วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.
UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

ประสิทธิผลของป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่นและแถบลดความกว้างช่องจราจรต่อการลดความเร็วรถยนต์

Effectiveness of overhang sign and optical speed bar on reducing vehicle speed

วัชรา เก้าคุณากร[1*] ปรเมศวร์ เหลือเทพ[1] สิทธา เจนศิริศักดิ์[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Watchara Kaokhunakorn[1*] Paramet Luathep[1] Sittha Jaensirisak[2]

[1] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla 90112

[2] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190

* Corresponding author.

E-mail: watkaokao@hotmail.com; Telephone: 08 3635 0979

วันที่รับบทความ 24 มกราคม 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 25 กุมภาพันธ์ 2563; วันที่ตอบรับบทความ 9 มีนาคม 2563

บทคัดย่อ

การขับรถเร็วเกินกฎหมายกำหนด เป็นมูลเหตุสันนิษฐานหลักของการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงและทางหลวงชนบท หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้แก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ชะลอความเร็วหลายรูปแบบช่วงก่อนเข้าเขตชุมชน บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาประสิทธิผลของการติดตั้งอุปกรณ์สยบการจราจรเพื่อชะลอความเร็ว โดยศึกษาผลของป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่นและแถบลดความกว้างช่องจราจรต่อการลดความเร็วรถยนต์ก่อนถึงทางแยกสัญญาณไฟจราจรเขตชุมชน กรณีศึกษาถนนทางหลวงชนบท สาย สข. 2031 ช่วงที่ผ่านโรงเรียนวัดเขากลอย การศึกษาได้สำรวจ วิเคราะห์และเปรียบเทียบความเร็วของรถยนต์ที่ผ่านก่อนและหลังจุดติดตั้งอุปกรณ์ชะลอความเร็ว พบว่า ป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่นลดความเร็วของรถยนต์อย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนแถบลดความกว้างช่องจราจรแบบทั่วไปและแถบลดความกว้างช่องจราจรแบบเพิ่มแถบสีแดงลดความเร็วของรถยนต์อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ทางแยกอาจส่งผลกระทบต่อการชะลอความเร็วก่อนถึงทางแยก

คำสำคัญ

ความเร็ว การสยบการจราจร ป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่น แถบลดความกว้างช่องจราจร

Abstract

Overspeed is one of the main factors contributing to crashes occurred on national highways and rural roads. Responsible authorities have put their efforts into solving this problem by installing traffic calming devices before entering the community area. This paper presents the effectiveness of traffic calming devices, focusing on the overhang sign and optical speed bar (OSB) installed before the urban signalized intersection. Rural Road No. SK2031 passing Wat Khow Kloy School was selected as a case study. The speeds of passenger cars passing before and after each traffic calming device location were collected, analyzed, and compared. The results showed that the overhang sign could not significantly reduce vehicle speeds. Conversely, the typical OSB and the OSB with red strips could reduce the vehicle speeds significantly. However, the intersection may have some effects on the results.

Keywords

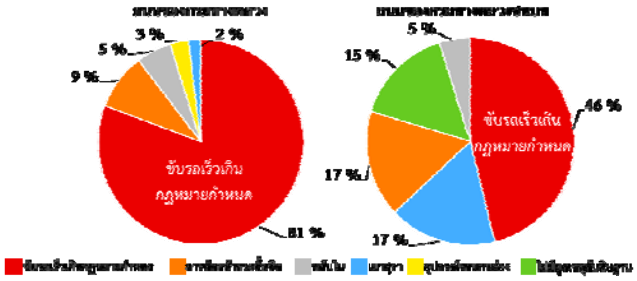
speed; traffic calming; overhang sign; optical speed bar

1. คำนำ

ประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนในปี พ.ศ. 2556 อยู่ที่ 36.2 รายต่อแสนประชากร ซึ่งสูงเป็นอันดับที่ 2 ของโลก [1] ต่อมาในปี พ.ศ. 2559 อัตราดังกล่าวลดลงเหลือ 32.7 รายต่อแสนประชากร คิดเป็นอันดับที่ 9 ของโลก [2] อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแนวโน้มของการเกิดอุบัติเหตุทางถนน พบว่า ในปี พ.ศ. 2559 มีจำนวนอุบัติเหตุ 84,405 ครั้ง ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2556 มากถึง 23,159 ครั้ง หรือเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 5,790 ครั้งต่อปี [3] อีกทั้งเมื่อพิจารณาถึงสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนระหว่างปี พ.ศ. 2556 – 2560 (ดังแสดงในรูปที่ 1) พบว่า การขับรถเร็วเกินกฎหมายกำหนด เป็นมูลเหตุสันนิษฐานหลักของอุบัติเหตุทางถนนที่เกิดบนถนนของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท มากถึงร้อยละ 81 และ 46 ตามลำดับ [4, 5] จากข้อมูลข้างต้น อาจกล่าวได้ว่า ถนนทางหลวงและทางหลวงชนบทยังมีประเด็นเรื่องการจัดการความเร็วที่ปลอดภัย (Safer Speeds) ตามวิถีแห่งระบบที่ปลอดภัย (Safe System Approach) [6]

การจัดการความเร็วที่ปลอดภัยสามารถดำเนินการได้หลากหลายวิธี แต่วิธีการที่นิยมใช้ในทางวิศวกรรม ได้แก่ การปรับปรุงลักษณะทางกายภาพ การติดตั้งอุปกรณ์นำทางและเครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง และการติดตั้งป้ายจราจร เป็นต้น ที่ผ่านมา หน่วยงานทางที่เกี่ยวข้องทั้งสังกัดกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทได้พยายามจัดการความเร็วที่ปลอดภัย โดยเน้นติดตั้งป้ายจราจร เช่น ป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่น (Overhang Sign) และเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง เช่น แถบลดความกว้างช่องจราจร (Optical Speed Bar, OSB) เพื่อยกระดับความปลอดภัยให้กับผู้ใช้ทาง [7, 8] แต่คำถามถึงประสิทธิผลของการติดตั้งอุปกรณ์ชะลอความเร็วว่าสามารถลดความเร็วได้อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ยังคงเป็นคำถามซึ่งนำมาสู่โจทย์ของการวิจัยในครั้งนี้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิผลของการติดตั้งป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่น (Overhang Sign) และแถบลดความกว้างช่องจราจร (Optical Speed Bar, OSB) ทั้งแบบทั่วไปและแบบเพิ่มแถบสีแดง ที่มีต่อการลดความเร็วของรถยนต์ก่อนเข้าเขตชุมชน โดยเลือกถนนทางหลวงชนบท หมายเลข สข. 2031 ช่วงที่ผ่านโรงเรียนวัดเขากลอย ต.ท่าข้าม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา เป็นเส้นทางศึกษา ผลของงานวิจัยนี้ อาจใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงประสิทธิผลของป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่นและแถบลดความกว้างช่องจราจร และอาจใช้เป็นแนวทางในการจัดการความเร็วที่ปลอดภัยของบริเวณก่อนเข้าเขตชุมชนอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงได้ต่อไป

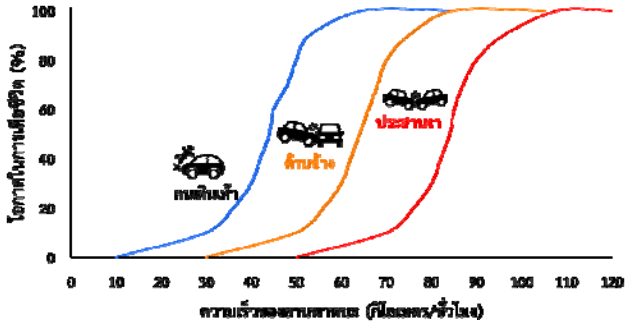


รูปที่ 1 มูลเหตุสันนิษฐานของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนบนถนนของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทระหว่างปี พ.ศ. 2556–2560 [4,5]

2. ความเร็วกับความปลอดภัยทางถนน

ความเร็ว เป็นปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุทางถนนและเพิ่มโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุทางถนน เนื่องจากการใช้ความเร็วในการขับขี่จะเพิ่มระยะทางในการหยุดรถ และทำให้มุมการมองเห็นของผู้ขับขี่ไปยังวัตถุ ยานพาหนะ หรือผู้ใช้ทางอื่นที่อยู่ด้านหน้าแคบลง [9] จากการศึกษาในอดีต พบว่า หากลดความเร็วเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 5 จะช่วยลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุทางถนนได้มากถึงร้อยละ 30 [10]

นอกจากนี้ ความเร็วยังเป็นปัจจัยที่เพิ่มความรุนแรงของอุบัติเหตุทางถนน ดังรูปที่ 2 ซึ่งแสดงโอกาสของการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนที่ชนกันด้วยความเร็วต่าง ๆ ในลักษณะของการชน 3 กรณี ประกอบด้วย 1) รถยนต์ชนคนเดินเท้า 2) รถยนต์ชนกันด้านข้าง และ 3) รถยนต์ชนประสานงาจากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า เมื่อความเร็วของการชนเพิ่มขึ้น โอกาสของการเสียชีวิตในแต่ละกรณีจะเพิ่มขึ้นตามอย่างมีนัยสำคัญ เช่น กรณีรถยนต์ชนคนเดินเท้าที่ความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โอกาสคนเดินเท้าจะเสียชีวิตอยู่ที่ร้อยละ 10 โดยประมาณ แต่หากความเร็วในการชนอยู่ที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โอกาสคนเดินเท้าจะเสียชีวิตสูงขึ้นถึงเกือบร้อยละ 100 ดังนั้น การจัดการความเร็วที่ปลอดภัยโดยเฉพาะช่วงก่อนและบริเวณชุมชน ซึ่งมักมีคนเดินเท้าเป็นจำนวนมาก จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง



รูปที่ 2 โอกาสในการเสียชีวิตของการชนแต่ละรูปแบบปรับปรุงจาก [11] อ้างอิงใน [12]

2.1 มาตรการจัดการความเร็วที่ปลอดภัย

มาตรการจัดการความเร็วที่ปลอดภัย (Safer Speeds) เป็นกลยุทธ์ที่นิยมใช้เพื่อจัดการปัญหาอุบัติเหตุทางถนนที่มีสาเหตุมาจากการใช้ความเร็ว ทั้งนี้การเลือกมาตรการที่เหมาะสมควรพิจารณาให้ครอบคลุมรอบด้าน ทั้งมาตรการด้านวิศวกรรม การบังคับใช้กฎหมาย ยานพาหนะ และการรณรงค์ให้ความรู้ [9] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษามาตรการจัดการความเร็วที่ปลอดภัยด้านวิศวกรรมเป็นหลัก

มาตรการด้านวิศวกรรมเพื่อจัดการความเร็วที่ปลอดภัยอาจสรุปได้ 3 แนวทาง [9] ประกอบด้วย 1) การปรับปรุงลักษณะกายภาพของถนน 2) การติดตั้งอุปกรณ์นำทางและเครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง และ 3) การติดตั้งป้ายจราจร

การปรับปรุงลักษณะกายภาพของถนน เป็นการสยบการจราจร (Traffic Calming) ที่ทำให้ผู้ขับขี่ต้องชะลอความเร็วเมื่อขับผ่านมาตรการการปรับปรุงที่นำเสนอ มาตรการสยบการจราจรมีหลายวิธี เช่น สัน/เนินชะลอความเร็ว เกาะกลางถนน วงเวียน เป็นต้น จากผลการศึกษาในอดีตที่ได้วิเคราะห์ประสิทธิผลของการปรับปรุงลักษณะกายภาพของถนน พบว่า เนินชะลอความเร็วและเกาะกลางถนนสามารถลดจำนวนอุบัติเหตุทางถนนได้ร้อยละ 60 และ 72.7 ตามลำดับ [13] นอกจากนี้ ยังพบว่า การติดตั้งวงเวียนเพื่อเพิ่มความปลอดภัยบริเวณทางแยก สามารถช่วยลดจำนวนและความรุนแรงของอุบัติเหตุทางถนนได้อย่างมีนัยสำคัญ [14]

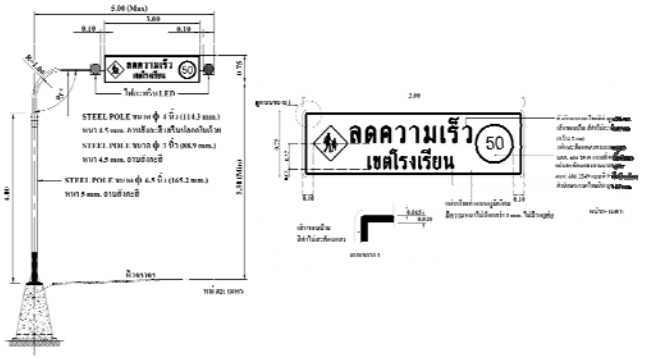
การติดตั้งอุปกรณ์นำทางและเครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง เป็นวิธีที่นิยมใช้เมื่อไม่สามารถปรับปรุงลักษณะกายภาพของถนนได้ ค่าใช้จ่ายของวิธีนี้จึงค่อนข้างต่ำ โดยทำได้หลายวิธี เช่น การติดตั้งเสาล้มลุก แถบชะลอความเร็วตามแนวขวาง (Rumble Strips) แถบลดความกว้างช่องจราจร (Optical Speed Bar หรือ OSB) เป็นต้น ส่วนประสิทธิผลของการติดตั้งอุปกรณ์ข้างต้น พบว่า ค่อนข้างมีความหลากหลาย และขึ้นอยู่กับพื้นที่ใช้งาน เช่น Galante et al. [15] ได้ศึกษาประสิทธิผลของการติดตั้งแถบชะลอความเร็วตามแนวขวาง แถบลดความกว้างช่องจราจรบนถนนชนบทที่เชื่อมต่อกับเขตชุมชน พบว่า ถนน 2 ทิศทางที่มีการติดตั้งแถบชะลอความเร็วตามแนวขวางมีค่าเฉลี่ยของความเร็วลดลง 16 และ 11 กิโลเมตรต่อชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ 90 ตามลำดับ ส่วน Liu et al. [16] ได้ศึกษาประสิทธิผลของแถบชะลอความเร็วตามแนวขวางที่มีต่อความปลอดภัยของคนข้ามถนน พบว่า สามารถลดจำนวนอุบัติเหตุบริเวณทางข้ามได้ร้อยละ 25 และลดความเร็วของยานพาหนะได้ 9.2 และ 11.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับถนนที่มีขีดจำกัดความเร็ว 60 และ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

มาตรการวิศวกรรมด้านสุดท้าย คือ การติดตั้งป้ายจราจร ส่วนใหญ่เป็นการติดตั้งป้ายบอกความเร็วจำกัดบนถนน หรือป้ายเตือนสภาพการจราจรของทางข้างหน้า ทั้งนี้ ปิติ จันทรุไทย [17] ได้ศึกษาประสิทธิผลของการติดตั้งชุดอุปกรณ์ชะลอความเร็วที่ประกอบด้วย ป้ายลดความเร็ว อักษรลดความเร็วบนพื้นทาง และแถบชะลอความเร็วตามแนวขวาง พบว่า ความเร็วของยานพาหนะที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์หลังการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ลดลงจากเดิม 1.26 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

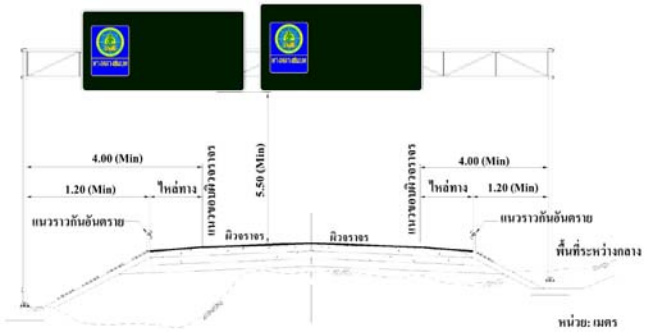
จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ส่วนใหญ่เป็นการประเมินประสิทธิผลของแถบชะลอความเร็วตามแนวขวาง (Rumble Strips) สันชะลอความเร็ว (Bump) และเนินชะลอความเร็ว (Hump) มีเพียงส่วนน้อยที่ศึกษาป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่น และแถบลดความกว้างช่องจราจร [15] อีกทั้งงานวิจัยที่มีอยู่ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในต่างประเทศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นศึกษาประสิทธิผลของการติดตั้งป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่นและแถบลดความกว้างช่องจราจรบริเวณช่วงก่อนเข้าเขตชุมชน

2.2 ป้ายจราจรแขวนสูง

ป้ายจราจรแขวนสูงอาจแบ่งได้ 2 ประเภท [18] ประกอบด้วย ป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่น (Overhang Sign) และป้ายจราจรแขวนสูงแบบคล่อมผิวจราจร (Overhead Sign) โดยป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่น (ดังรูปที่ 3) เหมาะสำหรับติดตั้งบนถนนขนาด 2 ช่องจราจรที่มีการปรับปรุงระบบช่องจราจรรอเลี้ยวซ้ายและขวาแล้ว (Channelization) หรือถนนขนาด 4 ช่องจราจร ส่วนป้ายจราจรแขวนสูงแบบคร่อมผิวจราจร (ดังรูปที่ 4) เหมาะสำหรับติดตั้งบนถนนขนาด 4 ช่องจราจร หรือมากกว่า หรือบริเวณที่มีความสับสนในการเข้าช่องทางให้ถูกต้อง



รูปที่ 3 มาตรฐานของป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่น [18]

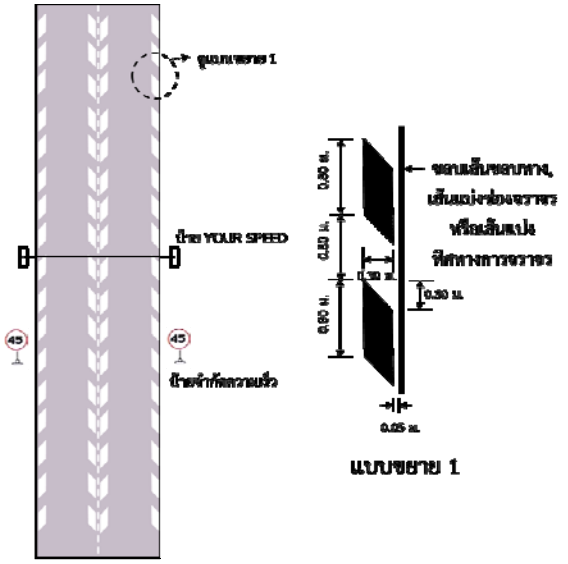


รูปที่ 4 มาตรฐานของป้ายจราจรแขวนสูงแบบคร่อมผิวจราจร [19]

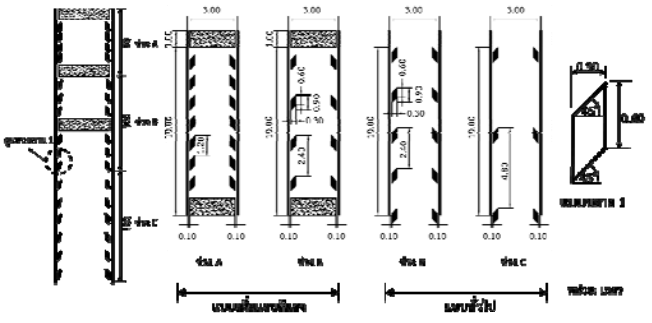
2.3 แถบลดความกว้างช่องจราจร

แถบลดความกว้างช่องจราจร (OSB) เป็นการทาสีเส้นจราจรบนพื้นทาง เพื่อลดขนาดของช่องจราจรให้แคบลง ซึ่งทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกเสมือนว่ารถกำลังวิ่งในช่องจราจรที่มีขนาดเล็กลง จนต้องชะลอความเร็ว รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างขนาดแถบลดความกว้างช่องจราจรของกรมทางหลวง ส่วนตัวอย่างของกรมทางหลวงชนบทแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแถบลดความกว้างช่องจราจรของทั้ง 2 หน่วยงานมีรูปแบบคล้ายกันคือเป็นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน แต่ขนาดของกรมทางหลวง (0.80 เมตร) ยาวกว่าของกรมทางหลวงชนบท (0.60 เมตร) เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากความเร็วที่ใช้บนถนนของกรมทางหลวงสูงกว่าถนนของกรมทางหลวงชนบท แถบของเส้นจึงมีขนาดยาวกว่า

ในรูปที่ 6 แถบลดความกว้างช่องจราจรของกรมทางหลวงชนบทแบ่งได้ 2 รูปแบบ คือ 1) แถบลดความกว้างช่องจราจรแบบทั่วไป และ 2) แบบที่มีการทาแถบสีแดงเพิ่มเติม ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบดังกล่าวมีความแตกต่างกันที่ระยะทางในการติดตั้งและแถบวัสดุสีแดงที่เคลือบผิวจราจรเพื่อต้านทานการลื่นไถล และเพื่อเพิ่มจุดเด่นในการมองเห็นเส้นทาง



รูปที่ 5 ตัวอย่างขนาดแถบลดความกว้างช่องจราจรของกรมทางหลวง [20]



รูปที่ 6 ตัวอย่างขนาดแถบลดความกว้างช่องจราจรของกรมทางหลวงชนบท [21]

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ขอบเขตเส้นทางศึกษา

งานวิจัยนี้มีเส้นทางศึกษาดังในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นถนนทางหลวงชนบท สาย สข. 2031 ช่วงที่ผ่านโรงเรียนวัดเขากลอย ต.ท่าข้าม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา เส้นทางนี้เป็นเส้นทางตรงจากนอกเมืองมุ่งสู่ชุมชนวัดเขากลอย และมีทางแยกสัญญาณไฟจราจร เส้นทางนี้ได้ถูกปรับปรุงสภาพและผิวจราจรพร้อมติดตั้งป้ายจราจรลดความเร็วแขวนสูงแบบแขนยื่นและแถบลดความกว้างช่องจราจรในแนวตะวันออกสู่ตะวันตก ผิวทางลาดยางขนาด 2 ช่องจราจร (1 ช่องต่อทิศทาง) กว้างช่องละ 3 เมตร และมีไหล่ทางกว้าง 3 เมตร

เส้นทางศึกษาได้เปิดให้บริการมาตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ส่วนการสำรวจข้อมูลของการศึกษานี้ได้ดำเนินการในเดือนมิถุนายนของปีเดียวกัน โดยมีสมมติฐานว่าผู้ใช้ทางขับขี่ด้วยความเร็วที่คุ้นชินกับสภาพเส้นทางแล้ว อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ไม่นำข้อมูลความเร็วของยานพาหนะที่แล่นผ่านถนนช่วงก่อนมีการติดตั้งอุปกรณ์ชะลอความเร็วมาพิจารณา เนื่องจากมีการปรับปรุงสภาพผิวทางร่วมด้วย ซึ่งอาจส่งผลต่อความเร็วของยานพาหนะ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเน้นเปรียบเทียบประสิทธิผลของอุปกรณ์ชะลอความเร็วระหว่างช่วงก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์ชะลอความเร็วแต่ละตำแหน่งในรูปที่ 7 โดยตำแหน่ง 0 เมตร คือ ทางแยกสัญญาณไฟ ตำแหน่ง 0-200 เมตร คือ ช่วงที่มี OSB แบบเพิ่มแถบสีแดง ตำแหน่ง 200-350 เมตร คือ ช่วงที่มี OSB แบบทั่วไป และ ตำแหน่ง 500 เมตร คือ ตำแหน่งป้ายแขวนสูง ทั้งนี้ ระยะ 0-100 เมตร เป็นช่วงที่ผู้ขับขี่มองเห็นทางแยกได้ชัดเจน ดังนั้น ระยะที่พิจารณา OSB แบบเพิ่มแถบสีแดง ครอบคลุมเพียง 100-200 เมตร 3.2 การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

ในงานวิจัยได้สำรวจข้อมูลภาคสนามประกอบด้วยข้อมูลกายภาพของเส้นทางศึกษาและตำแหน่งที่ติดตั้งป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่นและแถบลดความกว้างช่องจราจร และข้อมูลความเร็วของรถยนต์ (ทั้งรถเก๋งและรถกระบะ) โดยไม่พิจารณารถจักรยานยนต์เนื่องจากส่วนใหญ่ขับขี่บนไหล่ทางที่ค่อนข้างกว้าง (3 เมตร) ทั้งนี้ การศึกษาในอนาคตอาจพิจารณาการใช้ความเร็วของรถจักรยานยนต์เพิ่มเติม

การสำรวจข้อมูลความเร็วของรถยนต์ได้ดำเนินการในช่วงเวลาที่มีการไหลของกระแสจราจรเป็นแบบอิสระ ของวันศุกร์ที่ 7 และวันพฤหัสบดีที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2562 โดยใช้วิธีการสำรวจความเร็วแบบเฉพาะจุด (Spot Speed) บริเวณก่อนและหลังผ่านตำแหน่งของอุปกรณ์ชะลอความเร็วแต่ละชนิด โดยกำหนดตำแหน่งจุดสำรวจข้อมูลความเร็วทุกระยะ 100 เมตร (ดังรูปที่ 7) เพื่อนำข้อมูลความเร็วที่สำรวจได้ (400 ตัวอย่างต่อจุดสำรวจ) มาจัดทำกราฟความเร็วตามระยะทาง (Speed Profile) และวิเคราะห์หาสมการแนวโน้มการใช้ความเร็วตลอดช่วงถนนที่พิจารณา

นอกจากนี้ ยังได้สำรวจความเร็วแบบเฉลี่ยช่วงถนน (Space Mean Speed) ของยานพาหนะแต่ละคันที่ผ่านอุปกรณ์ชะลอความเร็วแต่ละชนิด โดยใช้ข้อมูลภาพวีดิทัศน์จากอากาศยานไร้คนขับ (Drone) เพื่อนำข้อมูลความเร็วมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ความเร็วของรถยนต์แต่ละคันก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์ชะลอความเร็วแต่ละชนิด

รูปที่ 7 เส้นทางศึกษา

3.3 วิธีการประเมินประสิทธิผล

งานวิจัยนี้ประเมินประสิทธิผลของการติดตั้งป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่นและแถบลดความกว้างช่องจราจร โดยวิเคราะห์และเปรียบเทียบความเร็วของรถยนต์ก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์ชะลอความเร็วแต่ละชนิดว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยคำนวณได้จากสมการที่ 1 [22]

$$t = \frac{\left|\overline{u}_{Before} - \overline{u}_{After}\right|}{\sqrt{\frac{SD^2_{Before}}{n_{Before}} + \frac{SD^2_{After}}{n_{After}}}} \quad (1)$$

โดยที่ t คือ ค่าสถิติจากการทดสอบแบบที (t-test)

$\overline{u}_{Before}$ คือ ค่าเฉลี่ยของความเร็วรถยนต์ก่อนตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ชะลอความเร็ว (กม./ชม.)

$\overline{u}_{After}$ คือ ค่าเฉลี่ยของความเร็วรถยนต์หลังตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ชะลอความเร็ว (กม./ชม.)

SD_{Before} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วรถยนต์ก่อนตำแหน่งอุปกรณ์ชะลอความเร็ว (กม./ชม.)

SD_{After} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วรถยนต์หลังตำแหน่งอุปกรณ์ชะลอความเร็ว

n คือ จำนวนตัวอย่างความเร็วรถยนต์ (คัน)

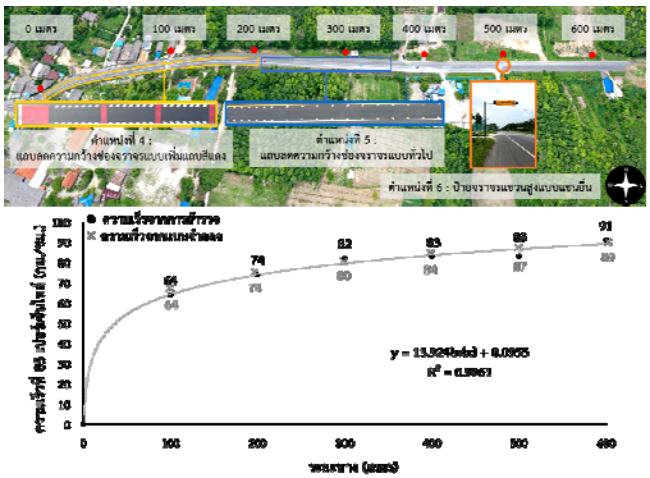
จากสมการที่ 1 หากค่า t ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าสถิติวิกฤต (t_C) แสดงว่า ข้อมูลความเร็วรถยนต์ก่อนและหลังตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ชะลอความเร็ว แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่หากมีค่าน้อยกว่า t_C แสดงว่า แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้ค่า t_C หาได้จากตำราสถิติทั่วไป เช่น [23]

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ความเร็วบนเส้นทางศึกษา

ข้อมูลความเร็วรถยนต์ถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นไทล์ของแต่ละจุดสำรวจ (ทุก 100 เมตร) และเขียนกราฟ Speed Profile ระหว่างระยะทางและความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นไทล์ รวมทั้งแสดงแบบจำลองแนวโน้มการใช้ความเร็วตลอดเส้นทางศึกษาแบบลอการิทึม (Logarithmic Trendline) ดังรูปที่ 8 ทั้งนี้ การสร้างแบบจำลองลอการิทึมได้กำหนดให้ความเร็วที่ระยะ 0 เมตร (เส้นหยุด) มีค่าน้อยมาก (กำหนดเป็น 0.01 กม./ชม.) เนื่องจากผู้ขับขี่ชะลอหรือหยุด แบบจำลองที่ได้ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.9961 ซึ่งมีค่าสูงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่อได้

จากรูปที่ 8 ภาพรวมของการใช้ความเร็วบนเส้นทางศึกษาพบว่า ระยะทางที่ไกลเกินกว่า 500 เมตร (จุดที่มีป้ายแขวนสูง) มีการใช้ความเร็วค่อนข้างสูง (มากกว่า 83 กม./ชม.) เมื่อเข้ามาในช่วง 500 ถึง 300 เมตร การใช้ความเร็วลดลงเล็กน้อย คือ ลดจาก 83 กม./ชม. ที่ 500 และ 400 เมตร เป็น 82 กม./ชม. ที่ 300 เมตร ส่วนช่วง 300 ถึง 200 เมตร ซึ่งมี OSB แบบทั่วไป ความเร็วลดลง 8 กม./ชม. (74 กม./ชม. ที่ 200 เมตร) สำหรับช่วง 200 ถึง 100 เมตร ซึ่งมี OSB แบบเพิ่มแถบสีแดง ความเร็วลดลง 10 กม./ชม. (64 กม./ชม. ที่ 100 เมตร) สุดท้ายความเร็วในช่วง 100 ถึง 0 เมตร (เส้นหยุด) ลดลงอย่างชัดเจน จาก 64 กม./ชม. เหลือ 0.1 กม./ชม. ที่ 1 เมตร (ประมาณการจากแบบจำลองที่ได้) ซึ่งสอดคล้องกับสภาพของเส้นทางศึกษาที่รถยนต์ส่วนใหญ่ชะลอความเร็วหรือหยุดรถก่อนเข้าทางแยกสัญญาณไฟจราจร และสอดคล้องกับข้อมูลภาคสนาม ที่พบว่า ผู้ขับขี่เริ่มเห็นทางแยกที่ระยะ 100 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลความเร็วที่ลดลงอย่างชัดเจนในช่วง 100 ถึง 0 เมตร ดังนั้น ในบทความนี้การวิเคราะห์ประสิทธิผลของ OSB แบบเพิ่มแถบสีแดง พิจารณาเฉพาะช่วง 100 ถึง 200 เมตร ส่งผลการวิเคราะห์กล่าวในหัวข้อถัดไป



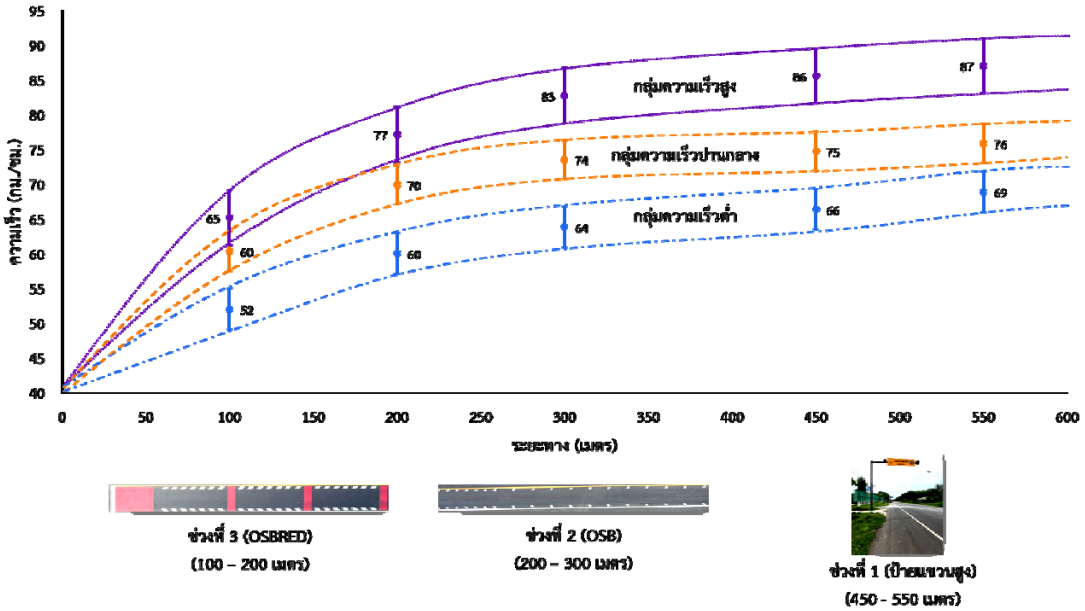
รูปที่ 8 ความเร็วและแบบจำลองแนวโน้มการใช้ความเร็วของรถยนต์บนเส้นทางศึกษา

4.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิผลของอุปกรณ์ชะลอความเร็ว

ประสิทธิผลของอุปกรณ์ชะลอความเร็วต่อการใช้ความเร็วพิจารณาจากความแตกต่างของความเร็วรถยนต์แต่ละคันก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์ชะลอความเร็วแต่ละชนิดรวม 3 ช่วง โดยช่วงที่ 1 เป็นป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่น (ป้ายแขวนสูง) ช่วงที่ 2 เป็นช่วงถนนที่ติดตั้งแถบลดความกว้างช่องจราจรแบบทั่วไป (OSB) และช่วงที่ 3 เป็นช่วงถนนที่ติดตั้งแถบลดความกว้างช่องจราจรแบบเพิ่มแถบสีแดง (OSBRED) ข้อมูลความเร็วแบบเฉลี่ยช่วงถนน (Space Mean Speed) ที่นำมาวิเคราะห์ได้จากภาพวีดิทัศน์ของตัวอย่างรถยนต์จำนวน 25 คัน ที่อากาศยานไร้คนขับ (Drone) สามารถบันทึกได้ตลอดเส้นทางศึกษา คิดเป็นร้อยละ 10 ของปริมาณจราจรชั่วโมงเร่งด่วน โดยแบ่งกลุ่มความเร็วของรถยนต์ได้ 3 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มความเร็วสูง (11 คัน) กลุ่มความเร็วปานกลาง (8 คัน) และกลุ่มความเร็วต่ำ (6 คัน)

จากรูปที่ 9 พบว่า กลุ่มความเร็วสูง (มากกว่า 80 กม./ชม.) ที่ผ่านช่วงที่ 1 มีความเร็วเฉลี่ยก่อนและหลังผ่านป้ายแขวนสูง ลดจาก 87.04 เหลือ 85.60 กม./ชม. (ลดลง 1.44 กม./ชม. หรือ 1.65 %) ช่วงที่ 2 (OSB) ลดจาก 82.76 เหลือ 77.17 กม./ชม. (ลดลง 5.59 กม./ชม. หรือ 6.75 %) และช่วงที่ 3 (OSBRED) ลดจาก 77.17 เหลือ 65.19 กม./ชม. (ลดลง 11.98 กม./ชม. หรือ 15.52 %) ส่วนกลุ่มความเร็วปานกลาง (70 – 80 กม./ชม.) ช่วงที่ 1 ลดจาก 75.88 เหลือ 74.74 กม./ชม. (ลดลง 1.14 กม./ชม. หรือ 1.50 %) ช่วงที่ 2 ลดจาก 73.53 เหลือ 69.93 กม./ชม. (ลดลง 3.60 กม./ชม. หรือ 4.90 %) และช่วงที่ 3 ลดจาก 69.93 เหลือ 60.36 กม./ชม. (9.57 กม./ชม. หรือ 13.68 %) และกลุ่มความเร็วต่ำ (น้อยกว่า 70 กม./ชม.) ณ ช่วงที่ 1 ลดจาก 68.92 เหลือ 66.39 กม./ชม. (ลดลง 2.53 กม./ชม. หรือ 3.67 %) ช่วงที่ 2 ลดจาก 63.83 เหลือ 60.04 กม./ชม. (ลดลง 3.79 กม./ชม. หรือ 5.94 %) และช่วงที่ 3 ลดจาก 60.04 เหลือ 52.00 กม./ชม. (8.04 กม./ชม. หรือ 13.39 %) จากข้อมูลข้างต้น อาจกล่าวได้ว่า กลุ่มความเร็วสูงมีแนวโน้มเป็นผู้เดินทางผ่านชุมชน ส่วนกลุ่มความเร็วต่ำมีแนวโน้มเป็นผู้เดินทางย่านบริเวณศึกษา สุดท้ายกลุ่มความเร็วปานกลาง อาจเป็นผู้เดินทางระหว่างสองกลุ่มข้างต้น

นอกจากนี้ เมื่อประเมินประสิทธิผลของอุปกรณ์ชะลอความเร็วต่อการใช้ความเร็วแต่ละช่วงด้วยการทดสอบ t-test โดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วที่วิเคราะห์ได้เพื่อหาค่า t และตรวจสอบกับค่า t_C ผลแสดงในตารางที่ 1 พบว่า การใช้ความเร็วก่อนและหลังป้ายแขวนสูงของรถยนต์ทุกกลุ่มแตกแต่งอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนการใช้ความเร็วก่อนและหลังแถบลดความกว้างช่องจราจรทั้ง 2 รูปแบบ (OSB และ OSBRED) สามารถลดความเร็วของรถยนต์ทุกกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99



รูปที่ 9 ความเร็วของรถยนต์ที่ผ่านเส้นทางศึกษา เมื่อจำแนกตามกลุ่มความเร็ว

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิผลของอุปกรณ์ชะลอความเร็วที่มีต่อการใช้ความเร็ว

	ช่วงที่ 1 (ป้ายแขวนสูง)			ช่วงที่ 2 (OSB)			ช่วงที่ 3 (OSBRED)		
กลุ่มการใช้ความเร็ว (กม./ชม.)	**ก่อน** (ตำแหน่ง 550 เมตร)	**หลัง** (ตำแหน่ง 450 เมตร)	**ค่า *t***	**ก่อน** (ตำแหน่ง 300 เมตร)	**หลัง** (ตำแหน่ง 200 เมตร)	**ค่า *t***	**ก่อน** (ตำแหน่ง 200 เมตร)	**หลัง** (ตำแหน่ง 100 เมตร)	**ค่า *t***
สูง	87	86	0.428	83	77	4.256*	77	65	7.762*
ปานกลาง	76	75	0.450	74	70	3.501*	70	60	5.933*
ต่ำ	69	66	1.721	64	60	5.098*	60	52	4.274*

* คือ อุปกรณ์ชะลอความเร็วส่งผลต่อความเร็วอย่างมีนัยสำคัญที่ 99%
(กลุ่มความเร็วสูง ปานกลาง และต่ำ มีค่า t_C เท่ากับ 2.845 2.977 และ 3.169 ตามลำดับ)

4.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิผลระหว่างอุปกรณ์ชะลอความเร็วแต่ละชนิด

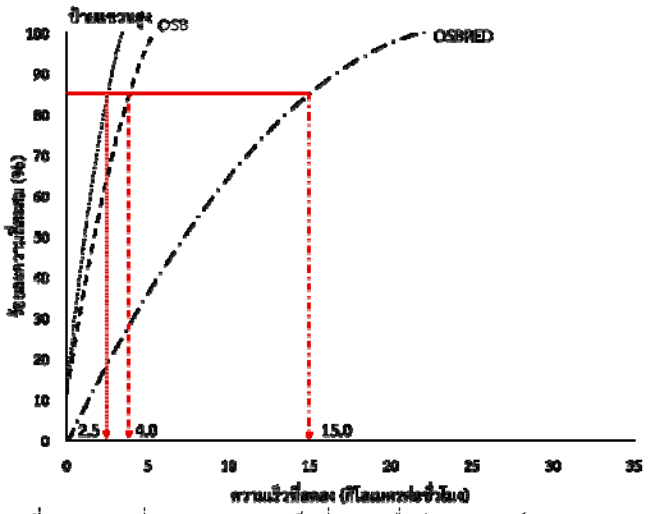
จากผลการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมา มีคำถามว่า อุปกรณ์ชะลอความเร็วทั้ง 3 ชนิดลดความเร็วรถยนต์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ในการวิเคราะห์ได้ใช้ข้อมูลความเร็วรถยนต์แต่ละคันก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์ชะลอความเร็วแต่ละชนิดที่บันทึกจาก Drone โดยแบ่งบันทึกข้อมูล 3 ช่วงระยะทางตามชนิดของอุปกรณ์ชะลอความเร็ว ได้ตัวอย่างช่วงป้ายแขวนสูง 21 คัน ช่วง OSB 43 คัน และช่วง OSBRED 64 คัน รวมทั้งสิ้น 128 คัน คิดเป็นร้อยละ 47 ของปริมาณจราจรชั่วโมงเร่งด่วน

ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาเขียนกราฟร้อยละความถี่สะสมของความเร็วที่ลดลงเมื่อผ่านอุปกรณ์แต่ละชนิด (รูปที่ 10) และเปรียบเทียบความเร็วที่ลดลงระหว่างอุปกรณ์แต่ละชนิด (ตารางที่ 2) ทั้งนี้ ตัวอย่างข้อมูลความเร็วของแต่ละอุปกรณ์ในตารางที่ 2 มีจำนวนไม่เท่ากัน เพราะ Drone มีข้อจำกัดด้านระดับการบินในเส้นทางนี้ จึงบันทึกรถยนต์ที่ผ่านแต่ละอุปกรณ์ได้ไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างนี้ไม่ส่งผลต่อการประเมินในตารางที่ 2 เพราะการเปรียบเทียบประสิทธิผลในสมการที่ 1 ได้ใช้จำนวนตัวอย่างร่วมวิเคราะห์ด้วย

จากรูปที่ 10 พบว่า 85 เปอร์เซ็นไทล์ของความเร็วที่ลดลงเมื่อผ่านป้ายแขวนสูง เท่ากับ 2.5 กม./ชม. ส่วน OSB และ OSBRED มีค่าเท่ากับ 4.0 และ 15.0 กม./ชม. ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความเร็วที่ลดลงระหว่างอุปกรณ์ชะลอความเร็วแต่ละคู่ ประกอบด้วย 1) ป้ายแขวนสูงกับ OSB 2) ป้ายแขวนสูงกับ OSBRED และ 3) OSB กับ OSBRED ผลการวิเคราะห์ t-test ของความเร็วที่ลดลง (ตารางที่ 2) พบว่า ป้ายแขวนสูงกับ OSB แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนป้ายแขวนสูงกับ OSBRED และ OSB กับ OSBRED แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 กล่าวได้ว่า ป้ายแขวนสูง ลดความเร็วของรถยนต์ได้ในทิศทางคล้ายกับ OSB คือแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ให้ผลแตกต่างกับ OSBRED อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง OSB ทั้ง 2 รูปแบบ พบว่า ความเร็วที่ลดลงจากการใช้ OSBRED แตกต่างจากการใช้ OSB อย่างมีนัยสำคัญ

หากเรียงลำดับประสิทธิผลในการลดความเร็วของอุปกรณ์ชะลอความเร็วทั้ง 3 ชนิดข้างต้น อาจสรุปได้ว่า OSBRED > OSB ≈ ป้ายแขวนสูง อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้อาจมีผลกระทบจากทางแยกต่อการลดความเร็วในช่วงปลายของ OSBRED ดังนั้น การศึกษาในอนาคตควรเลือกเส้นทางศึกษาอื่นที่ไม่มีผลกระทบของทางแยกมาเกี่ยวข้อง



รูปที่ 10 ความถี่สะสมของความเร็วที่ลดลงเมื่อผ่านอุปกรณ์ชะลอความเร็วแต่ละชนิด

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิผลของอุปกรณ์ชะลอความเร็วที่มีความเร็วที่ลดลง

	เปรียบเทียบคู่ที่ 1		**เปรียบเทียบคู่ที่ 2**		**เปรียบเทียบคู่ที่ 3**	
ตัวชี้วัด	ป้ายแขวนสูง	OSB	ป้ายแขวนสูง	OSBRED	OSB	OSBRED
ค่าเฉลี่ย (กม./ชม.)	2.93	2.90	2.93	11.05	2.90	11.05
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กม./ชม.)	2.94	2.11	2.94	5.78	2.11	5.78
จำนวนตัวอย่าง (คัน)	21	43	21	64	43	64
ตรวจสอบความเร็วที่ลดลงของแต่ละชนิดจะให้ผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่						
ค่า t	0.042		8.404		10.304	
ค่า t_C (ความเชื่อมั่นร้อยละ 99)	3.455		3.412		3.386	
ความเร็วที่ลดลงแตกต่างกัน	ไม่มีนัยสำคัญ		มีนัยสำคัญ		มีนัยสำคัญ	

สุดท้ายเมื่อนำผลของการศึกษานี้ เปรียบเทียบกับผลการศึกษาในต่างประเทศ เช่น Austroads [24] ดังตารางที่ 3 พบว่า ป้ายแขวนสูงของการศึกษานี้ลดความเร็วได้น้อยกว่า 1.1 กม./ชม. เช่นเดียวกัน OSB ที่ลดความเร็วได้น้อยกว่า 4.0 กม./ชม. ส่วน OSBRED ไม่สามารถเปรียบเทียบได้ เนื่องจากไม่ปรากฏข้อมูลการใช้งาน OSBRED ใน Austroads [24]

จากผลการเปรียบเทียบข้างต้น อาจกล่าวได้ว่า ป้ายแขวนสูงและ OSB ให้ค่าความเร็วที่ลดลง ใกล้เคียงแต่ยังน้อยกว่าผลการศึกษาในต่างประเทศ อาจเนื่องจากพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ไม่ปฏิบัติตามอุปกรณ์ชะลอความเร็วเท่าที่ควร หรืออาจไม่เข้าใจอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งเป็นประเด็นที่ควรวิจัยเพิ่มเติม

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความเร็วที่ลดลงของอุปกรณ์ชะลอความเร็ว

อุปกรณ์ชะลอความเร็ว	**ความเร็วที่ลดลง (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)**		
	งานวิจัยนี้	**Austroads [24]**	**ผลต่าง**
ป้ายแขวนสูง	2.5	3.6	- 1.1
OSB	4.0	8	- 4.0
OSBRED	15.0	ไม่ปรากฏข้อมูล	-

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิผลของการติดตั้งป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่นและแถบลดความกว้างช่องจราจรต่อการลดความเร็วของรถยนต์ก่อนเข้าเขตชุมชน โดยเลือกถนนทางหลวงชนบท สข. 2031 ช่วงผ่านโรงเรียนวัดเขากลอย เป็นเส้นทางศึกษา พบว่า จากรถยนต์ที่ผ่านเส้นทางศึกษาซึ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่มความเร็ว (สูง ปานกลาง และต่ำ) ป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่นลดความเร็วของรถยนต์ทั้ง 3 กลุ่มอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่แถบลดความกว้างช่องจราจรแบบทั่วไปและแบบเพิ่มแถบสีแดง ลดความเร็วของรถยนต์ทุกกลุ่มได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์รายละเอียดของความเร็วที่เปลี่ยนแปลงก่อนและหลังผ่านอุปกรณ์แต่ละชนิด พบว่า 85 เปอร์เซ็นไทล์ของความเร็วที่ลดลง มีค่าเท่ากับ 2.5 กม./ชม. (ลดลง 3.52 %) 4.0 กม./ชม. (ลดลง 3.50 %) และ 15.0 กม./ชม. (ลดลง 14.82 %) ตามลำดับ สุดท้ายเมื่อจัดลำดับประสิทธิภาพในการลดความเร็วของอุปกรณ์แต่ละชนิดจากมากไปน้อย พบว่า แถบลดความกว้างช่องจราจรแบบเพิ่มแถบสีแดง แถบลดความกว้างช่องจราจรแบบทั่วไป และป้ายจราจรแขวนสูงแบบแขนยื่น ตามลำดับ ผลจากงานวิจัยนี้ อาจใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงประสิทธิผลของอุปกรณ์ชะลอความเร็วทั้งสามชนิดข้างต้น หรืออาจใช้เป็นแนวทางในการจัดการความเร็วที่ปลอดภัยของบริเวณก่อนเข้าเขตชุมชนอื่นต่อไป

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้อาจมีข้อจำกัดของเส้นทางศึกษา เช่น ทางแยกอาจส่งผลต่อความเร็วที่ลดลง งานวิจัยในอนาคตควรศึกษาเพิ่มเติมช่วงถนนทางยาวที่ไม่มีทางแยก รวมทั้งการใช้พื้นที่ข้างทาง ซึ่งอยู่ระหว่างการวิจัยขั้นต่อไปของคณะผู้วิจัย อีกทั้งศึกษาความเร็วของยานพาหนะประเภทอื่น เช่น รถจักรยานยนต์ และรถขนาดใหญ่ เป็นต้น รวมถึงประเด็นความเข้าใจและการปฏิบัติตามอุปกรณ์ชะลอความเร็วของผู้ขับขี่

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยคนที่ 1 ขอขอบพระคุณทุนบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2561 วิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization (WHO). Global status report on road safety. 2015.

[2] World Health Organization (WHO). Global status report on road safety. 2018.

[3] สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง. อุบัติเหตุจราจรบนทางหลวงแผ่นดิน ปี 2559.

[4] สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง. อุบัติเหตุจราจรบนทางหลวงแผ่นดิน ปี 2556 – 2560.

[5] กรมทางหลวงชนบท. รายงานจำนวนอุบัติเหตุจำแนกตามมูลเหตุสันนิษฐานด้านผู้ขับขี่ ปี 2556 – 2560 เข้าถึงได้จาก: www.arms.drr.go.th/report [เข้าถึงเมื่อ 31 มีนาคม 2562]

[6] Transport Accident Commission (TAC). Safer Speeds. Available from: www.tac.vic.gov.au/road-safety/towards-zero/safer-speeds [Accessed 1st Apr 2019].

[7] เดลินิวส์. 2562. เปิดวาร์ป'นวัตกรรม 4 มิติ ลดตายบนถนน. เข้าถึงได้จาก: www.dailynews.co.th/article/686524 [เข้าถึงเมื่อ 30 ตุลาคม 2562].

[8] กรมทางหลวงชนบท. ยกระดับคุณภาพชีวิตทั่วไทย รุดหน้าสานต่อโครงการถนนหน้าโรงเรียนปลอดภัย อีก 770 แห่ง ในปี 2562. 2562.

[9] มูลนิธิไทยโรดส์. พิมพ์เขียวแนวทางการจัดการความเร็วเพื่อความปลอดภัยทางถนนของประเทศไทย. 2560.

[10] องค์การอนามัยโลก เอเชียตะวันออกเฉียงใต้. ชีวีปลอดภัย – เอกสารทางเทคนิคเพื่อความปลอดภัยทางถนน. 2560.

[11] Wramborg P. *A new approach to a safe and sustainable road structure and street design for urban areas*. 2005.

[12] ปรเมศวร์ เหลือเทพ. *วิศวกรรมจราจรจากทฤษฎีสู่ปฏิบัติ* (พิมพ์ครั้งที่ 1). คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2561. หน้า 8-12.

[13] Jateikiene L, Andriejauskas T, Lingyte I, Jasiuniene V. Impact assessment of speed calming measures on road safety. *Transportation Research Procedia*. 2016; 4228-4236.

[14] เปมิช บุณยะเวศ. *การศึกษาการใช้การสยบการจราจรในประเทศไทย*: กรณีศึกษาหาดใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญา, วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2548.

[15] Galante F, Mauriello F, Montella A, Pernetti M, Aria M, Ambrosio A. Traffic calming along rural highways crossing small urban communities: Driving simulator experiment. *Accident Analysis and Prevention*. 2010;42: 1585-1594.

[16] 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; 1947-1954.

[17] ปิติ จันทรุไทย. การประเมินประสิทธิผลมาตรการด้านวิศวกรรมจราจร เพื่อลดความเร็วในการเดินทางเข้าสู่ย่านชุมชน. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. 2560. 12(1): 81-93.

[18] สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวงชนบท. แบบมาตรฐานงานทาง. 2561.

[19] สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวงชนบท. คู่มือการติดตั้งป้ายจราจร. 2556.

[20] สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง. ตัวอย่างการติดตั้งแถบทางตรง. ม.ป.ป.

[21] สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวงชนบท. แบบแนะนำงานปรับปรุงความปลอดภัยบริเวณหน้าโรงเรียน. 2560.

[22] Garber N, Hoel L. *Traffic and highway engineering fourth edition*. University of Virginia; 2009.

[23] Dougherty C. *Introduction to Econometrics. (2nd, ed)*. Oxford: Oxford University Press; 2002.

[24] Austroads. *Achieving Safe System Speeds on Urban Arterial Roads: Compendium of Good Practice*. 2016.