การศึกษาการจัดการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ กรณีก่อสร้างหรือซ่อมบำรุง

A Study of Toll Plaza Traffic Control In The Case of Construction and Maintenance.

ปิยภัค มหาโพธิ์[1,*] จิรวัฒน์ เพลิงศรีทอง[2] นันทวรรณ พิทักษ์พานิช[3] และ เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร[4]

[1,2,3,4] *กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900*

**Corresponding author; E-mail address: piyapak1991@hotmail.com*

บทคัดย่อ

การดำเนินการก่อสร้าง หรือซ่อมบำรุงรักษาทางพิเศษจะส่งผลกระทบต่อการใช้บริการและความปลอดภัยของผู้ใช้ทาง หรือแม้แต่ผู้ปฏิบัติงานจึงจำเป็นต้องมีการจัดการจราจรเพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ทางและผู้ปฏิบัติงาน การจัดการจราจรกรณีก่อสร้างหรือซ่อมบำรุงบริเวณด่านฯ และบนทางพิเศษนั้นมีความแตกต่างกัน โดยในประเทศไทยยังไม่มีรูปแบบการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ ที่ชัดเจน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบการจัดการจราจรที่ปลอดภัยกับการปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ โดยทำการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความเร็วรถขณะขับผ่านด่านฯ ที่มีลักษณะทางกายภาพของด่านฯ ที่แตกต่างกัน นำความเร็วรถที่ได้คำนวณเพื่อหาระยะเบี่ยงที่ปลอดภัย แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับระยะการเบี่ยงการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษตามมาตรฐานของ FDOT (Florida Department of Transportation) Design Standard, (2013) ประเทศสหรัฐอเมริกา จากการเก็บข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบริเวณด่านฯ อยู่ที่ 35 - 61 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คำนวณหาระยะเบี่ยงการจราจรได้เท่ากับ 20 - 70 เมตร ซึ่งคล้ายคลึงกับการจัดการจราจรตามมาตรฐานของ FDOT จากข้อมูลที่ได้สามารถกำหนดรูปแบบการจัดการจราจรที่ปลอดภัยต่อผู้ใช้ทางและผู้ปฏิบัติงานมากที่สุดคือการแบ่งพื้นที่จัดการจราจรบริเวณด่านฯ ออกเป็น 3 กรณี คือ 1) กรณีปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ 2) การปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ และ 3) การปฏิบัติงานบริเวณหลังด่านฯ

คำสำคัญ: การจัดการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ, ระยะเบี่ยงการจราจร, FDOT

Abstract

The Expressway construction or maintenance is effected to user and officer's safety. A traffic control is needed to be managing in order to protect user and officer from accident. There are different between toll plaza traffic control and road traffic control. The standard for toll plaza traffic control in Thailand is not complete currently. The aim of this study is to analyses a safety traffic control which suitable for toll plaza work zone. Speed information on different physical type of toll plaza is collected. An average vehicle speed at the toll plaza is 35 – 61 kilometers per hour. Calculate the taper length from speed information; the suitable taper length is 20 – 70 meters. The taper length is similar when compare with FDOT (Florida Department of Transportation) Design Standard, (2013). In conclusion, it can define 3 cases which are 1) In front of toll plaza 2) At toll plaza and 3) Behind toll plaza.

Keywords: Toll Plaza Traffic Control, Taper Length, FDOT

1. คำนำ

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) เป็นหน่วยงานในสังกัดกระทรวงคมนาคมที่มีวิสัยทัศน์ที่มุ่งมั่นพัฒนาทางพิเศษ เพื่อให้บริการที่ดี มีความคุ้มค่า สะดวก รวดเร็ว ปลอดภัย อย่างยั่งยืน โดยมีการให้บริการรวม 8 สายทาง ระยะทางทั้งสิ้น 224.6 กิโลเมตร มีจำนวนด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษทั้งสิ้น 144 ด่าน ดังนั้นเพื่อให้การบริการทางพิเศษสอดคล้องกับวิสัยทัศน์ขององค์กร การซ่อมบำรุงทางพิเศษให้มีสภาพดีอยู่เสมอจึงเป็นอีกหนึ่งภารกิจหลักของ กทพ. โดยการซ่อมบำรุงทางพิเศษจำเป็นจะต้องมีการปิดหรือเบี่ยงช่องจราจร เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ทางพิเศษ และพนักงานผู้ปฏิบัติงานของ กทพ. ซึ่งจะช่วยลดโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้

ปัจจุบันการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษในประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานการจัดการจราจรที่เป็นมาตรฐานและเป็นลายลักษณ์อักษร ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1) ศึกษารูปแบบการจัดการจราจรกรณีการซ่อมบำรุงบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่เหมาะสมกับ กทพ.

2) วิเคราะห์ระยะเบี่ยงการจราจร เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการจราจรกับมาตรฐาน FDOT

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษมักตั้งอยู่ในเขตเมือง บริเวณทางขึ้นและลง (Ramp Plaza) โดยด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบ่งออกตามลักษณะทางกายภาพซึ่งมาจากทิศทางของกระแสจราจรทั้งขาเข้าและขาออกจากด่านฯ โดยมีตัวอย่างลักษณะด่านฯ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างลักษณะด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษในประเทศไทย สามารถแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ซึ่งมีทิศทางของกระแสจราจรทั้งก่อนเข้าด่านฯ และหลังออกจากด่านฯ แตกต่างกัน และในการศึกษานี้ได้ทำการคัดเลือกด่านฯ ที่เป็นตัวแทนของรูปแบบด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษในประเทศไทย โดยสามารถสรุปลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของด่านฯ ในประเทศไทย

ลักษณะทางกายภาพของด่านฯ	ทิศทางกระแสจราจร
 ตัววายหงาย	เข้า 1 ทิศทาง ออก 2 ทิศทาง
 ตัววายคว่ำ	เข้า 2 ทิศทาง ออก 1 ทิศทาง
 ตัวไอ	เข้า 1 ทิศทาง ออก 1 ทิศทาง
 ตัวเอ็กซ์	เข้า 2 ทิศทาง ออก 2 ทิศทาง

2.2 พื้นที่การจัดการจราจร

การจัดการจราจรบนทางพิเศษกรณีงานก่อสร้าง หรือซ่อมบำรุงบริเวณด่านฯ มีวัตถุประสงค์เพื่อแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ทางพิเศษทราบถึงกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางที่เปลี่ยนแปลงไป โดยแบ่งพื้นที่การจัดการจราจรออกเป็น 4 ส่วนสำคัญ คือ พื้นที่แจ้งเตือนล่วงหน้า พื้นที่เบี่ยงการจราจร พื้นที่ปฏิบัติงาน และพื้นที่สิ้นสุดการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของพื้นที่การจัดการจราจร

พื้นที่การจัดการจราจร	ส่วนเกี่ยวข้องในพื้นที่การจัดการจราจร
1) พื้นที่แจ้งเตือนล่วงหน้า	เป็นส่วนที่ใช้แจ้งเตือนผู้ใช้ทางให้ทราบถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นด้านหน้า เพื่อให้สามารถตัดสินใจที่จะหยุดเบี่ยงช่องจราจร หรือลดความเร็วได้อย่างปลอดภัย [2] โดยสามารถคำนวณหาได้จากระยะมองเห็นตัดสินใจได้ทัน (Decision Sight Distance, DSD) ดังสมการที่ 1 ก่อนการปฏิบัติงานจะมีการแสดงสัญลักษณ์เตือนงานก่อสร้างข้างหน้า หรือสัญลักษณ์แนะนำการเบี่ยงช่องจราจรบนป้ายสัญญาณจราจรปรับได้ (Matrix Sign, MS) และแสดงข้อความแจ้งเตือนบนป้ายปรับเปลี่ยนข้อความได้ (Variable Matrix Sign, VMS) รวมถึงการเปลี่ยนสัญญาณไฟบนหลังคาด่านฯ (Over Traffic Light, OTL) เพื่อแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ทางพิเศษทราบล่วงหน้า
2) พื้นที่เบี่ยงการจราจร	เป็นพื้นที่เริ่มเบี่ยงทิศทางการจราจร (Transition Area) ซึ่งประกอบไปด้วยระยะเบี่ยงการจราจร (Taper Length, L) ที่แปรผันกับความเร็วของยานพาหนะ [1] [2] กล่าวคือ พื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของช่องจราจรจากปกติ โดยมีการวางอุปกรณ์แบ่งช่องจราจร เช่น กรวยจราจร (Traffic Cone), ไฟวับวาบ และป้ายสัญญาณไฟลูกศร เป็นต้น เพื่อเบี่ยงกระแสจราจรออกจากพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยมีการคำนวณระยะเบี่ยงการจราจรแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ 1) ยานพาหนะมีความเร็วน้อยกว่า 70 กม./ชม. ดังสมการที่ 2 2) ยานพาหนะมีความเร็วมากกว่า 70 กม./ชม. ดังสมการที่ 3
3) พื้นที่ปฏิบัติงาน	พื้นที่สำหรับการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานก่อสร้างหรือซ่อมบำรุงทางพิเศษ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ระยะกันชน (Buffer Length) และรถคุ้มครอง (Shadow Vehicle) โดยการคำนวณระยะกันชนจะมีความสอดคล้องกับการคำนวณระยะหยุดปลอดภัย (Stopping Sight Distance) ดังสมการที่ 4
4) พื้นที่สิ้นสุดการปฏิบัติงาน	ส่วนสุดท้ายของพื้นที่การจัดการจราจร เพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทางทราบว่าสามารถใช้ความเร็วเป็นปกติได้ [1] [2] ซึ่งมีระยะเบี่ยงคืนการจราจรประมาณ 15 – 30 เมตร หลังพื้นที่ปฏิบัติงาน

2.2.1 การคำนวณระยะมองเห็นตัดสินใจได้ทัน

$$Decision\ Sight\ Distance = 0.278Vt_1 \quad (1)$$

โดยที่ V คือ ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)

t_1 คือ ระยะเวลารับรู้เพื่อลดความเร็ว/เปลี่ยนช่องทาง (วินาที) = 10.2 ถึง 14.5 วินาที

2.2.2 ระยะเบี่ยงการจราจรกรณีที่ยานพาหนะมีความเร็วน้อยกว่า 70 กม./ชม.

$$Taper\ Length = \frac{WS^2}{155} \quad (2)$$

2.2.3 ระยะเบี่ยงการจราจรกรณีที่ยานพาหนะมีความเร็วมากกว่า 70 กม./ชม.

$$Taper\ Length = \frac{WS}{1.6} \quad (3)$$

โดยที่ W คือ ความกว้างของช่องจราจรที่ปิด (เมตร)

S คือ ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)

2.2.4 การคำนวณระยะหยุดปลอดภัย (Stopping Sight Distance)

$$Buffer\ Length = 0.278Vt_2 + \frac{0.039V^2}{a} \quad (4)$$

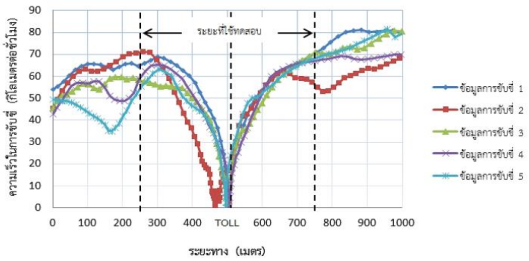
โดยที่ V คือ ความเร็วของยานพาหนะ (กม./ชม.)

t_2 คือ ระยะเวลาตอบสนองการเบรก (วินาที) = 2.5 วินาที

a คือ อัตราหน่วงความเร็ว (เมตรต่อวินาที^{2}) = 3.4 เมตร/วินาที^{2}

2.3 การศึกษาระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติกรณีไม่มีไม้กั้น (Non-Stop Lane, NSL) [3]

ได้ประเมินประสิทธิภาพของระบบ NSL เปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านวิศวกรรมจราจร ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และด้านความปลอดภัยทางถนนกับระบบเก็บค่าผ่านทางรูปแบบอื่น ๆ (ระบบเงินสด และระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ แบบมีไม้กั้น) โดยทำการเก็บข้อมูลจากการขับขี่จริง (GPS Probe Vehicle) ผ่านด่านฯ รูปแบบตัวไอ จำนวน 2 ด่านฯ จากการศึกษานี้พบว่าระยะที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างมีนัยสำคัญบริเวณหน้าด่านฯ และหลังด่านฯ มีค่าเท่ากับ 250 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะทางที่ใช้ในการขับขี่ผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

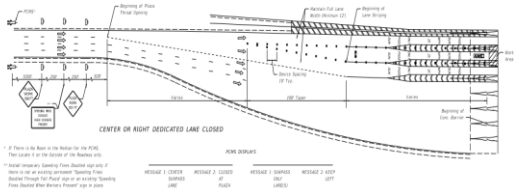
ผลการศึกษาสรุปได้ว่าระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ NSL มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษรูปแบบอื่น ๆ คือ ผู้ขับขี่สามารถขับขี่ผ่านช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้ที่ความเร็วเฉลี่ย 60 กม./ชม. ซึ่งเร็วกว่าระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติ (Easy Pass) แบบมีไม้กั้น ซึ่งจะช่วยประหยัดน้ำมันและมลพิษทางอากาศได้ 20 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์ Acceleration Noise ยังสามารถช่วยลดอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นบริเวณด่านฯ ได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.4 มาตรฐาน State of Florida Department of Transportation (FDOT) Design Standard

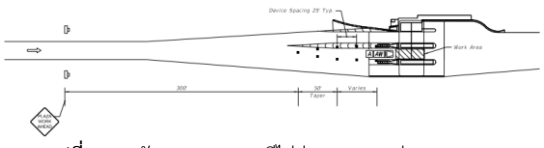
FDOT ได้กำหนดมาตรฐานการจัดการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ และบริเวณทางแยกทางพิเศษ FDOT ได้กำหนดระยะเบี่ยงการจราจร (Taper Length, L) สำหรับการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ (สำหรับปิดซ่อมหรือก่อสร้างจำนวน 1 ช่องจราจร) แสดงดังตารางที่ 3 โดยการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

1) กรณีที่ส่งผลกระทบต่อการจราจร หมายถึง พื้นที่ปฏิบัติงานอยู่บริเวณหน้าด่านฯ ดังแสดงในรูปที่ 3

2) กรณีที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการจราจร หมายถึง พื้นที่ปฏิบัติงานอยู่ภายในบริเวณช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 การจัดการจราจรกรณีส่งผลกระทบต่อการจราจร



รูปที่ 4 การจัดการจราจรกรณีไม่ส่งผลกระทบต่อการจราจร

ตารางที่ 3 สรุประยะเบี่ยงการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษตามมาตรฐาน FDOT

กรณี	ระยะเบี่ยงการจราจร (เมตร)

1. กรณีส่งผลกระทบต่อการจราจร (พื้นที่ปฏิบัติงานอยู่บริเวณหน้าด่านฯ)	
1.1 พื้นที่แจ้งเตือนล่วงหน้า มีระยะแจ้งเตือนล่วงหน้า	150, 150 และ 500 เมตร
1.2 พื้นที่เบี่ยงการจราจร มีระยะเบี่ยงการจราจร	60 – 100 เมตร
1.3 พื้นที่ปฏิบัติงาน มีระยะกันชน	ไม่ได้กำหนด
1.4 พื้นที่สิ้นสุดการปฏิบัติงาน มีระยะเบี่ยง	ไม่ได้กำหนด
2. กรณีไม่ส่งผลกระทบต่อการจราจร (พื้นที่ปฏิบัติงานอยู่ภายในบริเวณช่องเก็บค่าผ่านทาง)	
2.1 พื้นที่แจ้งเตือนล่วงหน้า มีระยะแจ้งเตือนล่วงหน้า	100 เมตร
2.2 พื้นที่เบี่ยงการจราจร มีระยะเบี่ยงการจราจร	15 เมตร
2.3 พื้นที่ปฏิบัติงาน มีระยะกันชน	ไม่ได้กำหนด
2.4 พื้นที่สิ้นสุดการปฏิบัติงาน มีระยะเบี่ยง	ไม่ได้กำหนด

3. วิธีการศึกษา

3.1 การคัดเลือกด่านฯ

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องเก็บข้อมูลความเร็วของยานพาหนะบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางที่มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน 4 รูปแบบ ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาเลือกด่านฯ ที่เป็นตัวแทนในแต่ละรูปแบบจำนวน 4 ด่านฯ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของด่านฯ ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

กายภาพ	ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ			
	พระราม 9-1 (ฉลองรัช)	โยธินพัฒนา	รามอินทรา 1	วงแหวนรอบนอก (บางแก้ว)
1. จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ	8	4	4	4
3. รูปแบบด่านฯ	ตัวเอ็กซ์	ตัวไอ	ตัววายคว่ำ	ตัววายหงาย
4. ลักษณะทางกายภาพหน้าด่านฯ	ทางตรงและทางโค้ง	ทางตรง	ทางตรง	ทางตรง
5. ลักษณะทางกายภาพหลังด่านฯ	ทางตรงและทางโค้ง	ทางตรง	ทางโค้ง	ทางตรง
6. ระยะทางในการสำรวจบริเวณหน้า/หลังด่านฯ	200/200 เมตร	200/200 เมตร	200/200 เมตร	200/200 เมตร

การเก็บข้อมูลความเร็วใช้เวลาดำเนินการทั้งหมด 15 วัน ตั้งแต่วันที่ 16 - 30 มีนาคม พ.ศ. 2563 โดยการเก็บข้อมูลความเร็วครั้งนี้ จะเก็บข้อมูลในช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off - Peak Hour) เพื่อให้สอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริง เนื่องจากการศึกษาการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ เป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ กรณีที่มีการก่อสร้างหรือซ่อมบำรุง ซึ่งโดยทั่วไปการปฏิบัติงานดังกล่าวจะทำในช่วงนอกเวลาเร่งด่วน

จำนวนตัวอย่างของข้อมูลในการศึกษานี้สามารถคำนวณหาได้จากสมการของคอแครน (Cochran , 1977) แสดงดังสมการที่ 5 เนื่องจากไม่ทราบขนาดของจำนวนประชากรที่แน่นอน แต่ทราบว่ามีจำนวนมากและต้องการประมาณค่าสัดส่วนของประชากรที่ต้องการเก็บข้อมูลต่อด่านฯ โดยจากการคำนวณพบว่าจำนวนประชากรที่ต้องเก็บข้อมูลความเร็วต่อด่านฯ ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 384 ตัวอย่าง

$$n = \frac{Z^2}{4e^2} \quad (5)$$

โดยที่ n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

Z คือ ค่า Z ที่ระดับความเชื่อมั่นหรือระดับนัยสำคัญ

- ถ้าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่า Z = 1.96

e คือ ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดขึ้นได้, e = 5%

3.2 การเก็บข้อมูลความเร็วเฉพาะตำแหน่ง

การเก็บข้อมูลความเร็วเฉพาะตำแหน่งปกติสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีการวัดความเร็วทางตรง และวิธีการวัดความเร็วทางอ้อม [5] ดังนี้

3.2.1 วิธีการวัดความเร็วทางตรง

วิธีการวัดความเร็วทางตรงจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ปืนวัดความเร็ว (Speed Gun) เพื่อวัดความเร็วโดยตรง ซึ่งอุปกรณ์จะปล่อยคลื่นไมโครเวฟความถี่สูงไปยังยานพาหนะที่เคลื่อนที่และคลื่นจะสะท้อนกลับมา โดยค่าความถี่ของคลื่นที่ปล่อยออกและสะท้อนกลับมาจะแตกต่างกันไปตามความเร็วของยานพาหนะ และอุปกรณ์จะคำนวณหาค่าความเร็วของยานพาหนะออกมา



รูปที่ 5 อุปกรณ์ตรวจวัดความเร็ว

ข้อมูลความเร็วที่ได้จากปืนวัดความเร็วจะมีความแม่นยำมากที่สุดเมื่อวัดแบบตั้งฉากกับยานพาหนะ หากมุมองศาในการวัดไม่ตั้งฉากกับยานพาหนะ จะเกิดความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่วัดได้ โดยปืนแต่ละรุ่นมีระยะที่สามารถวัดความเร็วได้แตกต่างกัน [5] ดังนั้นการเก็บตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากวิธีการวัดความเร็วทางตรงจะทำได้ยากและมีจำนวนน้อยกว่าตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากวิธีการวัดความเร็วทางอ้อม

3.2.2 วิธีการวัดความเร็วทางอ้อม

วิธีการวัดความเร็วทางอ้อมคือใช้การจับเวลาที่ยานพาหนะใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านจุด 2 จุดด้วยการใช้ข้อมูลทางกายภาพบริเวณด่านฯ ที่ กทพ. มีมาเทียบกับมาตราส่วนในแผนที่บน Google Map และกำหนดระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดให้ครอบคลุมบริเวณตำแหน่งที่สำคัญในระยะ 200, 100 และ 50 เมตร ตามตารางที่ 5 และดังแสดงในรูปที่ 6 แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ไปทำการคำนวณความเร็ว (Velocity, v) ด้วยสมการที่ 6

$$v = \frac{s}{t} \qquad (6)$$

โดยที่ v คือ ความเร็วของยานพาหนะ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

s คือ ระยะทางระหว่างจุด 2 จุด (เมตร)

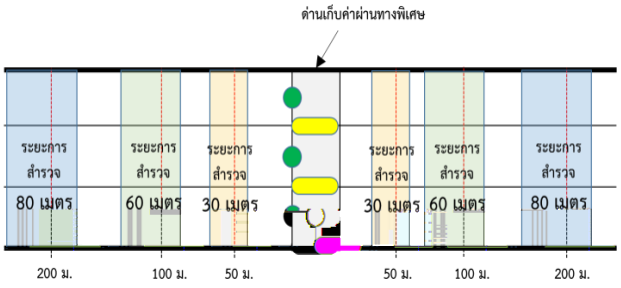
t คือ ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ระหว่างจุด 2 จุด (วินาที)

การเก็บข้อมูลความเร็วทางอ้อมนี้สามารถใช้กล้องวีดีทัศน์บันทึกภาพการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ แล้วนำเทปบันทึกภาพมาแยกข้อมูลในภายหลัง ซึ่งจะเหมาะกับการเก็บข้อมูลจำนวนมาก [5]

ทั้งนี้ สามารถสอบเทียบความถูกต้องของข้อมูลความเร็วที่ได้จากการเก็บข้อมูลทางตรงและทางอ้อมทำได้โดยวิธีการวัดค่า Correlation Coefficient (r) และ R-Squared (R^2)

ตารางที่ 5 ระยะห่างระหว่างจุดกำหนดการตรวจจับความเร็ว

ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด (เมตร)
< 40	30
40 – 60	60
> 60	80



รูปที่ 6 ผังการสำรวจข้อมูลวิธีการวัดความเร็วทางอ้อม

3.3 การกำหนดรูปแบบการจัดการจราจรจากข้อมูลความเร็ว

ขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่ได้ มาทำการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบการจัดการจราจรที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ โดยการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.3.1 รูปแบบการจัดการจราจร

คือการคำนวณระยะปลอดภัย (เมตร) ในพื้นที่จัดการจราจร จากนั้นนำระยะปลอดภัยที่ได้มากำหนดรูปแบบการจัดการจราจรให้เป็นไปตามทฤษฎีและมีความเหมาะสมกับการปฏิบัติงานของ กทพ.

3.3.2 การเปรียบเทียบการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ กับมาตรฐาน FDOT

เป็นการนำรูปแบบการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ ที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานของ กทพ. มาเปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ ตามมาตรฐานของ FDOT เพื่อพิจารณาผลการศึกษารูปแบบการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ ที่มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับมาตรฐานของ FDOT หรือไม่ อย่างไร

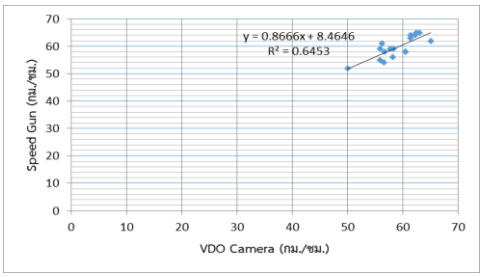
4. กรณีบทความภาษาอังกฤษ

4.1 ผลการศึกษาความเร็วของยานพาหนะบริเวณด่านฯ

ในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลความเร็วจากการเก็บข้อมูลทั้ง 2 ส่วน คือข้อมูลความเร็วทางตรงและข้อมูลความเร็วทางอ้อม

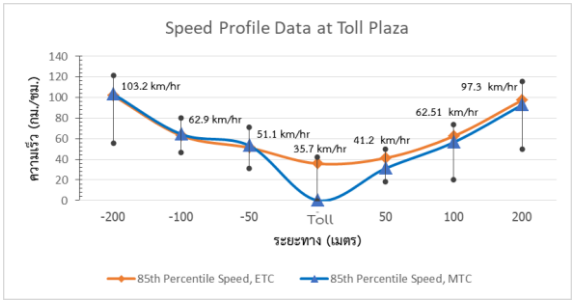
ข้อมูลความเร็วทางตรงได้จากปืนวัดความเร็ว โดยรุ่นที่ใช้สามารถวัดความเร็วยานพาหนะที่ระยะสูงสุด 100 เมตร แต่เนื่องจากการออกแบบการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ จะต้องมีข้อมูลความเร็วยานพาหนะที่ระยะ 200 เมตร จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลความเร็วทางอ้อมมาประกอบในระยะตั้งแต่ 101 เมตร เป็นต้นไป แต่ก่อนที่จะนำข้อมูลความเร็วทางอ้อมมาใช้ประกอบนั้น จะต้องมีการสอบเทียบความถูกต้องของข้อมูลทางอ้อมก่อนโดยวิธีการวัดค่า Correlation Coefficient (r) และ R-Squared (R^2)

ผลการสอบเทียบความถูกต้องของข้อมูลความเร็วยานพาหนะทางอ้อมด้วยวิธีการวัดค่า Correlation Coefficient (r) และ R-Squared (R^2) ของกลุ่มตัวอย่างข้อมูลความเร็วทางตรงและทางอ้อมที่ระยะ100 เมตร บริเวณหน้าด่านฯ จำนวน 20 ตัวอย่าง แสดงในรูปที่ 7 พบว่า มีสมการความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการวัดความเร็วทางตรงและทางออ้อม คือ $y = 0.8666x + 8.4646$ และมีค่า $r = 0.8033$ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ High Positive Correlation แสดงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากวิธีการวัดทางตรงและวิธีการวัดทางอ้อมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่า $R^2 = 0.6453$ แสดงถึงความแปรปรวนของข้อมูล ที่หมายความว่าข้อมูลวิธีการวัดทางตรงอธิบายข้อมูลวิธีการวัดทางอ้อมได้ประมาณ 65% จึงสรุปได้ว่าการเก็บข้อมูลความเร็วยานพาหนะด้วยวิธีการวัดทางอ้อมสามารถเชื่อถือได้และใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการศึกษาได้



รูปที่ 7 ความถูกต้องของข้อมูลความเร็วยานพาหนะจากการวัดวิธีการวัดความเร็วทางตรงและวิธีการวัดความเร็วทางอ้อม

จากการเก็บข้อมูลความเร็วทั้งทางตรงและทางอ้อมสามารถนำมากำหนดความเร็วออกแบบ (85th Percentile Speed) ของยาพาหนะที่วิ่งผ่านด่านฯ ทั้งระบบเงินสด (MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติ (ETC) ดังแสดงในรูปที่ 8

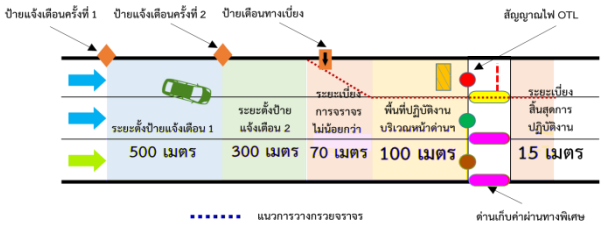


รูปที่ 8 ความเร็วเฉลี่ย

ข้อมูลความเร็วที่ได้นี้ จะทำให้ทราบความเร็วออกแบบสูงสุดของยานพาหนะบริเวณด่านฯ ที่ระยะต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณหาระยะปลอดภัย (เมตร) และกำหนดรูปแบบการจัดการจราจรให้ปลอดภัยต่อความเร็วนั้น ๆ

4.2 การกำหนดระยะของพื้นที่การจัดการจราจร

พื้นที่การจัดการจราจรจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ พื้นที่แจ้งเตือนล่วงหน้า พื้นที่เบี่ยงการจราจร พื้นที่ปฏิบัติงาน และพื้นที่สิ้นสุดการปฏิบัติงาน โดยกำหนดระยะปลอดภัยตามความเร็วออกแบบที่ได้จากการเก็บข้อมูลความเร็วแสดงในรูปที่ 9 ดังนี้



รูปที่ 9 ระยะปลอดภัยสำหรับพื้นที่การจัดการจราจรบริเวณด่านฯ

4.2.1 พื้นที่แจ้งเตือนล่วงหน้า

ระยะแจ้งเตือนล่วงหน้าจะอ้างอิงความเร็วเฉลี่ยสูงสุดของยานพาหนะบริเวณด่านฯ ที่ระยะ 200 เมตร (103 กม./ชม.) ซึ่งสอดคล้องกับความเร็วจำกัดของทางพิเศษตามปกติ ที่ความเร็วจำกัดไม่เกิน 100 - 110 กม./ชม. ดังนั้นจะมีการแจ้งเตือนด้วยป้ายสัญญาณจราจรปรับได้ (Matrix Sign, MS) หรือป้ายปรับเปลี่ยนข้อความได้ (Variable Matrix Sign, VMS) ที่ระยะ 300 และ 500 เมตร ก่อนถึงพื้นที่เบี่ยงการจราจร

4.2.2 พื้นที่เบี่ยงการจราจร

ระยะเบี่ยงการจราจรสามารถแบ่งเป็น 2 กรณี คือระยะเบี่ยงการจราจรกรณีปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ และระยะเบี่ยงการจราจรกรณีปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ

1) ระยะเบี่ยงการจราจร (Taper Length) กรณีปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ ต้องมีระยะเบี่ยงการจราจรที่ไม่น้อยกว่า 70 เมตร โดยใช้ความเร็วออกแบบของยานพาหนะนะที่ระยะ 100 เมตร (61.4 กม./ชม.) ในการคำนวณระยะเบี่ยง

2) ระยะเบี่ยงการจราจร (Taper Length) กรณีปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ มีระยะเบี่ยงการจราจรที่ต้องไม่น้อยกว่า 20 เมตร โดยใช้ความเร็วออกแบบของยาพานหะที่ด่านฯ (35.3 กม./ชม.)

4.2.3 พื้นที่ปฏิบัติงาน

ระยะกันชน (Buffer Length) จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 86 เมตร (กรณีไม่มีรถคุ้มกัน) โดยคำนวณได้จากความเร็วออกแบบของยานพาหนะนะที่ระยะ 100 เมตร (61.4 กม./ชม.) และต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 40 เมตร (กรณีมีรถคุ้มกัน) [1] ดังแสดงในรูปที่ 10

4.2.4 พื้นที่สิ้นสุดการปฏิบัติงาน

มีระยะเบี่ยงประมาณ 15 เมตรหลังจากจุดสิ้นสุดการปฏิบัติงานเพื่อให้ยานพาหนะเคลื่อนออกจากบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย

For Shadow Vehicles Weighing 10 000 kg [22,000 lb] or More					
Operating Speed/Speed Limit[a]		Recommended Spacing[a]			
		Stationary Operation		Moving Operation[c]	
km/h	[mph]	m	[ft]	m	[ft]
Greater than 90	[Greater than 55]	45	[150]	52.5	[172]
70–90	[45–55]	30	[100]	45	[150]
Less than 70	[Less than 45]	22.5	[74]	30	[100]
For Shadow Vehicles Weighing Less than 10000 kg [22,000 lb] but Greater than 4500 kg[d] [9,900 lb]					
Operating Speed/Speed Limit[a]		Recommended Spacing[b]			
		Stationary Operation		Moving Operation[c]	
km/h	[mph]	m	[ft]	m	[ft]
Greater than 90	[Greater than 55]	52.5	[172]	67.5	[222]
70–90	[45–55]	37.5	[123]	52.5	[172]
Less than 70	[Less than 45]	30	[100]	30	[100]

Footnotes:
a) Should use operating speed if higher than posted speed limit.
b) Recommended spacing is distance between front of shadow vehicle and beginning of work area, that is, the first worker/operation/vehicle to be protected.
c) Distances are appropriate for shadow vehicle speeds up to 25 km/h [15.5 mph].
d) Shadow vehicles shall weigh 8000 kg to 9000 kg [17,600 to 19,800 lb] on all department construction projects.

Notes:
1. The heaviest shadow vehicle should be used to optimize protection of maintenance or construction workers. Because roll-ahead is minimized with heavier shadow vehicles, they can be placed closer to the work space to minimize the risk of vehicles cutting in ahead of the shadow vehicles.
2. The spacing distance is good with or without a TMA. A vehicle equipped with a TMA may move less than a truck not equipped with a TMA. However, the recommended spacing is conservative enough to allow the same spacing for a TMA versus a vehicle without a TMA.
3. Distances are intended as guidelines. However, engineering judgment should be used to alter distance to take into account traffic conditions, vehicle mix, sight distance, and other site conditions.

รูปที่ 10 ระยะกันชนที่เหมาะสมกรณีที่มีรถคุ้มกัน

4.3 รูปแบบการจัดการจราจรการปฏิบัติบริเวณด่านฯ

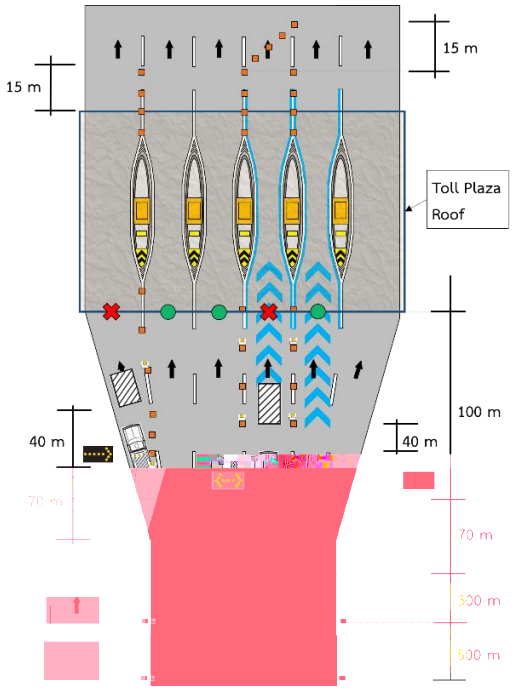
การกำหนดรูปแบบการจัดการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษของ กทพ. ออกเป็น 3 รูปแบบ คือ กรณีปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ, กรณีปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ และกรณีปฏิบัติงานบริเวณหลังด่านฯ ดังนี้

4.3.1 กรณีปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ

หมายถึง การปฏิบัติงานนอกหลังคาอาคารด่านฯ ห่างจากด่านฯ ไม่เกิน 100 เมตร ประกอบไปด้วยพื้นที่จัดการจราจรทั้ง 4 ส่วนดังแสดงการคำนวณและรูปแบบการจัดการจราจรในตารางที่ 6 และรูปที่ 11 โดยมีระยะปลอดภัยดังนี้

ตารางที่ 6 ระยะปลอดภัยกรณีปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ

1. กรณีปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ	
พื้นที่การจัดการจราจร	ระยะปลอดภัย
1. ระยะแจ้งเตือนล่วงหน้า (Decision Sight Distance, DSD)	DSD = 300 ถึง 500 เมตร [0.278 x 103 x 10.2 = 300] [0.278 x 1030 x 14.5 = 430]
2. ระยะเบี่ยงการจราจร (Taper Length) - ยานพาหนะมีความเร็วน้อยกว่า 70 กม./ชม.	Taper Length = 70 เมตร เป็นอย่างน้อย [3 x 61.4^2 / 155 = 72.9 เมตร]
3. ระยะกันชน (Buffer Length) - กรณีไม่มีรถคุ้มกัน - กรณีมีรถคุ้มกัน	Buffer Length = 85.9 เมตร [(0.278x61.4x2.5)+(0.039x61.4^2/3.4)] Buffer Length = 40 เมตร เป็นอย่างน้อย
4. ระยะสิ้นสุดการปฏิบัติงาน	ประมาณ 15 เมตร



รูปที่ 11 การปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ

4.3.2 กรณีปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ

หมายถึง การปฏิบัติงานใต้หลังคาอาคารด่านฯ ประกอบไปด้วยพื้นที่จัดการจราจรทั้ง 3 ส่วนดังแสดงการคำนวณและรูปแบบการจัดการจราจรในตารางที่ 7 และรูปที่ 12 โดยมีระยะปลอดภัยดังนี้

ตารางที่ 7 ระยะปลอดภัยกรณีปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ

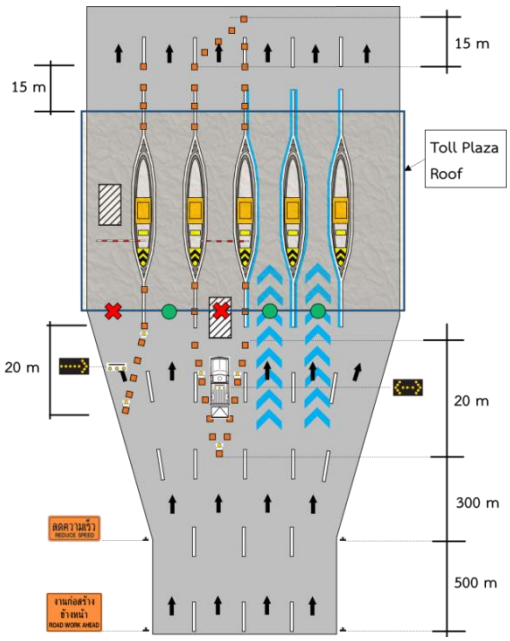
2. กรณีปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ	
พื้นที่การจัดการจราจร	ระยะปลอดภัย
1. ระยะแจ้งเตือนล่วงหน้า (Decision Sight Distance, DSD)	DSD = 300 ถึง 500 เมตร [0.278 x 103 x 10.2 = 300] [0.278 x 103 x 14.5 = 430]
2. ระยะเบี่ยงการจราจร (Taper Length) - ยานพาหนะมีความเร็วน้อยกว่า 70 กม./ชม.	Taper Length = 20 เมตร เป็นอย่างน้อย [3 x 35.3^2 / 155 = 24.1 เมตร]
3. ระยะสิ้นสุดการปฏิบัติงาน	ประมาณ 15 เมตร

4.3.3 กรณีปฏิบัติงานบริเวณหลังด่านฯ

หมายถึง การปฏิบัติงานนอกหลังคาอาคารด่านฯ ห่างจากด่านฯ ไม่เกิน 100 เมตร ประกอบไปด้วยพื้นที่จัดการจราจรทั้ง 3 ส่วนดังแสดงการคำนวณและรูปแบบการจัดการจราจรในตารางที่ 8 และรูปที่ 13 โดยมีระยะปลอดภัยดังนี้

ตารางที่ 8 ระยะปลอดภัยกรณีปฏิบัติงานบริเวณหลังด่านฯ

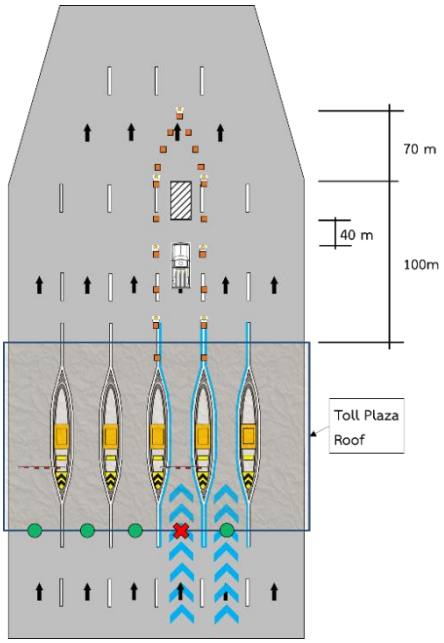
3. กรณีปฏิบัติงานบริเวณหลังด่านฯ	
พื้นที่การจัดการจราจร	ระยะปลอดภัย
1. ระยะแจ้งเตือนล่วงหน้า (Decision Sight Distance, DSD)	เปิดสัญญาณไฟ OTL แจ้งเตือนผู้ใช้งาน
2. ระยะกันชน (Buffer Length) - กรณีไม่มีรถคุ้มกัน - กรณีมีรถคุ้มกัน	 Buffer Length = 85.9 เมตร [(0.278x61.4x2.5)+(0.039x61.4^2/3.4)] Buffer Length = 40 เมตร เป็นอย่างน้อย
3. ระยะเบี่ยงการจราจร (Taper Length) - ยานพาหนะมีความเร็วน้อยกว่า 70 กม./ชม.	 Taper Length = 70 เมตร เป็นอย่างน้อย [3 x 61.4^2 / 155 = 72.9 เมตร]



รูปที่ 12 การปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ

4.4 การเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการจราจรกับมาตรฐาน FDOT

รูปแบบการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ ที่เหมาะสมกับ กทพ. แบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ กรณีปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ กรณีปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ และกรณีปฏิบัติงานบริเวณหลังด่านฯ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบพื้นที่จัดการจราจรกับมาตรฐาน FDOT พบว่ามีความสอดคล้องกัน โดยมีรายละเอียดการเปรียบเทียบพื้นที่การจัดการจราจรแสดงในตารางที่ 9



รูปที่ 13 การปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบพื้นที่การจัดการจราจร

พื้นที่การจัดการจราจร	FDOT	EXAT's
1. พื้นที่แจ้งเตือนล่วงหน้า - ระยะแจ้งเตือนล่วงหน้า	อย่างน้อย 3 ป้าย ระยะ 150, 150 และ 500 เมตรก่อนเข้าพื้นที่เบี่ยงการจราจร	อย่างน้อย 2 ป้าย ระยะ 300 และ 500 เมตรก่อนเข้าพื้นที่เบี่ยงการจราจร
2. พื้นที่เบี่ยงการจราจร - ระยะเบี่ยงกรณีปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ - ระยะเบี่ยงกรณีปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ	 60 – 100 เมตร 15 เมตร	 ไม่น้อยกว่า 70 เมตร ไม่น้อยกว่า 20 เมตร
3. พื้นที่ปฏิบัติงาน - ระยะกันชนกรณีไม่มีรถคุ้มกัน - ระยะกันชนกรณีมีรถคุ้มกัน	 ไม่ได้กำหนด ไม่ได้กำหนด	 ไม่น้อยกว่า 86 เมตร ไม่น้อยกว่า 40 เมตร
4. พื้นที่สิ้นสุดการปฏิบัติงาน - ระยะเบี่ยงสิ้นสุดการปฏิบัติงาน	 ไม่ได้กำหนด	 ประมาณ 15 เมตร

5. บทสรุป

การศึกษารูปแบบการจัดการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษนี้สามารถทราบถึงข้อมูลความเร็วออกแบบของยานพาหนะบริเวณด่านฯ ที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ซึ่งครอบคลุมลักษณะกายภาพของด่านฯ ในประเทศไทย และนำมากำหนดรูปแบบการจัดการจราจรที่เหมาะสมกับพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ใช้ทางและลักษณะการปฏิบัติงานก่อสร้างหรือซ่อมบำรุงรักษาของ กทพ.เพื่อให้เกิดความปลอดภัย

ในกรณีที่มีการปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ โดยข้อมูลความเร็วออกแบบเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สุดในการกำหนดรูปแบบการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ เพราะความเร็วของยานพาหนะถือเป็นตัวแปรหลักในการกำหนดระยะปลอดภัยต่าง ๆ

จากการศึกษาพบว่ารูปแบบการจัดการจราจรของ กทพ. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการปฏิบัติงานก่อสร้างหรือบำรุงรักษาบริเวณด่านฯ ในประเทศไทยได้ เนื่องจากการเก็บข้อมูลความเร็วที่ครอบคลุมทุกกายภาพของด่านฯ ในประเทศไทย ซึ่งมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับทฤษฎีการจัดการจราจร และมาตรฐานในระดับสากล อาทิ AASHTO, MUTCD และ FDOT เป็นต้น โดยสามารถแบ่งรูปแบบการจัดการจราจรบริเวณด่านฯ ตามตำแหน่งของพื้นที่ปฏิบัติงานออกเป็น 3 กรณี ดังนี้

5.1 กรณีปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ

การปฏิบัติงานบริเวณหน้าด่านฯ จะหมายถึง พื้นที่ปฏิบัติงานอยู่นอกหลังคาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ และห่างจากตัวด่านฯ ไม่เกิน 100 เมตร ติดตั้งป้ายเตือนล่วงหน้าเพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทางทราบที่ระยะ 300 และ 500 เมตร ก่อนพื้นทีเบี่ยงการจราจรหรือเปิดใช้ป้าย MS/VMS แจ้งเตือนก่อนถึงบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ มีระยะเบี่ยงการจราจรที่ 70 เมตร มีรถคุ้มกันปิดท้ายและมีระยะกันชนระหว่างหน้ารถคุ้มกันจนถึงพื้นที่ปฏิบัติงานอย่างน้อย 40 เมตร และระยะเบี่ยงสิ้นสุดการปฏิบัติงาน 15 เมตร

5.2 กรณีปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ

การปฏิบัติงานบริเวณด่านฯ หมายถึง พื้นที่ปฏิบัติงานอยู่ใต้หลังคาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ติดตั้งป้ายเตือนล่วงหน้าเพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทางทราบที่ระยะ 300 และ 500 เมตร หรือเปิดใช้ป้าย MS/VMS แจ้งเตือนก่อนถึงบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ มีระยะเบี่ยงการจราจร 20 เมตร และระยะเบี่ยงสิ้นสุดการปฏิบัติงาน 15 เมตร

5.3 กรณีปฏิบัติงานบริเวณหลังด่านฯ

การปฏิบัติงานบริเวณหลังด่านฯ หมายถึง พื้นที่ปฏิบัติงานอยู่นอกหลังคาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ และห่างจากตัวด่านฯ ไม่เกิน 100 เมตร เปลี่ยนสัญญาณไฟ OTL เป็นสีแดงเพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทางทราบว่าช่องเก็บค่าผ่านทางฯ ปิดใช้งานชั่วคราว มีรถคุ้มกันปิดท้ายและมีระยะกันชนระหว่างหน้ารถคุ้มกันจนถึงพื้นที่ปฏิบัติงานอย่างน้อย 40 เมตร และมีระยะเบี่ยงการจราจร 70 เมตร

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ขอขอบพระคุณ นายเทพฤทธ์ รัตนปัญญากร ผอ.กวพ. ที่ให้โอกาสจัดทำงานศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณนางสาวนันทวรรณ พิทักษ์พานิช ห.ทส. รวมทั้งบุคลากรทุกท่านในกองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ตลอดการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2001). *A Policy Geometric Design of Highway and Streets*. Page 110 - 117, 256 - 258.

[2] Federal Highway Administration (FHWA). (2009). *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* (MUTCD). Page 547 – 557.

[3] รัฐพงศ์ มีสิทธ์, เอกรินทร์ เหลืองวิลัย และ ศักดิ์ดา พรรณไวย. (2557). การศึกษาระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติกรณีไม่มีไม้กั้น (Non-Stop Lane). การประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 9, 20 - 21 พฤศจิกายน 2557, หน้า 4 - 6.

[4] Florida Department of Transportation (FDOT). (2017). Toll Plaza Traffic Control Standards. Page 1 – 6.

[5] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2559). ร่างรายงานคู่มือมาตรฐานด้านการจัดระบบจราจร เรื่อง การสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลด้านจราจร, หน้า 2 - 7 ถึง 2 - 13, 5 - 4 ถึง 5 - 7.