การประเมินประสิทธิภาพของป้ายแจ้งเตือนความเร็วแบบพลังงานแสงอาทิตย์บนทางพิเศษบูรพาวิถี

A PERFORMANCE EVALUATION OF SOLAR POWER RADAR SPEED SIGN ON BURAPHA WITHI EXPRESSWAY

จิรวัฒน์ เพลิงศรีทอง[1,*], ศิวัช ปัญญาชัยวัฒนากุล[1], พรณรงค์ เลื่อนเพ็ชร[2] และ เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร[3]
[1] วิศวกร กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[2] วิศวกร กองวางแผนปฏิบัติการ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[3] ผู้อำนวยการ กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[*]Corresponding author address: Jirawat.exat@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพก่อนและหลังการติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วแบบพลังงานแสงอาทิตย์ บริเวณ กม. 14+600 I, 24+100 O และ 32+500 I บนทางพิเศษบูรพาวิถี ซึ่งได้รับการวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุ (Dangerous Factor) ว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ผลการศึกษาพบว่า พฤติกรรมการใช้ความเร็วภายในพื้นที่ศึกษามีความแตกต่างกันตามประเภทของยานพาหนะและตำแหน่งที่ดำเนินการติดตั้ง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 ของความเร็วเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วแบบพลังงานแสงอาทิตย์บนทางพิเศษบูรพาวิถี พบว่า ยานพาหนะส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดการใช้ความเร็วลงโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 1.28 ถึงแม้ว่าแนวโน้มการใช้ความเร็วจะลดลงแต่เมื่อเปรียบเทียบกับขีดจำกัดความเร็ว ตาม พรบ. จราจรทางบก พ.ศ. 2522 ตามที่กฎหมายกำหนด พบว่า การใช้ความเร็วของยานพาหนะยังมีค่ามากกว่าความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด ดังนั้น การทางพิเศษแห่งประเทศไทยจึงควรพิจารณาดำเนินการกำหนดขีดจำกัดของความเร็วที่เหมาะสม รวมทั้งปรับปรุงลักษณะทางกายภาพด้วยการนำมาตรการควบคุมความเร็วต่างๆ ที่เหมาะสม อีกทั้งใช้มาตรการด้านการบังคับใช้กฎหมายโดยการติดตั้งกล้องตรวจจับความเร็วแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะสามารถควบคุมพฤติกรรมการใช้ความเร็วของยานพาหนะและนำไปสู่การลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดจากความเร็วบนทางพิเศษบูรพาวิถีได้

คำสำคัญ: *อุบัติเหตุ, พฤติกรรมการใช้ความเร็ว, ขีดจำกัดความเร็ว, เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 ของความเร็ว, ทางพิเศษบูรพาวิถี*

Abstract

This study aims to evaluate the performance of solar power radar speed sign before and after the installation at Km.14+600 inbound, Km.24+100 outbound and Km.32+500 inbound which are considered as the high-risk accident locations on Burapha Withi Expressway. The result indicates that vehicle speed in the study areas varies by vehicle type and location. Considering the comparison of the 85th percentile speed between before and after the installation of the solar power radar speed sign, this study reveals that vehicle speed tends to reduce by approximately 1.28%. However, it is still above the speed limit. Therefore, Expressway Authority of Thailand, as an administration organization, should consider setting up the appropriate speed limit on expressway as well as improving physical appearance and appropriate speed control countermeasures. The contribution in this study will lead to the initiation of the countermeasure against the over speeding and reduce the accidents caused by vehicles exceeding the speed limit on the expressway.

Keywords: *Accident, Speed Behavior, Speed Limit, The 85th Percentile Speed, Burapha Withi Expressway*

1. บทนำ

อุบัติเหตุทางถนนเป็นต้นเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมโดยรวม ซึ่งสถิติจำนวนผู้เสียชีวิตและผู้บาดเจ็บจากอุบัติเหตุทางถนนทั่วโลกยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และยังไม่สามารถบรรลุเป้าหมายเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) ภายในปี 2563 ในด้านความปลอดภัยทางถนนที่มุ่งลดจำนวนผู้เสียชีวิตและผู้บาดเจ็บจากอุบัติเหตุทางถนนลงครึ่งหนึ่งภายในปี พ.ศ. 2573 สำหรับประเทศไทยจำนวนผู้เสียชีวิตและผู้บาดเจ็บจากอุบัติเหตุทางถนนในประเทศไทยภาพรวมมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ประเทศไทยยังคงเป็นประเทศที่มีผู้เสียชีวิตสูงที่สุดอันดับหนึ่งในเอเชียและในภูมิภาคอาเซียน โดยจากสถิติคดีอุบัติเหตุการจราจรทางบกของประเทศไทยในระบบสารสนเทศสถานีตำรวจสำนักงานตำรวจแห่งชาติ (CRIMES) สาเหตุหลักของอุบัติเหตุที่เกิดจากบุคคลมาจากการขับรถเร็วเกินกว่ากฎหมายกำหนด โดยมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 49 [1]

สำหรับสถานการณ์เกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษปี 2562 ของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย [2] ตามสถิติพบว่า ทางพิเศษที่มีจำนวนครั้งในการเกิดอุบัติเหตุสะสมตั้งแต่ปี 2558 ถึง 2562 จำนวน

3 อันดับแรก ได้แก่ ทางพิเศษศรีรัช ทางพิเศษกาญจนาภิเษก (บางพลี-สุขสวัสดิ์) และทางพิเศษบูรพาวิถี ตามลำดับ แต่หากพิจารณามูลค่าความเสียหายของทรัพย์สินบนทางพิเศษ พบว่าทางพิเศษบูรพาวิถีมีมูลค่าความเสียหายมากที่สุด คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1.46 ล้านบาท รองลงมาได้แก่ ทางพิเศษเฉลิมมหานคร คิดเป็นมูลค่าความเสียหายประมาณ 0.86 ล้านบาท โดยสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษ 3 ลำดับแรก ประกอบด้วย การขับรถเร็วเกินกำหนด ร้อยละ 37.08 การเปลี่ยนช่องทางกะทันหันร้อยละ 23.79 และยางแตกร้อยละ 7.21 ตามลำดับ ดังนั้นจึงทำการติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วแบบพลังงานแสงอาทิตย์บนทางพิเศษบูรพาวิถี เพื่อประเมินประสิทธิภาพของป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ และศึกษาพฤติกรรมการใช้ความเร็วของยานพาหนะ เพื่อนำไปสู่มาตรการการควบคุมที่เหมาะสมในการลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพก่อนและหลังการติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วแบบพลังงานแสงอาทิตย์ บริเวณ กม. 14+600 I, 24+100 O และ 32+500 I บนทางพิเศษบูรพาวิถี ซึ่งได้รับการวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุ (Dangerous Factor) ว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ด้วยการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 (85^{th} percentile) ก่อนและหลังทำการติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ และเปรียบเทียบกับขีดจำกัดความเร็วตามกฎหมาย

2. การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. การใช้ความเร็ว

ลักษณะทางกายภาพของถนน สภาพอากาศ ประเภทของยานพาหนะ และค่าขีดจำกัดความเร็ว มีผลต่อการเลือกใช้ความเร็วในการขับขี่ยานพาหนะ โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบลักษณะทางกายภาพของถนนเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการกำหนดความเร็วในการขับขี่ [3] ซึ่งผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ความเร็วและขีดจำกัดความเร็วพบว่า ขีดจำกัดความเร็วในแต่ละพื้นที่มีผลต่อการใช้ความเร็วของยานพาหนะในกระแสจราจร ในการลดขีดจำกัดความเร็วลงเพียงเล็กน้อย จะมีประสิทธิภาพในการจัดการมากกว่าการลดขีดจำกัดความเร็วที่แตกต่างจากเดิมมาก โดยระบุว่า เมื่อลดขีดจำกัดความเร็วลง 10 กม./ชม. สำหรับทางพิเศษ ค่าเฉลี่ยของความเร็วจะลดลงประมาณ 4.0-4.5 กม./ชม. [4]

โดยที่ขีดจำกัดความเร็วตามกฎหมายของประเทศไทยตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ.2522) และฉบับที่ 10 (พ.ศ.2524) ออกตามความใน พระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ.2522 [5] มีการกำหนดขีดจำกัดความเร็วดังนี้

สำหรับรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์ในเขตกรุงเทพมหานคร เขตเมืองพัทยา หรือเขตเทศบาล ให้ขับขี่ด้วยความเร็วไม่เกิน 80 กม./ชม. และสำหรับนอกเขตดังกล่าว ให้ขับขี่ด้วยความเร็วไม่เกิน 90 กม./ชม.

สำหรับรถบรรทุกหรือรถบรรทุกคนโดยสาร ให้ขับในเขตกรุงเทพมหานคร เขตเมืองพัทยา หรือเขตเทศบาลไม่เกิน 60 กม./ชม. หรือนอกเขตดังกล่าวให้ขับไม่เกิน 80 กม./ชม. และสำหรับรถยนต์อื่นนอกจากรถที่ระบุขณะที่ลากจูงรถพ่วง ให้ขับในเขตกรุงเทพมหานคร เขตเมืองพัทยา หรือเขตเทศบาล ไม่เกิน 45 กม./ชม. หรือนอกเขตดังกล่าวให้ขับไม่เกิน 60 กม./ชม.

2.2. การจัดการความเร็ว

การจัดการความเร็วเป็นการจัดการปัญหาการใช้ความเร็วที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนและระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ความเร็ว เช่น พฤติกรรมของผู้ขับขี่ ลักษณะทางกายภาพของถนน สภาพอากาศ ประเภทของยานพาหนะ การบังคับใช้และขีดจำกัดความเร็วตามกฎหมาย

ป้ายแจ้งเตือนความเร็วเป็นหนึ่งมาตรการในการจัดการความเร็วบนถนนเพื่อช่วยการชะลอความเร็วบนท้องถนน (Traffic Calming) ในต่างประเทศได้มีการศึกษาประสิทธิภาพของป้ายแจ้งเตือนความเร็ว ดังนี้

Cruzado and Donnell [6] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของป้ายแจ้งเตือนความเร็ว dynamic speed display signs (DSDSs) ในรูปแบบที่เคลื่อนย้ายได้ โดยเน้นการศึกษาในพื้นที่ที่กำลังเข้าสู่เขต.เมือง (Transition Zones) ของรัฐเพนซิลเวเนีย สหรัฐอเมริกา ได้การสำรวจความเร็วในบนถนนก่อนและหลังการติดตั้งป้าย DSDSs โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเร็วเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 พบว่า ป้าย DSDSs มีประสิทธิภาพในการลดการใช้ความเร็วของยานพาหนะลงโดยเฉลี่ย 10 กม./ชม. ในขณะที่ถูกติดตั้งอยู่ แต่เมื่อนำป้าย DSDSs การใช้ความเร็วของยานพาหนะกลับมาเพิ่มขึ้น

Choulki Lee, et al. [7] ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพป้ายแจ้งเตือนความเร็ว speed-monitoring displays (SMDs) ในระยะสั้น และระยะยาว ในเขตโรงเรียน โดยวิเคราะห์หาความเร็วเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 จากการศึกษาในระยะสั้น พบว่า ความเร็วของยานพาหนะเริ่มลดลงเมื่อผู้ขับขี่สังเกตเห็นป้าย SMDs โดยความเร็วเฉลี่ยลดลงประมาณ 8.2 กม./ชม. สำหรับผลการศึกษาในระยะยาวพบว่า ความเร็วเฉลี่ยลดลง 5.8 กม./ชม. และความความเร็วที่ลดลงมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้พบว่าหลังจากการติดตั้งป้าย SMDs ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 ลดลงจาก 54.3 กม./ชม. เป็น 46.3 กม./ชม. สำหรับระยะสั้น และ 45.0 กม./ชม. สำหรับระยะยาว

นอกจากนี้ยังมีมาตรสำหรับการจัดการความเร็วในด้านอื่นๆ เช่น การใช้มาตรการทางกายภาพ และการมาตรการด้านบังคับใช้กฎหมาย (Enforcement) ที่จะช่วยจัดการปัญหาการใช้ความเร็วได้

3. วิธีการศึกษา

3.1. พื้นที่ศึกษา

การเลือกพื้นที่ศึกษาครั้งนี้พิจารณาทางพิเศษบูรพาวิถีซึ่งเป็นทางพิเศษที่เชื่อมต่อพื้นที่ชานเมืองด้านตะวันออกเฉียงใต้ของกรุงเทพฯ กับจังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นศูนย์กลางด้านอุตสาหกรรมและท่าเรือน้ำลึกที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย และยังเชื่อมต่อกับสนามบินนานาชาติสุวรรณภูมิ มีระยะทางทั้งสิ้น 55 กิโลเมตร โดยมีลักษณะทางกายภาพเป็นทางยกระดับขนาด 6 ช่องทางจราจร (3 ช่องทางจราจรต่อทิศทาง) แบ่งแยกทิศทางด้วยกำแพงคอนกรีตและมีไหล่ทางด้านซ้าย ตามสถิติการเกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษปีงบประมาณ 2562 พบว่าทางพิเศษสายนี้เป็นทางพิเศษที่มีสถิติจำนวนการเกิดอุบัติเหตุสะสมอยู่ใน 3 อันดับแรก โดยสาเหตุหลักการเกิดอุบัติเหตุอันดับแรกเกิดจากการใช้ความเร็วเกินกำหนด ทั้งนี้จึงได้กำหนดพื้นที่ในการศึกษาครั้งนี้จากผลการวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุ (Dangerous Factor) พบว่า กม. 14+600 I (ขาเข้า) กม.24+100 O (ขาออก) และ กม.32+500 I (ขาเข้า) บนทางพิเศษบูรพาวิถีเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุสูงเนื่องจากมีค่าระดับความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุมากกว่า 1.0 จึงได้ทำการติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วแบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อควบคุมการใช้ความเร็ว ซึ่งสายทางพิเศษและตำแหน่งติดตั้งของป้ายแจ้งเตือนความเร็วแสดงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 สายทางพิเศษบูรพาวิถีและพื้นที่ศึกษา

3.2. การเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลความเร็วของยานพาหนะแต่ละประเภทบนพื้นที่ศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (Sensor) ที่ติดตั้งอยู่ในระบบป้ายแจ้งเตือนความเร็วแบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกติดตั้งอยู่ที่ช่องทางจราจรขวาสุดของทางพิเศษบูรพาวิถีดังรูปที่2 ซึ่งระบบป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ สามารถส่งข้อมูลมาบันทึกที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) ในการเก็บข้อมูลความเร็วของยานพาหนะนั้นจะแบ่งประเภทของยานพาหนะออกเป็น 2 ประเภท คือ รถยนต์ 4 ล้อ และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ โดยระยะเวลาในการเก็บข้อมูลแบ่งเก็บเป็น 2 ช่วงคือ ก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็ว จำนวน 7 วันตลอด 24 ชั่วโมง และหลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็ว จำนวน 7 วันตลอด 24 ชั่วโมง

รูปที่ 2 ตำแหน่งติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วและตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (Sensor) ที่ใช้เก็บข้อมูล

3.3. การวิเคราะห์ข้อมูลความเร็ว

การวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วของยานพาหนะจะพิจารณาใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็ว โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็ว [8] ดังนี้

เปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 50 (The 50th percentile speed) เป็นค่ามัธยฐาน (Median) ของความเร็วที่อธิบายให้ทราบว่าผู้ขับขี่ยานพาหนะในพื้นที่ศึกษาใช้ความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ความเร็วใดของกระแสจราจร

เปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 (The 85th percentile speed) เป็นค่าที่อธิบายให้ทราบถึงขีดจำกัดบนของความเร็วที่ผู้ขับขี่ยานพาหนะสามารถเดินทางด้วยความเร็วนั้นอย่างปลอดภัย ในบางครั้งค่าดังกล่าวมักถูกพิจารณาเป็นค่าความเร็วที่ใช้ในการออกแบบส่วนของถนน รวมถึงเป็นเครื่องมือในการกำหนดขีดจำกัดความเร็วที่เหมาะสมต่อสภาพกระแสจราจร [4]

4. ผลการศึกษา

การวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้ความเร็วของยานพาหนะโดยพิจารณาใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วเพื่อประเมินประสิทธิภาพของป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ ผลการศึกษาในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

4.1. พื้นที่ กม. 14+600 I (ขาเข้า)

4.1.1. ก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

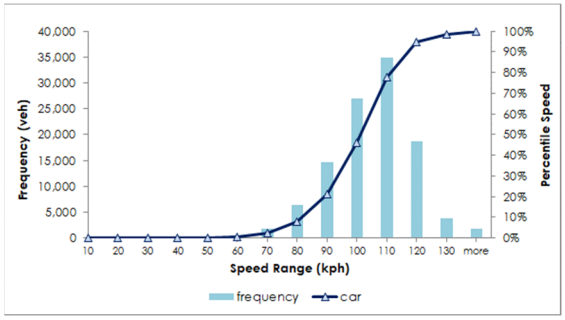
พื้นที่ กม. 14+600 I (ขาเข้า) ค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ โดยการวิเคราะห์ด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 50 ของยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 101.84 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 90.77 กม./ชม. สำหรับค่าความเร็วที่ใช้ในการพิจารณาขีดจำกัดความเร็ว ก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ ซึ่งค่า

เปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 ของยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 113.65 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 99.24 กม./ชม. แสดงดังตารางที่ 1

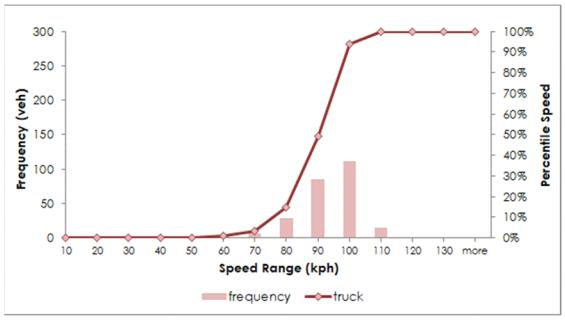
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความเร็วของยานพาหนะ กม. 14+600I (ขาเข้า) ก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

ประเภทยานพาหนะ	ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)	
	50th Percentile	85th Percentile
รถยนต์ส่วนบุคคล	101.84	113.65
รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ	90.77	99.24

สำหรับการกระจายตัวข้อมูลความเร็วของยานพาหนะแต่ละประเภทก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ แสดงดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคล กม. 14+600I (ขาเข้า) ก่อนติดตั้งป้ายฯ



รูปที่ 4 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ กม. 14+600I (ขาเข้า) ก่อนติดตั้งป้ายฯ

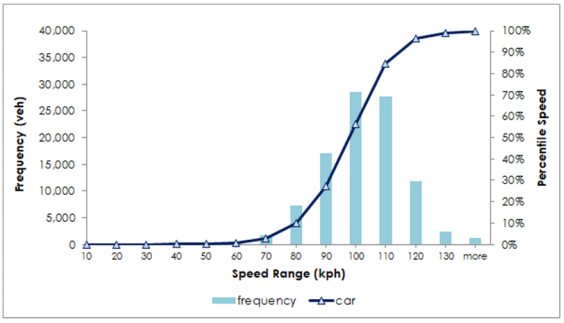
4.1.2. หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

พื้นที่ กม. 14+600 I (ขาเข้า) ค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรหลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ โดยการวิเคราะห์ด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 50 ของยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 98.64 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 87.12 กม./ชม. สำหรับค่าความเร็วที่ใช้ในการพิจารณาขีดจำกัดความเร็ว หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 ของยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 111.12 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 96.84 กม./ชม. แสดงดังตารางที่ 2

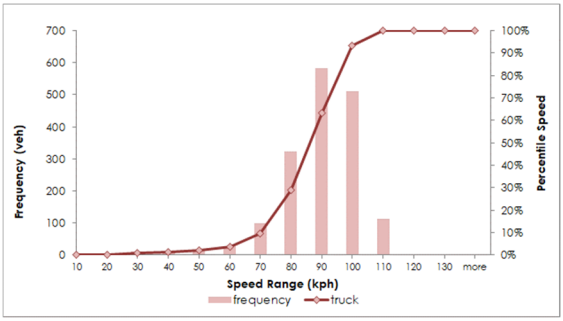
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความเร็วของยานพาหนะ กม. 14+600I (ขาเข้า) หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

ประเภทยานพาหนะ	ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)	
	50th Percentile	85th Percentile
รถยนต์ส่วนบุคคล	98.64	111.12
รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ	87.12	96.84

สำหรับการกระจายตัวข้อมูลความเร็วของยานพาหนะแต่ละประเภท หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ แสดงดังรูปที่ 5 และ 6



รูปที่ 5 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคล กม. 14+600I (ขาเข้า) หลังติดตั้งป้ายฯ



รูปที่ 6 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ กม. 14+600I (ขาเข้า) หลังติดตั้งป้ายฯ

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วขีดจำกัดบนแต่ละประเภทก่อนและหลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ ดังตารางที่ 3 พบว่า รถยนต์ส่วนบุคคล ค่าความเร็วขีดจำกัดบนลดลง 2.53 กม./ชม.คิดเป็นร้อยละ 2.23 และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ ค่าความเร็วขีดจำกัดบนลดลง 2.40 กม./ชม.คิดเป็นร้อยละ 2.42 แสดงให้เห็นว่า ป้ายแจ้งเตือน

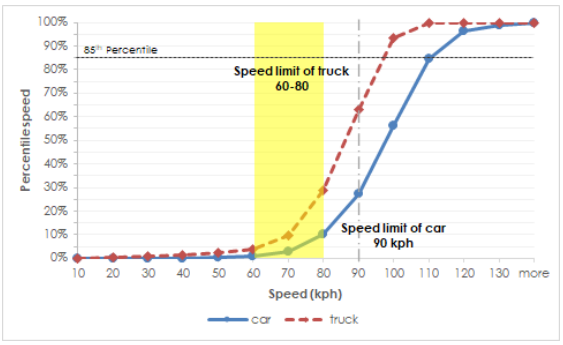
ความเร็วฯ กม. 14+600I (ขาเข้า) ทำให้แนวโน้มการใช้ความเร็วขีดจำกัดบนของรถยนต์ส่วนบุคคลและรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ ลดลง

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความเร็วขีดจำกัดบนของยานพาหนะ กม. 14+600 I (ขาเข้า) ก่อนและหลังติดตั้งป้ายฯ

ประเภทยานพาหนะ	ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)		ร้อยละความแตกต่าง
	85th Percentile ก่อน	85th Percentile หลัง	
รถยนต์ส่วนบุคคล	113.65	111.12	-2.23
รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ	99.24	96.84	-2.42

4.1.3. การเปรียบเทียบความเร็วของยานพาหนะกับขีดจำกัดความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด

หากเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของยานพาหนะ กม. 14+600I (ขาเข้า) หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ กับขีดจำกัดความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด โดยการพิจารณากราฟเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 ของแต่ละยานพาหนะพบว่า ยานพาหนะทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มใช้ความเร็วมากกว่าขีดจำกัดความเร็วที่กฎหมายกำหนด ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของยานพาหนะหลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ กม. 14+600I (ขาเข้า) กับขีดจำกัดความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด

4.2. พื้นที่ กม. 24+100 O (ขาออก)

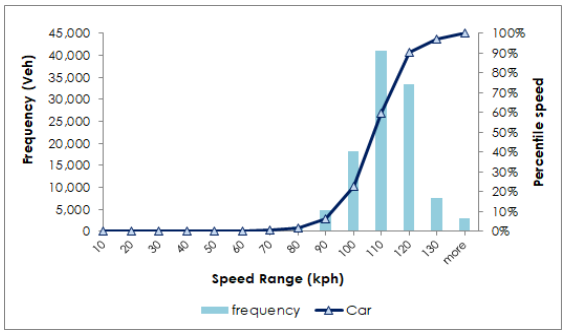
4.2.1. ก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

พื้นที่ กม. 24+100 O (ขาออก) ค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ โดยการวิเคราะห์ด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 50 ของยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 108.00 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 90.36 กม./ชม. สำหรับค่าความเร็วที่ใช้ในการพิจารณาขีดจำกัดความเร็วก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 ของยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 117.36 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 97.92 กม./ชม. แสดงดังตารางที่ 4

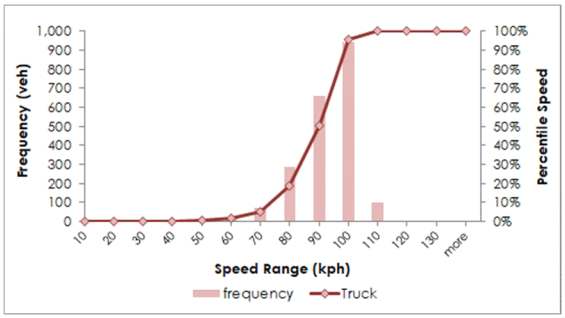
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความเร็วของยานพาหนะ กม. 24+100 O (ขาออก) ก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

ประเภทยานพาหนะ	ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)	
	50th Percentile	85th Percentile
รถยนต์ส่วนบุคคล	108.00	117.36
รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ	90.36	97.92

สำหรับการกระจายตัวข้อมูลความเร็วของยานพาหนะแต่ละประเภทก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ แสดงดังรูปที่ 8 และ9



รูปที่ 8 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคล กม. 24+100O (ขาออก) ก่อนติดตั้งป้ายฯ



รูปที่ 9 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ กม. 24+100 O (ขาออก) ก่อนติดตั้งป้ายฯ

4.2.2. หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

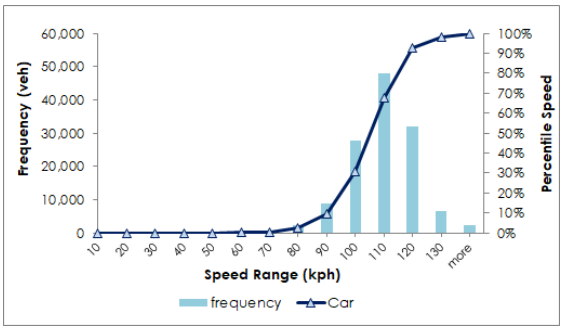
พื้นที่ กม. 24+100 O (ขาออก) ค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรหลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ โดยการวิเคราะห์ด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 50 ของยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 105.84 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 90.00 กม./ชม. สำหรับค่าความเร็วที่ใช้ในการพิจารณาขีดจำกัดความเร็ว หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 ของ

ยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 115.92 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 97.92 กม./ชม. แสดงดังตารางที่ 5

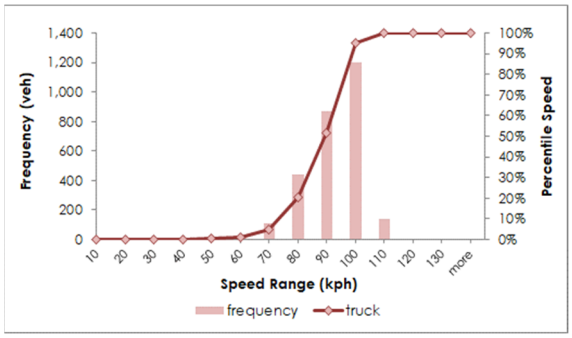
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความเร็วของยานพาหนะ กม.24+100 O (ขาออก) หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

ประเภทยานพาหนะ	ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)	
	50th Percentile	85th Percentile
รถยนต์ส่วนบุคคล	105.84	115.92
รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ	90.00	97.92

สำหรับการกระจายตัวข้อมูลความเร็วของยานพาหนะแต่ละประเภท หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ แสดงดังรูปที่ 10 และ 11



รูปที่ 10 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคล กม. 24+100 O (ขาออก) หลังติดตั้งป้ายฯ



รูปที่ 11 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ กม. 24+100 O (ขาออก) หลังติดตั้งป้ายฯ

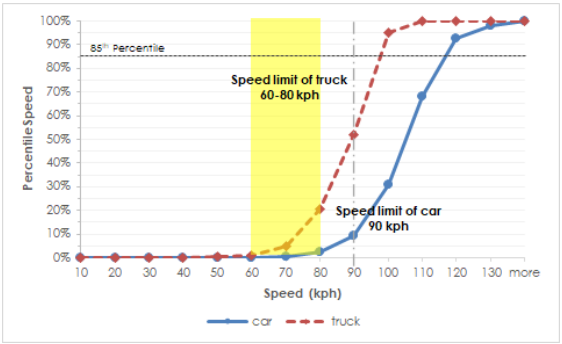
ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบความเร็วขีดจำกัดบนของยานพาหนะ กม. 24+100 O (ขาออก) ก่อนและหลังติดตั้งป้ายฯ

ประเภทยานพาหนะ	ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)		ร้อยละความแตกต่าง
	85th Percentile ก่อน	85th Percentile หลัง	
รถยนต์ส่วนบุคคล	117.36	115.92	-1.23
รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ	97.92	97.92	0.0

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วขีดจำกัดบนแต่ละประเภทก่อนและหลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ ดังตารางที่ 6 พบว่า รถยนต์ส่วนบุคคล ค่าความเร็วขีดจำกัดบนลดลง 1.44 กม./ชม.คิดเป็นร้อยละ 1.23 และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ ค่าความเร็วขีดจำกัดบนไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่า ป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ กม. 24+100 O (ขาออก) ทำให้แนวโน้มการใช้ความเร็วขีดจำกัดบนของรถยนต์ส่วนบุคคลลดลง แต่รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ ไม่เปลี่ยนแปลง

4.2.3. การเปรียบเทียบความเร็วของยานพาหนะกับขีดจำกัดความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด

หากเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของยานพาหนะ กม. 24+100 O (ขาออก) หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ กับขีดจำกัดความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด โดยการพิจารณากราฟเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 ของแต่ละยานพาหนะพบว่า ยานพาหนะทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มใช้ความเร็วมากกว่าขีดจำกัดความเร็วที่กฎหมายกำหนด ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของยานพาหนะหลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ กม. 24+100 O (ขาออก) กับขีดจำกัดความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด

4.3. พื้นที่ กม. 32+500 I (ขาเข้า)

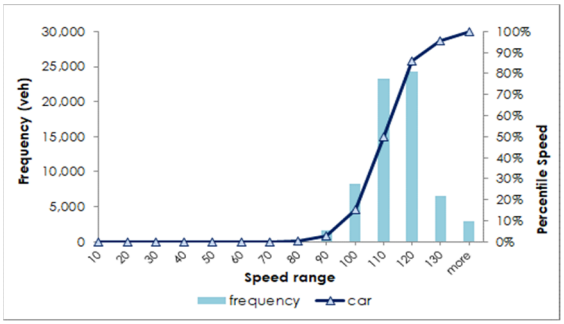
4.3.1. ก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

พื้นที่ กม. 32+500 I (ขาเข้า) ค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ โดยการวิเคราะห์ด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 50 ของยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 110.52 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 92.88 กม./ชม. สำหรับค่าความเร็วที่ใช้ในการพิจารณาขีดจำกัดความเร็วก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 ของยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 119.88 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 99.00 กม./ชม. แสดงดังตารางที่ 7

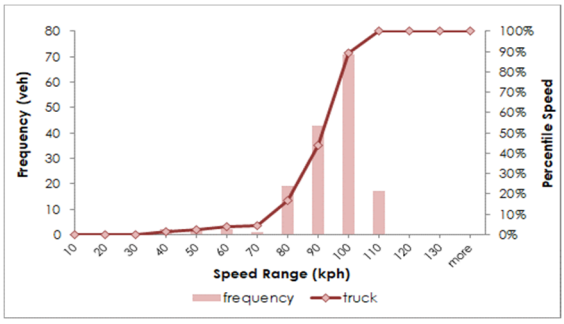
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความเร็วของยานพาหนะ กม. 32+500 I (ขาเข้า) ก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

ประเภทยานพาหนะ	ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)	
	50th Percentile	85th Percentile
รถยนต์ส่วนบุคคล	110.52	119.88
รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ	92.88	99.00

สำหรับการกระจายตัวข้อมูลความเร็วของยานพาหนะแต่ละประเภทก่อนติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ แสดงดังรูปที่ 13 และ 14



รูปที่ 13 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคล กม. 32+500 I (ขาเข้า) ก่อนติดตั้งป้ายฯ



รูปที่ 14 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ กม. 32+500 I (ขาเข้า) ก่อนติดตั้งป้ายฯ

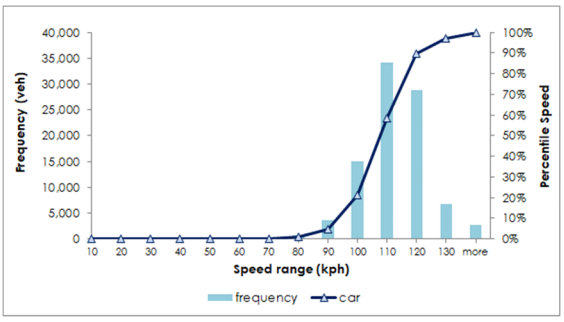
4.3.2. หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

พื้นที่ กม. 32+500 I (ขาเข้า) ค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรหลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ โดยการวิเคราะห์ด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 50 ของยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 108.36 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 91.80 กม./ชม. สำหรับค่าความเร็วที่ใช้ในการพิจารณาขีดจำกัดความเร็ว หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 ของยานพาหนะแต่ละประเภท ผลการศึกษาพบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 117.72 กม./ชม. และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีค่าความเร็วขีดจำกัดบนอยู่ที่ 99.00 กม./ชม. แสดงดังตารางที่ 8

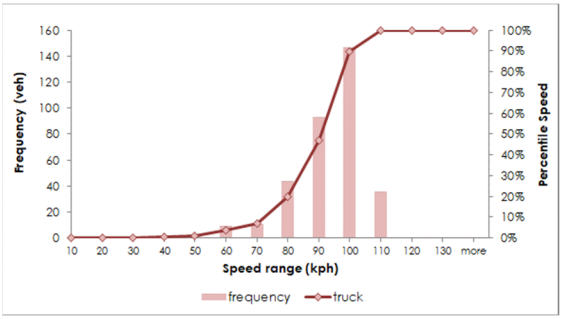
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความเร็วของยานพาหนะ กม.32+500 I (ขาเข้า) หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ

ประเภทยานพาหนะ	ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)	
	50th Percentile	85th Percentile
รถยนต์ส่วนบุคคล	108.36	117.72
รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ	91.80	99.00

สำหรับการกระจายตัวข้อมูลความเร็วของยานพาหนะแต่ละประเภท หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ แสดงดังรูปที่ 15 และ 16



รูปที่ 15 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคล กม. 32+500 I (ขาเข้า) หลังติดตั้งป้ายฯ



รูปที่ 16 การกระจายตัวและเปอร์เซ็นต์ไทล์ความเร็วของรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ กม. 32+500 I (ขาเข้า) หลังติดตั้งป้ายฯ

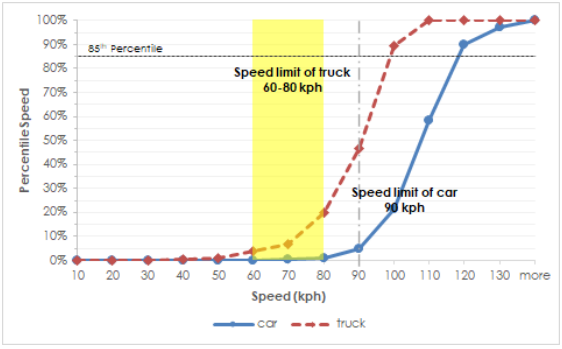
ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบความเร็วขีดจำกัดบนของยานพาหนะ กม. 32+500 I (ขาเข้า) ก่อนและหลังติดตั้งป้ายฯ

ประเภทยานพาหนะ	ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)		ร้อยละความแตกต่าง
	85th Percentile ก่อน	85th Percentile หลัง	
รถยนต์ส่วนบุคคล	119.88	117.72	-1.80
รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ	99.00	99.00	0.00

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วขีดจำกัดบนแต่ละประเภทก่อนและหลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ ดังตารางที่ 9 พบว่า รถยนต์ส่วนบุคคล ค่าความเร็วขีดจำกัดบนลดลง 2.16 กม./ชม.คิดเป็นร้อยละ 1.80 และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ ค่าความเร็วขีดจำกัดบนไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่า ป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ กม. 32+500 I (ขาเข้า) ทำให้แนวโน้มการใช้ความเร็วขีดจำกัดบนของรถยนต์ส่วนบุคคลลดลง แต่รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ ไม่เปลี่ยนแปลง

4.3.3. การเปรียบเทียบความเร็วของยานพาหนะกับขีดจำกัดความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด

หากเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของยานพาหนะ กม. 32+500 I (ขาเข้า) หลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ กับขีดจำกัดความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด โดยการพิจารณากราฟเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความเร็วที่ 85 ของแต่ละยานพาหนะพบว่า ยานพาหนะทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มใช้ความเร็วมากกว่าขีดจำกัดความเร็วที่กฎหมายกำหนด ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของยานพาหนะหลังติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ กม. 32+200 I (ขาเข้า) กับขีดจำกัดความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพฤติกรรมการใช้ความเร็วและการประเมินประสิทธิภาพของป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ กม. 14+600 I (ขาเข้า) กม. 24+100 O (ขาออก) และกม. 32+500 I (ขาเข้า) บนทางพิเศษบูรพาวิถี ที่ได้รับการวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุ (Dangerous Factor) ว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุสูง สรุปได้ว่า พฤติกรรมการใช้ความเร็วภายในพื้นที่ศึกษามีความแตกต่างกันตามประเภทของยานพาหนะและตำแหน่งที่ตำเนินการติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วแบบพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 ของความเร็วเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็วฯ พบว่า รถยนต์ส่วนบุคคลมีแนวโน้มลดการใช้ความเร็วลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 1.75 และรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ มีแนวโน้มลดการใช้ความเร็วลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 0.81 ดังนั้นยานพาหนะส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดการใช้ความเร็วลงโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 1.28 ถึงแม้ว่าแนวโน้มการใช้ความเร็วจะลดลงแต่เมื่อเปรียบเทียบกับขีดจำกัดความเร็ว ตาม พรบ. จราจรทางบก พ.ศ. 2522 ตามที่กฎหมายกำหนด พบว่า การใช้ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคลและรถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ ทั้ง 3 พื้นที่ยังมีค่ามากกว่าความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการศึกษาประสิทธิภาพป้ายแจ้งเตือนความเร็วบนทางหลวงของประเทศไทย [9] ที่พบว่า ผู้ขับขี่ยังคงใช้ความเร็วสูงเกินจากความเร็วที่กำหนด แม้ว่าจะมีค่าความเร็วที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังการติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็ว แสดงให้เห็นว่าการนำป้ายแจ้งเตือนความเร็วไปติดตั้งในพื้นที่อื่นๆ ที่มีความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุที่มาจากสาเหตุของการใช้ความเร็วเพื่อลดการใช้ความเร็วของยานพาหนะลงได้ ทั้งนี้การใช้ความเร็วของยานพาหนะที่ลดลงจะช่วยลดความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุได้อีกด้วย

ดังนั้นการทางพิเศษแห่งประเทศไทยจึงควรพิจารณาดำเนินการกำหนดขีดจำกัดของความเร็วที่เหมาะสม รวมทั้งปรับปรุงลักษณะทางกายภาพด้วยการนำมาตรการควบคุมความเร็วต่างๆ ที่เหมาะสม เช่น ข้อความเตือนบนผิวทาง เป็นต้น อีกทั้งใช้มาตรการด้านการ

บังคับใช้กฎหมายโดยการติดตั้งกล้องตรวจจับความเร็วแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะสามารถควบคุมพฤติกรรมการใช้ความเร็วของยานพาหนะและนำไปสู่การลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดจากความเร็วบนทางพิเศษบูรพาวิถีได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณพนักงานและลูกจ้างการทางพิเศษแห่งประเทศไทยทุกท่านที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (2562), รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนของกระทรวงคมนาคม พ.ศ. 2562

[2] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2562), รายงานสถิติปริมาณจราจร รายได้ค่าผ่านทางพิเศษ และอุบัติเหตุบนทางพิเศษ ปีงบประมาณ 2562

[3] Austroads (2010), *Impact of Lower Speed Limits for Road Safety on Network Operations*, Austroads Technical Report, No. AP–T143/10, Australia.

[4] AASHTO (2011), A policy on geomatric design of highways and streets, 6th edition, Washington D.C.

[5] สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา, พระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม.

[6] Cruzado, I. and Donnell, E. T. (2009). Evaluating Effectiveness of Dynamic Speed Display Signs in Transition Zones of Two-Lane, Rural Highways in Pennsylvania. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2122, pp. 1-8.

[7] Choulki Lee, Sangsoo Lee, Youngtae Oh and Bongsoo Choi (2006). Effectiveness of Speed Monitoring Displays in Speed Reduction in School Zone. *Transportation Research Board of The National Academies, Volume 1973*. pp. 27-35.

[8] Homburger, W.S., J.W. Hall, R.C. Loutzenheiser and W.R.Reilly (1996) . *Spot Speed Studies, In Fundamentals of Traffic Engineering*, Berkeley:: Institute of Transportation Studies, University of California.

[9] อมรวดี หยังหลัง และวศิน เกียรติโกมล (2561).การศึกษาประสิทธิภาพการดำเนินงานของป้ายแจ้งเตือนความเร็วบนทางหลวง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23, 18-20 กรกฎาคม 2561, นครนายก.