การสำรวจการรับรู้และการมองเห็นทางข้ามถนนของผู้ขับขี่บนถนนในเขตเมืองเชียงใหม่

Investigating the Drivers' Recognition and Detection of Pedestrian Crossings on Chiang Mai Municipal Roads

ปาณัสม์ ศรีนนท์[1,*] นพดล กรประเสริฐ[2]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

**Corresponding author; E-mail address: panad_srinon@cmu.ac.th*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน ทางข้ามถนนในเขตเมืองได้รับการปรับปรุงและติดตั้งอุปกรณ์แนะนำและเตือนผู้ขับขี่ถึงตำแหน่งทางข้ามหลายมาตรการ ตัวอย่างเช่น เครื่องหมายทางม้าลาย ป้ายแนะนำตำแหน่งทางข้าม ป้ายเตือนระวังคนข้าม เส้นจราจรหยุดรถ เส้นจราจรชะลอความเร็ว ไฟกระพริบเตือน และสัญญาณไฟจราจรทางข้าม เป็นต้น ซึ่งเริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้นในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม การศึกษาถึงประสิทธิภาพด้านการรับรู้และมองเห็นทางข้ามของผู้ขับขี่จากการติดตั้งอุปกรณ์บริเวณทางข้ามในรูปแบบที่แตกต่างกันนั้นยังมีอยู่อย่างจำกัด การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจการรับรู้และการมองเห็นทางข้ามถนนที่มีรูปแบบของมาตรการเพิ่มความปลอดภัยบริเวณทางข้ามที่แตกต่างกันของผู้ขับขี่บนถนนในเขตเมืองเชียงใหม่ โดยการสำรวจวิเคราะห์ระยะการตรวจจับทางข้ามของผู้ขับขี่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยภาพวิดีโอขณะเดินทางผ่านทางข้ามทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ทั้งนี้ระยะตรวจจับทางข้ามจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการเตือนและแนะนำผู้ขับขี่ให้รับรู้ถึงทางข้าม ผลของการศึกษานี้พบว่าระยะการตรวจจับมาตรการสัมพันธ์กับช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลและรูปแบบของมาตรการ โดยในช่วงเวลากลางคืน ระยะการตรวจจับเฉลี่ยน้อยกว่าในช่วงเวลากลางวัน มาตรการที่มีระยะการตรวจจับเฉลี่ยมากสุดคือมาตรการสัญญาณไฟจราจรทางข้าม อยู่ที่ 87.9 เมตร มาตรการที่มีระยะการตรวจจับเฉลี่ยน้อยสุดคือมาตรการป้ายตำแหน่งทางข้าม อยู่ที่ 52.7 เมตร

คำสำคัญ: ความปลอดภัยทางถนน, ทางข้ามถนน, ป้ายจราจร, การรับรู้, ระยะการตรวจจับ

Abstract

At present, various engineering measures have been installed at pedestrian crossings on urban roads to better guide and warn drivers of the locations of pedestrian crossings. For example, crossing pavement markings. pedestrian crossing signs, pedestrian warning signs, advance stop lines, optical speed bars, flashing warning lights, and traffic signals have been used more widely in Thailand. However, the effectiveness of such measures on drivers' recognition and detection of pedestrian crossings has not been extensively investigated. The purpose of this study was to examine the drivers' recognition and detection of pedestrian crossings from different measures on urban roads in the Chiang Mai municipality area. The study investigated the drivers' detection distance of pedestrian crossings using video analysis while approaching pedestrian crossings during both daytime and nighttime. Detection distance is among the indicators that reflect the ability of measures to warn and guide the drivers to the pedestrian crossings. The results of this study found that detection distances were influenced by the time of day and the type of measure. During the night, the average detection distance was lower than during the day. The measure with the longest detection distance was the traffic signal, which had a distance of 87.9 meters. The measure with the shortest detection distance was the pedestrian crossing sign, which had a distance of 52.7 meters.

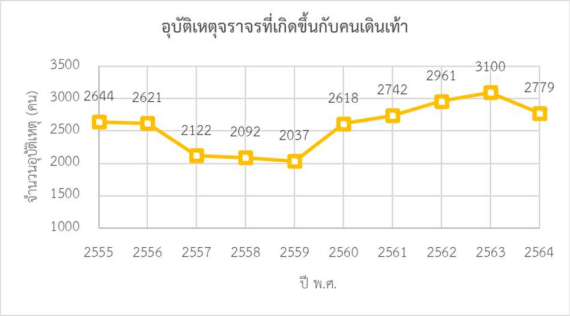
Keywords: Road safety, Pedestrian crossing, Traffic sign, Recognition, Detection Distance

1. บทนำ

ปัญหาอุบัติเหตุทางถนนเป็นปัญหาที่สำคัญที่สร้างความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินจำนวนมหาศาลทั่วโลก และควรได้รับความสนใจอย่างมาก ในแต่ละปี มีผู้เสียชีวิตหรือบาดเจ็บจากอุบัติเหตุทางถนนทั่วโลกหลายล้านคน นอกเหนือจากการเสียชีวิตของมนุษย์แล้ว อุบัติเหตุทางถนนยังส่งผลกระทบทางเศรษฐกิจอย่างมาก โดยมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจของอุบัติเหตุทางถนนคาดว่าจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 1-2 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) ของแต่ละประเทศ และหากพิจารณาถึงกลุ่มผู้ใช้ถนนที่มีความเปราะบาง (Vulnerable Road Users: VRUs) เช่น คนเดินถนน คนขี่จักรยาน และผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์

กลุ่มเหล่านี้มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บหรือเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนเป็นพิเศษ ผู้ใช้ถนนที่เปราะบางคิดเป็นร้อยละ 26 ของการเสียชีวิตจากการจราจรบนท้องถนนทั้งหมดทั่วโลก [1]

สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนของคนเดินเท้าบริเวณทางข้ามในประเทศไทย นับเป็นหนึ่งในปัญหาด้านความปลอดภัยทางถนนที่ควรให้ความสำคัญ โดยเฉพาะพื้นที่ในเขตเมืองซึ่งมีจำนวนคนเดินเท้าสูง คนเดินเท้านับเป็นหนึ่งในกลุ่มผู้ใช้ถนนที่เปราะบาง ซึ่งหากเกิดอุบัติเหตุ กลุ่มคนเดินเท้าจะมีโอกาสบาดเจ็บสาหัสและเสียชีวิตสูงกว่าทั้งในกลุ่มผู้ใช้ถนนที่มีความเปราะบางด้วยกันและผู้ใช้ถนนทั่วไป เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยในการป้องกันการบาดเจ็บ จากรายงานสถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนของประเทศไทย [2] พบว่ามีแนวโน้มการเกิดอุบัติเหตุกับคนเดินเท้าที่สูงอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 จำนวนอุบัติเหตุที่เกิดกับคนเดินเท้า

มาตรการด้านความปลอดภัยบริเวณทางข้ามมีอยู่หลากหลายมาตรการ โดยที่มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงทัศนวิสัยและการคาดการณ์ของทางม้าลายสำหรับทั้งคนขับและคนเดินถนน ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บโดยทำให้มั่นใจว่าผู้ขับขี่ตระหนักถึงการมีคนเดินถนนและสามารถคาดการณ์การเคลื่อนไหวได้

การมองเห็นและทัศนวิสัยของมาตรการที่ดีจะส่งผลให้ตัวมาตรการมีประสิทธิภาพในด้านการเพิ่มความปลอดภัยบริเวณทางข้ามได้อย่างมาก งานของ Borowsky [3] กล่าวว่าคนขับที่มีประสบการณ์จะระบุป้ายจราจรที่คาดไว้ได้ดีกว่าคนขับที่ไม่มีประสบการณ์ แต่จะรับรู้ได้แย่กว่านั้นเมื่อป้ายถูกวางไว้ในตำแหน่งที่คาดไม่ถึง ในประเทศไทยยังไม่ได้มีการกล่าวถึงประสิทธิภาพทางด้านการมองเห็นของมาตรการด้านความปลอดภัยบริเวณทางข้ามมากนัก

บทความนี้ได้ทำการศึกษาการมองเห็นและการรับรู้ของมาตรการด้านความปลอดภัยโดยพิจารณาถึงระยะการตรวจจับมาตรการของทางข้ามบนช่วงถนนในเขตเมืองเชียงใหม่ด้วยภาพวิดีโอขณะเดินทางผ่านทางข้ามทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนจากมุมมองที่แตกต่างกันเพื่อนำไปเป็นแนวทางในการแนะนำอุปกรณ์และรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ที่เหมาะสมในแต่ละประเภททางข้ามถนนและบริบทสภาพแวดล้อมของถนนในเขตเมืองต่อไป

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ระยะการตรวจจับ

ระยะการตรวจจับ (Detection Distance) หมายถึง ระยะทางที่ผู้ขับขี่หรือผู้ใช้ถนนคนอื่น ๆ สามารถตรวจจับและรับรู้ถึงการมีอยู่ของอุปกรณ์จราจร วัตถุ หรืออันตรายบนท้องถนนนั้น ๆ ได้เป็นครั้งแรก มีหน่วยเป็นเมตร ระยะการตรวจจับเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดขีดจำกัดความเร็วที่เหมาะสม ป้ายจราจร และมาตรการความปลอดภัยอื่น ๆ ที่จำเป็นในการป้องกันอุบัติเหตุและปรับปรุงความปลอดภัยบนท้องถนน ระยะทางที่ตรวจจับมีความสำคัญเพื่อให้ผู้ขับขี่สามารถตอบสนองได้อย่างเหมาะสม การติดตั้งป้ายจราจรซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะการใช้งานของถนนและสภาพแวดล้อม เป็นส่วนสำคัญของการออกแบบถนน และเป็นหนึ่งในเครื่องมือพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงความปลอดภัยทางถนน [4]

รูปที่ 2 ระยะการตรวจจับ

จากการทบทวนงานวรรณกรรมที่ผ่านมา ระยะตรวจจับมักถูกใช้ในการวิเคราะห์มาตรการเกี่ยวกับป้ายจราจร อย่างในการศึกษาวิจัยโดย Priambodo และ Siregar [5] ได้ประเมินการมองเห็นป้ายแนะนำบริเวณทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจรทั้งสิ้น 6 ป้ายโดยใช้ระยะอ่านและระยะตรวจจับของผู้ขับขี่ การทดลองดำเนินการในช่วงเวลากลางคืนเพื่อให้สภาพแวดล้อมการขับขี่และการอ่านป้ายมีความยากขึ้น ผลการวิจัยบางส่วนพบว่า เวลาที่ใช้ในการเดินทางของรถ ความเร็วของรถ และความสูงของป้าย ล้วนมีความสัมพันธ์กับระยะการอ่านป้าย ในขณะที่ความสูงของตัวอักษรป้ายไม่มีความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญกับระยะตรวจจับ โดยระยะการตรวจจับป้ายมีค่าอยู่ระหว่าง 30 ถึง 110 เมตรและค่าเฉลี่ยที่ 69 เมตร รวมถึงระยะการอ่านป้ายมีค่าอยู่ระหว่าง 20 ถึง 70 เมตรและค่าเฉลี่ยที่ 45 เมตร ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของป้าย

งานวิจัยของ Cottrell และ Dougald [6] ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของวัสดุสะท้อนแสงบนเสาป้ายหยุดรถ โดยการประเมินทัศนวิสัยได้ใช้แบบทดสอบภาพวิดีโอจากการขับรถโดยติดตั้งกล้องในมุมมองที่ใกล้เคียงกับสายตาคนขับในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนตลอดเส้นทางไปยังป้ายหยุดที่มีและไม่มีแถบสะท้อนแสงที่เสาเพื่อจำลองทางแยกจริง ผลการวิจัยในแง่ของทัศนวิสัยพบว่า ในช่วงเวลากลางวัน ป้ายหยุดที่ไม่มีแถบสะท้อนแสงมีระยะการตรวจจับป้ายมากกว่าและมองเห็นได้ชัดเจนกว่าป้ายหยุดที่มีแถบสะท้อนแสง ในทางกลับกันในช่วงเวลากลางคืน ป้ายหยุดที่มีแถบสะท้อนแสงมีระยะการตรวจจับป้ายมากกว่าและมองเห็นได้ชัดเจนกว่าป้ายหยุดที่ไม่มีแถบสะท้อนแสง

งานวิจัยของ Dahlstedt [7] ตรวจสอบความสามารถในการตรวจจับและความชัดเจนของป้ายจราจรที่มีความเข้มของการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันในระหว่างการขับขี่ตอนกลางคืน ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าป้ายที่มีความเข้มการสะท้อนแสง 4 ถึง 10 mcd/lux · cm2 มีระยะการตรวจจับและการอ่านที่เหมาะสมที่สุด การเพิ่มขนาดพื้นที่ป้ายเป็นสองเท่าทำให้ระยะการตรวจจับเพิ่มขึ้น 150-200 เมตร ในขณะที่ไฟหน้ารถที่สวนมาลดระยะการตรวจจับลง 100 เมตร

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับระยะการตรวจจับโดย Costa [8] ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ระยะการจ้องมองแรกของป้ายจราจร 22 แบบด้วยการใช้แว่นตรวจจับสายตา ผลการวิจัยพบว่า ค่ามัธยฐานของระยะการจ้องมองแรกบนป้ายจราจรเท่ากับ 51 เมตร และของระยะเวลาการจ้องมองคือ 137 มิลลิวินาที การศึกษาดังกล่าวยังพบว่า ระยะการจ้องมองแรกมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็วและระยะเวลาการจ้องมอง ที่น่าสนใจคือ การศึกษาพบว่าผู้ขับขี่มองที่ป้ายบอกทางในระยะที่ใกล้กว่าระยะการมองเห็นของป้าย

2.2 มาตรการด้านความปลอดภัยของทางข้าม

มาตรฐานการออกแบบทางข้ามที่เหมาะสมประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เครื่องหมายจราจรบนผิวทาง ทางม้าลาย เส้นหยุดรถ รวมทั้งมาตรการเพิ่มเติมเพื่อเสริมความปลอดภัยของทางข้าม ได้แก่ ป้ายเตือนทางข้าม ป้ายแนะนำตำแหน่งทางข้าม เส้น Optical Speed Bar (OSB) เพื่อบีบช่องจราจรให้แคบลง เกาะพักคนข้าม หรือแม้กระทั่งสัญญาณไฟทางข้าม [9] มาตรการด้านความปลอดภัยของทางข้ามมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของคนเดินเท้าที่ข้ามถนนและผู้ขับขี่ที่เข้าสู่ทางข้าม มาตรการเหล่านี้ออกแบบมาเพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุบนทางเท้า โดยเฉพาะบริเวณทางแยกและทางข้าม ซึ่งคนเดินถนนและยานพาหนะมีปฏิสัมพันธ์กันสูงที่สุด โดยในบทความนี้ ทางผู้วิจัยได้พิจารณาถึงมาตรการที่มีจุดเด่นในด้านการเพิ่มทัศนวิสัยในการมองเห็นในเขตเมือง โดยมีรายระเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 มาตรการป้ายแนะนำตำแหน่งทางข้าม

มาตรการป้ายตำแหน่งทางข้าม หรือป้าย น.6 คือ มาตรการที่มีหน้าที่ในการให้ข้อมูลคนเดินเท้าและผู้ขับขี่ว่าพื้นที่นี้มีทางข้ามถนนอยู่ มักติดตั้งอยู่บริเวณเส้นหยุดของทางข้าม [10] มีลักษณะดังรูปที่ 3-ก

2.2.2 มาตรการป้ายแนะนำตำแหน่งทางข้ามแบบแขวนสูง

มาตรการป้ายแนะนำตำแหน่งทางข้ามแบบแขวนสูงมีการติดตั้งป้ายตำแหน่งทางข้ามให้อยู่ด้านบนของทางข้ามเพื่อหลีกเลี่ยงอุปสรรคข้างทาง

2.2.3 มาตรการป้ายแนะนำตำแหน่งทางข้ามแบบมีแถบสะท้อนแสง

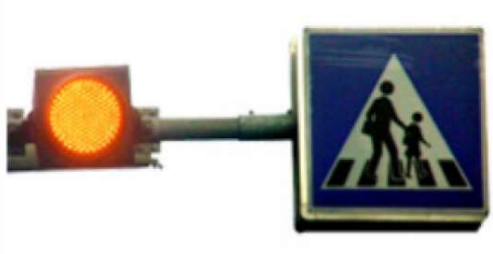
มาตรการป้ายแนะนำตำแหน่งทางข้ามแบบมีแถบสะท้อนแสงมีการปรับปรุงโดยการเพิ่มแถบสะท้อนแสงเป็นกรอบสี่เหลี่ยมของป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบธรรมดาเพื่อต้องการเพิ่มทัศนวิสัยแก่ทางข้ามในต้นทุนที่ไม่สูงและมีประสิทธิภาพดังรูปที่ 3-ข

(ก) (ข)

รูปที่ 3 ป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบธรรมดาและแบบมีแถบสะท้อนแสง

2.2.4 มาตรการไฟกระพริบเตือนทางข้าม

มาตรการไฟกระพริบเตือนทางข้ามมีหน้าที่ในการเตือนผู้ขับขี่ให้ทราบถึงตำแหน่งของทางข้าม มักติดตั้งร่วมกับป้ายตำแหน่งทางข้ามทั้งในแบบธรรมดาและแบบแขวนสูง



รูปที่ 4 ไฟกระพริบเตือนทางข้าม

2.2.5 มาตรการสัญญาณไฟจราจรทางข้าม

มาตรการสัญญาณไฟจราจรทางข้าม เป็นทางข้ามที่มีการนำสัญญาณไฟจราจรมาติดตั้งเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้มากขึ้น ซึ่งจะเหมาะสมกับบริเวณที่มีปริมาณคนข้ามเป็นจำนวนมากหรือมีปริมาณจราจรหนาแน่นและใช้ความเร็วสูง ทั้งยังรองรับสำหรับผู้มีความบกพร่องทางการมองเห็น ผู้พิการ หรือคนชรา มากกว่าทางข้ามที่ไม่มีสัญญาณไฟคนข้าม [11]

รูปที่ 5 สัญญาณไฟจราจรทางข้าม

2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่สามกลุ่มขึ้นไปว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบ่งความแปรปรวนทั้งหมดที่สังเกตได้ในชุดข้อมูลออกเป็น 2 องค์ประกอบ คือ การแปรผันอย่างเป็นระบบ

ระหว่างกลุ่ม และความแปรผันที่ไม่เป็นระบบภายในกลุ่ม โดยรูปแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ใช้อย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 แนวทางดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) [12] เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อมีตัวแปรหรือปัจจัยอิสระเพียงตัวเดียว เป็นการทดสอบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยของสามกลุ่มขึ้นไปหรือไม่ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวทดสอบสมมติฐานว่าง (null hypothesis) ว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่ม

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อมีตัวแปรหรือปัจจัยอิสระสองตัว เป็นการทดสอบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มหรือไม่ โดยพิจารณาจากปัจจัยทั้งสอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางทดสอบสมมติฐานว่างว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและไม่มีผลกระทบหลักของปัจจัย

ความแตกต่างที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (Least Significant Difference: LSD) เป็นการทดสอบหลังการทดสอบที่ใช้หลังจากทำ ANOVA เพื่อระบุว่ากลุ่มใดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสองวิธีกับข้อผิดพลาดมาตรฐานของความแตกต่างเพื่อพิจารณาว่าความแตกต่างนั้นมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ หากความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมากกว่าค่า LSD แสดงว่าค่าเฉลี่ยนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ในงานวิจัยของ Carlson [13] ได้ใช้ ANOVA เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแผ่นสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ และการจัดกลุ่มอายุของผู้ขับขี่ต่อระยะที่สามารถอ่านได้ของป้ายจำกัดความเร็ว ผลการวิเคราะห์พบว่า ประเภทของแผ่นสะท้อนแสงที่ใช้ในการสร้างป้ายมีอิทธิพลต่อความชัดเจนน้อยกว่าระยะตรวจจับเป้าหมาย ความแตกต่างเฉลี่ยของระยะห่างในการอ่านระหว่างป้ายที่ทำจากวัสดุ Type III กับวัสดุ Type XI อยู่ที่ 12 ฟุตเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ระยะการตรวจจับโดยเฉลี่ยจากสภาพที่ไม่มีป้ายไปยังป้ายที่ทำจากวัสดุ Type III ลดลงประมาณ 70 ฟุต จากนั้นจึงลดลงอีกเกือบ 50 ฟุต พร้อมป้ายทำด้วยวัสดุ Type XI สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าประเภทของแผ่นสะท้อนแสงที่ใช้มีผลกระทบกับระยะการตรวจจับเป้าหมายมากกว่าระยะที่สามารถอ่านได้

3. การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจระยะการมองเห็นและการรับรู้ทางข้ามถนนที่มีรูปแบบของมาตรการเพิ่มความปลอดภัยบริเวณทางข้ามที่แตกต่างกันทั้ง 5 รูปแบบของผู้ขับขี่บนถนนในเขตเมืองเชียงใหม่ด้วยวิธีการบันทึกเทปวิดีโอในมุมมองผู้ขับขี่ขณะผ่านทางข้ามที่มีมาตรการต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 พื้นที่ศึกษา

จำนวนพื้นที่ศึกษามีทั้งหมด 5 แห่งตามจำนวนมาตรการความปลอดภัยบริเวณทางข้ามในเขตเมืองเชียงใหม่ ดังต่อไปนี้

พื้นที่ 1 ทางข้ามบนช่วงถนนพร้อมมาตรการป้ายตำแหน่งทางข้ามบริเวณหน้าวัดราชมณเฑียรบนช่วงถนนศรีภูมิ ซึ่งเป็นถนน 3 ช่องจราจร (ทิศทางเดียว) มีขนาดของทางข้ามรวมเส้นหยุดทั้งสองด้าน กว้าง 5.0 เมตร ยาว 7.0 เมตร ดังรูปที่ 6

พื้นที่ 2 ทางข้ามบนช่วงถนนพร้อมมาตรการป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบมีแถบสะท้อนแสงบริเวณร้านค้าเชียงใหม่ไดเรค ซึ่งเป็นถนน 4 ช่องจราจรไม่มีเกาะกลาง (2 ช่องจราจร/ต่อทิศทาง) มีขนาดของทางข้ามรวมเส้นหยุดทั้งสองด้าน กว้าง 5.0 เมตร ยาว 14.0 เมตร ดังรูปที่ 7

พื้นที่ 3 ทางข้ามบนช่วงถนนพร้อมมาตรการป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบแขวนสูงบริเวณหน้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนานาบนช่วงถนนห้วยแก้ว ซึ่งเป็นถนน 4 ช่องจราจรมีเกาะกลาง (2 ช่องจราจร/ต่อทิศทาง) มีขนาดของทางข้ามรวมเส้นหยุดทั้งสองด้าน กว้าง 5.0 เมตร ยาว 14.0 เมตร ในส่วนมาตรการบริเวณนี้มีไฟกระพริบที่ไม่ได้ใช้งานถูกติดตั้งอยู่ด้วย ทางผู้วิจัยจึงเลือกพื้นที่ให้เป็นมาตรการป้ายแขวงสูงแทน ดังรูปที่ 8

พื้นที่ 4 ทางข้ามบนช่วงถนนพร้อมมาตรการไฟกระพริบเตือนทางข้ามบริเวณวิทยาลัยเทคโนโลยีพณิชยการเชียงใหม่ คูเมืองด้านนอกบนช่วงถนนคชสาร ซึ่งเป็นถนน 3 ช่องจราจร (ทิศทางเดียว) มีขนาดของทางข้ามรวมเส้นหยุดทั้งสองด้าน กว้าง 5.0 เมตร ยาว 10.0 เมตร ดังรูปที่ 9

พื้นที่ 5 ทางข้ามบนช่วงถนนพร้อมมาตรการสัญญาณไฟจราจรทางข้าม บริเวณประตูคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งเป็นถนน 4 ช่องจราจรไม่มีเกาะกลาง (2 ช่องจราจร/ต่อทิศทาง) มีขนาดของทางข้ามรวมเส้นหยุดทั้งสองด้าน กว้าง 5.0 เมตร ยาว 14.0 เมตร ดังรูปที่ 10

รูปที่ 6 ป้ายตำแหน่งทางข้าม

รูปที่ 7 ป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบมีแถบสะท้อนแสง

รูปที่ 8 ป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบแขวนสูง

รูปที่ 9 ไฟกระพริบเตือนทางข้าม

รูปที่ 10 สัญญาณไฟจราจรทางข้าม

3.2 วิธีการเก็บและถอดข้อมูล

การสำรวจข้อมูลระยะการตรวจจับและการรับรู้ถึงทางข้ามในพื้นที่ศึกษาทั้ง 5 แห่งได้ใช้การบันทึกเทปวิดีโอจากกล้องหน้ารถยนต์ส่วนบุคคลในขณะที่กำลังเคลื่อนที่เข้าสู่ทางข้ามด้วยความเร็วคงที่ ให้ได้มุมมองเหมือนผู้ร่วมทดสอบเป็นผู้ขับขี่ทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ผู้ร่วมทดสอบทั้งหมด 38 ท่านได้รับคัดเลือกให้เข้าร่วมการทดสอบโดยผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านสายตาจะไม่ได้ร่วมการทดสอบในครั้งนี้ ซึ่งการทดสอบมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ผู้ร่วมทดสอบจะต้องดูเทปบันทึกวิดีโอขณะยานพาหนะกำลังเคลื่อนที่เข้าสู่ทางข้าม ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์
- หากผู้ร่วมทดสอบตรวจจับการมีอยู่ของมาตรการทางข้ามได้เป็นครั้งแรก ให้หยุดเทปบันทึกวิดีโอและระบุเวลาที่ขึ้นในเทปบันทึกวิดีโอ
- ทำเช่นนี้สำหรับทุกเทปบันทึกภาพวิดีโอ โดยที่ผู้ร่วมทดสอบแต่ละท่านจะได้รับจำนวนมาตรการที่แตกต่างกัน ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เพื่อให้ข้อมูลที่ได้เป็นอิสระต่อกัน

เมื่อผู้วิจัยได้รวบรวมค่าเวลาที่ผู้ร่วมทดสอบระบุว่าตรวจจับมาตรการทางข้ามได้เป็นครั้งแรกแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ร่วมกับความเร็วเพื่อเปลี่ยนให้เป็นระยะการตรวจจับมาตรการ

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนของระยะการตรวจจับ ได้มีการใช้สถิติเชิงพรรณนาเข้ามาอธิบายลักษณะของข้อมูลและนำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) มาวิเคราะห์ปัจจัยว่า ในมาตรการที่แตกต่างกันและช่วงเวลาที่แตกต่างกันมีสัมพันธ์กับระยะการตรวจจับอย่างไร โดยสมมติฐานสามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 ความสัมพันธ์ของระยะการตรวจจับกับมาตรการด้านความปลอดภัย

สมมติฐานว่าง (H_0) คือค่าเฉลี่ยระยะการตรวจจับของมาตรการด้านความปลอดภัยที่แตกต่างกันมีค่าเท่ากัน

สมมติฐานทางเลือก (H_1) คือค่าเฉลี่ยระยะการตรวจจับของมาตรการด้านความปลอดภัยอย่างน้อย 1 มาตรการมีค่าไม่เท่ากันกับมาตรการที่เหลือ

$$H_0 : X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = X_5 \quad (1)$$

$$H_1 : X_i \neq X_j \; ; \mathrm{i} \neq j \; \textit{อย่างน้อย} \; 1 \; \textit{คู่} \quad (2)$$

โดยที่ X_1 คือ ค่าเฉลี่ยระยะการตรวจจับของมาตรการ 1
X_2 คือ ค่าเฉลี่ยระยะการตรวจจับของมาตรการ 2
X_3 คือ ค่าเฉลี่ยระยะการตรวจจับของมาตรการ 3
X_4 คือ ค่าเฉลี่ยระยะการตรวจจับของมาตรการ 4
X_5 คือ ค่าเฉลี่ยระยะการตรวจจับของมาตรการ 5

3.3.2 ความสัมพันธ์ของระยะการตรวจจับกับช่วงเวลา

สมมติฐานว่าง (H_0) คือค่าเฉลี่ยระยะการตรวจจับของช่วงเวลาที่แตกต่างกันมีค่าเท่ากัน

สมมติฐานทางเลือก (H_1) คือค่าเฉลี่ยระยะการตรวจจับของช่วงเวลามีค่าไม่เท่ากัน

$$H_0 : Y_1 = Y_2 \quad (3)$$

$$H_1 : Y_1 \neq Y_2 \quad (4)$$

โดยที่ Y_1 คือ ค่าเฉลี่ยระยะการตรวจจับของช่วงกลางวัน
Y_2 คือ ค่าเฉลี่ยระยะการตรวจจับของช่วงกลางคืน

3.3.3 ความสัมพันธ์ของระยะการตรวจจับกับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาตรการด้านความปลอดภัยและช่วงเวลา

สมมติฐานว่าง (H_0) คือการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาตรการด้านความปลอดภัยและช่วงเวลามีอิทธิพลต่อระยะการตรวจจับ

สมมติฐานทางเลือก (H_1) คือการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาตรการด้านความปลอดภัยและช่วงเวลาไม่มีอิทธิพลต่อระยะการตรวจจับ

H_0 : *ปฏิสัมพันธ์ของมาตรการและช่วงเวลาไม่ส่งผลต่อระยะตรวจจับ* (5)
H_1 : *ปฏิสัมพันธ์ของมาตรการและช่วงเวลาส่งผลต่อระยะตรวจจับ* (6)

4. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

ส่วนนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์ ซึ่งรวมถึงระยะการตรวจจับมาตรการในระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูลการปฏิบัติงาน (ตามวิดีโอ) นอกจากนี้ ผลการทดสอบสมมติฐานได้แสดงไว้ในส่วนนี้เช่นเดียวกัน

4.1 ระยะการตรวจจับ

จากการสำรวจข้อมูล พบว่าได้ระยะการตรวจจับทั้งหมด 331 ค่าจากการทดสอบผู้เข้าร่วมทั้ง 38 ท่าน สามารถจำแนกตามปัจจัยต่างๆได้ดังนี้

4.1.1 ระยะการตรวจจับในช่วงกลางวันและกลางคืน

ระยะการตรวจจับทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน โดยมีค่าระยะการตรวจจับที่มากที่สุด ค่าระยะการตรวจจับที่น้อยที่สุด ค่าระยะการตรวจจับที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 ค่าระยะการตรวจจับเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะการตรวจจับ ซึ่งพบว่าในช่วงกลางวันและกลางคืนมีระยะการตรวจจับเฉลี่ยอยู่ที่ 69.27 เมตร และ 63.13 เมตรตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระยะการตรวจจับในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

ช่วงเวลา	จำนวนข้อมูล	ระยะการตรวจจับ (เมตร)				
		min.	max.	85TH	Avg.	S.D.
กลางวัน	166	31	116	84.25	69.27	16.25
กลางคืน	165	35	115	79	63.13	15.82

4.1.2 ระยะการตรวจจับในแต่ละมาตรการ

ระยะการตรวจจับของมาตรการด้านความปลอดภัยทั้งสิ้น 5 มาตรการ ได้แก่ 1) ป้ายตำแหน่งทางข้าม 2) ป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบมีแถบสะท้อนแสง 3) ป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบแขวนสูง 4) ไฟกระพริบเตือนทางข้าม และ 5) สัญญาณไฟจราจรทางข้าม โดยมีค่าระยะการตรวจจับที่มากที่สุด ค่าระยะการตรวจจับที่น้อยที่สุด ค่าระยะการตรวจจับที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 ค่าระยะการตรวจจับเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะการตรวจจับ ซึ่งพบว่ามาตรการที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีระยะการตรวจจับเฉลี่ยอยู่ที่ 52.69, 58.32, 59.61, 71.64 และ 87.91 เมตรตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะการตรวจจับแต่ละมาตรการ

มาตรการ	จำนวนข้อมูล	ระยะการตรวจจับ (เมตร)				
		min.	max.	85TH	Avg.	S.D.
1	65	31	70	63	52.69	10.07
2	65	38	69	67	58.32	8.44
3	67	37	79	72.1	59.61	11.14
4	66	50	93	79	71.64	8.51
5	68	66	116	99.95	87.91	12.82

4.1.3 สรุประยะการตรวจจับ

ระยะการตรวจจับทั้งในช่วงเวลาและมาตรการต่างๆยังสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 พบว่ามาตรการส่วนใหญ่มีระยะการตรวจจับเฉลี่ยลดลงในช่วงเวลากลางคืน แต่มาตรการที่ 2 ระยะการตรวจจับเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 3 ระยะการตรวจจับในช่วงเวลาและมาตรการต่าง ๆ

มาตรการ	ช่วงเวลา	ระยะการตรวจจับ (เมตร)				
		min.	max.	85TH	Avg.	S.D.
1	กลางวัน	31	70	64.70	54.75	11.89
	กลางคืน	35	65	59.00	50.70	7.57
2	กลางวัน	38	69	67.00	57.58	10.00
	กลางคืน	44	68	66.00	59.09	6.53
3	กลางวัน	54	79	76.05	68.59	6.67
	กลางคืน	37	59	57.00	50.36	6.03
4	กลางวัน	62	93	79.60	73.52	7.06
	กลางคืน	50	83	79.00	69.76	9.49
5	กลางวัน	71	116	104.05	90.85	12.61
	กลางคืน	66	115	99.00	84.97	12.53

4.2 การทดสอบสมมติฐาน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) โดยโปรแกรม SPSS ได้ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในแต่ละสมมติฐานดังตารางที่ 4 ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาที่ความสัมพันธ์ของระยะการตรวจจับกับมาตรการด้านความปลอดภัยพบว่า มาตรการด้านความปลอดภัยที่แตกต่างกัน มีระยะการตรวจจับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาที่ความสัมพันธ์ของระยะการตรวจจับกับช่วงเวลา พบว่าช่วงเวลากลางวันและกลางคืน มีระยะการตรวจจับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาที่ความสัมพันธ์ของระยะการตรวจจับกับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาตรการด้านความปลอดภัยและช่วงเวลา พบว่าการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมาตรการด้านความปลอดภัยและช่วงเวลาส่งผลต่อระยะการตรวจจับ

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับระยะการตรวจจับ

ตัวแปร	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-value
ช่วงเวลา	3057.509	1	3057.509	34.714	0.000
มาตรการ	52856.763	4	13214.191	150.028	0.000
ช่วงเวลา * มาตรการ	3563.876	4	890.969	10.116	0.000
Total	1538858	331			

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05*

นอกจากนั้น ยังได้ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละมาตรการด้วยวิธี LSD โดยพบว่า มาตรการที่ 2 (ป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบมีแถบสะท้อนแสง) มีระยะการตรวจจับที่แตกต่างจากมาตรการที่ 3 (ป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบแขวนสูง) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความแตกต่างของระยะการตรวจจับเฉลี่ย (เมตร) ในแต่ละมาตรการ

มาตรการ	ค่าเฉลี่ย (เมตร)	1	2	3	4	5
		52.72	58.33	59.48	71.64	87.91
1	52.72	-	5.61	6.75	18.91	35.19
2	58.33		-	1.14*	13.30	29.58
3	59.48			-	12.16	28.44
4	71.64				-	16.28
5	87.91					-

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05*

จากผลการวิเคราะห์ค่าระยะการตรวจจับมาตรการทางข้ามพบว่าในช่วงเวลากลางคืน ระยะการตรวจจับเฉลี่ยน้อยกว่าในช่วงเวลากลางวัน มาตรการที่มีระยะการตรวจจับเฉลี่ยมากสุดคือมาตรการสัญญาณไฟจราจรทางข้าม อยู่ที่ 87.91 เมตร มาตรการที่มีระยะการตรวจจับเฉลี่ยน้อยสุดคือมาตรการป้ายตำแหน่งทางข้าม อยู่ที่ 52.69 เมตร และมาตรการป้ายทางข้ามแบบแบบธรรมดาและแขวนสูงมีระยะการตรวจจับเฉลี่ยลดลงในช่วงเวลากลางคืน มาตรการป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบมีแถบสะท้อนแสงที่มีทัศนวิสัยที่ดีขึ้น

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีเป้าประสงค์ที่ต้องการสำรวจการรับรู้และการมองเห็นทางข้ามถนนที่มีรูปแบบของมาตรการเพิ่มความปลอดภัยบริเวณทางข้ามที่แตกต่างกัน 5 รูปแบบ ได้แก่ ป้ายตำแหน่งทางข้าม ป้ายตำแหน่งทางข้ามมีแถบสะท้อนแสง ป้ายตำแหน่งทางข้ามแบบแขวนสูง ไฟกระพริบเตือนทางข้าม และสัญญาณไฟจราจร ของผู้ขับขี่บนถนนในเขตเมืองเชียงใหม่

การทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาระบุไว้ว่าระยะการตรวจจับป้ายจราจรเกี่ยวข้องกับทัศนวิสัยในการมองเห็นของทางข้าม หากสามารถเพิ่มทัศนวิสัยให้แก่ทางข้ามได้ ความปลอดภัยของคนเดินเท้าก็จะเพิ่มสูงขึ้นไปด้วย โดยที่มาตรการต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในหลายด้าน ซึ่งในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจเกี่ยวกับประสิทธิภาพในด้านทัศนวิสัยของมาตรการ

การดำเนินงานวิจัยทำได้ด้วยการทดลองผ่านเทปบันทึกวิดีโอโดยมีผู้เข้าร่วมการทดสอบทั้งสิ้น 38 ท่าน โดยได้นำเสนอ ค่าระยะการตรวจจับที่น้อยที่สุด ค่าระยะการตรวจจับที่มากที่สุด ค่า 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของระยะการตรวจจับ ค่าระยะการตรวจจับเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะการตรวจจับ รวมไปถึงผลการทดสอบทางสถิติและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

ผลการศึกษาพบว่าระยะการตรวจจับมาตรการสัมพันธ์กับช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลและรูปแบบของมาตรการ โดยระยะการตรวจจับเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ในมาตรการที่แตกต่างกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระยะการตรวจจับเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนน้อยกว่าในช่วงกลางวัน มาตรการทุกมาตรการมีระยะการตรวจจับเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลากลางคืนยกเว้นมาตรการป้ายทางข้ามแบบมีแถบสะท้อนแสงที่มีระยะการตรวจจับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย มาตรการที่มีระยะการตรวจจับเฉลี่ยมากที่สุดคือมาตรการสัญญาณไฟจราจรทางข้าม มาตรการที่มีระยะการตรวจจับเฉลี่ยน้อยที่สุดคือมาตรการป้ายตำแหน่งทางข้าม

เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้คนเดินเท้า การพิจารณาระยะการตรวจจับเป็นหนึ่งแนวทางในการเลือกมาตรการด้านความปลอดภัยที่เหมาะสม แต่แม้ว่าจะมีระยะการตรวจจับที่ดี ในด้านของมุมมองจากยานพาหนะที่แตกต่างกัน ต้นทุน เวลาในการติดตั้ง และประสิทธิภาพในด้านอื่นๆ ยังเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ในการพิจารณา ดังนั้น ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้ควรมีการเพิ่มข้อมูลคุณลักษณะของผู้ขับขี่และคนเดินเท้า เพิ่มการบันทึกภาพจากมุมมองของจักรยานยนต์ร่วมด้วย มีการเพิ่มพื้นที่ศึกษาและจำนวนมาตรการเพื่อตรวจสอบและยืนยันผลของงานวิจัย รวมทั้งปัจจัยทางด้านความเร็ว สายตาของผู้ร่วมทดสอบ ช่วงเวลาและสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ช่องทางการรับชมเทปบันทึกวิดีโอ ที่อาจส่งผลต่อระยะการตรวจจับ รวมไปถึงการพัฒนาแนวทางการสำรวจข้อมูลให้แม่นยำมากขึ้น เพื่อให้สะท้อนถึงทัศนวิสัยของทางข้ามและมาตรการได้มากขึ้นและนำไปปรับปรุงเลือกใช้มาตรการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพิ่มความปลอดภัยให้คนเดินเท้าและผู้ใช้รถใช้ถนนต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยด้านโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและเทคโนโลยีการขนส่ง (Green Infrastructure and Transportation Technology, GITT) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่กรุณาให้ข้อแนะนำและคำปรึกษาด้านวิชาการ รวมถึง บัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนในดำเนินการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization (WHO). (2018). *Global Status Report on Road Safety 2018.*

[2] มูลนิธิไทยโรดส์ ศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย สถาบันเทคโนโลยี

แห่งเอเชีย. *รายงานสถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนของประเทศไทย 2561-2564*. หน้า 76-81.

[3] Borowsky, A., Shinar, D., & Parmet, Y. (2008). *A*. Human Factors, 50(2), 173–182. https://doi.org/10.1518/001872008X288330

[4] Federal Highway Administrator (FHWA). (2009). *The Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)*. In: Federal Highway Administrator

[5] Priambodo, M., & Siregar, M. (2018). *Road Sign Detection Distance and Reading Distance at an Uncontrolled Intersection*. E3S Web of Conferences, 65, 09004. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186509004

[6] Cottrell, B. H., & Dougald, L. E. (2009). *Evaluation of retroreflective material on stop sign posts in Virginia [Tech Report]*. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/20214

[7] Dahlstedt, S., & Svenson, O. (1977). *Detection and reading distances of retroreflective road signs during night driving*. Applied Ergonomics, 8(1), 7-14. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0003-6870(77)90110-7

[8] Costa, M., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., & Palena, N. (2018). *Fixation distance and fixation duration to vertical road signs*. Applied Ergonomics, 69, 48-57. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.017

[9] สนับสนุนการป้องกันอุบัติเหตุจราจร (สอจร.). (2022). สอจร. *เสนอ 5 มาตรการป้องกันกับ 11 รูปแบบลดอุบัติเหตุทางม้าลาย ชี้ คนเดินเท้าเจ็บตัวเฉลี่ยปีละ 41,000 คน.*(สืบค้นเมื่อ 17 มีนาคม 2566) https://www.hfocus.org/content/2022/01/24343

[10] กรมทางหลวง. (2561). *คู่มือเล่ม 1 มาตรฐานป้ายจราจร*. กรมทางหลวง.

[11] AASHTO (2009). *Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs. Luminaires and Traffic Signals. Association of State Highway and Transportation Officials*. Washington D.C.

[12] ปริญญา สิริอัตตะกุล. (2555). *การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว: การวิจัยทางสังคมศาสตร์One-Way ANOVA: Social Science Research.*

[13] Carlson, P. J. (2015). *Can Traffic Signs be Too Bright on Low-Volume Roads?* Transportation Research Record, 2472(1), 101-108. https://doi.org/10.3141/2472-12