SWU Engineering Journal (2016) 11(1), 109-120
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2559

งานศึกษาด้านจราจรเพื่อจัดทำแผนแม่บทด้านการพัฒนาระบบจัดเก็บค่าธรรมเนียมบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง

Traffic Study for Master Plan of Toll Collection System on Intercity Motorway

ธีรพจน์ ศิริไพโรจน์[1]* เอกชัย สุมาลี[2] สุวิชาณ สุระบาล[3]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ นครนายก
*Corresponding author: E-mail: treerapot_eng@yahoo.com
[2]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพ
E-mail: asumalee@gmail.com
[3]รักษาการวิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ รองผู้อำนวยการกองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง กรมทางหลวง กรุงเทพ
E-mail: ss_tum@yahoo.com

บทคัดย่อ

ปริมาณการจราจรผู้ใช้ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (สาย 7 และ สาย 9) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดปัญหาความล่าช้าในการเดินทาง เพื่อแก้ปัญหาการติดขัดของกระแสจราจรโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง การศึกษานี้ได้วิเคราะห์แนวทางพัฒนาระบบจัดเก็บเงินค่าธรรมเนียมผ่านทาง (แบ่งแนวทางพัฒนาออกเป็น 3 ระยะ) โดยใช้แบบจำลองการจราจรเสมือนจริงวิเคราะห์สภาพจราจรบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองดังกล่าว จากผลการศึกษาโดยแบบจำลองฯ พบว่าควรเพิ่มจำนวนตู้เก็บค่าผ่านทาง ตามแผนพัฒนาระยะสั้น และควรพัฒนาระบบจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางที่มีอัตราการให้บริการดีกว่าระบบจัดเก็บแบบเงินสด เช่นระบบจัดเก็บค่าธรรมเนียมแบบอัตโนมัติ ตามแผนพัฒนาในระยะถัดไป

คำสำคัญ: ระบบจัดเก็บค่าผ่านทาง ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง แผนแม่บท แบบจำลองจุลภาค ระบบจัดเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติแบบหลายช่องจราจร

ABSTRACT

Traffic demand using intercity motorway (no. 7 and 9) tends to be rapidly increased. This causes travel delay and traffic jam problem. To reduce this problem (especially occurred at toll plaza), 3-phased traffic studies (using microsimulation model) are conducted to develop the master plan for the improvement of toll collection system on intercity motorway. The results show that the number of toll booths should be increased on first phase. Also, electronic toll collection system, which has more service rates, should be applied in next phases.

Keyword: Toll Collection System, Intercity Motorway, Traffic Micro Simulation, Multilane-free Flows

1. บทนำ

ทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 7 และหมายเลข 9 ได้เปิดให้บริการมามากกว่า 10 ปี และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมาก เพื่อรองรับการเพิ่มปริมาณการจราจรตลอดเวลา

โดยในขั้นต้นนั้นกรมทางหลวงได้ดำเนินการเพิ่มจำนวนช่องจราจรจากเดิมในแต่ละด่านฯ ซึ่งมีเพียง 14 ช่องเก็บเงิน ได้ขยายเพิ่มเป็น 20 ช่องเก็บเงินต่อด่านฯ หากแต่ปริมาณการจราจรผู้ใช้ทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีจราจรคับคั่ง เกิดความล่าช้าและเกิดการชะลอตัวบริเวณหน้าด่านเก็บเงินผ่านทาง ส่งผลให้เกิดความไม่สะดวกและสิ้นเปลืองพลังงาน

เทคโนโลยีในการเพิ่มขีดความสามารถในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง เช่น เปลี่ยนระบบการจัดเก็บจากแบบเงินสด มาเป็นระบบการจัดเก็บค่าผ่านทางแบบ Electronic toll collection system (ETC) ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราการให้บริการจากระบบเดิม (300-450 คัน/ชั่วโมง/ช่อง) เพิ่มขึ้นเป็น 1,000-1,800 คัน/ชั่วโมง/ช่อง โดยระบบจัดเก็บฯ แบบ ETC[1] จะช่วยลดเวลาการจัดเก็บ (service time) เมื่อเปรียบเทียบกับระบบจัดเก็บที่ใช้อยู่เดิมเป็นอย่างมาก [1] เนื่องจากระบบจะหักค่าผ่านทางผ่าน Tag และบัตรที่อยู่ในรถอัตโนมัติ เช่น บัตร Easypass (สำหรับการทางพิเศษแห่งประเทศไทย) และ บัตร Mpass (สำหรับทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง) รายละเอียดเพิ่มเติมดังตารางที่ 1 และ รูปที่ 1

จากการศึกษาทบทวนถึงสัดส่วนการใช้ช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางแบบ ETC เช่น ระบบการจัดเก็บฯ แบบ Easy pass ซึ่งดำเนินการโดยการทางพิเศษแห่งประเทศไทย พบว่าในปัจจุบัน (พ.ศ. 2557) มีสัดส่วนการใช้ Easy-pass เท่ากับร้อยละ 35 ของผู้ใช้ทางพิเศษทั้งหมด (หรือประมาณ 6 แสนใบ ของ Easy pass ถูกจำหน่าย) และหากเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้ระบบการจัดเก็บค่าผ่านทางในประเภทเดียวกับ M-pass พบว่าหลายประเทศในเอเชีย เช่น มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ เกาหลีใต้ ฮ่องกง (จีน) และ ไต้หวัน มีสัดส่วนการใช้ระบบการจัดเก็บฯ แบบ Electronic toll collection (ETC) อยู่ในช่วง 20% - 45% รายละเอียดการทบทวนสัดส่วนการใช้ระบบการจัดเก็บค่าผ่านทาง ที่คล้ายคลึงกับระบบการจัดเก็บฯ แบบ ETC ในประเทศและต่างประเทศ เพิ่มเติมแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 อัตราการให้บริการจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางของเทคโนโลยีรูปแบบต่างๆ

รูปแบบการจัดเก็บค่าผ่านทาง	คัน/ชั่วโมง
เก็บเงินสด	300-450
คูปอง	500-800
ระบบ ETC 1 ช่อง (SLFF[2])	1,000-1,800
ระบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF)[A]	2,300

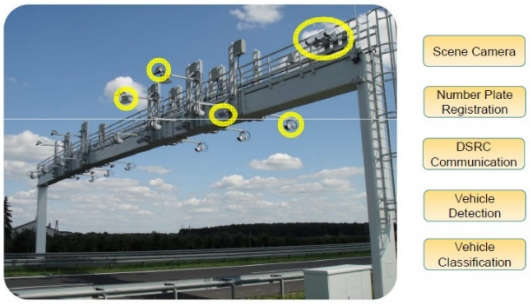
ที่มา: [A] Multi-lane Free Flow, https://www.kapsch.net

[1] ETC คือระบบการจัดเก็บค่าผ่านทาง แบบอัตโนมัติโดยติดตั้ง Tag ไว้ที่ยานพาหนะ และติดเครื่องอ่าน Tag ที่ตู้เก็บค่าผ่านทาง ตัวอย่างเช่น ระบบ M-pass และ ระบบ Easy-pass เป็นต้น

[2] SLFF เป็นหนึ่งในระบบการจัดเก็บค่าผ่านทาง แบบอัตโนมัติแบบ 1 ช่องจราจร (ETC) ในกรณีที่เอาไม้กั้นออก ทำให้อัตราการให้บริการเพิ่มขึ้น (อัตราการให้บริการ = 1,600 -1,800 คัน/ชั่วโมง)

(ก) ระบบการจัดเก็บฯ แบบเงินสด

(ข) ระบบการจัดเก็บฯ แบบ ETC



(ค) ระบบการจัดเก็บฯ แบบ Multi-lane free flow[3] -ไม่มีตู้เก็บค่าผ่านทาง

รูปที่ 1 ตัวอย่างระบบการจัดเก็บค่าผ่านทางในปัจจุบัน

เพื่อแก้ปัญหาการติดขัดของกระแสจราจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางที่รถจำนวนมากต้องผ่านเข้ามา และใช้เวลาช่วงหนึ่งในการจ่ายเงินบริเวณด่าน ทำให้เกิดการติดขัดและเกิดเป็นแถวคอยที่ยาวโดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน การศึกษานี้จึงได้จัดทำแผนพัฒนาระบบจัดเก็บเงินค่าธรรมเนียมผ่านทาง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบจัดเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติทั้งในปัจจุบันและระบบที่จะเกิดขึ้นกับเส้นทางหลวงพิเศษในอนาคต

ตารางที่ 2 สัดส่วนการใช้ระบบการจัดเก็บค่าผ่านทาง ETC ในหลายประเทศ

ลำดับที่	สัดส่วนการใช้ ETC (%)	ประเทศที่ใช้ระบบ ETC
1	37%	มาเลเซีย
2	75%	ญี่ปุ่น
3	20%	ฟิลิปปินส์
4	35%	ไทย (กทพ.)
5	34%	เกาหลีใต้
6	40%	ฮ่องกง
7	70%	สหรัฐอเมริกา[B] [2]
8	45%	ไต้หวัน

ที่มา: [B] All-Electronic Toll Collection, Thematic Report, 2012.

2. การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพจราจรบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง

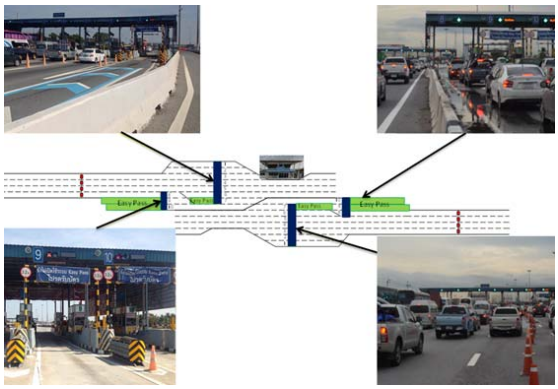
การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการจราจรบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางแสดงได้ดังนี้

2.1 ข้อมูล Road/Toll booth inventory

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของด่านฯ ลาดกระบัง บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 7

- ด่านลาดกระบัง (ขาออกกรุงเทพ) ก่อนเข้าด่านฯจะเป็นถนนขนาด 4 ช่องจราจร โดยบริเวณด่านที่ 1 จะมีช่องเก็บเงิน 3 ช่องทาง สำหรับรถยนต์ส่วนบุคคล และด่านที่ 2 จะมีช่องเก็บเงินจำนวน 7 ช่องทาง ซึ่งมีช่องทางด้านซ้ายสุด จำนวน 2 ช่องทาง เป็นช่องเก็บเงินสำหรับรถบรรทุก
- ด่านลาดกระบัง (ขาเข้ากรุงเทพ) ก่อนเข้าสู่ด่านฯ จะเป็นถนนขนาด 4 ช่องจราจร โดยบริเวณด่านที่ 1 จะมีช่องเก็บเงิน 3 ช่องทาง และด่านที่ 2 จะมีช่องเก็บเงินจำนวน 9 ช่องทาง ซึ่งมีช่องทางด้านซ้ายสุด จำนวน 2 ช่องทางเป็นช่องเก็บเงินสำหรับรถบรรทุก ดังแสดงในรูปที่ 2

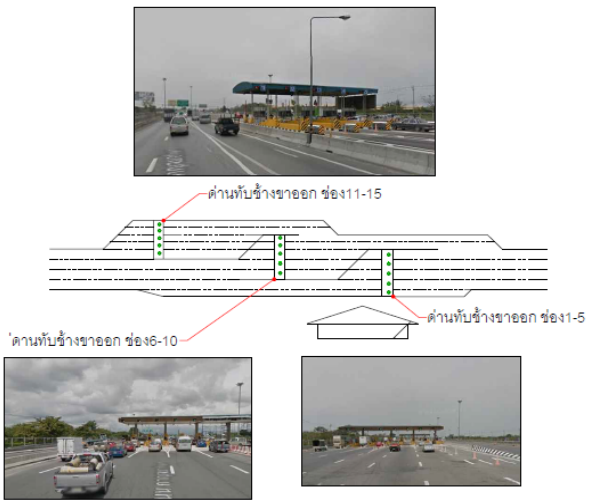
[3] Multi-lane free flows คือระบบจัดเก็บค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติ ซึ่งรถสามารถวิ่งผ่านช่องเก็บค่าผ่านทางได้จำนวนหลายช่องจราจร โดยไม่ต้องชะลอความเร็วลงเพื่อผ่านด่านฯ เหมือนปัญหาที่พบได้จากระบบจัดเก็บค่าผ่านทางในปัจจุบัน (แบบชำระเงินสด)



รูปที่ 2 ลักษณะกายภาพด่านฯ ลาดกระบัง (ก่อนปรับปรุง ปี พ.ศ. 2557)

และข้อมูลลักษณะทางกายภาพของด่านฯ ทับช้าง บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 9 แสดงได้ดังนี้

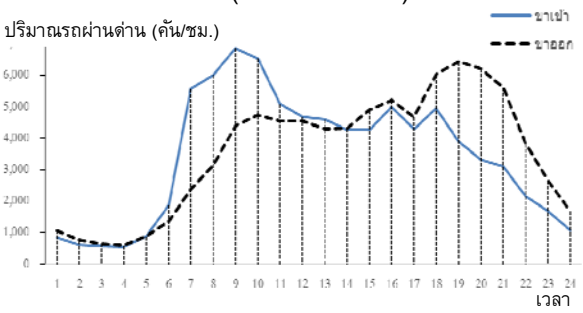
- ด่านทับช้าง (ขาเข้ากรุงเทพ) ก่อนเข้าสู่ด่านฯ จะเป็นถนนขนาด 4 ช่องจราจร โดยมีทั้งสิ้น 3 ด่าน แต่ละด่านมีช่องเก็บเงินจำนวน 5 ช่องทาง
- ด่านทับช้าง (ขาออกจากกรุงเทพ) จะมีจำนวน 4 ช่องจราจร โดยมีทั้งหมด 2 ด่าน แต่ละด่านมีช่องเก็บเงินจำนวน 7 ช่องทาง โดยที่ช่องทางซ้ายสุด 2 ในด่านที่ 1 เป็นช่องทางสำหรับรถบรรทุก ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะกายภาพด่านฯ ทับช้าง (ขาออก)

2.2 ข้อมูลปริมาณรถเข้าด่านฯ

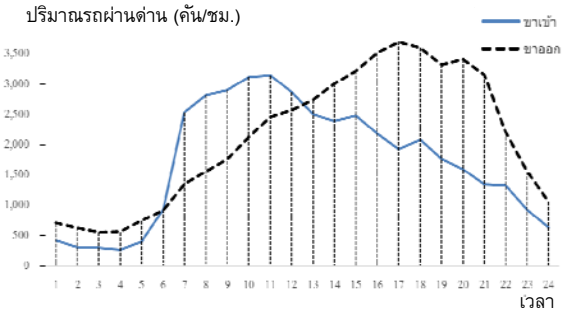
ปริมาณรถผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางทับช้าง บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 9 (รูปที่ 4) โดยปริมาณรถเข้าด่านฯ ทับช้าง ในทิศเข้ากรุงเทพ มีค่าสูงสุดในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (7.00-10.00 น.) และปริมาณรถเข้าด่านฯ ทับช้าง ในทิศออกจากกรุงเทพ มีค่าสูงสุดในช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (18.00-20.00 น.)



ที่มา: ปริมาณรถเข้าด่านวันที่ 7 พ.ย. 2557 สำรวจโดยกองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง, กรมทางหลวง.

รูปที่ 4 ปริมาณรถผ่านด่านฯ ทับช้าง บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 9

และพบว่าปริมาณรถเข้าด่านฯ ลาดกระบัง บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 ในทิศเข้ากรุงเทพ มีค่าสูงสุดในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า และ ส่วนปริมาณรถเข้าด่านฯ ลาดกระบัง ในทิศออกจากกรุงเทพ มีค่าสูงสุดในช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น เช่นเดียวกับด่านฯ ทับช้าง ดังแสดงในรูปที่ 5



ที่มา: ปริมาณรถเข้าด่านวันที่ 7 พ.ย. 2557 สำรวจโดยกองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง, กรมทางหลวง.

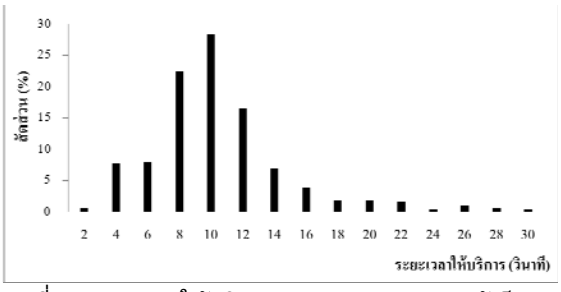
รูปที่ 5 ปริมาณรถผ่านด่านฯ ลาดกระบัง บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 7

2.3 ข้อมูลระยะเวลาให้บริการ (Service time) ของด่านฯ

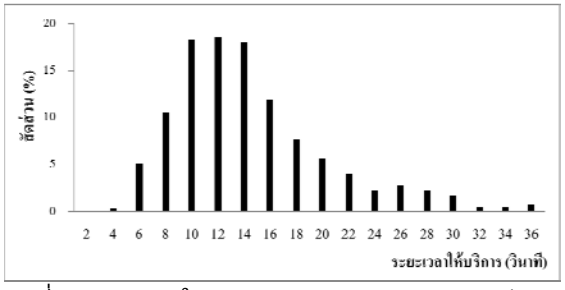
เนื่องจากความสามารถในการให้บริการ ณ บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง ขึ้นอยู่กับวิธีการจัดเก็บค่าผ่านทาง โดยพบว่าวิธีการจัดเก็บค่าผ่านทาง บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 9 เป็นแบบชำระค่าผ่านทางโดยใช้เงินสด แบบระบบเปิด (เช่น ด่านฯ ธัญบุรี และ ด่านฯ ทับช้าง) และวิธีการจัดเก็บค่าผ่านทาง บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 เป็นแบบชำระค่าผ่านทางโดยใช้เงินสด แบบระบบปิด (เช่น ด่านฯ ลาดกระบัง และ ด่านฯ พานทอง เป็นต้น) สำหรับวิธีชำระค่าผ่านทางในระบบปิด นั้นผู้ใช้ทางจะรับบัตร ณ ด่านฯ ทางเข้า และ คืนบัตร พร้อมชำระค่าผ่านทางที่ด่านฯ ทางออก ทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 รายละเอียดผลสำรวจระยะเวลาให้บริการ (Service time) ณ ตู้เก็บค่าผ่านทาง ณ ด่านฯ ลาดกระบัง และ ด่านฯ ทับช้าง แสดงดังตารางที่ 3 และรูปแบบกระจายตัวของระยะเวลาให้บริการที่ด่านทั้งสอง แสดงได้ดังรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 9

ตารางที่ 3 ผลสำรวจระยะเวลาให้บริการ (Service time) ณ ตู้เก็บค่าผ่านทาง

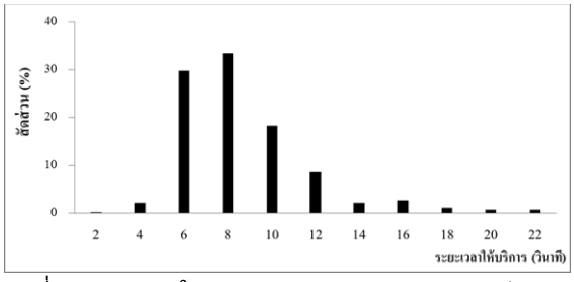
ด่าน	ประเภทช่องเก็บค่าผ่านทาง	ระยะเวลาให้บริการ (วินาที/คัน/ตู้)	
		Mean	SD.
ลาดกระบัง	รถ 4 ล้อ	8.3	7.9
	รถบรรทุก	14.8	7.8
ทับช้าง	รถ 4 ล้อ	6.4	3.7
	รถบรรทุก	11.1	5.8



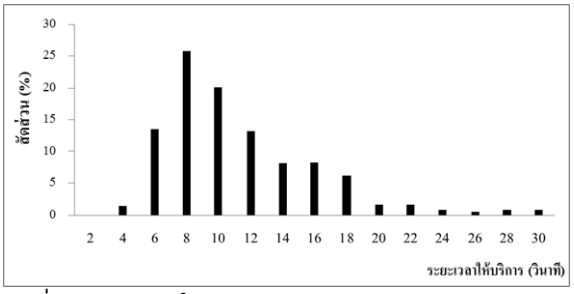
รูปที่ 6 ระยะเวลาให้บริการ (service time) ณ ตู้เก็บค่าผ่านทางประเภทรถ 4 ล้อ ด่านลาดกระบัง



รูปที่ 7 ระยะเวลาให้บริการ (service time) ณ ตู้เก็บค่าผ่านทางประเภทรถบรรทุก ด่านลาดกระบัง



รูปที่ 8 ระยะเวลาให้บริการ (service time) ณ ตู้เก็บค่าผ่านทางประเภทรถ 4 ล้อ ด่านทับช้าง



รูปที่ 9 ระยะเวลาให้บริการ (service time) ณ ตู้เก็บค่าผ่านทางประเภทรถบรรทุก ด่านทับช้าง

2.4 ข้อมูลอัตราการให้บริการ (Service rate) ของด่านฯ

จากการสำรวจความสามารถในการให้บริการ ณ ตู้เก็บค่าผ่านทางด่านฯ ลาดกระบัง และด่านฯ ทับช้าง พบว่าอัตราการให้บริการเฉลี่ย สำหรับช่องเก็บค่าผ่านทาง ประเภทรถ 4 ล้อ (ตั้งแต่ช่องที่ 4 เป็นต้นไป) และรถบรรทุก (ช่องที่ 1-3) ณ ด่านลาดกระบัง มีค่าเท่ากับ 431 คัน/ชั่วโมง/ช่อง และ 243 คัน/ชั่วโมง/ช่อง ตามลำดับ อย่างไรก็ดีพบว่าอัตราการให้บริการเฉลี่ย ณ ด่านฯ ลาดกระบัง มีค่าน้อยกว่าอัตราการให้บริการฯ ณ ด่านฯ ทับช้างเล็กน้อย โดยอัตราการให้บริการเฉลี่ย สำหรับ

ช่องเก็บค่าผ่านทาง ประเภทรถ 4 ล้อ (ตั้งแต่ช่องที่ 4 เป็นต้นไป) และ รถบรรทุก (ช่องที่ 1-3) ณ ด่านฯ ทับช้าง ที่ค่าเท่ากับ 558 คัน/ชั่วโมง/ช่อง และ 325 คัน/ชั่วโมง/ช่อง ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบกับอัตราการให้บริการเฉลี่ย ณ ด่านฯทับช้าง จากโครงการศึกษาพัฒนาและติดตั้งระบบบริการจัดการช่องจราจรและทดสอบระบบบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางทับช้าง (ขาเข้า) บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 9 โดยกรมทางหลวง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน รายละเอียดแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลสำรวจอัตราการให้บริการ (Service rate) ณ ตู้เก็บค่าผ่านทาง

ด่าน	ประเภทช่องเก็บค่าผ่านทาง	อัตราการให้บริการ (คัน/ชั่วโมง/ช่อง)
ลาดกระบัง	รถ 4 ล้อ	431±40
	รถบรรทุก	243±20
ทับช้าง	รถ 4 ล้อ	558±70
	รถบรรทุก	325±30
ทับช้าง	รถ 4 ล้อ	525[C]
	รถบรรทุก	290[C]
-	ETC Single Lane	1,000-1,800[D]
	Multi-Lane Free	>2,300[D]

ที่มา: [C] สำรวจโดยโครงการศึกษา พัฒนาและติดตั้งระบบบริการจัดการช่องจราจรและทดสอบระบบบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางทับช้าง (ขาเข้า) บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 9, รายงานฉบับสมบูรณ์, กรมทางหลวง, 2557.

[D] Multi-lane Free Flow, https://www.kapsch.net

3. แนวทางการพัฒนาแบบจำลองการจราจรเสมือนจริง

การศึกษานี้ ได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรเสมือนจริงระดับจุลภาค ในการจำลองสภาพจราจร ณ ด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง ของกรมทางหลวงทั้งทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 และหมายเลข 9 การพัฒนาแบบจำลองเสมือนจริงนี้ได้ใช้โปรแกรม VISSIM ([3]) เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง (ขั้นตอนพัฒนาแบบจำลองดังรูปที่ 10) เพื่อให้แบบจำลองฯ ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมและน่าเชื่อถือในการนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์สภาพจราจรตามแนวทางการปรับปรุงด่านฯทับช้าง และ ด่านฯลาดกระบัง ตามแผนปรับปรุงจราจร ค่าทางสถิติ GEH ที่ยอมรับได้สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองสภาพการจราจรเสมือนจริง ควรมีค่าน้อยกว่า 5.0 (GEH statistic < 5.0) ตัวอย่างผลการปรับเทียบอัตราการให้บริการ ซึ่งมีค่าทางสถิติ GEH อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 5 แสดงได้ดังนี้

$$\text{GEH statistic} = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \qquad (1)$$

โดยที่ M = อัตราในการให้บริการ (ต่อหนึ่งตู้เก็บค่าผ่านทาง) ที่ได้จากแบบจำลองฯ

C = อัตราในการให้บริการ (ต่อหนึ่งตู้เก็บค่าผ่านทาง) ที่ได้จากการสำรวจ

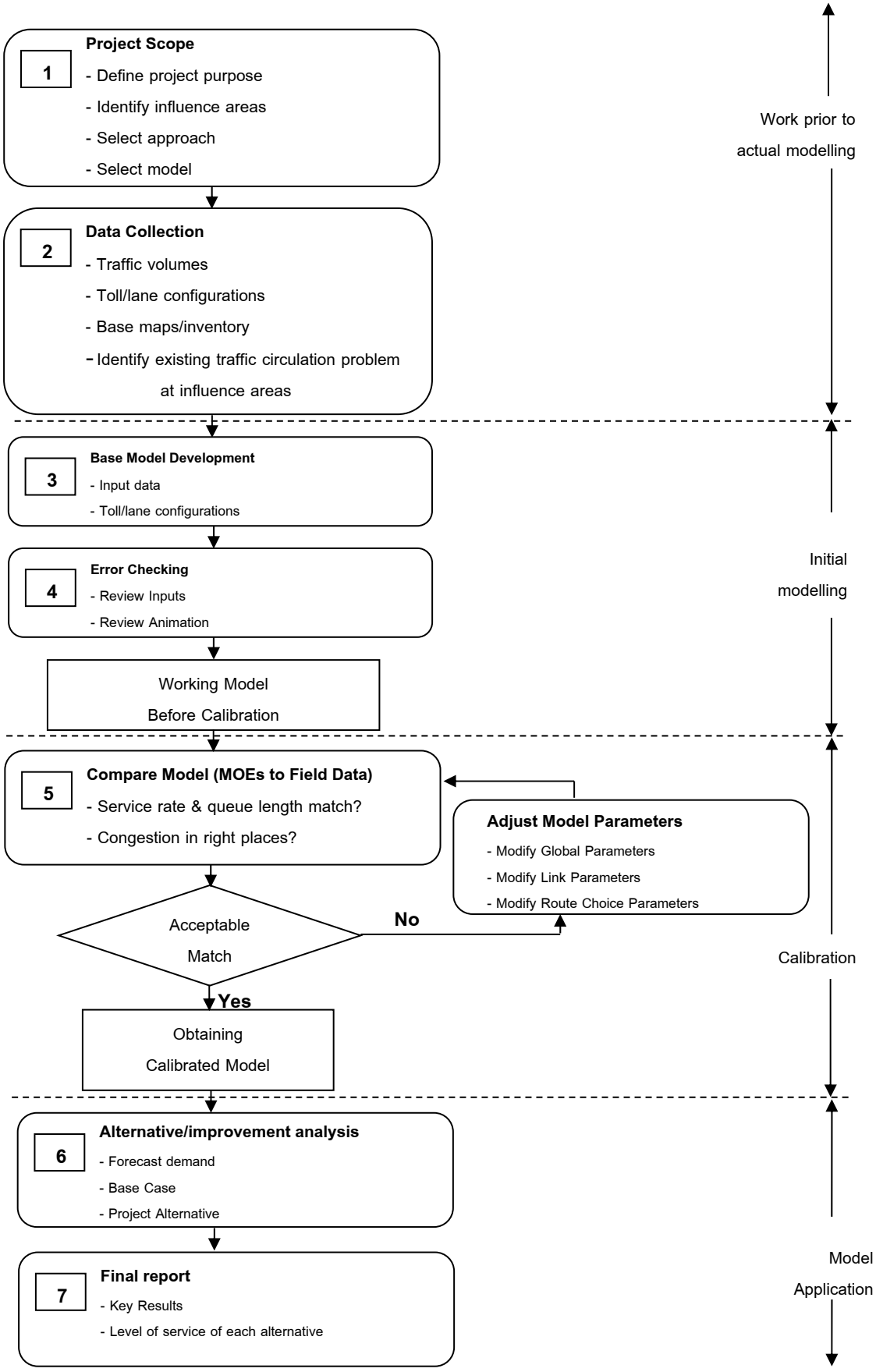
และผลการปรับเทียบตัวแปรด้านการจราจรอื่น เช่น ความยาวแถวคอย และความล่าช้าในการเดินทาง แสดงไว้ในรายงานศึกษาพัฒนาระบบเก็บเงินค่าธรรมเนียมผ่านทาง เพื่อแก้ไขปัญหาจราจรอย่างมีประสิทธิภาพ (กรมทางหลวง, 2558)

ตารางที่ 5 ผลการปรับเทียบแบบจำลองสภาพการจราจรเสมือนจริง

ด่าน	ประเภทช่อง	อัตราการให้บริการเฉลี่ย (คัน/ชั่วโมง/ช่อง)		GEH
		Model	สำรวจ	
ลาดกระบัง	รถ 4 ล้อ	441	431	0.48
	รถบรรทุก	240	243	0.19
ทับช้าง	รถ 4 ล้อ	514	558	1.90
	รถบรรทุก	329	325	0.22

4. การดำเนินมาตรการเพื่อแก้ไขปัญหาจราจร

หลักจากที่ได้พัฒนาแบบจำลองการจราจรบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านผ่านทางดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3 การดำเนินมาตรการเพื่อแก้ไขปัญหาจราจรบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 7 และ 9 สามารถแบ่งการพัฒนาออกได้เป็น 3 ระยะดังนี้คือ



รูปที่ 10 ขั้นตอนการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรเสมือนจริง ([4-5])

4.1 แผนแม่บทระยะสั้น 0-3 ปี

ขอบเขตการดำเนินการของแผนระยะสั้นจะเน้นประเด็นดังต่อไปนี้

- การเปิดให้บริการช่องเก็บค่าผ่านทาง แบบ M-pass
- การจัดการจราจรบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง
- การเพิ่มช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง

4.2 แผนแม่บทระยะกลาง 4-6 ปี

ขอบเขตการดำเนินการของแผนระยะกลางจะเน้นประเด็นดังต่อไปนี้

- การเสนอแนะเทคโนโลยีเพื่อปรับปรุงระบบการจัดเก็บค่าผ่านทางที่ใช้ในงานเพื่อรองรับการขยายและพัฒนาประสิทธิภาพในอนาคต เช่น ช่องเก็บค่าผ่านทางแบบ Single lane free flows (SLFF)

4.3 แผนแม่บทระยะยาว 7-10 ปี

ขอบเขตการดำเนินการของแผนระยะยาวจะเน้นประเด็นดังต่อไปนี้

- การเสนอแผนเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีรูปแบบ Multilane free flow (MLFF) ผสมผสานกับรูปแบบการจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางแบบชำระค่าผ่านทางโดยเงินสดดังในปัจจุบัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบการจัดเก็บค่าผ่านทางสูงสุด

5. ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองสภาพการจราจรเสมือนจริง

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองสภาพการจราจรเสมือนจริง ประกอบด้วย:

- ความล่าช้า (Delay) ในการเดินทาง ของยวดยานที่ผ่านเข้า-ออก ในแต่ละด่านเก็บค่าผ่านทาง
- ความยาวแถวคอย ในแต่ละด่านเก็บค่าผ่านทาง

โดยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองสภาพการจราจรเสมือนจริง ระหว่างกรณีฐาน ณ ปีปัจจุบัน (Base case) และ กรณีปรับปรุงตามแผนแม่บทศึกษา ระบบจัดเก็บค่าผ่านทางสำหรับทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง ในการศึกษาครั้งนี้ ได้เลือกใช้ด่านฯ ลาดกระบังและด่านฯทับช้าง (เนื่องจากมีการจราจรหนาแน่นสูง) เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ด้านการจราจรตามแผนการปรับปรุงด้านการจราจร (ดังแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4)

อย่างไรก็ดีเพื่อให้สามารถเปรียบสภาพการจราจรในแต่ละกรณีศึกษาได้อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องหาหลักเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อใช้วัดสภาพการจราจรเชิงปริมาณ ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบรูปแบบการปรับปรุงการจราจร บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 และ 9 โดยทั่วไปจะวัดสภาพการจราจรตามระดับการให้บริการ (Level of Service) ของถนน หากแต่การศึกษาที่ผ่านมานั้นส่วนใหญ่ (e.g. [6-7]) ยังไม่ได้มีการกำหนดวิธีในการคำนวณระดับการให้บริการ ของสภาพการจราจร บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง (Level of service of toll plazas) โดยส่วนใหญ่จะวัดระดับการให้บริการของทางหลวงพิเศษ (Level of service on freeway) ณ บนช่วงถนนเท่านั้น ([6-7]) เพื่อให้สามารถวัดระดับการให้บริการได้อย่างเหมาะสม จึงพิจารณาใช้ความล่าช้าในการเดินทางผ่านด่านฯ ที่ 85th percentile ซึ่งถูกเสนอโดย ([8]) เป็นเกณฑ์ในการวัดระดับการให้บริการ บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางฯ รายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ระดับการให้บริการ (Level of service) ณ บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง ฯ

ระดับการให้บริการ (Level of service)	ความล่าช้าในการเดินทางผ่านด่านฯ ที่ 85th percentile (วินาที/คัน)
A	≤14
B	14-28
C	28-49
D	49-77
E	77-112
F	≥112

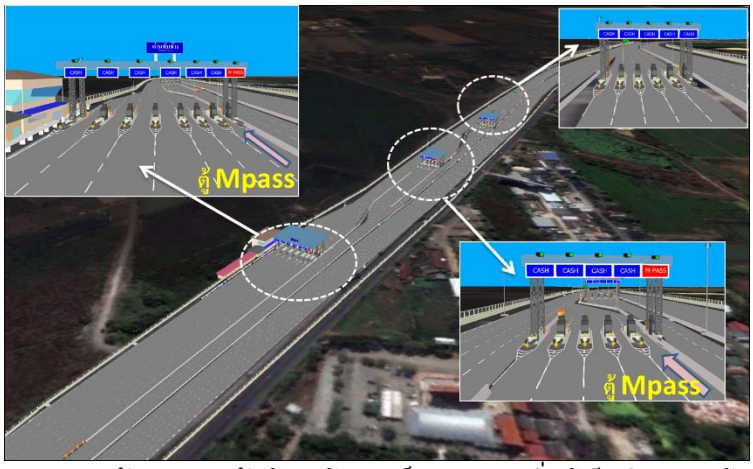
และแนวทางการปรับปรุงในแต่ละกรณี พร้อมผลวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจร ณ ด่านลาดกระบัง และด่านทับช้าง (ความล่าช้าในการเดินทาง และความยาวแถวคอยสะสม บริเวณหน้าด่านฯ) แสดงได้ดังตารางที่ 7 และ ตารางที่ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 แผนการปรับปรุง ณ ด่านลาดกระบัง พร้อมผลวิเคราะห์ด้านจราจร

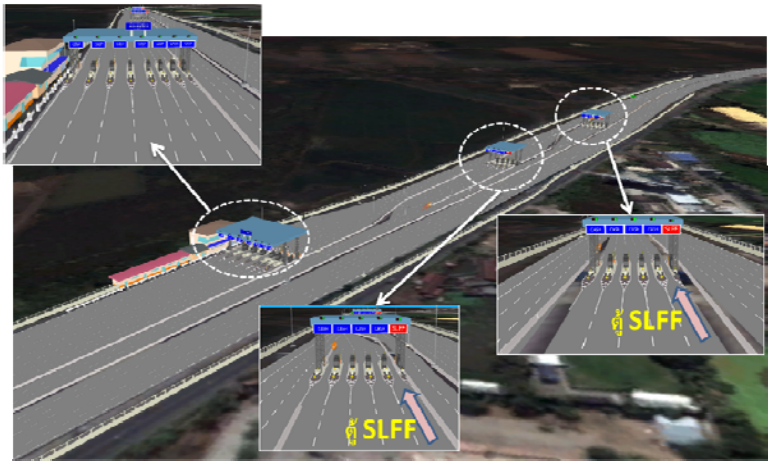
ปี พ.ศ. (กรณี)	แนวทางการปรับปรุง	ทิศเข้ากรุงเทพ	
		ความล่าช้า (วินาที)	ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (ม.)
2557 (caseA0)	กรณีก่อนปรับปรุงในปี 2557 (12 ตู้ ในทิศขาเข้ากรุงเทพ + 10 ตู้ในทิศขาออกกรุงเทพ)	780 (LOS F)	3,110
2558 (caseA1)	กรณีหลังปรับปรุงในปี 2557 (15 ตู้ ในทิศขาเข้ากรุงเทพ + 7 ตู้ในทิศขาออกกรุงเทพ)	15 (LOS B)	20
2558 (caseA2)	เปิดตู้ M-pass 1 ตู้ ทั้งขาเข้าและขาออกกรุงเทพ	16 (LOS B)	22
2560 (caseA3)	เปิดตู้ M-pass 2 ตู้ ทั้งขาเข้าและขาออกกรุงเทพ	18 (LOS B)	13
2560 (caseA3r)	ปรับปรุงด่าน (ย้ายศูนย์ควบคุมฯ) เพิ่มตู้เก็บเงินสด ในทิศขาออกกรุงเทพ	19 (LOS B)	21
2563 (caseA4)	เหมือน Case A2 แต่เปลี่ยนระบบจัดเก็บฯ จาก M-pass เป็น SLFF จำนวน 2 ตู้ในทิศเข้ากรุงเทพ และ 1 ช่องในทิศออกจากรุงเทพ	19 (LOS B)	21
2567 (caseA5)	วาง layout ด่านใหม่ พร้อมเปลี่ยนระบบจัดเก็บฯจาก SLFF เป็น MLFF ขนาด 2 ช่องจราจรในทิศเข้ากรุงเทพ พร้อมช่องจราจรรถบรรทุก 1 ช่องจราจร	16 (LOS B)	12

ตารางที่ 8 แผนการปรับปรุง ณ ด่านทับช้าง พร้อมผลวิเคราะห์ด้านจราจร

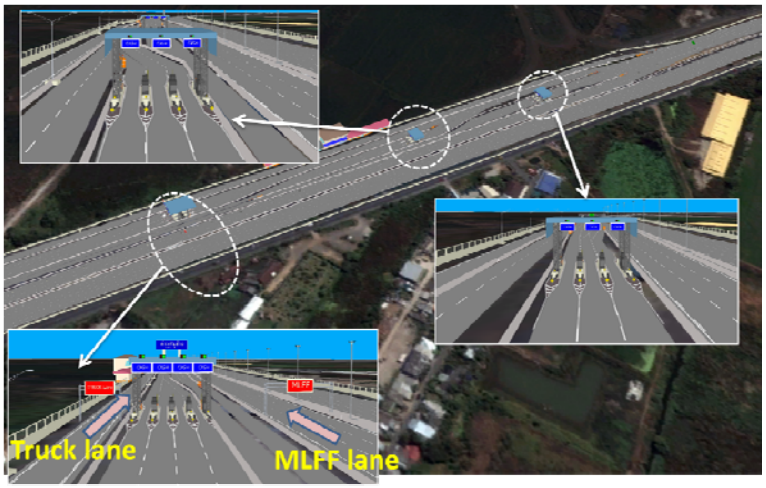
ปี พ.ศ.	แนวทางการปรับปรุง	ทิศเข้ากรุงเทพ	
		ความล่าช้า (วินาที)	ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (ม.)
2558 (caseB1)	กรณีก่อนเปิดใช้ Mpass	360 (LOS F)	3,360
2558 (caseB2)	กรณีเปิดใช้ Mpass 1 ตู้	395 (LOS F)	3,410
2560 (caseB3r) ดังรูปที่ 11	ปรับปรุงด่าน (ย้ายศูนย์ควบคุมฯ) เพิ่มตู้เก็บเงินสด 2 ตู้ พร้อม Mpass จำนวน 2 ตู้	255 (LOS F)	2,200
2563 (caseB5) ดังรูปที่ 12	เปลี่ยนระบบจัดเก็บเป็นแบบ SLFF จำนวน 2 ตู้	155 (LOS F)	630
2567 (caseB7) ดังรูปที่ 13	วาง layout ด่านใหม่ พร้อมเปลี่ยนระบบจัดเก็บฯจาก SLFF เป็น MLFF 3 ช่อง ในทิศเข้ากรุงเทพ พร้อมช่องจราจรรถบรรทุก 1 ช่อง – ***ความต้องการใช้ ETC = 39% (ตามที่คาดการณ์ไว้)***	70 (LOS D)	350
2567 (caseB7r)	วาง layout ด่านใหม่ พร้อมเปลี่ยนระบบจัดเก็บฯจาก SLFF เป็น MLFF 3 ช่อง ในทิศเข้ากรุงเทพ พร้อมช่องจราจรรถบรรทุก 1 ช่อง– ***ความต้องการใช้ ETC = 50% (สูงกว่าที่คาดการณ์ไว้)***	30 (LOS C)	100



รูปที่ 11 ด่านทับช้าง Case B3r ปรับปรุงด่านทับช้าง (ย้ายศูนย์ควบคุมฯ) เพิ่มตู้เก็บเงินสด 2 ตู้ พร้อมเปิดใช้ Mpass จำนวน 2 ตู้ สำหรับด่านฯในทิศเข้ากรุงเทพ ปี พ.ศ. 2560



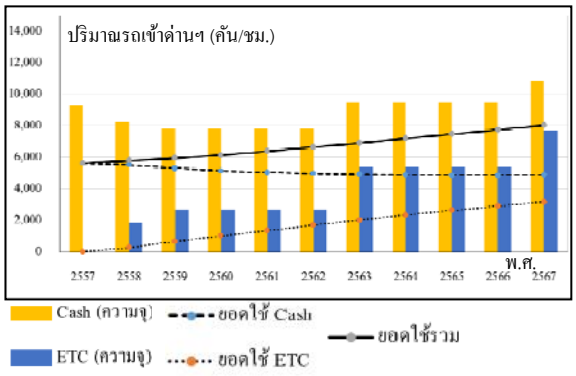
รูปที่ 12 ด่านทับช้าง Case B5 เปลี่ยนระบบจัดเก็บ ETC จาก Mpass เป็นแบบ SLFF จำนวน 2 ตู้ สำหรับด่านฯในทิศเข้ากรุงเทพ ปี พ.ศ. 2563



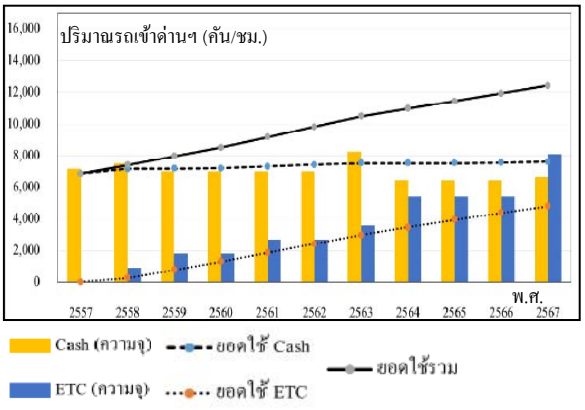
รูปที่ 13 ด่านทับช้าง Case B7 เปลี่ยนระบบจัดเก็บ ETC จาก SLFF เป็นแบบ MLFF จำนวน 3 ช่องจราจร พร้อมสร้าง nonstop truck lane สำหรับด่านฯในทิศเข้ากรุงเทพ ปี พ.ศ. 2567

โดยสรุปรายละเอียดแนวทางการปรับปรุงในแต่ละกรณี พร้อมผลวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจร ณ ด่านฯ ลาดกระบัง แสดงได้ดังนี้

- ในปี 2557 (case A1) กรณีปรับปรุงด่านลาดกระบังก่อนเปิดใช้งานระบบ Mpass ได้เพิ่มจำนวนตู้เก็บค่าผ่านทางในทิศเข้ากรุงเทพ จำนวน 2 ตู้พร้อมปรับปรุงและเพิ่มจำนวนช่องจราจร บริเวณด่านฯ
- ในปี 2558 (เริ่มเปิดใช้ Mpass) ได้กำหนดช่อง Mpass จำนวน 1 ช่อง ณ ด่านลาดกระบัง ทั้งทิศเข้า และออกกรุงเทพ (case A2)
- ในปี 2560 ปรับปรุงด่านลาดกระบัง โดยการย้ายศูนย์ควบคุมฯไปอยู่ตำแหน่งใหม่ พร้อมเพิ่มตู้เก็บค่าผ่านทางอีก 3 ตู้ ในทิศขาออกกรุงเทพ (สัดส่วนผู้ใช้ Mpass ถูกคาดการณ์จะเพิ่มขึ้น 16% ของผู้ใช้ทางทั้งหมด (รูปที่ 14) โดยผลคาดการณ์จากรายงานศึกษาพัฒนาระบบเก็บเงินค่าธรรมเนียมผ่านทาง เพื่อแก้ไขปัญหาจราจรอย่างมีประสิทธิภาพ (กรมทางหลวง, 2558)) ดัง case A3r
- ในปี 2563 ความต้องการใช้ระบบจัดเก็บค่าผ่านแบบ ETC (เช่น Mpass) เพิ่มสูงขึ้นเป็น 29% ของผู้ใช้ทางทั้งหมด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บค่าผ่านทาง จึงเสนอให้เปลี่ยนระบบจัดเก็บเป็นแบบ SLFF (Single lane free flows) ดัง case A4
- ในปี 2567 ความต้องการใช้ระบบจัดเก็บค่าผ่านแบบ ETC (เช่น Mpass) ถูกคาดการณ์ว่าจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 39% ของผู้ใช้ทางทั้งหมด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บค่าผ่านทาง เสนอให้เปลี่ยนระบบจัดเก็บเป็นแบบ MLFF (Multi lane free flows) ดัง case A5 และรายละเอียดแนวทางการปรับปรุงในแต่ละกรณี พร้อมผลวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจร ณ ด่านฯทับช้าง แสดงได้ดังนี้
- ในปี 2558 (เริ่มเปิดใช้ Mpass) ควรกำหนดช่อง Mpass จำนวน 1 ช่อง ในช่องขวาสุดของด่านฯที่สอง ดัง case B2
- ในปี 2560 ปรับปรุงด่านทับช้าง โดยการย้ายศูนย์ควบคุมฯ ไปอยู่ในตำแหน่งใหม่ พร้อมเพิ่มตู้เก็บเงินสด จำนวน 2 ตู้ และช่อง Mpass เพิ่มจำนวนเป็น 2 ช่อง เพื่อรองรับความต้องการใช้ช่อง Mpass ที่เพิ่มขึ้น (คาดการณ์สัดส่วนผู้ใช้ Mpass เพิ่มขึ้นเป็น 16% ของผู้ใช้ทางทั้งหมด (รูปที่ 15)) ดัง case B3r ซึ่งแสดงดังรูปที่ 11
- ในปี 2563 คาดการณ์ความต้องการใช้ระบบจัดเก็บค่าผ่านแบบ ETC (Mpass) เพิ่มสูงขึ้นเป็น 29% ของผู้ใช้ทางทั้งหมด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บค่าผ่านทาง ณ ด่านฯ ดังกล่าว เสนอให้เปลี่ยนระบบจัดเก็บจาก Mpass เป็นแบบ SLFF (Single lane free flows) แทน ดัง case B5 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 12
- ในปี 2567 คาดการณ์ความต้องการใช้ระบบจัดเก็บค่าผ่านแบบ ETC (เช่น Mpass) เพิ่มสูงขึ้นเป็น 39% ของผู้ใช้ทางทั้งหมด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บค่าผ่านทาง เสนอให้เปลี่ยนระบบจัดเก็บเป็นแบบ MLFF (Multi lane free flows) แทนในช่วงปีดังกล่าว รายละเอียดปรับปรุงแสดงดัง case B7



รูปที่ 14 ความต้องการเดินทางและความจุ ณ ด่านลาดกระบัง ตามแนวทางการปรับปรุงที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 15 ความต้องการเดินทางและความจุ ณ ด่านทับช้าง ตามแนวทางการปรับปรุงที่ได้กำหนดไว้

6. สรุป

เนื่องจากความต้องการเดินทางบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สาย 7 และ สาย 9 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แนวทางการปรับปรุงด่านฯ จะเป็นการเพิ่มความจุให้สามารถรองรับปริมาณรถที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นได้ หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบเพิ่มความจุด่านฯ ตามหลักวิศวกรรมจราจรที่ใช้โดยทั่วไปคือ ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณจราจรต่อค่าความจุ (Volume per capacity, V/C) ไม่เกิน 1.00 หากค่า V/C มากกว่า 1.00 สภาพจราจรจะเกิดการติดขัดและมีแถวคอยสะสม (e.g. [1]) ผลการวิเคราะห์แผนปรับปรุงด้านการจราจร ณ ด่านลาดกระบัง และด่านลาดกระบัง แสดงได้ดังตารางที่ 7 และตารางที่ 8

โดยผลการวิเคราะห์ด้านการจราจร ณ ด่านลาดกระบัง (ดังตารางที่ 7) แสดงให้เห็นว่า หากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง ดังเปลี่ยนระบบจัดเก็บฯ ไปเป็นระบบจัดเก็บฯ แบบ Multilane free flow จะสามารถรักษาระดับการให้บริการที่ระดับ B จนถึง ปี พ.ศ.2567 ซึ่งที่ระดับการให้บริการดังกล่าว โดยจะมีความล่าช้าในการเดินทางผ่านด่านฯ เพียงเล็กน้อย ส่วนผลการวิเคราะห์ด้านการจราจร ณ ด่านทับช้าง (ดังตารางที่ 8) แสดงให้เห็นว่า หากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บค่าธรรมผ่านทาง ดังการเปลี่ยนระบบจัดเก็บฯ ไปเป็นระบบจัดเก็บฯ แบบ Multilane free flow จะช่วยยกระดับการให้บริการที่ด่านฯ ดีขึ้น ถึงแม้ปริมาณการเดินทางจะเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน (ปริมาณรถเข้าด่านทับช้าง เพิ่มมากกว่าด่านลาดกระบัง แต่มีเขตทางที่ใกล้เคียงกัน) โดยใน ปี พ.ศ. 2567 หากมีผู้ใช้ระบบการจัดเก็บค่าธรรมเนียมแบบ ETC เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 จะส่งผลให้มีระดับการให้บริการที่ดีขึ้น (เปลี่ยน จากระดับ F ในปัจจุบัน ไปเป็นระดับ C หลังเปิดใช้ระบบ MLFF) ซึ่งถือว่ามีระดับการให้บริการ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการกองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง กรมทางหลวง ที่อนุเคราะห์ข้อมูลด้านการจราจร ณ ด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง

8. เอกสารอ้างอิง

[1] C. Diaz, J. Madrigal, A. Mappala, H. Palmiano and, R. Sigua, “Allocation of Electronic Toll Collection Lanes at Toll Plazas Considering Social Optimization of Service Times and Delay,” *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 5. pp. 1496-1509, 2005.

[2] Tunnel and Turnpike Association, “All-Electronic Toll Collection-Thematic Report,” *International Bridge*, Atlanta, Georgia, July 22–24, 2012.

[3] Wiedemann R. and Reiter U., “Microscopic Traffic Simulation: The Simulation System Mission,” PTV America, Inc., 1991.

[4] Federal Highway Administration. (2015, Oct. 18), Microscopic Traffic Analysis. [Online] Available: http://ops.fhwa.dot.gov/

[5] C.S. Russo. *The Calibration and Verification of Simulation Models for Toll Plazas*. *The degree of Master of Science. Department of Civil and Environmental Engineering*. The University of Central Florida Orlando, Florida, 2007.

[6] Transportation Research Board. “Highway Capacity Manual,” *TRB Press, Washington, D.C.*, 1st Ed., 2000.

[7] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual,” *TRB Press, Washington, D.C.,* 4th Ed., 2010.

[8] J. Klodzinski and H.M. Al-Deek, “New Methodology for Defining Level of Service at Toll Plazas”, *Journal of Transportation Engineering*, vol. 28, pp. 173–181, 2002.