดลงจะส่งผลให้ระยะเวลาที่คนเดินเท้าต้องการใช้จะลดลงตาม



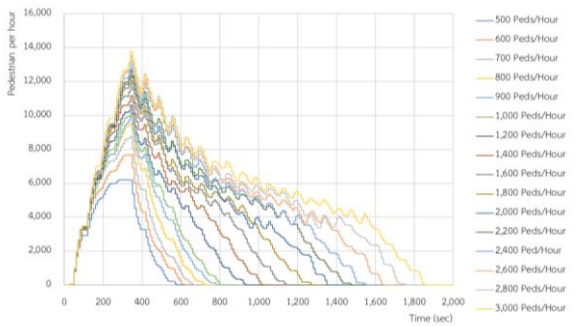
รูปที่ 14 เวลาที่ต้องการในการเคลื่อนที่ต่อจำนวนคนเดินเท้าที่ไฟเขียวปัจจุบัน



รูปที่ 15 เวลาที่ต้องการในการเคลื่อนที่ต่อจำนวนคนเดินเท้าที่ไฟเขียว 10 วินาที



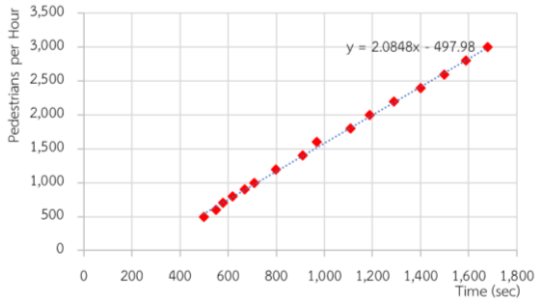
รูปที่ 16 เวลาที่ต้องการในการเคลื่อนที่ต่อจำนวนคนเดินเท้าที่ไฟเขียว 20 วินาที



รูปที่ 17 เวลาที่ต้องการในการเคลื่อนที่ต่อจำนวนคนเดินเท้าที่ไฟเขียว 30 วินาที

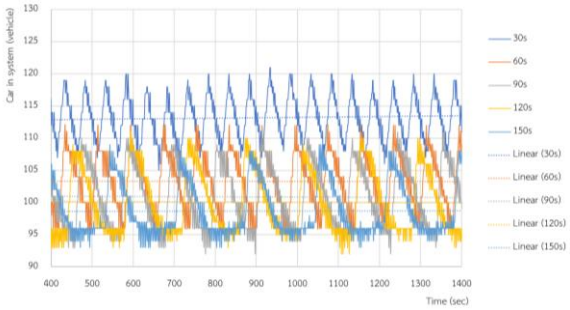
เมื่อสังเกตจะพบว่าจำนวนคนเดินเท้าจำนวนใด ๆ จะมีค่าอัตราการไหลเพิ่มขึ้นในช่วงหนึ่ง ๆ เนื่องจากคนเดินเท้ายังสามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้อย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อถึงเวลาหนึ่งอัตราการไหลจาเริ่มลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่เริ่มมีการตัดขัด มีการหลีกเลี่ยงกันของคนเดินเท้าขณะเคลื่อนที่และจะลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั้งคนสุดท้ายของการจำลองถึงปลายทาง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนคนเดินเท้าต่อชั่วโมงในช่วงสัญญาณไฟเขียวต่าง ๆ พบว่าจำนวนคนเดินเท้าจะแปรผันตรงกับระยะเวลาสัญญาณไฟ สามารถหาจำนวนคนเดินเท้าที่ข้ามในในช่วงเวลาที่ต้องการจากสัดส่วนของระยะเวลาที่ต้องการต่อจำนวนคนเดินเท้าในหนึ่งชั่วโมง แสดงในรูปที่ 18

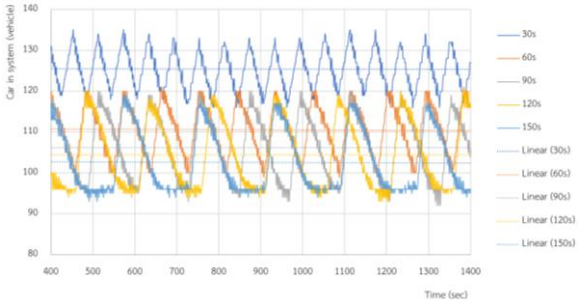


รูปที่ 18 แนวโน้มจำนวนคนเดินเท้าต่อระยะเวลาหนึ่งชั่วโมง

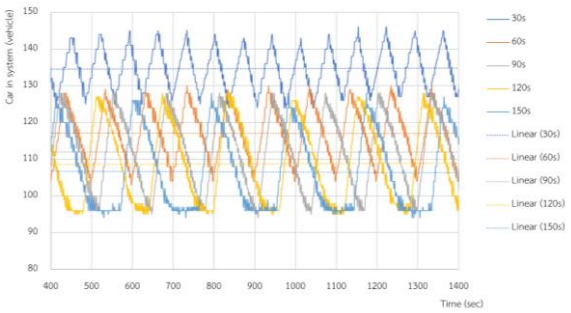
รูปที่ 19-21 แสดงจำนวนยานพาหนะได้รับอนุญาตให้เคลื่อนที่ในช่วงเวลา 30, 60, 90, 120, และ 150 วินาที ตามลำดับ และเวลาที่อนุญาตให้คนเดินเท้าเคลื่อนที่ในช่วงสัญญาณไฟเขียว 10 20 และ 30 วินาที ตามลำดับ ตลอดระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าอัตราการไหลของยานพาหนะจะแปรผันตรงกับระยะเวลาทางข้ามสัญญาณไฟ สามารถแสดงดังตารางที่ 7



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างรถในระบบกับเวลาที่รอบสัญญาณไฟต่าง ๆ ของยานพาหนะและคนเดินเท้าที่ข้ามทางระยะเวลา 10 วินาที



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างรถในระบบกับเวลาที่รอบสัญญาณไฟต่าง ๆ ของยานพาหนะและคนเดินเท้าที่ข้ามทางระยะเวลา 20 วินาที

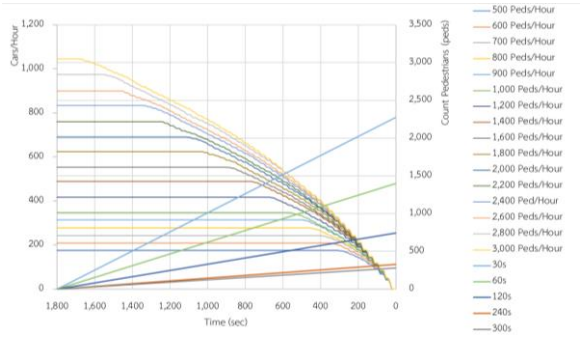


รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างรถในระบบกับเวลาที่รอบสัญญาณไฟต่าง ๆ ของยานพาหนะและคนเดินเท้าที่ข้ามทางระยะเวลา 30 วินาที

ตารางที่ 7 แสดงการระบายปริมาณการจราจรของยานพาหนะในช่วงหนึ่งรอบสัญญาณไฟทางข้าม

ระยะเวลารอบสัญญาณไฟที่ปล่อยให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ (วินาที)	ปริมาณยานพาหนะที่ระบายในช่วงหนึ่งรอบสัญญาณไฟใน 4 ช่องจราจร (คัน)		
	10 วินาที	20 วินาที	30 วินาที
30	13	17	20
60	16	21	24
120	17	24	32
240	15	25	30
300	16	25	30

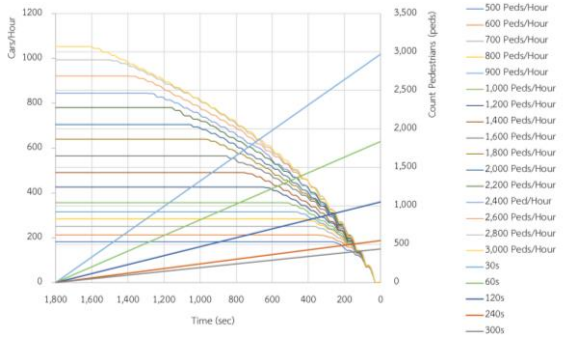
การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์จำนวนเดินเท้าที่มีผลกระทบต่อการจราจรของยานพาหนะ โดยใช้สัญญาณไฟจราจรเพื่อหยุดหรือเพื่อปล่อยให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ ตามระยะเวลาที่สำรวจ ปริมาณยานพาหนะในรอบสัญญาณไฟที่ 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, และ 300 วินาที ตามลำดับ โดยให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ในรอบสัญญาณไฟที่ให้คนเดินเท้าข้ามทางที่ระยะเวลาสัญญาณไฟของคนเดินเท้าที่ 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที ตามลำดับ ดังรูปที่ 22-24 ตามลำดับ แสดงค่าดังตารางที่ 8-11



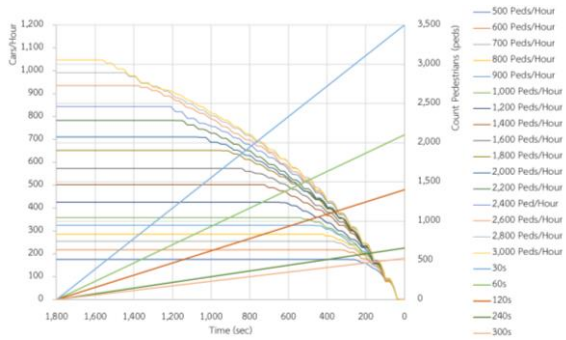
รูปที่ 22 ระยะเวลาสัญญาณไฟทางข้ามสำหรับคนเดินเท้าที่ 10 วินาทีกับการไหลผ่านของยานพาหนะ

จากการสร้างแบบจำลองทั้ง 3 กรณี พบว่ากรณีที่ 1 คนเดินเท้าเคลื่อนที่อิสระโดยมีการรบกวนจากยานพาหนะและสิ่งกีดขวางในเส้นทางเดิน กำหนดจำนวนคนเดินเท้าที่ตั้งแต่ 500-3,000 ped/h มีความต้องการเวลาในการเดินอยู่ระหว่าง 498-1,679 วินาที ขึ้นอยู่กับจำนวนคนเดินเท้าใน

การจำลอง กรณีที่ 2 คนเดินเท้าเคลื่อนที่โดยปราศจากการรบกวนจากสิ่งกีดขวางบนทางข้ามของคนเดินเท้าและยานพาหนะ ในหนึ่งรอบสัญญาณไฟเขียวของคนเดินเท้า 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที คนเดินเท้าจะสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยการไหลเฉลี่ยรอบละ 97, 129, 174, 197, และ 220 คน ตามลำดับ และกรณีที่ 3 คนเดินเท้ามีอิสระในการเคลื่อนที่ในช่วงระยะเวลาที่สัญญาณไฟที่อนุญาตให้คนเดินเท้าเคลื่อนที่ผ่าน ในช่วงเวลา 10, 20, และ 30 วินาที โดยมียานพาหนะบนโครงข่ายตามระยะเวลาที่กำหนด พบว่าเมื่อปริมาณคนเดินเท้าอยู่ในช่วง 500-1,200, 1,201-2,200, และ 2,201-3,000 ped/h จะมีช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมของสัญญาณไฟที่ปล่อยให้ยานพาหนะเคลื่อนที่คือ 240-300, 120-240, และ 30-120 วินาที ตามลำดับ



รูปที่ 23 ระยะเวลาสัญญาณไฟทางข้ามสำหรับคนเดินเท้าที่ 20 วินาทีกับการไหลผ่านของยานพาหนะ



รูปที่ 24 ระยะเวลาสัญญาณไฟทางข้ามสำหรับคนเดินเท้าที่ 30 วินาทีกับการไหลผ่านของยานพาหนะ

ตารางที่ 8 จำนวนประชากรคนเดินเท้าที่ข้ามทางต่อหนึ่งรอบสัญญาณไฟเขียว

	จำนวนประชากรคนเดินเท้าต่อหนึ่งชั่วโมง (คน)	รอบสัญญาณไฟในการข้ามทาง (วินาที)		
		10	20	30
จำนวนคนข้ามทางต่อหนึ่งรอบสัญญาณไฟ (คน)	500	93	165	202
	600	102	166	213
	700	89	172	218
	800	95	181	205
	900	84	175	219
	1,000	87	169	218
	1,200	97	179	223
	1,400	97	168	228
	1,600	95	163	216
	1,800	97	177	213
	2,000	91	161	229
	2,200	93	189	217
	2,400	88	176	232
	2,600	94	172	240
	2,800	98	188	223
	3,000	90	174	225

ตารางที่ 9 ช่วงเวลาที่ต้องการของการจราจรและจำนวนคนเดินเท้าต่าง ๆ ที่ไฟเขียวสำหรับคนเดินเท้า 10 วินาที

จำนวนประชากรคนเดินเท้าต่อชั่วโมง (คน)	ระยะเวลารอบสัญญาณไฟที่ปล่อยให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ (วินาที)				
	30	60	120	240	300
	ระยะเวลาสัญญาณไฟทางข้ามสำหรับคนเดินเท้ากับการไหลผ่านสุทธิของยานพาหนะ (วินาที)				
500	1,400	1,140	560	120	100
600	1,360	1,020	350	115	95
700	1,240	900	280	110	95
800	1,160	760	270	110	95
900	1,090	650	250	110	95
1,000	1,000	530	250	105	90
1,200	850	500	240	105	90
1,400	720	480	235	105	90
1,600	700	470	230	100	90
1,800	690	440	225	100	85
2,000	680	430	220	100	85
2,200	650	420	215	95	85
2,400	600	410	210	95	85
2,600	600	400	210	95	80
2,800	590	400	210	90	80
3,000	590	390	210	90	80

ตารางที่ 10 ช่วงเวลาที่ต้องการของการจราจรและจำนวนคนเดินเท้าต่าง ๆ ที่ไฟเขียวสำหรับคนเดินเท้า 20 วินาที

จำนวนประชากรคนเดินเท้าต่อชั่วโมง (คน)	ระยะเวลารอบสัญญาณไฟที่ปล่อยให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ (วินาที)				
	30	60	120	240	300
	ระยะเวลาสัญญาณไฟทางข้ามสำหรับคนเดินเท้ากับการไหลผ่านสุทธิของยานพาหนะ (วินาที)				
500	1,480	1,380	900	210	170
600	1,420	1,200	745	195	145
700	1,360	1,180	550	190	145
800	1,300	995	400	170	140
900	1,240	900	380	160	140
1,000	1,180	790	360	150	135
1,200	1,050	605	340	145	135
1,400	940	580	310	140	130
1,600	840	540	295	140	130
1,800	795	510	290	140	130
2,000	760	500	260	140	125
2,200	730	470	260	140	125
2,400	710	470	255	140	125
2,600	700	450	250	140	120
2,800	680	450	250	140	120
3,000	670	450	250	140	120

ตารางที่ 11 ช่วงเวลาที่ต้องการของการจราจรและจำนวนคนเดินเท้าต่าง ๆ ที่ไฟเขียวสำหรับคนเดินเท้า 30 วินาที

จำนวนประชากรคนเดินเท้าต่อชั่วโมง (คน)	ระยะเวลารอบสัญญาณไฟที่ปล่อยให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ (วินาที)				
	30	60	120	240	300
	ระยะเวลาสัญญาณไฟทางข้ามสำหรับคนเดินเท้ากับการไหลผ่านสุทธิของยานพาหนะ (วินาที)				
500	1,530	1,370	1,140	400	200
600	1,470	1,250	990	240	190
700	1,380	1,160	840	230	180
800	1,370	1,090	740	220	175
900	1,310	990	590	200	170
1,000	1,260	900	490	195	165
1,200	1,170	740	450	190	160
1,400	1,050	615	405	180	155
1,600	930	590	385	180	155
1,800	860	550	380	180	155
2,000	840	540	375	175	155
2,200	830	530	370	175	155
2,400	790	520	350	175	155
2,600	780	500	345	170	155
2,800	770	490	340	170	155
3,000	760	490	335	170	155

5. สรุปผลการวิจัย

คนเดินเท้ามักถูกละเลยจากความสนใจด้านความปลอดภัยในการเดินเท้า และมีอัตราการเสียชีวิตเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี การศึกษาพฤติกรรมทางด้านวิศวกรรม และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการข้ามทางข้ามสำหรับคนเดินเท้าเป็นสิ่งสำคัญ การศึกษาพฤติกรรมของคนเดินเท้าด้านวิศวกรรม คือ ความเร็ว การไหล ความต้องการพื้นที่ และระดับการให้บริการของคนเดินเท้า จากการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลของคนเดินเท้าที่ทางข้ามที่มีสัญญาณไฟ โดยเก็บข้อมูลในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งแบ่งประเภทของคนเดินเท้าตามช่วงอายุและเพศ พบว่าความเร็วของคนเดินเท้าเพศชายกว่าเพศหญิง และความเร็วของคนเดินเท้าช่วงอายุเดียวกันจะมีความเร็วที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน คนเดินเท้าชายอายุระหว่าง 18-60 ปี มีความเร็วในการเดินเร็วที่สุดที่ 1.55 m/s คนเดินเท้าหญิงอายุน้อยกว่า 18 ปี มีความเร็วในการเดินช้าที่สุดที่ 1.30 m/s และคนเดินเท้าชายและหญิงที่มีอายุมากกว่า 60 ปี มีความเร็วในการเดินที่ใกล้เคียงกันที่ 1.38 m/s โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คนเดินเท้าทั้ง 6 ประเภท จากการสำรวจ 2 พื้นที่มีอัตราการไหลเท่ากับ 43 และ 29 ped/min/m ตามลำดับ ปัจจุบันหลังจากทำการวิเคราะห์พฤติกรรมกายภาพเบื้องต้นสถานที่ทางข้ามทางเดินเท้าทั้งสองแห่งมีระดับการให้บริการอยู่ที่ระดับ D และ C ตามลำดับ

การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของคนเดินเท้า เพื่อวิเคราะห์ระยะเวลาที่เหมาะสมกับจำนวนคนเดินเท้าต่อชั่วโมงและผลกระทบทางด้านการจราจรที่พิจารณาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของทางข้ามทางเดินเท้า การกำหนดจำนวนคนเดินเท้าที่ระหว่าง 500-3,000 ped/h ตามลำดับ จะมีความหนาแน่นจากการวิเคราะห์ระหว่าง 1.25-1.50 ped/m^2 และมีความต้องการระยะเวลาในการเดินอยู่ระหว่าง 498-1,679 วินาที ในหนึ่งรอบสัญญาณไฟ 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที คนเดินเท้าจะสามารถเคลื่อนที่บริเวณทางข้ามสำหรับคนเดินเท้าด้วยการไหลเฉลี่ยรอบละ 97, 129, 174, 197, และ 220 คน ตามลำดับ ของจำนวนคนเดินเท้าในหนึ่งชั่วโมง

การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของยานพาหนะ โดยนำมาวิเคราะห์กับจำนวนคนเดินเท้าเพื่อหาผลกระทบเนื่องจากการข้ามทางข้ามของจำนวนคนเดินเท้าในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ซึ่งในกรณีปริมาณยานพาหนะต่อหนึ่งชั่วโมงจะสามารถวิเคราะห์ การระบายปริมาณยานพาหนะที่ต้องการได้ เมื่อปริมาณคนเดินเท้าอยู่ในช่วง 500-1,200, 1,201-2,200, และ 2,201-3,000 ped/h ช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมของสัญญาณไฟที่อนุญาตให้คนเดินเท้าข้ามทางคือ 10, 20, และ 30 วินาที ตามลำดับ และช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมของสัญญาณไฟที่ปล่อยให้ยานพาหนะเคลื่อนที่คือ 240-300, 120-240, และ 30-120 วินาที ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

[1] องค์การอนามัยโลก (2558). รายงานสถานการณ์โลกด้านความปลอดภัยทางถนน พ.ศ. 2558. ประเทศไทย 2558, หน้า 6.

[2] World Health Organization (2015). Thailand Country Profile 2015. pp. 160.

[3] Khisty C.J. and Lall B.K. (2003). *Local Area Traffic Management.* Transportation Engineering: An Introduction 3th Edition.

[4] ธนา น้อยเรือน (2560). การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย. *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยบูรพา.*

[5] วัฒนวงศ์ รัตนวราห (2554). การศึกษาจัดการความปลอดภัยบริเวณโรงเรียนภายในจังหวัดนครราชสีมา. *รายงานการวิจัยสาขาวิศวกรรมขนส่ง, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.*

[6] กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม (2554). *โคมสัญญาณไฟสำหรับคนข้ามถนน:คู่มือและมาตรฐานสัญญาณไฟจราจร.* พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานครฯ, หน้า 31-34.

[7] สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวงชนบท (2556). *แบบมาตรฐานการทาง.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานครฯ.

[8] กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม (2561). *มาตรฐานชั้นทาง.* ออนไลน์ www.doh.go.th., 31 มกราคม 2561.

[9] Tanaboriboon Y. and J. A. Guyano. (1989). Level-of-service standards for pedestrian facilities in Bangkok. A case study. *ITE Journal (Institute of Transportation Engineers)*, 59 (11), pp. 39-41.

[10] Claudio M., Riccardo R. (2011). Evaluating the impact of pedestrian crossings on roundabout entry capacity. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20, pp. 69–78.

[11] Satish C., Anish K. B. (2013). Speed Distribution Curves for Pedestrians during Walking and Crossing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, pp. 660–66.

[12] Pengfei L., Yang B., Jian R., Lin Z. and Shinan S. (2013). Pedestrian Crossing Behavior at Unsignalized Mid-Block Crosswalks around the Primary School. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96, pp. 442–450.

[13] Rolla J., Shengwu X., Xiangzhen K., Senwen Z., Zhixiang F. (2015). Pedestrian crossing patterns preference at a non-signalized crosswalk. *Procedia Manufacturing*, 3, pp 3,353–3,359.

[14] Emese M., Petra S. (2016). Evaluation of human behaviour at pedestrian crossings. *Transportation Research Procedia*, 14, pp. 2121–2128.

[15] Ni. N. Frenchak. (2016). Pedestrian age and gender in relation to crossing behaviour at midblock crossings in India. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition) 2016*, 3 (4), pp. 345–351.

[16] Pelin O., Yalcin A. (2017). The crossing speed and safety margin of pedestrians at signalized intersection. *Transportation Research Procedia*, 22, pp. 3–12.

[17] Deepti M., Mohamed Kh., Wael A., Mohamed AS. (2017). Pedesrians' Crossing Behavior at Marked Crosswalks on Chanelized-Turn Lanes at Intersection. *Procedia Computer Science*, 109C, pp. 233 – 240.