



## วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

### ประสิทธิผลของการติดตั้งเครื่องหมายซิกแซกก่อนถึงทางข้ามม้าลาย

### Effectiveness of zigzag markings installation ahead of zebra crossing

ปรเมศวร์ เหลือเทพ\* วัชรา แก้วคุณากร ชลธิรา เพ็ชรรักษ์ สุธิดา ฤกษ์พิบูลย์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Paramet Luathep\* Watchara Kaokhunakorn Chontira Petcharak Suthida Lergpiboon

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90110

\* Corresponding author.

E-mail: paramet.l@psu.ac.th; Telephone: 0-7428-7125

วันที่รับบทความ 16 ธันวาคม 2564; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 8 มีนาคม 2565; วันที่ตอบรับบทความ 1 เมษายน 2565

#### บทคัดย่อ

คนเดินเท้ามีความเสี่ยงสูงต่อการถูกรถชนและเสียชีวิตที่ทางม้าลาย แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดความรุนแรงของเหตุการณ์คนข้ามถนนได้คือการเตือนผู้ขับขี่ให้ชะลอความเร็วก่อนถึงทางข้าม การศึกษานี้มุ่งเน้นการประเมินประสิทธิผลของการติดตั้งเส้นซิกแซกบนพื้นทางก่อนถึงทางม้าลาย โดยเลือกทางข้ามบนถนนสายหลักในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เป็นกรณีศึกษา ผลการศึกษพบว่า ค่าเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 ของความเร็วรถยนต์ก่อนถึงทางม้าลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังติดตั้งเส้นซิกแซกได้ 7 วัน แต่หลังจากนั้นกลับมีค่าเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับความเร็วก่อนติดตั้งเส้นซิกแซก สุดท้ายผลคาดการณ์โอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนน พบว่า เส้นซิกแซกลดโอกาสเสียชีวิตได้ร้อยละ 1-6 นอกจากนี้ เส้นซิกแซกยังช่วยเพิ่มการรับรู้และความระมัดระวังของผู้ขับขี่รถยนต์ก่อนถึงทางข้าม ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าการติดตั้งเส้นซิกแซกช่วยลดโอกาสการเสียชีวิตของคนข้ามถนนได้

#### คำสำคัญ

ทางคนข้าม การสยบการจราจร เครื่องหมายซิกแซก ความเร็วยานพาหนะ โอกาสเสียชีวิต

#### Abstract

Pedestrians are more likely to have high risks of vehicle crashes and deaths at crosswalks. One way to reduce the severity of vehicle-pedestrian crashes is to warn drivers to slow down before reaching a crosswalk. Thus, this study aims at evaluating the effectiveness of zigzag line markings installed ahead of the zebra crossing. According to data collection process, the crosswalk on a major route at the Prince of Songkla University was chosen. The results revealed that the average speeds and the 85th percentile speeds of passenger cars decreased significantly after seven days of the installation. Afterwards, the speeds marginally closed to the speeds before the installation. As a result, the estimated fatality probability of pedestrians indicated that the zigzag line markings could reduce the probability by 1-6 %. In addition, the markings also increased the drivers' perception and caution before the crosswalk. It can be concluded that zigzag markings could reduce the fatality probability of pedestrians.

#### Keywords

pedestrian crossing; traffic calming; zigzag markings; vehicle speed; fatality probability

## 1. บทนำ

การเดินเป็นรูปแบบการเดินทางขั้นพื้นฐานของการใช้ชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการเดินทางต่อแรกหรือต่อสุดท้ายหรือการเดินทางเพื่อเชื่อมต่อระบบขนส่ง

อย่างไรก็ตาม คนเดินเท้า ซึ่งเป็นผู้ใช้ทางกลุ่มเปราะบาง มีความเสี่ยงต่อการถูกรถชนขณะข้ามถนน และอาจได้รับบาดเจ็บสาหัสหรือเสียชีวิต จากสถิติการชนทั่วโลก [1] พบว่าคนเดินเท้ากว่าร้อยละ 88 เดินทางอยู่บนถนนที่ไม่ปลอดภัย (1-2 ดาว) และเสียชีวิตจากถูกรถชนสูงถึงร้อยละ 23 รองจากกลุ่มผู้ใช้รถสี่ล้อที่มีผู้เสียชีวิตร้อยละ 29 และกลุ่มผู้ใช้รถสองถึงสามล้อที่มีผู้เสียชีวิตร้อยละ 28 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจุดที่มีการชนคนเดินเท้า [2] พบว่า ในกลุ่มประเทศที่มีรายได้สูงมักเกิดบนถนนเขตเมือง เช่น สหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปมีคนเดินเท้าเสียชีวิตบนถนนเขตเมืองร้อยละ 76 และ 70 ตามลำดับ ส่วนในกลุ่มประเทศที่มีรายได้ปานกลางและต่ำมักเกิดบนถนนชนบท นอกจากนี้พบว่า คนเดินเท้ากลุ่มวัยรุ่นในสหราชอาณาจักรมีความเสี่ยงต่อการถูกรถชนในเขตเมืองสูงกว่าในพื้นที่ชนบทถึง 5 เท่า

คนเดินเท้าส่วนใหญ่มักถูกรถชนและเสียชีวิตขณะข้ามถนน [3] จากข้อมูลคนข้ามถนนที่เสียชีวิตในสหรัฐอเมริกา [4] พบว่าระหว่างปี พ.ศ. 2553-2562 มีการเสียชีวิตเพิ่มเฉลี่ยร้อยละ 4.9 ต่อปี โดยที่เกิดเหตุส่วนใหญ่อยู่ในเมือง (ร้อยละ 81) และไม่ใช่ทางแยก (ร้อยละ 74) ส่วนประเภทถนน พบว่า ส่วนใหญ่ร้อยละ 38 อยู่บนถนนสายหลักเอก (Principal arterial) รองลงมา ร้อยละ 21 อยู่บนถนนสายหลักรอง (Minor arterial) โดยรถที่ชนประกอบด้วย รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (ร้อยละ 51) รถตู้และรถบรรทุกเล็ก (ร้อยละ 26) และรถยนต์อเนกประสงค์ (ร้อยละ 23) ตามลำดับ

ในประเทศไทย ความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตของกลุ่มคนเดินเท้าที่มีรายงาน พบว่า มีอยู่ประมาณร้อยละ 8% [1]

การชนคนข้ามถนนอาจมีหลายปัจจัยที่นำไปสู่การเกิดเหตุและความรุนแรงที่ตามมา เช่น การข้ามถนนที่ฝ่าฝืนกฎหมายทัศนวิสัยที่จำกัดระหว่างผู้ขับขี่กับคนข้ามถนน การใช้ความเร็วสูง ขนาดและน้ำหนักของยานพาหนะที่ชน การเสื่อมสภาพของผู้ขับขี่หรือคนข้ามถนน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตของคนข้ามถนนอาจเพิ่มขึ้น หากการออกแบบทางข้ามและการใช้ประโยชน์ที่ดินข้างทางไม่สอดคล้อง

กัน รวมทั้งการขาดหรือความบกพร่องของสิ่งอำนวยความสะดวกปลอดภัยบริเวณทางข้าม [2]

กลไกการควบคุมการจราจรบริเวณทางข้ามเพื่อเตือนให้ผู้ขับขี่ทราบล่วงหน้าและชะลอหรือหยุดรถเพื่อให้คนข้ามถนนได้อย่างปลอดภัยจึงเป็นหนึ่งแนวทางสำคัญที่จะนำไปสู่การเพิ่มความปลอดภัยบริเวณทางข้าม [2]

ที่ผ่านมา ในประเทศไทยได้มีการนำนวัตกรรมที่หลากหลายมาเพิ่มความปลอดภัยบริเวณทางข้ามเพื่อให้ผู้ขับขี่มองเห็นความแตกต่างระหว่างทางข้ามและผิวจราจรได้ชัดเจนกว่าทางม้าลายแบบทั่วไป เช่น การทาสีแดงบริเวณทางม้าลาย [5] การทาสีทางม้าลาย 3 มิติ [6] การตีเส้นซิกแซกก่อนถึงทางม้าลาย [7] เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม การศึกษาประสิทธิภาพของมาตรการข้างต้น โดยเฉพาะการติดตั้งเส้นซิกแซกในประเทศไทยยังมีจำนวนจำกัดและศึกษาในระยะเวลาสั้นๆ ต่างจากงานวิจัยในต่างประเทศที่มีการศึกษาในหลากหลายมิติ เช่น การศึกษาผลของเส้นซิกแซกที่มีต่อการเพิ่มความรับรู้ของผู้ขับขี่ก่อนถึงทางข้าม ทักษะการสังเกตของผู้ขับขี่ที่มีต่อทางข้าม และความเข้าใจเครื่องหมายเส้นซิกแซก [8,9] หรือการศึกษาผลของเส้นซิกแซกต่อการลดจำนวนและความรุนแรงของการชนคนข้ามถนนในระยะยาว [10]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการตีเส้นซิกแซกก่อนถึงทางข้ามแบบม้าลายที่มีอยู่เดิม โดยเลือกกรณีศึกษาทางข้ามบนถนนสายหลักของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ การศึกษาได้ประเมินประสิทธิภาพใน 2 มิติ คือ 1) การเพิ่มความรับรู้ของผู้ขับขี่ก่อนถึงทางข้าม โดยประเมินจากความเร็วของยานพาหนะก่อนและหลังตีเส้นซิกแซก และ 2) ความเข้าใจและทัศนคติของผู้ขับขี่ที่มีต่อเส้นซิกแซก โดยประเมินจากพฤติกรรมการขับขี่จริงและแบบสอบถามออนไลน์ ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางเพิ่มความปลอดภัยของทางข้ามในพื้นที่อื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงต่อไป

บทความนี้ประกอบด้วย 5 หัวข้อหลัก หลังจากการกล่าวนำในหัวข้อที่ 1 หัวข้อที่ 2 เป็นการทบทวนวรรณกรรม หัวข้อที่ 3 นำเสนอขอบเขตและวิธีการวิจัย ส่วนผลการศึกษาและการอภิปรายผลนำเสนอในหัวข้อที่ 4 สุดท้ายหัวข้อที่ 5 เป็นการสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

## 2. ความปลอดภัยของคนข้ามถนน

### 2.1 สถิติการชนคนเดินเท้าในประเทศไทย

ในภาพรวมของการชนคนเดินเท้าในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2562 (ไม่พิจารณาข้อมูลในปี พ.ศ. 2563 เพราะอาจมีผลกระทบจากสถานการณ์ Covid-19) ที่บันทึกโดยสำนักงานตำรวจแห่งชาติ [11] ดังรูปที่ 1 พบว่า จำนวนคนเดินเท้าที่ถูกชนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเพิ่มจาก 2,016 ราย ในปี พ.ศ. 2558 เป็น 3,088 ราย ในปี พ.ศ. 2562 หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 13 ต่อปี และมีค่าเฉลี่ยของคนเดินเท้าที่ถูกชนอยู่ที่ 2,683 รายต่อปี นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความรุนแรงของการชนคนเดินเท้าบนถนนทางหลวง [12] พบว่า มีผู้เสียชีวิตสูงถึงร้อยละ 58 ของคนเดินเท้าทั้งหมดที่ประสบเหตุ

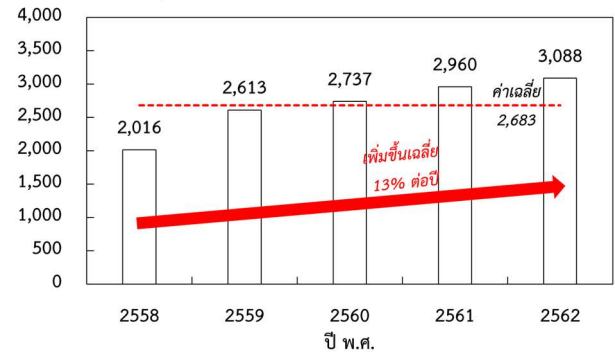
จากข้อมูลข้างต้น แม้อาจไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจนว่าคนเดินเท้าที่เกิดเหตุ เป็นกลุ่มคนข้ามถนนหรือกลุ่มคนที่เดินบนทางเท้า แต่จากข้อมูลในต่างประเทศที่ระบุว่าคนเดินเท้าส่วนใหญ่มักถูกรถชนและเสียชีวิตขณะข้ามถนน [3] ประกอบกับสภาพความไม่ปลอดภัยของทางข้ามในประเทศไทย อาจอนุมานได้ว่าการชนส่วนใหญ่เกิดกับกลุ่มคนข้ามถนน

### 2.2 โอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนน

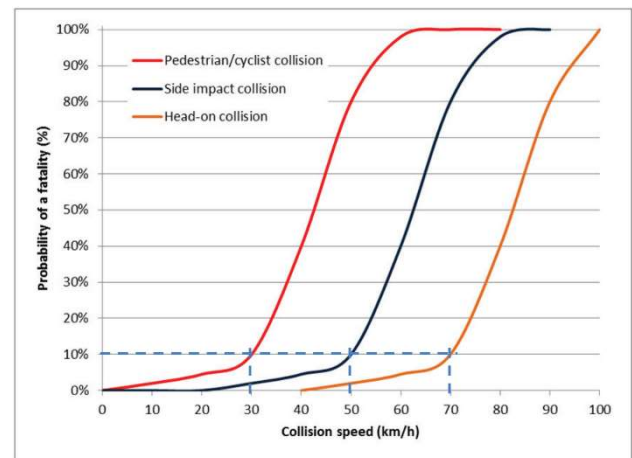
ความเร็ว เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อโอกาสเกิดเหตุและความรุนแรงของการชนคนข้ามถนน จากข้อมูลของสำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง [12] พบว่า การใช้ความเร็วสูงกว่าอัตราที่กฎหมายกำหนด เป็นมูลเหตุสันนิษฐานอันดับที่ 1 ของเหตุรถชนคนข้ามถนน โดยมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 70 เทียบกับมูลเหตุสันนิษฐานทั้งหมด

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขณะชนของรถยนต์กับโอกาสการเสียชีวิตจากการชนรูปแบบต่าง ๆ [13] ดังรูปที่ 2 พบว่า เมื่อความเร็วขณะชน (Collision speed) เพิ่มขึ้น โอกาสของการเสียชีวิต (Probability of fatality) จากการชนแต่ละรูปแบบจะเพิ่มขึ้น เช่น การชนคนข้ามถนน (Pedestrian collision) ที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คนข้ามถนนมีโอกาสเสียชีวิตร้อยละ 10 แต่หากความเร็วเพิ่มเป็น 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีโอกาสเสียชีวิตร้อยละ 100 จึงกล่าวได้ว่าการลดความเร็วก่อนถึงทางข้ามถนนช่วยลดโอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนนได้

จำนวนคนเดินเท้าที่ถูกชน (ราย/ปี)



รูปที่ 1 จำนวนคนเดินเท้าที่ถูกชนระหว่าง พ.ศ. 2558-2562 [11]



รูปที่ 2 โอกาสของการเสียชีวิตจากการชนรูปแบบต่าง ๆ [13]

### 2.3 มาตรการสยบการจราจรบริเวณทางข้าม

การสยบการจราจร (Traffic calming) เป็นแนวทางที่ใช้แก้ปัญหาการใช้ความเร็วของยานพาหนะที่สัญจรผ่านถนนย่านชุมชนหรือพื้นที่กิจกรรมที่มีคนเดินเท้าจำนวนมาก อาจใช้การปรับปรุงกายภาพของถนน การติดตั้งป้ายจราจรและเครื่องหมายจราจร หรือการบังคับใช้กฎหมาย [14] เพื่อให้ยานพาหนะใช้ความเร็วที่ปลอดภัย [15] ในบริเวณที่กำหนด

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาประสิทธิภาพของมาตรการสยบการจราจรทั้งบริเวณทางข้ามและช่วงถนนก่อนถึงทางข้ามที่หลากหลาย พบว่า การปรับปรุงกายภาพในแนวตั้งของช่วงถนน ด้วยเนินชะลอความเร็วรูปสี่เหลี่ยมคางหมู และทางข้ามแบบยก ลดการตายของคนข้ามถนนได้ร้อยละ 100 และ 83 ตามลำดับ ส่วนการติดตั้งเกาะพักสำหรับคนข้าม ลดการชนที่มีคนข้ามถนนบาดเจ็บหรือเสียชีวิตได้ร้อยละ 67 [16]

สำหรับการมาตรการสยบการจราจรด้วยป้ายจราจร เช่น ป้ายเตือนความเร็ว ช่วยลดความเร็วของรถได้ค่อนข้างน้อย โดยรถขนาดเล็กลดลง 2.2-5.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และรถขนาดใหญ่ลดลง 1.7-4.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [17]

ส่วนมาตรการด้านเครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง เช่น แถบชะลอความเร็วตามแนวขวาง (Rumble strips) พบว่า ช่วยลดการชนบริเวณทางข้ามได้ร้อยละ 25 และลดความเร็วของยานพาหนะได้ 9.2 และ 11.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับช่วงถนนที่จำกัดความเร็วไว้ที่ 60 และ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ [18] ส่วนแถบลดความกว้างช่องจราจร (Optical speed bars หรือ OSB) และ OSB ที่มีการทาแถบเตือนสีแดง พบว่า ลดความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์บนถนนชนบท 2 ช่องจราจร (ไป-กลับ) ได้ 2.9 และ 11.1 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ [19]

สำหรับเส้นซิกแซก พบว่า ในช่วงแรกหลังการติดตั้ง 1 สัปดาห์ ลดความเร็วเฉลี่ยได้เล็กน้อยจาก 27.54 เหลือ 25.95 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือลดลงร้อยละ 5.8 [20] ทั้งนี้ อาจเนื่องจากผู้ขับขี่ไม่เข้าใจความหมายของเส้นซิกแซก [8,10] แต่ในระยะยาว เส้นซิกแซกลดการชนคนข้ามถนนบนถนนที่มีขนาดน้อยกว่า 6 ช่องจราจรได้ถึงร้อยละ 50 และถนนย่านโรงเรียนได้ร้อยละ 48 ตามลำดับ [10]

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาประสิทธิภาพของมาตรการสยบการจราจรบริเวณทางข้ามที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ร่วมกัน เช่น การติดตั้งป้ายไฟกระพริบร่วมกับแถบ OSB และเส้นซิกแซก เพื่อเตือนก่อนถึงทางข้าม [21] พบว่า สามารถลดความเร็วของรถยนต์และรถจักรยานยนต์ได้ร้อยละ 12.8-25.2 และ 2.2-4.4 ตามลำดับ

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่า ในประเทศไทยยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเส้นซิกแซกจำนวนจำกัด และยังขาดการประเมินประสิทธิภาพของเส้นซิกแซกในระยะยาว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นศึกษาประสิทธิภาพของเส้นซิกแซกที่ติดตั้งก่อนถึงทางข้ามแบบมัลติเลน โดยติดตามและประเมินผลต่อเนื่องเป็นเวลา 4 เดือนหลังการติดตั้ง

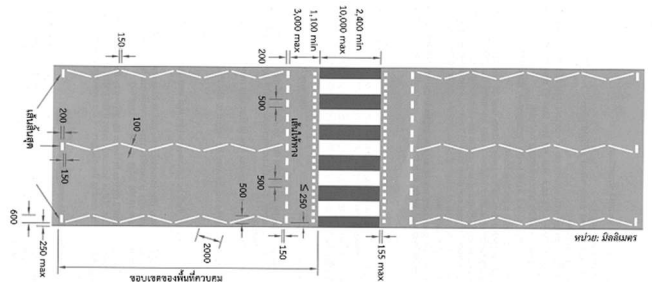
## 2.4 เครื่องหมายจราจรเส้นซิกแซก

เส้นซิกแซก เป็นเครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง ที่ติดตั้งเพื่อเตือนให้ผู้ขับขี่ชะลอความเร็วก่อนถึงทางข้าม และเมื่อมีคนข้าม

ถนนตรงทางข้าม ผู้ขับชี่ต้องหยุดยานพาหนะให้คนข้ามถนน  
ผ่านไปก่อน จึงจะขับยานพาหนะผ่านไปได้ [20]

ขนาดและระยะของการติดตั้งเส้นซิกแซกอาจแตกต่างกันไป  
ตามประเภทถนน จำนวนและความกว้างของช่องจราจร และ  
ความเร็วของยานพาหนะ เป็นต้น

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างมาตรฐานของเส้นซิกแซกที่ติดตั้งในประเทศอังกฤษ [22]



รูปที่ 3 ตัวอย่างมาตรฐานของเส้นชะลอความเร็วแบบซิกแซก [22]

### 3. วิธีการวิจัย

### 3.1 ขอบเขตของเส้นทางศึกษา

งานวิจัยนี้มีทางข้ามกรณีศึกษาแสดงใน

รูปที่ 4 ซึ่งเดิม (รูปที่ 4 ก) เป็นทางม้าลายที่ติดตั้งอยู่บนถนนสายหลักของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ซึ่งเชื่อมระหว่างคณะวิศวกรรมศาสตร์และคณะทรัพยากรธรรมชาติ ช่วงถนนก่อนถึงทางม้าลายในทิศทางไปคณะทรัพยากรฯ เป็นทางโค้งลงเนินจาก 5.7% 4.4% 3.6% และ 0.6% ตามลำดับ ส่วนทิศทางไปคณะวิศวะ เป็นทางตรงขึ้นเนินเล็กน้อย (0.9-1.1%) ก่อนถึงทางม้าลายทั้ง 2 ฝั่ง มีป้ายทางข้ามติดตั้งอยู่ และมีป้ายเตือนทางข้ามพร้อมป้ายบังคับความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงติดตั้งห่างจากทางข้าม 60-80 เมตร นอกจากนี้ มีป้ายรถเมล์และอาคารเรียนอยู่ทั้งสองฝั่ง จึงมีนักศึกษาและบุคลากรใช้ทางข้ามนี้เป็นประจำในเวลากลางวัน โดยที่ผ่านมายังไม่รายงานเหตุการณ์คนข้ามถนน แต่มีความเสี่ยงที่คนข้ามถนนจะถูกชนเนื่องจากทางข้ามอยู่หลังทางโค้ง

เพื่อเตือนผู้ขับขี่ จึงได้มีการติดตั้งเส้นซิกแซก (รูปที่ 4 ข) ตามระยะห่างระหว่างชุดแถบชะลอความเร็ว ที่มีอยู่เดิมทั้งสองทิศทาง โดยทิศทางที่ 1 ติดตั้งเส้นซิกแซกบน 3 ช่วงถนนย่อย (ช่วงที่ 1.1 1.2 และ 1.3) ส่วนทิศทางที่ 2 ติดตั้งบน 2



ช่วงถนนย่อย (ช่วงที่ 2.1 และ 2.2) ทั้งนี้ได้ติดตั้งเส้นซิกแซก เฉพาะช่องจราจรสำหรับรถยนต์เท่านั้น เนื่องจากที่ผ่านมาพบว่า รถยนต์ไม่ค่อยชะลอหรือหยุดให้คนข้ามถนน อีกทั้งโอกาสและความรุนแรงหากรถยนต์ชนคนข้ามถนนมีแนวโน้มที่สูงกว่ากรณีรถจักรยานยนต์ชนคนข้ามถนน



ก) ก่อนติดตั้งเส้นซิกแซก



ข) หลังติดตั้งเส้นซิกแซก

รูปที่ 4 เส้นทางศึกษาถนนก่อนและหลังติดตั้งเส้นซิกแซก

เมื่อพิจารณาหน้าตัดของช่วงถนนที่ศึกษา (รูปที่ 5 ก) ในแต่ละทิศทางมี 2 ช่องจราจร แบ่งเป็นช่องจราจรด้านซ้ายสำหรับรถจักรยานยนต์กว้างประมาณ 1.6 เมตร และช่องจราจรด้านขวาสำหรับรถยนต์กว้างประมาณ 3.0 เมตร ส่วนเกาะกลางเป็นคอนกรีตแบบยกต่ำกว้างประมาณ 0.3 เมตร หลังติดตั้งเส้นซิกแซก (รูปที่ 5 ข) ความกว้างด้านในของช่องจราจรสำหรับรถยนต์มีค่าอยู่ระหว่าง 2.2 ถึง 2.6 เมตร

### 3.2 การสำรวจข้อมูลความเร็วของยานพาหนะ

ในการศึกษานี้เน้นสำรวจข้อมูลความเร็วของรถยนต์ที่ขับผ่านเส้นซิกแซก ส่วนช่วงเวลาสำรวจข้อมูลเน้นช่วงเวลาที่ไม่เร่งด่วนเพื่อนำไปวิเคราะห์แนวโน้มการใช้ความเร็วของรถยนต์ในช่วงเวลาที่ไม่ติดขัด โดยได้สำรวจข้อมูลก่อนติดตั้งเส้นซิกแซก ระหว่างวันที่ 17-24 สิงหาคม พ.ศ. 2563 และหลังติดตั้ง 7 วัน (วันพุธที่ 9 กันยายน) 15 วัน (วันอังคารที่ 15 กันยายน) 2

เดือน (วันศุกร์ที่ 30 ตุลาคม) และ 4 เดือน (วันพฤหัสบดีที่ 24 ธันวาคม) ตามลำดับ การสำรวจข้อมูลระยะยาวได้หยุดที่ 4 เดือน เพราะหลังจากนั้นเป็นช่วงปิดภาคการศึกษาและมีผลกระทบจากสถานการณ์ Covid-19



ก) ก่อนติดตั้งเส้นซิกแซก



ข) หลังติดตั้งเส้นซิกแซก

รูปที่ 5 หน้าตัดถนนก่อนและหลังติดตั้งเส้นซิกแซก

การสำรวจข้อมูลความเร็วแต่ละครั้งเลือกช่วงเวลาที่มีกระแสจราจรไหลแบบอิสระ และสุ่มสำรวจความเร็วแบบจุด (Spot speed) ของรถยนต์ที่ผ่านแต่ละช่วงถนนย่อยที่กำหนดจากภาพวิดีโอที่บันทึกด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่อเห็นภาพมุมมองที่ชัดเจนของรถแต่ละคัน แล้วนำข้อมูลความเร็วที่ได้มาเปรียบเทียบก่อนและหลังมีเส้นซิกแซก

### 3.3 การสำรวจข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่และทัศนคติที่มีต่อเส้นซิกแซก

การสำรวจพฤติกรรมการขับขี่ได้ตรวจวัดจากการขับขี่รถยนต์ให้อยู่ในช่องจราจรที่กำหนด โดยถอดข้อมูลจากภาพ

วิธีที่ค้นพบเดียวกับการสำรวจข้อมูลความเร็ว เพื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาร้อยละการปฏิบัติตามเส้นซิกแซกของผู้ขับขี่

ในงานวิจัยยังได้สำรวจข้อมูลทัศนคติที่มีต่อเส้นซิกแซกหลังติดตั้งและใช้งานแล้ว 1 เดือน โดยมีข้อคำถาม 3 กลุ่มประกอบด้วย 1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ขับขี่ ได้แก่ สถานภาพ เพศ อายุ 2) ข้อมูลการเดินทาง ได้แก่ ยานพาหนะ ความถี่ที่ขับผ่าน ช่วงเวลาที่ขับผ่าน ความเร็วที่ขับผ่าน การหยุดหรือชะลอให้คนข้ามถนน และ 3) ข้อมูลความเข้าใจเส้นซิกแซก ได้แก่ ความหมาย (ตอบแบบเติมคำเพื่อวัดความเข้าใจที่แท้จริง) ทัศนคติต่อเส้นซิกแซก เหตุผลที่ปฏิบัติหรือไม่ปฏิบัติตามเส้นซิกแซก การสำรวจข้อมูลทัศนคติดังกล่าว เน้นสัมภาษณ์นักศึกษาและบุคลากรของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นผู้ใช้เส้นทางกลุ่มหลัก โดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ ข้อมูลทั้งหมดจากแบบสอบถามได้ถูกคัดกรองจนเหลือเฉพาะผู้ขับขี่รถยนต์ผ่านเส้นทางนี้เป็นประจำจำนวน 105 ราย

### 3.4 วิธีการประเมินประสิทธิผล

ในการวิจัยนี้ การประเมินประสิทธิผลของเส้นซิกแซกถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

#### 3.4.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบความเร็ว

ส่วนแรกเป็นการวัดความรู้ของผู้ขับขี่รถยนต์ก่อนและหลังติดตั้งเส้นซิกแซก ผ่านการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเร็ว ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 รวมทั้งความเร็วการไหลอิสระ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้แนวโน้มของการใช้ความเร็วสูงสุดขณะที่อัตราการไหลของการจราจรน้อยมาก

ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของความเร็วรถยนต์ก่อนและหลังมีเส้นซิกแซกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การทดสอบสถิติ  $t$  เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลความเร็วก่อนและหลังมีเส้นซิกแซก ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่มีการแจกแจงใกล้เคียงแบบปกติ แต่ความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 ชุดไม่เท่ากัน และจำนวนตัวอย่างมีขนาดเล็ก [23] โดยใช้สมการที่ 1 [24]

$$t = \frac{|\bar{u}_{Before} - \bar{u}_{After}|}{\sqrt{\frac{SD_{Before}^2}{n_{Before}} + \frac{SD_{After}^2}{n_{After}}}} \quad (1)$$

ในสมการที่ (1)  $t$  คือค่าสถิติ  $t$  ส่วน  $\bar{u}_{Before}$  และ  $\bar{u}_{After}$  เป็นค่าเฉลี่ยของความเร็วรถยนต์ (กม./ชม.) ก่อนและหลังมีเส้นซิกแซก  $SD_{Before}$  และ  $SD_{After}$  เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วรถยนต์ (กม./ชม.) ก่อนและหลังมีเส้นซิกแซก ส่วน  $n_{Before}$  และ  $n_{After}$  คือ จำนวนข้อมูลความเร็วของรถยนต์ (คัน) ก่อนและหลังมีเส้นซิกแซก

#### 3.4.2 การคาดการณ์โอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนน

การคาดการณ์โอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนนได้ประยุกต์ใช้เส้นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขณะชนกับโอกาส (ความน่าจะเป็น) ที่คนข้ามถนนจะเสียชีวิตหากถูกรถยนต์ชน จากการศึกษาของ Wramborg [13] ดังรูปที่ 2 โดยกำหนดให้ความเร็วของรถยนต์ขณะชนมีค่าเท่ากับความเร็วการไหลอิสระ ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ภายใต้สภาพการจราจรที่ไม่ติดขัด

#### 3.4.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมรถขับขี่และทัศนคติที่มีต่อเส้นซิกแซก

พฤติกรรมรถขับขี่วิเคราะห์จากการขับขี่รถยนต์ในช่วงที่กำหนดก่อนและหลังมีเส้นซิกแซก ส่วนทัศนคติที่มีต่อเส้นซิกแซกวิเคราะห์จากความเข้าใจความหมายและเหตุผลที่ปฏิบัติหรือไม่ปฏิบัติตามเส้นซิกแซกจากแบบสอบถาม

## 4. ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการวิเคราะห์ความเร็วของรถยนต์

#### 4.1.1 แนวโน้มการใช้ความเร็ว

ข้อมูลความเร็วรถยนต์ก่อนและหลังติดตั้งเส้นซิกแซก ทั้งสองทิศทางถูกนำมาวิเคราะห์แนวโน้มการใช้ความเร็วในรูปแบบของแผนภาพกล่อง (Box plot) ดังแสดงในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ความเร็วเฉลี่ย (แสดงด้วยเครื่องหมาย x) หลังติดตั้งเส้นซิกแซก 7 วัน มีค่าน้อยกว่าก่อนติดตั้งอย่างชัดเจน ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะผู้ขับขี่ยังไม่คุ้นชินกับเส้นซิกแซก แต่เมื่อผ่านไป 15 วัน และ 2 เดือน ความเร็วเฉลี่ยกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนเมื่อผ่านไป 4 เดือน ความเร็วเฉลี่ยในแต่ละช่วงย่อยมีแนวโน้มใกล้เคียงกับความเร็วเฉลี่ยก่อนติดตั้งเส้นซิกแซก

#### 4.1.2 ความแตกต่างของการใช้ความเร็ว

จากผลศึกษาในหัวข้อย่อยที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่า เส้นซิกแซกลดความเร็วของรถยนต์ได้อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ตารางที่ 1 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของรถยนต์บนแต่ละช่วงย่อยในทิศทางที่ 1 ก่อนและหลังมีเส้นซิกแซกพบว่า หลังติดตั้ง 7 วัน ความเร็วเฉลี่ยบนช่วงย่อยที่ 1.1 1.2 และ 1.3 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 จาก 28.9 28.1 และ 21.8 กม./ชม. ตามลำดับ เหลือ 19.3 18.2 และ 19.5 กม./ชม. ตามลำดับ (สอดคล้องกับแนวโน้มที่ค้นพบในหัวข้อที่ผ่านมา)

หลังติดตั้ง 15 วัน ความเร็วเฉลี่ยบนแต่ละช่วงย่อยเพิ่มขึ้นจากหลังติดตั้ง 7 วัน โดยมีค่า 24.4 24.7 และ 20.2 กม./ชม. ตามลำดับ ทั้งนี้ ความเร็วดังกล่าวยังมีค่าน้อยกว่าความเร็วเฉลี่ยก่อนติดตั้ง ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 สำหรับช่วงย่อยที่ 1.1 และ 1.2 ส่วนช่วงที่ 1.3 ระดับความเชื่อมั่นลดเหลือร้อยละ 98

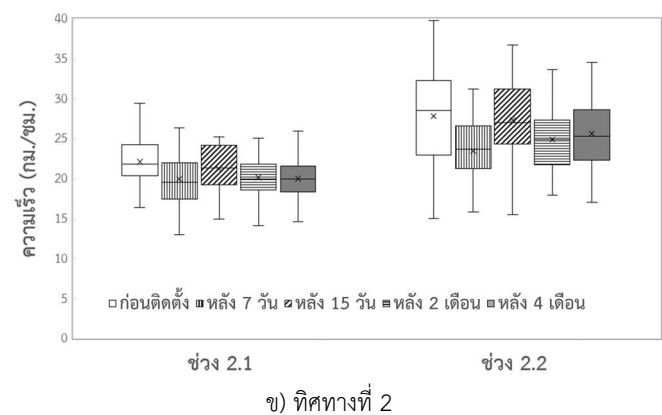
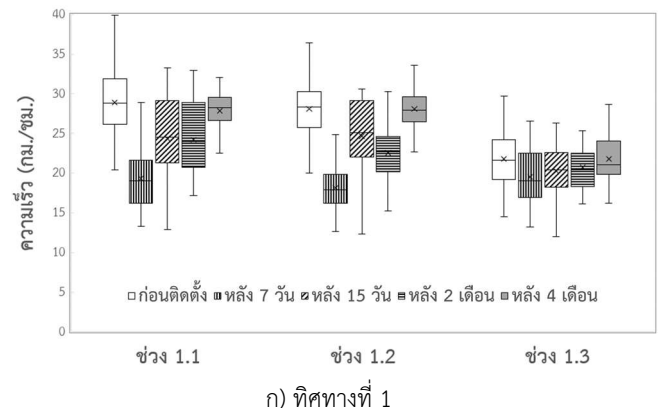
หลังติดตั้ง 2 เดือน ความเร็วเฉลี่ยบนทุกช่วงยังน้อยกว่าก่อนติดตั้งอย่างมีนัยสำคัญ โดยช่วงที่ 1.1 และ 1.2 ลดเหลือ 24.2 และ 22.5 กม./ชม. (ความเชื่อมั่นร้อยละ 99) ส่วนช่วงที่ 1.3 ลดเหลือ 20.7 กม./ชม. (ความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

สุดท้ายหลังติดตั้ง 4 เดือน ช่วงย่อยที่ 1.2 และ 1.3 (ไกลจากทางม้าลาย) ความเร็วเฉลี่ยแทบไม่เปลี่ยนแปลงจากก่อนติดตั้ง คือ 28.1 และ 21.8 กม./ชม. ตามลำดับ (แตกต่างไม่มีนัยสำคัญที่ร้อยละ 90) แต่ช่วงย่อยที่ 1.1 (ใกล้ทางม้าลาย) มีความเร็วเฉลี่ย 27.9 กม./ชม. ซึ่งยังมีค่าน้อยกว่าก่อนติดตั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 90 อีกทั้งพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วยานพาหนะบนทุกช่วงย่อยมีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งอาจบ่งบอกถึงความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความแปรปรวนของความเร็วยานพาหนะในกระแสดจราจรที่ลดลง

ในภาพรวมของทิศทางที่ 1 อาจกล่าวได้ว่า การความเร็วของรถยนต์หลังติดตั้งเส้นซิกแซกในช่วงแรกลดลงจากก่อน

ติดตั้งเส้นซิกแซกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นสูง (ร้อยละ 99) แต่เมื่อเวลาผ่านไป ความเร็วของรถยนต์ก่อนและหลังติดตั้งเส้นซิกแซกบนช่วงที่ไกลจากทางม้าลาย (ช่วงย่อยที่ 1.2 และ 1.3) ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ในทางตรงกันข้าม ช่วงถนนที่ใกล้ทางม้าลาย (ช่วงย่อยที่ 1.1) ความเร็วหลังติดตั้งเส้นซิกแซกยังคงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ระดับความเชื่อมั่นจะลดลงจากร้อยละ 99 เหลือร้อยละ 90 ก็ตาม

เมื่อพิจารณาในทิศทางที่ 2 (ตารางที่ 2) พบว่า หลังติดตั้ง 7 วัน ความเร็วเฉลี่ยบนช่วงย่อยที่ 2.1 และ 2.2 ลดลงจาก 22.1 และ 27.8 กม./ชม. ตามลำดับ เหลือ 20.0 และ 23.5 กม./ชม. ตามลำดับ โดยแตกต่างจากก่อนติดตั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 99



รูปที่ 6 การใช้ความเร็วรถยนต์ก่อนและหลังติดตั้งเส้นซิกแซก

ตารางที่ 1 ความแตกต่างของความเร็วในทิศทางที่ 1 ก่อนและหลังติดตั้งเส้นซิกแซก

|                                | ช่วงย่อยที่ 1.1                       |      | ช่วงย่อยที่ 1.2 |      | ช่วงย่อยที่ 1.3 |      |      |
|--------------------------------|---------------------------------------|------|-----------------|------|-----------------|------|------|
|                                | เปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้ง 7 วัน   |      |                 |      |                 |      |      |
|                                | ก่อน                                  | หลัง | ก่อน            | หลัง | ก่อน            | หลัง |      |
|                                | จำนวนตัวอย่าง (คัน)                   | 95   | 45              | 95   | 45              | 95   | 45   |
| ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)       | 28.9                                  | 19.3 | 28.1            | 18.2 | 21.8            | 19.5 |      |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กม./ชม.)  | 4.2                                   | 3.9  | 3.6             | 2.9  | 3.2             | 3.6  |      |
| ระดับความเป็นอิสระ (df)        | 138                                   |      | 138             |      | 138             |      |      |
| ค่า $t$                        | 13.081                                |      | 17.284          |      | 3.608           |      |      |
| ค่า $t_c$ (ระดับความเชื่อมั่น) | 2.612 (99%)                           |      | 2.612 (99%)     |      | 2.612 (99%)     |      |      |
|                                | เปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้ง 15 วัน  |      |                 |      |                 |      |      |
|                                | ก่อน                                  | หลัง | ก่อน            | หลัง | ก่อน            | หลัง |      |
|                                | จำนวนตัวอย่าง (คัน)                   | 95   | 47              | 95   | 47              | 95   | 47   |
|                                | ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)              | 28.9 | 24.4            | 28.1 | 24.7            | 21.8 | 20.2 |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กม./ชม.)  | 4.2                                   | 5.2  | 3.6             | 5.0  | 3.2             | 3.4  |      |
| ระดับความเป็นอิสระ (df)        | 140                                   |      | 140             |      | 140             |      |      |
| ค่า $t$                        | 5.191                                 |      | 4.232           |      | 2.593           |      |      |
| ค่า $t_c$ (ระดับความเชื่อมั่น) | 2.611 (99%)                           |      | 2.611 (99%)     |      | 2.353 (98%)     |      |      |
|                                | เปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้ง 2 เดือน |      |                 |      |                 |      |      |
|                                | ก่อน                                  | หลัง | ก่อน            | หลัง | ก่อน            | หลัง |      |
|                                | จำนวนตัวอย่าง (คัน)                   | 95   | 46              | 95   | 46              | 95   | 46   |
|                                | ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)              | 28.9 | 24.2            | 28.1 | 22.5            | 21.8 | 20.7 |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กม./ชม.)  | 4.2                                   | 4.6  | 3.6             | 3.7  | 3.2             | 2.7  |      |
| ระดับความเป็นอิสระ (df)        | 139                                   |      | 139             |      | 139             |      |      |
| ค่า $t$                        | 5.782                                 |      | 8.417           |      | 2.133           |      |      |
| ค่า $t_c$ (ระดับความเชื่อมั่น) | 2.611 (99%)                           |      | 2.611 (99%)     |      | 1.977 (95%)     |      |      |
|                                | เปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้ง 4 เดือน |      |                 |      |                 |      |      |
|                                | ก่อน                                  | หลัง | ก่อน            | หลัง | ก่อน            | หลัง |      |
|                                | จำนวนตัวอย่าง (คัน)                   | 95   | 48              | 95   | 48              | 95   | 48   |
|                                | ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)              | 28.9 | 27.9            | 28.1 | 28.1            | 21.8 | 21.8 |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กม./ชม.)  | 4.2                                   | 2.3  | 3.6             | 2.2  | 3.2             | 3.0  |      |
| ระดับความเป็นอิสระ (df)        | 141                                   |      | 141             |      | 141             |      |      |
| ค่า $t$                        | 1.867                                 |      | 0.030           |      | 0.056           |      |      |
| ค่า $t_c$ (ระดับความเชื่อมั่น) | 1.655 (90%)                           |      | 1.655 (90%)     |      | 1.655 (90%)     |      |      |



ตารางที่ 2 ความแตกต่างของความเร็วในทิศทางที่ 2 ก่อนและหลังติดตั้งเส้นซิกแซก

|                                | ช่วงย่อยที่ 2.1                       |      | ช่วงย่อยที่ 2.2 |      |
|--------------------------------|---------------------------------------|------|-----------------|------|
|                                | เปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้ง 7 วัน   |      |                 |      |
|                                | ก่อน                                  | หลัง | ก่อน            | หลัง |
| จำนวนตัวอย่าง (คัน)            | 93                                    | 46   | 93              | 46   |
| ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)       | 22.1                                  | 20.0 | 27.8            | 23.5 |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กม./ชม.)  | 2.9                                   | 3.0  | 5.9             | 3.8  |
| ระดับความเป็นอิสระ (df)        | 137                                   |      | 137             |      |
| ค่า $t$                        | 3.976                                 |      | 5.229           |      |
| ค่า $t_c$ (ระดับความเชื่อมั่น) | 2.612 (99%)                           |      | 2.612 (99%)     |      |
|                                | เปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้ง 15 วัน  |      |                 |      |
|                                | ก่อน                                  | หลัง | ก่อน            | หลัง |
|                                |                                       |      |                 |      |
| จำนวนตัวอย่าง (คัน)            | 93                                    | 43   | 93              | 43   |
| ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)       | 22.1                                  | 21.2 | 27.8            | 27.3 |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กม./ชม.)  | 2.9                                   | 2.9  | 5.9             | 4.9  |
| ระดับความเป็นอิสระ (df)        | 134                                   |      | 134             |      |
| ค่า $t$                        | 1.685                                 |      | 0.518           |      |
| ค่า $t_c$ (ระดับความเชื่อมั่น) | 1.657 (90%)                           |      | 1.657 (90%)     |      |
|                                | เปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้ง 2 เดือน |      |                 |      |
|                                | ก่อน                                  | หลัง | ก่อน            | หลัง |
|                                |                                       |      |                 |      |
| จำนวนตัวอย่าง (คัน)            | 93                                    | 46   | 93              | 46   |
| ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)       | 22.1                                  | 20.2 | 27.8            | 24.9 |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กม./ชม.)  | 2.9                                   | 2.4  | 5.9             | 3.9  |
| ระดับความเป็นอิสระ (df)        | 135                                   |      | 135             |      |
| ค่า $t$                        | 4.135                                 |      | 3.436           |      |
| ค่า $t_c$ (ระดับความเชื่อมั่น) | 2.613 (99%)                           |      | 2.613 (99%)     |      |
|                                | เปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้ง 4 เดือน |      |                 |      |
|                                | ก่อน                                  | หลัง | ก่อน            | หลัง |
|                                |                                       |      |                 |      |
| จำนวนตัวอย่าง (คัน)            | 93                                    | 48   | 93              | 48   |
| ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)       | 22.1                                  | 20.0 | 27.8            | 25.6 |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กม./ชม.)  | 2.9                                   | 2.7  | 5.9             | 4.5  |
| ระดับความเป็นอิสระ (df)        | 139                                   |      | 139             |      |
| ค่า $t$                        | 4.260                                 |      | 2.476           |      |
| ค่า $t_c$ (ระดับความเชื่อมั่น) | 2.611 (99%)                           |      | 2.353 (98%)     |      |

หลังติดตั้ง 15 วัน ช่วงย่อยที่ 2.1 (ใกล้ทางม้าลาย) มีความเร็วเฉลี่ยลดเหลือ 21.2 กม./ชม. โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 90 แต่ช่วงย่อยที่ 2.2 (ไกลจากทางม้าลาย) มี

ความเร็วเฉลี่ยที่แทบไม่เปลี่ยนแปลงจากก่อนติดตั้ง คือ 27.3 กม./ชม. (แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ร้อยละ 90)

ส่วนหลังติดตั้ง 2 เดือน ช่วงย่อยที่ 2.1 และ 2.2 ความเร็วเฉลี่ยลดเหลือ 20.2 และ 24.9 กม./ชม. ซึ่งลดลงจากก่อนติดตั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 99

หลังติดตั้ง 4 เดือน ช่วงย่อยที่ 2.1 และ 2.2 ความเร็วเฉลี่ยลดเหลือ 20.0 และ 25.6 กม./ชม. ซึ่งแตกต่างจากก่อนติดตั้งอย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 99 และ 98 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสองช่วงย่อยมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนติดตั้ง

ในภาพรวมของทิศทางที่ 2 พบว่าการใช้ความเร็วของรถยนต์หลังมีเส้นซิกแซกในช่วงแรกลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นสูง แต่เมื่อผ่านไป การใช้ความเร็วบนช่วงที่ไกลจากทางม้าลาย (ช่วงย่อยที่ 2.2) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญใน ระดับความเชื่อมั่นที่ลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงที่ใกล้ทางม้าลาย (ช่วงย่อยที่ 2.1)

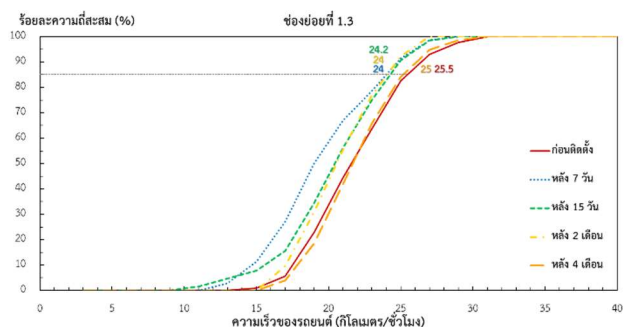
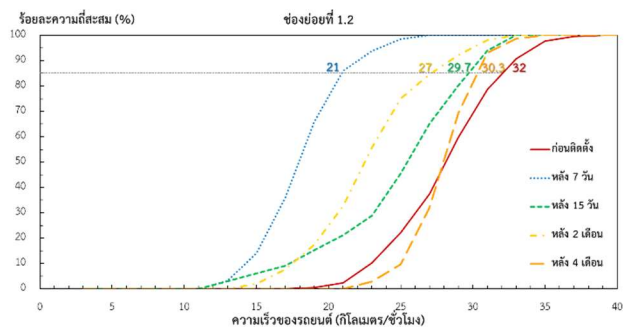
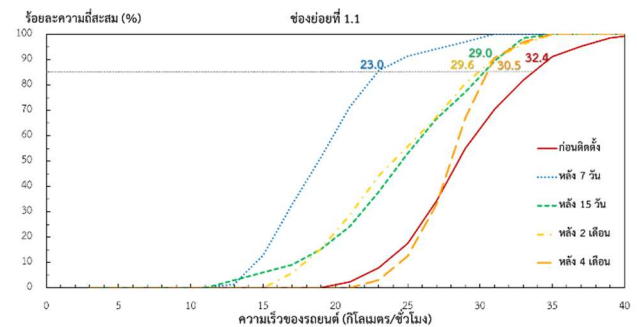
เมื่อเปรียบเทียบช่วงที่ใกล้ทางข้ามทั้งสองทิศทาง พบว่าความเร็วเฉลี่ยบนช่วงที่ 1.1 ลดจาก 28.9 เหลือ 27.9 กม./ชม. (ลดลงร้อยละ 3.5) ส่วนช่วงที่ 2.1 ลดจาก 22.1 เหลือ 20.0 กม./ชม. (ลดลงร้อยละ 9.5) โดยมีข้อสังเกตคือความเร็วเฉลี่ยบนช่วงที่ 1.1 มีค่าสูงกว่าช่วงที่ 2.1 และการลดลงของความเร็วเฉลี่ยบนช่วงที่ 1.1 ทำได้น้อยกว่าช่วงที่ 2.1 เพราะก่อนถึงช่วงที่ 1.1 มีทางลงเนิน 3.5% ต่างจากช่วงที่ 2.1 ที่ความชันเพียง 0.9% จึงเป็นไปได้ที่ทางลงเนินจะส่งผลต่อความเร็วบนช่วงที่ 1.1 มากกว่าเส้นซิกแซก

#### 4.1.3 ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นไทล์

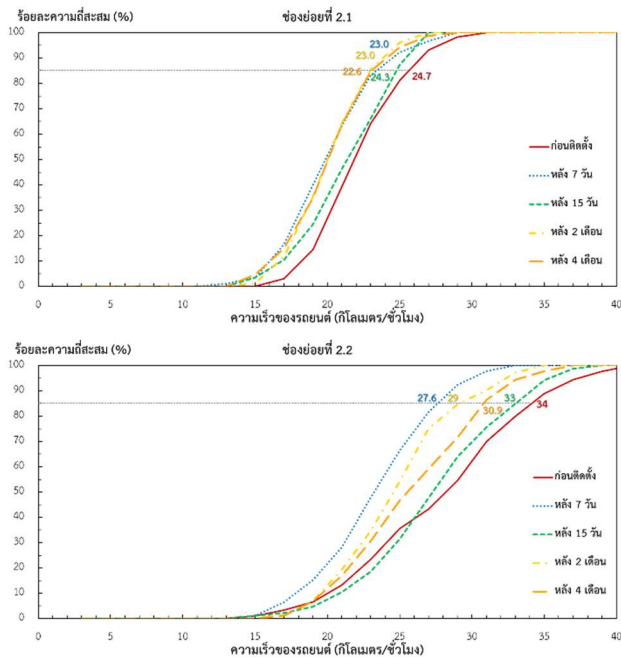
ผลการวิเคราะห์ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นไทล์ในทิศทางที่ 1 (รูปที่ 7) พบว่า ช่วงที่ 1.1 มีความเร็วก่อนติดตั้ง 32.4 กม./ชม. หลังติดตั้ง 7 วัน 15 วัน 2 เดือน และ 4 เดือน ลดเหลือ 23.0 29.0 29.6 และ 30.5 กม./ชม. ตามลำดับ ช่วงที่ 1.2 ความเร็วก่อนติดตั้งมีค่า 32.0 กม./ชม. จากนั้นลดเหลือ 21.0 29.7 27.0 และ 30.3 กม./ชม. ตามลำดับ และช่วงที่ 1.3 ความเร็วก่อนติดตั้งมีค่า 25.5 กม./ชม. จากนั้นลดเหลือ 24.0 24.2 24.0 และ 25.0 กม./ชม. ตามลำดับ

ทิศทางที่ 2 (รูปที่ 8) พบว่า ช่วงที่ 2.1 มีความเร็วก่อนติดตั้ง 24.7 กม./ชม. แล้วเหลือ 23.0 24.3 23.0 และ 22.6 กม./ชม. ส่วนช่วงที่ 2.2 ก่อนติดตั้งมีค่า 34.0 กม./ชม. จากนั้นลดเหลือ 27.6 33.0 29.0 และ 30.9 กม./ชม.

ในภาพรวมความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นไทล์ของทั้งสองทิศทางพบว่ามีแนวโน้มการลดลงคล้ายกับความเร็วเฉลี่ยในหัวข้อที่ผ่านมา และเมื่อพิจารณาช่วงถนนที่ใกล้ทางข้าม พบว่าความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นไทล์ของช่วงที่ 1.1 (ลดจาก 32.4 เหลือ 30.5 กม./ชม. หรือลดลง 5.9%) มีการลดลงที่มากกว่าความเร็วเฉลี่ย (ลดลง 3.5%) ส่วนช่วงที่ 2.1 (ลดจาก 24.7 เหลือ 22.6 กม./ชม. หรือลดลง 8.5%) มีการลดลงที่ใกล้เคียงกับความเร็วเฉลี่ย (ลดลง 9.5%)



รูปที่ 7 ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นไทล์ในทิศทางที่ 1



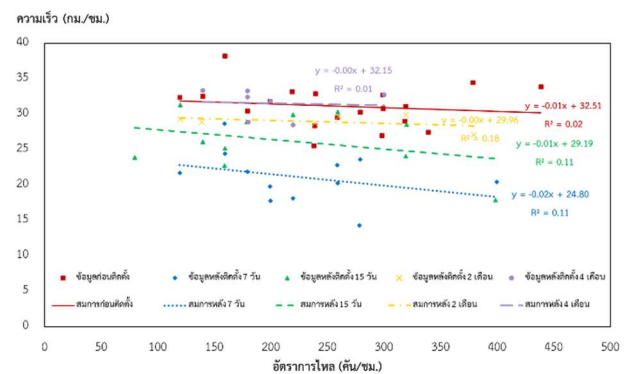
รูปที่ 8 ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ในทิศทางที่ 2

#### 4.1.4 ความเร็วการไหลอิสระ

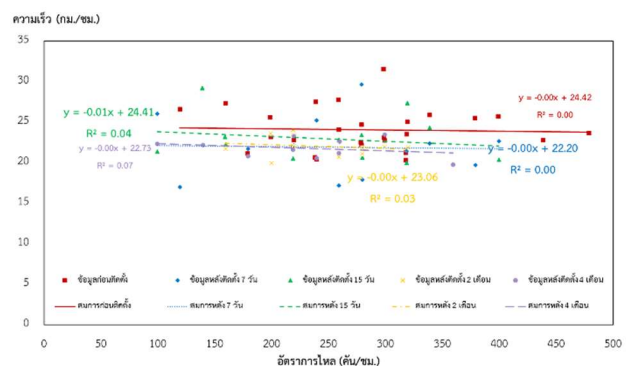
ผลการศึกษาความเร็วในสองหัวข้อย่อยที่ผ่านมา อาจได้รับผลจากปริมาณจราจรที่ต่างกันตามช่วงเวลาที่เราสำรวจ เพื่อลดผลดังกล่าวในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความเร็วของกระแสจราจรภายใต้สภาพที่ไม่ติดขัด โดยเน้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าวเฉพาะช่วงถนนที่ใกล้ทางม้าลาย ก่อนและหลังมีเส้นซิกแซก 7 วัน 15 วัน 2 เดือน และ 4 เดือน ได้ผลความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10 การใช้ความเร็วบนช่วงย่อยที่ 1.1 (รูปที่ 9) หลังติดตั้งเส้นซิกแซกในช่วงแรก (7 วัน) ลดลงอย่างชัดเจน โดยความเร็วการไหลอิสระ (ได้จากค่าคงที่ของสมการเส้นตรงที่วิเคราะห์ได้) ลดจาก 32.51 เหลือ 24.80 กม./ชม. แต่เมื่อผ่านไป 15 วัน และ 2 เดือน ความเร็วกลับเพิ่มขึ้นเป็น 29.19 และ 29.96 กม./ชม. ตามลำดับ สุดท้ายหลัง 4 เดือน ความเร็วเพิ่มเป็น 32.15 กม./ชม. ซึ่งใกล้เคียงกับก่อนติดตั้ง ส่วนช่วงย่อยที่ 2.1 (รูปที่ 10) พบว่า หลังมีเส้นซิกแซก 7 วัน ความเร็วการไหลอิสระลดลงจาก 24.42 เหลือ 22.20 กม./ชม. เมื่อผ่านไป 15 วัน และ 2 เดือน ความเร็วเพิ่มขึ้นแบบกว้างตัวเล็กน้อยอยู่ในช่วง 24.41 และ 23.06 กม./ชม. สุดท้ายหลัง 4 เดือน ความเร็วลดเหลือ 22.73 กม./ชม.

จากการเปลี่ยนแปลงของความเร็วการไหลอิสระบนช่วงถนนทั้งสองทิศทางข้างต้น จะเห็นว่า ช่วงย่อยที่ 1.1 มีความแตกต่างของความเร็วก่อนและหลังมีเส้นซิกแซกไม่มากนัก (ลดจาก 32.5 เหลือประมาณ 32.2 กม./ชม. หรือลดลงเพียงร้อยละ 1) เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงย่อยที่ 2.1 (ลดจาก 24.4 เหลือ 22.7 กม./ชม. หรือลดลงร้อยละ 7) ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยทางลงเนินอาจส่งผลต่อการลดลงของความเร็วการไหลอิสระบนช่วงย่อยที่ 1.1 ในลักษณะที่คล้ายกับการลดลงของความเร็วเฉลี่ยและความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้

อย่างไรก็ตาม สมการเชิงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความเร็วของกระแสจราจรที่ค้นพบในงานวิจัยนี้ยังมีค่า  $R^2$  ที่น้อย เพราะมีจำนวนตัวอย่างจำกัด การศึกษาในอนาคตควรปรับปรุงประเด็นนี้ อีกทั้งอาจศึกษาความสัมพันธ์ในรูปแบบอื่น เช่น สมการเส้นโค้ง เป็นต้น



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความเร็วบนช่วงย่อยที่ 1.1



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความเร็วบนช่วงย่อยที่ 2.1

#### 4.1.5 โอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนนหากถูกรถชน

ความเร็วการไหลอิสระที่ได้จากหัวข้อย่อยที่ผ่านมา ถูกนำมาใช้คาดการณ์โอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนนหากถูกรถชน ผลแสดงในตารางที่ 3 พบว่า การติดตั้งเส้นซิกแซกบนช่วงที่ 1.1 ช่วยลดโอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนนได้ในอัตราที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยลดลงร้อยละ 6 4 3 และ 1 เมื่อผ่านไป 7 วัน 15 วัน 2 เดือน และ 4 เดือน ตามลำดับ เนื่องจากความเร็วการไหลอิสระเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับค่าที่ประเมินได้ก่อนมีเส้นซิกแซก อย่างไรก็ตาม โอกาสเสียชีวิตที่คาดการณ์ได้หลังผ่านไป 4 เดือน มีค่าร้อยละ 12 ซึ่งสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่นานาชาติยอมรับ คือ ร้อยละ 10 [15] ในอนาคตจึงควรเพิ่มเติมมาตรการสยบการจราจรบริเวณนี้

ส่วนช่วงที่ 2.1 พบว่า โอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนนแทบไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป (ลดลงร้อยละ 0-1) เนื่องจากความเร็วการไหลอิสระมีค่าน้อยกว่าความเร็วที่ปลอดภัยสำหรับคนข้ามถนน (30 กม./ชม.) และเมื่อสังเกตความสัมพันธ์ในรูปที่ 2 จะพบว่า ยิ่งความเร็วขณะชนมีค่าน้อยกว่า 30 กม./ชม. โอกาสเสียชีวิตจะลดลงได้มากขึ้น

#### 4.2 ผลวิเคราะห์ความเข้าใจและทัศนคติต่อเส้นซิกแซก

##### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์การขับขึ้นช่องทางที่กำหนด

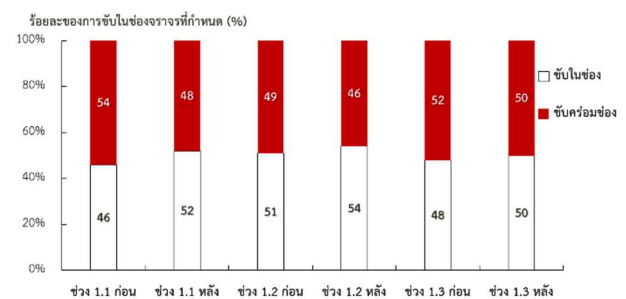
ความเข้าใจเส้นซิกแซกของผู้ขับที่ถูกประเมินจากการขับรถยนต์ในช่องจราจรที่กำหนด เปรียบเทียบก่อนและหลังมีเส้นซิกแซก 4 เดือน พบว่า ก่อนมีเส้นซิกแซกในทิศทางที่ 1 (รูปที่ 11) การขับรถในช่องจราจรที่กำหนดบนช่วงที่ 1.1 1.2 และ 1.3 มีร้อยละ 46 51 และ 48 ตามลำดับ ส่วนการขับคร่อมช่องจราจรมีร้อยละ 54 49 และ 52 แต่หลังมีเส้นซิกแซก พบว่าการขับในช่องจราจรเพิ่มเป็นร้อยละ 52 54 และ 50 ส่วนขับคร่อมช่องจราจรลดเหลือร้อยละ 48 46 และ 50 ในทิศทางที่ 2 (รูปที่ 12) ช่วงที่ 2.1 และ 2.2 ก่อนมีเส้นซิกแซกพบว่าการขับในช่องจราจรเท่ากัน ร้อยละ 80 ส่วนการขับคร่อมช่องจราจรมีร้อยละ 20 แต่หลังมีเส้นซิกแซก การขับในช่องจราจรเพิ่มเป็นร้อยละ 83 และ 82 ตามลำดับ ส่วนการขับคร่อมช่องจราจรลดเหลือร้อยละ 17 และ 18

จากผลการศึกษาข้างต้น จะเห็นว่า การขับรถยนต์ในช่องจราจรที่กำหนดในทั้งสองทิศทาง หลังจากมีเส้นซิกแซก มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2-6 ถึงแม้จะเพิ่มขึ้นในสัดส่วน

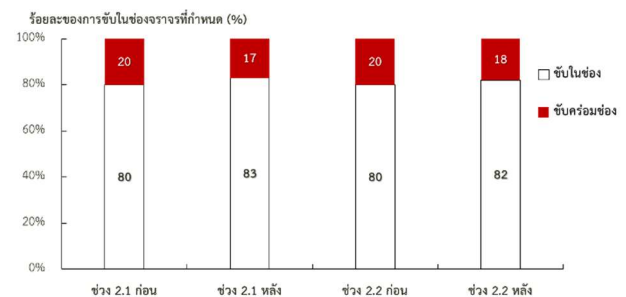
ที่น้อย แต่อาจกล่าวได้ว่าผู้ขับรถยนต์ได้พยายามปฏิบัติตามเส้นซิกแซก

ตารางที่ 3 โอกาสการเสียชีวิตจากการชนคนข้ามถนน

| ช่วงย่อย | ช่วงเวลา    | ความเร็วการไหลอิสระ (กม./ชม.) | โอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนน (%) |
|----------|-------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1.1      | ก่อนติดตั้ง | 32.5                          | 13                             |
|          | หลัง 7 วัน  | 24.8 (-24%)                   | 7 (-6%)                        |
|          | 15 วัน      | 29.2 (-10%)                   | 9 (-4%)                        |
|          | 2 เดือน     | 29.9 (-8%)                    | 10 (-3%)                       |
|          | 4 เดือน     | 32.2 (-1%)                    | 12 (-1%)                       |
| 2.1      | ก่อนติดตั้ง | 24.4                          | 7                              |
|          | หลัง 7 วัน  | 22.2 (-9%)                    | 6 (-1%)                        |
|          | 15 วัน      | 24.4 (0%)                     | 7 (0%)                         |
|          | 2 เดือน     | 23.1 (-5%)                    | 6 (-1%)                        |
|          | 4 เดือน     | 22.7 (-7%)                    | 6 (-1%)                        |



รูปที่ 11 การขับขึ้นรถในช่องจราจรที่กำหนดในทิศทางที่ 1



รูปที่ 12 การขับขึ้นรถในช่องจราจรที่กำหนดในทิศทางที่ 2

##### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์ทัศนคติที่มีต่อเส้นซิกแซก

จากการสัมภาษณ์ผู้ขับรถยนต์ที่ผ่านเส้นทางศึกษาเป็นประจำจำนวน 105 คน ซึ่งประกอบด้วยนักศึกษาร้อยละ

87 และบุคลากรร้อยละ 13 พบว่า ร้อยละ 57 ทราบและเข้าใจ ความหมายเส้นซิกแซก ส่วนร้อยละ 43 ไม่ทราบหรือไม่เข้าใจ ความหมายเส้นซิกแซก

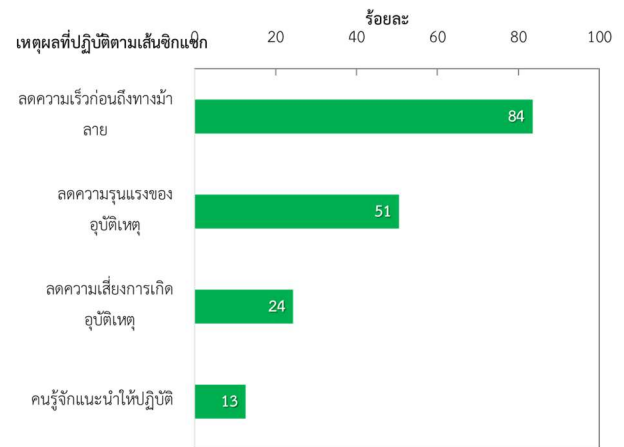
เมื่อถามเหตุผลที่ปฏิบัติและไม่ปฏิบัติตามเส้นซิกแซก ผลแสดงในรูปที่ 13 และรูปที่ 14 ตามลำดับ พบว่า กรณีที่ปฏิบัติตามให้เหตุผลอันดับแรกว่า เส้นซิกแซกช่วยลดความเร็วรถ ก่อนถึงทางม้าลาย (ร้อยละ 84) รองลงมา คือ ลดความรุนแรง หากเกิดเหตุ (ร้อยละ 51) ลดความเสี่ยงต่อการเกิดเหตุ (ร้อยละ 24) และคนรู้จักแนะนำ (ร้อยละ 13)

ส่วนกรณีไม่ปฏิบัติตามให้เหตุผลว่า ไม่ทราบความหมาย (ร้อยละ 69) มั่นใจว่าไม่เกิดอุบัติเหตุ (ร้อยละ 29) มองไม่เห็นทางม้าลาย (ร้อยละ 29) และถนนลาดชัน (ร้อยละ 23) ซึ่งประเด็นมองไม่เห็นทางม้าลายและถนนลาดชันเป็นข้อจำกัดของเส้นทางศึกษาที่ต้องปรับปรุงให้ปลอดภัยยิ่งขึ้น

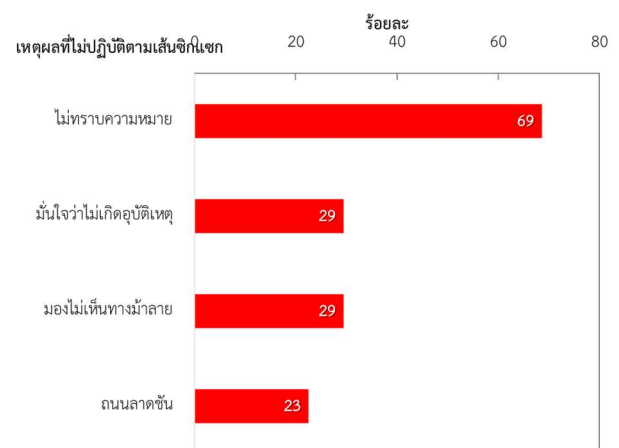
สุดท้ายเมื่อสอบถามทัศนคติที่มีต่อเส้นซิกแซก ผลแสดงในรูปที่ 15 พบว่า มีเพียงส่วนน้อย (ร้อยละ 14) ที่ทัศนคติบ่งชี้ถึงการปฏิบัติตามเส้นซิกแซกอย่างเคร่งครัด (ประกอบด้วย ฉ้นขับรุดตามเส้นซิกแซกทุกครั้ง ร้อยละ 7 และฉ้นขับรุดตามเส้นซิกแซกบ่อยครั้ง ร้อยละ 7) นอกจากนี้ ร้อยละ 46 เห็นว่า การขับรุดตามเส้นซิกแซกเป็นพฤติกรรมที่ควรทำ และร้อยละ 25 เห็นว่า การขับรุดตามเส้นซิกแซกเป็นพฤติกรรมที่สำคัญ ส่วนกลุ่มที่คิดว่าการขับรุดตามเส้นซิกแซกไม่ใช่พฤติกรรมที่สำคัญมีอยู่ ร้อยละ 15 ซึ่งจำเป็นต้องมีการประชาสัมพันธ์ทำความเข้าใจ และให้ความรู้ที่ถูกต้องเกี่ยวกับเส้นซิกแซกแก่ผู้ขับชื้ออย่างครอบคลุมและสม่ำเสมอ

## 5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

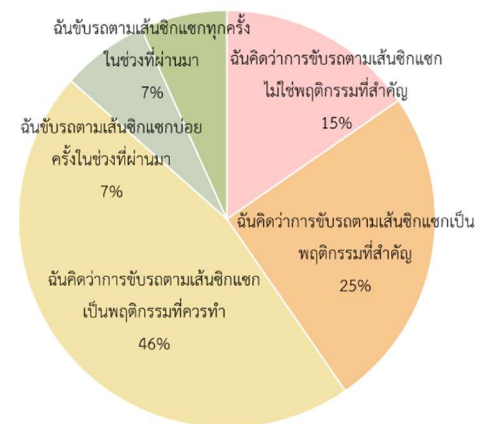
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการติดตั้งเส้นซิกแซก ก่อนถึงทางข้ามแบบม้าลายบนถนนกรณีศึกษาภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยแบ่งการประเมินประสิทธิภาพเป็น 2 ด้านหลักคือ 1) ความรับรู้ของผู้ขับชื้อผ่านการเปรียบเทียบความเร็วของรถยนต์ก่อนและหลังติดตั้งเส้นซิกแซก และ 2) ความเข้าใจและทัศนคติที่มีต่อเส้นซิกแซก



รูปที่ 13 เหตุผลที่ปฏิบัติตามเส้นซิกแซก



รูปที่ 14 เหตุผลที่ไม่ปฏิบัติตามเส้นซิกแซก



รูปที่ 15 ทัศนคติที่มีต่อเส้นซิกแซก

ผลการศึกษาด้านแรกในประเด็นความเร็วของรถยนต์พบว่า เส้นซิกแซกลดความเร็วเฉลี่ยได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยลดลงมากในช่วงแรกหลังติดตั้ง 7 วัน แต่เมื่อผ่านไป 4 เดือนความเร็วเฉลี่ยกลับเพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับก่อนติดตั้ง อย่างไรก็ตาม ความเร็วเฉลี่ยบนช่วงถนนที่ใกล้ทางข้ามยังมีค่าลดลงร้อยละ 3.5 (ช่วงที่ลงเนิน) และร้อยละ 9.5 (ช่วงที่ขึ้นเนินเล็กน้อย) ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างดีกว่างานวิจัยในอดีต [20] ที่ลดความเร็วเฉลี่ยได้ร้อยละ 5.8 สำหรับผลการศึกษาความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นไทล์ พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงความเร็วมีแนวโน้มคล้ายกับค่าความเร็วเฉลี่ย โดยความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นไทล์ของบนช่วงที่อยู่ใกล้ทางข้ามลดลงได้ร้อยละ 5.9-8.5 ส่วนผลคาดการณ์โอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนนหากถูกชนที่ความเร็วการไหลอิสระ พบว่า เส้นซิกแซกลดโอกาสเสียชีวิตลงประมาณร้อยละ 1

ผลการประเมินส่วนที่สองด้านความเข้าใจของผู้ขับขี่ต่อเส้นซิกแซก พบว่า การขับรถให้อยู่ในช่องที่กำหนดหลังมีเส้นซิกแซกเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-6 สำหรับผู้ขับขี่ที่ไม่ปฏิบัติตาม ส่วนใหญ่ร้อยละ 69 ให้เหตุผลว่าไม่ทราบความหมายของเส้นซิกแซก (คล้ายกับผลการศึกษาในอดีต [8,10]) และร้อยละ 29 คิดว่ามั่นใจว่าไม่เกิดอุบัติเหตุ

สรุปได้ว่าเส้นซิกแซกส่งผลต่อการชะลอความเร็วในช่วงแรกได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อผู้ขับขี่คุ้นชินกับความกว้างของช่องจราจรไม่ได้เล็งจริงจังจึงกลับมาใช้ความเร็วที่ลดลงจากความเร็วก่อนมีเส้นซิกแซกไม่มากนัก ดังนั้น การติดตั้งเส้นซิกแซกเพียงมาตรการเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะลดความเร็วและโอกาสเสียชีวิตของคนข้ามถนนได้เท่าที่ควร จึงควรมีการนำมาตรการสยบการจราจรรูปแบบอื่นปรับใช้เพิ่มเติม รวมทั้งควรประชาสัมพันธ์ให้ความรู้เกี่ยวกับเส้นซิกแซกแก่ผู้ใช้ทางทุกประเภทอย่างสม่ำเสมอ

ในอนาคตควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความเร็วยุทธวิธีรูปแบบอื่น ศึกษาประสิทธิภาพที่มีต่อรถประเภทอื่น ขยายช่วงเวลาประเมินผลให้ครอบคลุมกลางคืน และนำระยะเวลาคืนสภาพของพฤติกรรมของผู้ขับขี่ไปต่อยอด

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองกายภาพและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และพนักงานอำนวยความสะดวกปลอดภัยขณะทาสีเส้นซิกแซก ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้สนับสนุนงบประมาณสีเส้นซิกแซกและป้ายเตือนทางข้าม และขอขอบคุณนักศึกษาวิทยานิพนธ์เสริมหลักสูตร ภาควิชาการศึกษา 1/2563 กลุ่มทางข้ามปลอดภัยใส่ใจเพื่อนมนุษย์ ที่ได้ลงแรงกายและแรงใจจนทางข้ามกรณีศึกษาสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] World Health Organization (WHO). *Global status report on road safety*. 2018.
- [2] World Health Organization (WHO). *Pedestrian Safety: A Road Safety Manual for Decision-Makers and Practitioners*. 2013.
- [3] Vanderslice E. Why did the pedestrian cross the road? A global survey of technical, historical, and philosophical issues around crossing the street. *Women's Transportation Seminar National Conference, 16-18 May 2001, Portland, Oregon*.
- [4] United States of America Department of Transportation (USDOT). *USDOT Pedestrian Safety Action Plan*. 2020.
- [5] กรุงเทพมหานคร. กทม.ของบ 56 ลบ. ทำทางม้าลายสีแดงหน้าโรงเรียน. เข้าถึงได้จาก : <https://www.bangkokbiznews.com/news/693436> [เข้าถึง 21 พฤศจิกายน 2564].
- [6] PPTV Online. กรมทางหลวงชนบท ผนึก 4 มหาวิทยาลัยรัฐวิจัยทางม้าลาย 3 มิติ. เข้าถึงได้จาก: <https://www.pptvhd36.com/news/ประเด็นร้อน/29129> [เข้าถึง 21 พฤศจิกายน 2564].
- [7] เดลินิวส์. กำเนิดเส้นจราจรซิกแซกเพิ่มจุดสังเกต. เข้าถึงได้จาก: <https://www.dailynews.co.th/article/296600> [เข้าถึง 21 พฤศจิกายน 2564].
- [8] Dougald L. *Best Practices in Traffic Operations and Safety: Phase II: Zig-zag Pavement Markings*. Virginia Transportation Research Council; 2010.
- [9] Dougald L, Dittberner R, Sripathi H. Safer midblock environments for pedestrian and



- bicycle crossings: experiment with zigzag pavement markings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2012; 2299(1): 128-136.
- [10] Kwon SK, Lee YI, Cho SJ. Estimation of traffic accident effectiveness of zig-zag marking using a comparison group method. *International Journal of Highway Engineering*. 2012; 14(6): 149-158.
- [11] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กระทรวงคมนาคม. รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนน. 2558-2562.
- [12] สำนักอำนวยการความปลอดภัย กรมทางหลวง. อุบัติเหตุจราจรบนทางหลวงแผ่นดิน. 2558-2562.
- [13] Wramborg P. A new approach to a safe and sustainable road structure and street design for urban areas. *Road Safety on Four Continents: 13<sup>th</sup> International Conference, 5-7 October 2005, Warsaw, Poland*.
- [14] พงกฤษณ คลังบุญคลอง. การยับยั้งการจราจร. ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2549.
- [15] National Association of City Transportation Officials (NACTO). *City Limits: Setting Safe Speed Limits on Urban Streets*. 2020.
- [16] Jateikienė L, Andriejauskas T, Lingyte I, Jasiuniene V. Impact assessment of speed calming measures on road safety. *Transportation Research Procedia*. 2016;14: 4228-4236.
- [17] อมรวิทย์ หยั่งหลัง, วศิน เกียรติโกมล. การศึกษาประสิทธิภาพการดำเนินงานของป้ายแจ้งเตือนความเร็วบนทางหลวง. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23, 18-20 กรกฎาคม 2561, นครนายก*.
- [18] Liu P, Huang J, Wang W, Xu C. Effects of transverse rumble strips on safety of pedestrian crosswalks on rural roads in China. *Accident Analysis and Prevention*. 2011; 43(6): 1947-1954.
- [19] วัชร ก้าวคุณากร ปรมะศวรร หลือเทพ, สิทธา เจนศิริศักดิ์. ประสิทธิภาพของป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่นและแถบลดความกว้างช่องจราจรต่อการลดความเร็วรถยนต์. *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 2563*; 13(2): 102-111.
- [20] บริษัท ศรีเอทโอเดียพลัส จำกัด. เรียนรู้เส้นซิกแซกสัญลักษณ์เตือนทางม้าลาย. เข้าถึงได้จาก: [www.24andlife.com/traffic-lines](http://www.24andlife.com/traffic-lines) [เข้าถึงเมื่อ 30 ตุลาคม 2564].
- [21] พงศธร เพชรตึบ, ปรมะศวรร หลือเทพ, นพดล กรประเสริฐ. ประสิทธิภาพของทางคนเดินข้ามอัจฉริยะกรณีศึกษาทางข้ามถนนกาญจนาภิเษย จังหวัดสงขลา. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, 23-25 มิถุนายน 2564, ออนไลน์*.
- [22] Statutory Instruments. The Zebra, pelican and puffin pedestrian crossings regulations and general directions 1997. เข้าถึงได้จาก: [www.legislation.gov.uk/ukxi/1997/2400/made](http://www.legislation.gov.uk/ukxi/1997/2400/made) [เข้าถึงเมื่อ 10 พฤษภาคม 2563].
- [23] กัลยา วานิชย์บัญชา. สถิติสำหรับงานวิจัย, พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ: ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2561.
- [24] Garber NJ, Hoel LA. *Traffic and Highway Engineering, 5<sup>th</sup> eds*. Toronto, Canada: Cengage Learning; 2015.