การจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษเพื่อรองรับระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น (M-Flow)

TOLL LANE CONFIGURATION FOR M-FLOW ELECTRONIC TOLL COLLECTION SYSTEM

พรรณทิพา พันธ์ยิ้ม[1,*] ศิวัช ปัญญาชัยวัฒนากูล[1] และ เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร[2]
[1] วิศวกร กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[2] ผู้อำนวยการ กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[*]Corresponding author address: punyimmy_ju@hotmail.com

บทคัดย่อ

การติดขัดบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางบนทางพิเศษ กระทรวงคมนาคมจึงได้มีนโยบายให้เร่งดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อให้รถสามารถผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้โดยเร็วไม่หยุดชะงัก และลดความแออัดของรถบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ โดยหนึ่งในมาตรการที่สำคัญ คือ การพัฒนาระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น หรือเรียกว่า ระบบ M-Flow (Multi-Lane Free Flow) ซึ่งเป็นระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติรูปแบบใหม่โดยใช้เทคโนโลยีระบบปัญญาประดิษฐ์ในรูปแบบการอ่านป้ายทะเบียนรถอัตโนมัติร่วมกับระบบการตรวจจับยานพาหนะอัตโนมัติ เพื่อใช้ตรวจสอบยานพาหนะและระบุตัวตนผู้ใช้บริการในการเรียกเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เพื่อให้การดำเนินการแก้ไขปัญหาจราจรมีประสิทธิภาพ จึงประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค AIMSUN วิเคราะห์ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษและผลกระทบด้านจราจรต่าง ๆ บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจตุโชติ ทางพิเศษฉลองรัช ให้รองรับช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น M-Flow และระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีอยู่เดิมทั้งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติ (Easy Pass) และช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด พบว่า ในปัจจุบันควรจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษช่องทาง M-Flow จำนวน 2 ช่องทาง ซึ่งทำให้สภาพการจราจรหน้าด่านฯ คล่องตัวมากที่สุด และเพิ่มช่องทาง M-Flow ทีละ 1 ช่องทาง ภายหลังจากปีที่ 3 และปีที่ 7 หรือที่สัดส่วนผู้ใช้ระบบ M-Flow ร้อยละ 59 และ 76 เป็นต้นไปตามลำดับ เพื่อประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ใช้บริการทางพิเศษ

คำสำคัญ: *การจัดตำแหน่งช่องจราจร, ทางพิเศษฉลองรัช, แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค, ระบบ M-Flow*

Abstract

Traffic congestion in front of toll plaza is a major cause of delay on expressways. Therefore, Ministry of Transport has a policy to urgently mitigate traffic congestion so that the vehicles can pass through toll plaza without interruption. One of the key strategies is to develop M-Flow (Multi-Lane Free Flow) system, which is an Electronic Toll Collection (ETC) system without barrier. This is a new ETC system using Automatic License Plate Recognition (ALPR), an artificial intelligence technology, in combination with Automatic Vehicle Identification (AVI) in order to verify vehicles and identify users for toll billing process. To efficiently solve traffic congestion, the microscopic simulation model of AIMSUN had been applied to analyze the appropriateness of toll lane configuration and various traffic impacts at Chatuchote Toll Plaza on Chalong Rat Expressway. The purposes are to provide M-Flow lanes and the existing toll collection systems, both ETC lanes (Easy Pass) and Manual Toll Collection (MTC) lanes. The results indicated that toll lane configuration of M-Flow should be located 2 lanes which make uninterrupted traffic condition in front of toll plaza. After 3 and 7 years of implementing M-Flow or M-Flow penetration rate reaches 59 and 76 percent, toll lane configuration of M-Flow will be added one more lane, respectively, as well as to achieve maximum benefits for expressway users.

Keywords: *Lane configuration, Chalong Rat Expressway, Traffic micro simulation, M-Flow system*

1. บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การติดขัดบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางบนทางพิเศษ กระทรวงคมนาคมจึงได้มีนโยบายให้เร่งดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อให้รถสามารถผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้โดยเร็วไม่หยุดชะงัก และลดความแออัดของรถบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ โดยหนึ่งในมาตรการที่สำคัญ คือ การพัฒนาระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น หรือเรียกว่า ระบบ M-Flow (Multi-Lane Free Flow) ซึ่งเป็นระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติรูปแบบใหม่ โดยใช้เทคโนโลยีระบบปัญญาประดิษฐ์ใน

รูปแบบการอ่านป้ายทะเบียนรถอัตโนมัติ (Automatic License Plate Recognition: ALPR) ร่วมกับระบบการตรวจจับยานพาหนะอัตโนมัติ (Automatic Vehicle Identification: AVI) เพื่อใช้ตรวจสอบยานพาหนะและระบุตัวตนผู้ใช้บริการในการเรียกเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ซึ่งปัจจุบันบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษให้บริการระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษ 2 ระบบ คือ ช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติ (Easy Pass) และช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด เพื่อให้สามารถรองรับช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น M-Flow ให้การดำเนินการแก้ไขปัญหาจราจรมีประสิทธิภาพ จึงทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค AIMSUN วิเคราะห์ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษและผลกระทบด้านจราจรต่าง ๆ บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจตุโชติ ทางพิเศษฉลองรัช ให้รองรับช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น M-Flow และระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีอยู่เดิมทั้งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติ (Easy Pass) และช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด เพื่อประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ใช้บริการทางพิเศษ

1.2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคของการระบายการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจตุโชติ
2. เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในปีปัจจุบัน
3. เพื่อคาดการณ์ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษในอนาคต

1.3. ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคโดยใช้โปรแกรม AIMSUN เพื่อจำลองสภาพการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจตุโชติ ทางพิเศษฉลองรัช เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น M-Flow แบบ 1 ช่องทาง ในด้านแถวคอยสูงสุดเฉลี่ย ความล่าช้าเฉลี่ย ระยะเวลารวมของการเดินทาง ระยะทางรวมของการเดินทาง อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง และอัตราการปลดปล่อยมลพิษ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

ด่านเก็บค่าผ่านทาง (Toll Plaza) คือ พื้นที่สำหรับเก็บค่าธรรมเนียมในการผ่านทางจากผู้ใช้ทางสำหรับถนนที่มีการควบคุมทางเข้า-ออกที่มีมาตรฐานการออกแบบชั้นทางพิเศษ โดยในแต่ละด่านเก็บค่าผ่านทางจะประกอบไปด้วยช่องเก็บค่าผ่านทาง (Toll Booth) เป็นพื้นที่สำหรับเก็บค่าผ่านทาง โดยประเภทของช่องเก็บค่าผ่านทางแบ่งเป็น 2 รูปแบบตามลักษณะการชำระค่าผ่านทาง [1] คือ ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (Manual Toll Collection; MTC) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางโดยใช้พนักงานในการเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด และระบบเก็บค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection; ETC) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางที่ใช้อุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์บริหารจัดการเก็บค่าผ่านทาง โดยมีอุปกรณ์ที่ติดมากับรถยนต์สำหรับใช้เป็นตัวส่งข้อมูลกับด่านเก็บค่าผ่านทาง โดยที่บริเวณช่องเก็บค่าผ่านทางจะมีอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่ออ่านข้อมูลจากรถเพื่อตัดจำนวนเงิน โดยผู้ใช้ทางต้องเติมเงินเข้าไปในระบบก่อนและผู้ใช้ทางจะไม่ต้องหยุดรถที่ช่องเก็บค่าผ่านทางระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี จนถึงปัจจุบันระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

- ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติแบบมีไม้กั้น (Barrier Toll Collection System) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางที่มีการติดตั้งไม้กั้น (Barrier Gate) บริเวณช่องเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งผู้ใช้ทางไม่ต้องหยุดรถที่ช่องเก็บค่าผ่านทางแต่ยังคงต้องลดความเร็วขณะผ่านช่องเก็บค่าผ่านทางก่อนที่ไม้กั้นเปิดเมื่อการชำระค่าผ่านทางสมบูรณ์
- ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติแบบ Single Lane Free Flow (SLFF) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางที่ไม่มีการติดตั้งไม้กั้น (Barrier Gate) บริเวณช่องเก็บค่าผ่านทางแบบ 1 ช่องทาง ทำให้ผู้ใช้ทางไม่ต้องชะลอความเร็วขณะผ่านช่องเก็บค่าผ่านทางเพื่อรอไม้กั้นเปิดเมื่อการชำระค่าผ่านทางสมบูรณ์
- ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางที่ติดตั้งอุปกรณ์อิเลค-ทรอนิคส์ในการจัดเก็บค่าผ่านทางบนโครงเหล็กคร่อมช่องจราจร (Gantry) แบบหลายช่องทาง ทำให้ผู้ใช้ทางไม่ต้องชะลอความเร็วสามารถขับขี่ได้ตามความเร็วอิสระ

ระบบเก็บค่าผ่านทางรูปแบบต่าง ๆ สามารถเปรียบเทียบอัตราการให้บริการ [2] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการให้บริการระบบเก็บค่าผ่านทางรูปแบบต่าง ๆ

ระบบการเก็บค่าผ่านทาง	อัตราการให้บริการสูงสุด (คันต่อชั่วโมง)
ระบบเงินสด (MTC)	400
ระบบ ETC (แบบมีไม้กั้น)	800
Single Lane Free Flow (SLFF)	1,200
Multi-Lane Free Flow (MLFF)	2,000

2.1. การปรับเปลี่ยนระบบเก็บค่าผ่านทาง

อ้างอิงจากรายงานศึกษาออกแบบและสนับสนุนการปฏิบัติงานของกรมทางหลวงในด้านเทคนิคและกฎหมายสำหรับการ

ปรับเปลี่ยนระบบจัดเก็บค่าผ่านทางไปสู่รูปแบบ Multilane Free-Flow (MLFF) [3] ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการตัดสินใจของผู้ใช้บริการที่เกี่ยวเนื่องกับการมีอยู่ของระบบ MTC ETC และ M-Flow โดยวิธีการ State Preference (SP) วิเคราะห์การตัดสินใจเลือกวิธีการเดินทาง เพื่อคาดการณ์ปริมาณการใช้ระบบ M-Flow และปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้ระบบ M-Flow ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงค่าผ่านทาง ประโยชน์จากเวลาผ่านด่านฯ ที่ลดลง และการชำระค่าผ่านทางหลังใช้บริการ ร่วมกับลักษณะและพฤติกรรมของผู้ใช้ทางที่อาจจะมีผลกระทบต่อการตัดสินใจ เช่น รายได้ เพศ อายุ ระยะทางการเดินทาง ความถี่ในการเดินทาง วัตถุประสงค์การเดินทาง เป็นต้น มีฟังก์ชั่นอรรถประโยชน์ (Utility Function) ดังแสดงในสมการที่ (1) และ)2(

$$U\ (Cash/ETC) = f*Toll_c + t*Time_c \quad (1)$$

$$U\ (M\text{-}Flow) = ASC + f*Toll_f + t*Time_f + a*After_f \quad (2)$$

โดยที่ Toll_c = Changing of toll by cash
Toll_f = Changing of toll by M-Flow
Time_c = Changing of time by cash
Time_f = Changing of time by M-Flow
After_f = Dummy variable for payment after using M-Flow
ASC = Alternative Specific Constant
f, t, a = Coefficients of parameters

จากการสำรวจ SP สามารถคาดการณ์สัดส่วนการเลือกใช้ระบบ M-Flow จากกลุ่มผู้ใช้ระบบ MTC และ ETC พบว่า โดยเฉลี่ยสัดส่วนผู้ใช้งานระบบ M-Flow มาจากกลุ่มผู้ใช้ระบบ MTC และ ETC ประมาณร้อยละ 38 – 81 ขึ้นอยู่กับการให้ความสำคัญกับระยะเวลาการจ่ายเงินซึ่งหากสามารถจ่ายได้ทีหลังก็จะมีสัดส่วนที่มากกว่าต้องจ่ายทันที แต่ทั้งนี้ความต่างของสัดส่วนผู้ใช้ M-Flow ที่จ่ายก่อนและหลังจะมีค่าลดลงหากต้องเผชิญกับเวลารถติดหน้าด่านฯ ที่เพิ่มขึ้น

2.2. การจำลองสภาพจราจร

การจำลองสภาพจราจรเป็นการจำลองลักษณะสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริงบนถนนหนึ่งๆ หรือทำการประยุกต์จำลองสถานการณ์ที่สมมุติขึ้น ทำให้สามารถศึกษาผลกระทบต่อการจราจรเมื่อเกิดอุบัติการณ์ต่างๆ ที่ไม่สามารถสมมุติให้เกิดขึ้นจริงได้ในภาคสนาม การจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (Microscopic) ใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกันของยวดยาน (Car-Following Model) แบบจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร (Lane-Changing Model) และระยะระหว่างรถที่ยอมรับได้ (Gap Acceptance) เป็นหลักการพื้นฐานในการจำลองการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคัน โดยการขับขี่ของยวดยานคันหน้าที่มีการเพิ่มความเร็ว ลดความเร็ว และหยุดรถจะมีผลต่อการขับขี่ของยวดยานที่ขับตามมา ในปัจจุบันมีการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคให้เลือกใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งแต่ละแบบจำลองมีสมรรถนะในการจำลองเหตุการณ์ได้แตกต่างกัน ซึ่งโปรแกรมที่นิยมใช้งานกัน ได้แก่ AIMSUN, VISSIM, CORSIM, PARAMICS และโปรแกรมอื่นๆ ซึ่งมีสมรรถนะในการใช้งานที่แตกต่างกัน [4] การศึกษานี้เลือกใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการจำลองสภาพการจราจรที่ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 โดยได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้ในการจำลองสภาพจราจรระดับกึ่งจุลภาค (Mesoscopic simulator) และระดับจุลภาค (Microscopic simulator) การจำลองคนเดินเท้า (Pedestrian simulator) ที่มีพื้นฐานแบบจำลองความต้องการเดินทาง (Travel demand modelling) ที่ครอบคลุมการเกิดการเดินทาง (Trip generation) การกระจายการเดินทาง (Trip distribution) และการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal split) รวมไปถึงการวิเคราะห์ข้อมูลจราจรต่างๆ ที่มีการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการศึกษาวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมจราจร การจำลองสภาพการจราจร การวางแผนการขนส่ง และการศึกษาอพยพฉุกเฉิน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อประเมินแนวทางการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐาน การวิเคราะห์เกี่ยวกับมลภาวะ และการวิเคราะห์สภาพจราจรติดขัดในพื้นที่เมือง [5]

2.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Diaz, C., Madrigal, J., Mappala, A., Palmiano, H., และ Sigua, R. [6] ทำการศึกษาเพื่อลดเวลาการให้บริการบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางโดยใช้ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ ณ เกาะลูซอน ประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าการจัดสรรช่องเก็บค่าผ่านทางสำหรับระบบ Manual และ E-Pass ให้สอดคล้องกับปริมาณและสัดส่วนของการใช้งาน E-Pass จะช่วยเพิ่มความสามารถในการให้บริการของด่านเก็บค่าผ่านทางและลดความล่าช้าให้น้อยที่สุด ซึ่งหากผู้ให้บริการทางพิเศษสามารถจูงใจให้เกิดการใช้งาน E-Pass เพิ่มมากขึ้น ก็จะสามารถปรับสัดส่วนของด่านเก็บค่าผ่านทางระบบ E-Pass เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้เกิดการลดความล่าช้าเฉลี่ยของระบบ ทั้งนี้ มีข้อสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราค่าบริการก็ส่งผลต่อผลลัพธ์ของการศึกษาด้วยเช่นกัน

Poon, N. และ Dia, H. [7] ทำการประเมินประสิทธิภาพของการเก็บค่าผ่านทางบริเวณสะพานเกตเวย์ เมืองบริสเบน รัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย ที่มีปริมาณจราจรใกล้เต็มความจุ จึงทำการประเมินเพื่อปรับปรุงความจุของรูปแบบด่านเก็บค่าผ่านทางในปัจจุบัน โดยการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค AIMSUN เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการเก็บค่าผ่านทางในสถานการณ์ต่างๆ จากความล่าช้าและเวลาในการเดินทาง รวมถึง

วิเคราะห์ผลกระทบของการใช้ระบบการเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ พบว่า การใช้ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติจะช่วยให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบดีขึ้น โดยการปรับเปลี่ยนจากระบบปกติเป็นระบบอัตโนมัติจำนวน 4 ช่องจราจร สามารถรองรับปริมาณจราจรที่คาดการณ์ในปี 2011 ได้ทั้งหมด

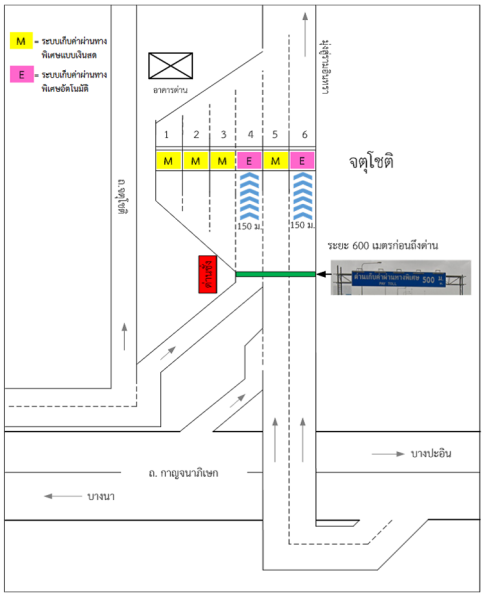
ธีรพจน์ ศิริไพโรจน์, เอกชัย สุมาลี และ สุวิชาณ สุระบาล [8] ได้ทำการวิเคราะห์แนวทางพัฒนาระบบการเก็บค่าผ่านทางโดยใช้แบบจำลองการจราจรเสมือนจริงวิเคราะห์สภาพจราจรบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองสาย 7 และสาย 9 ผลการวิเคราะห์ด้านการจราจร ณ ด่านลาดกระบัง พบว่าหากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บค่าผ่านทางโดยเปลี่ยนไปเป็นแบบ Multi-lane free flow จะสามารถรักษาระดับการให้บริการที่ระดับ B จนถึง ปี พ.ศ. 2567 ซึ่งที่ระดับการให้บริการดังกล่าวจะมีความล่าช้าในการเดินทางผ่านด่านฯ 16 วินาที ความยาวแถวคอยเฉลี่ย 12 เมตร และผลการวิเคราะห์ด้านการจราจร ณ ด่านทับช้าง พบว่าใน ปี พ.ศ. 2567 หากมีผู้ใช้ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบ ETC เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 จะส่งผลให้ระดับการให้บริการดีขึ้น คือ เปลี่ยนจากระดับ F ในปัจจุบันไปเป็นระดับ C ซึ่งถือว่ามีระดับการให้บริการอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยจะมีความล่าช้าในการเดินทางผ่านด่านฯ 30 วินาที และความยาวแถวคอยเฉลี่ย 100 เมตร

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1. พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้พิจารณาเลือกบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจตุโชติ ทางพิเศษฉลองรัช เนื่องจากเป็นจุดเชื่อมต่อการเดินทางระหว่างทางพิเศษฉลองรัช และทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 9 ของกรมทางหลวง ซึ่งเป็นด่านฯ ที่มีปริมาณจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า มีช่องเก็บค่าผ่านทาง 6 ช่องทาง แบ่งเป็นช่องทาง MTC 4 ช่องทาง และช่องทาง ETC 2 ช่องทาง รายละเอียดพื้นที่ศึกษาแสดงดังรูปที่ 1

โดยเลือกใช้ข้อมูลปริมาณจราจรเฉลี่ยวันทำการในเดือนกันยายน 2563 รวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรรายช่องทางและสัดส่วนประเภทรถ ในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า 6.00 – 9.00 น. เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจตุโชติ และปรับเทียบความถูกต้องของแบบจำลองสภาพจราจร



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจตุโชติ

3.2. การพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

การศึกษานี้ทำการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคด้วยโปรแกรม AIMSUN 8.1.4 เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น (M-Flow) ในด้านแถวคอยสูงสุดเฉลี่ย (Queue) ความล่าช้าเฉลี่ย (Delay Time) ระยะเวลารวมของการเดินทาง (VHT) ระยะทางรวมของการเดินทาง (VKT) อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง (Fuel) และอัตราการปลดปล่อยมลพิษ (PM Emission) โดยรายละเอียดขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ประกอบด้วย

- การนำเข้าแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจตุโชติ ทางพิเศษฉลองรัช จาก Google Earth
- สร้างแบบจำลองสภาพจราจรที่มีลักษณะกายภาพ ได้แก่ ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ให้ใกล้เคียงกับสภาพในปัจจุบัน
- กำหนดตัวแปรข้อมูลสภาพจราจรต่าง ๆ ที่สำคัญสำหรับการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจร เช่น ปริมาณจราจร สัดส่วนประเภทรถ การกำหนดจุดต้นทาง-ปลายทาง และมาตรการควบคุมการจราจร
- ทำการปรับเทียบแบบจำลองโดยใช้เกณฑ์สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองของ Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) [9]

3.3. การกำหนดสถานการณ์

กำหนดแนวทางการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษช่องทาง MTC, ETC และ M-Flow กำหนดรูปแบบสถานการณ์ ดังนี้

- สภาพจราจรปัจจุบัน (Base case)

ตำแหน่งช่องทาง (ซ้าย ---> ขวา)					
M1	M2	M3	E4	M5	E6

- การจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษในปีปัจจุบัน (Y0)

วิเคราะห์การจัดตำแหน่งในกรณีเพิ่มจำนวนช่องทาง M-Flow 1, 2, 3 และ 4 ช่องทาง ตามลำดับ

ลำดับการวิเคราะห์	ตำแหน่งช่องทาง (ซ้าย ---> ขวา)					
1M-Flow_Y0	M1	M2	M3	E4	E5	M-Flow6
2M-Flow_Y0	M1	M2	M3	E4	M-Flow5	M-Flow6
3M-Flow_Y0	M1	M2	E3	M-Flow4	M-Flow5	M-Flow6
4M-Flow_Y0	M1	E2	M-Flow3	M-Flow4	M-Flow5	M-Flow6

- การจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษในอนาคต

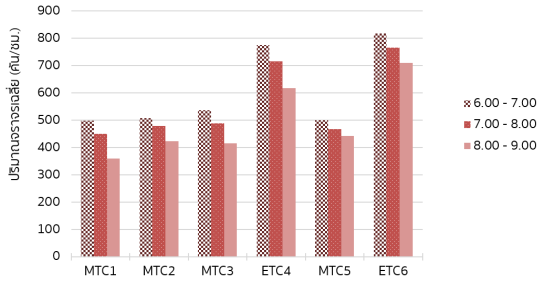
วิเคราะห์การจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษช่องทาง MTC, ETC และ M-Flow ในกรณีมีช่องทาง M-Flow 2, 3 และ 4 ช่องทาง ในอนาคตอีก 3, 5, 7 และ 10 ปีข้างหน้า ตามลำดับ

โดยคาดการณ์ปริมาณจราจรในอนาคต [10] จากอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจรต่อปีของทางพิเศษฉลองรัช ในช่วงปี 2560 – 2562 เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 4.3 อัตราการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนผู้ใช้ระบบอัตโนมัติ (ETC) ต่อปี เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 4 และ [3] คาดการณ์สัดส่วนการเลือกใช้ระบบ M-Flow มาจากกลุ่มผู้ใช้ระบบ MTC ร้อยละ 44 และมาจากกลุ่มผู้ใช้ระบบ ETC ร้อยละ 49

4. ผลการศึกษา

4.1. สภาพจราจรในพื้นที่ศึกษา

สภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจตุโชติ ทางพิเศษฉลองรัช เป็นความต้องการเดินทางเพื่อมุ่งหน้าเข้าเมืองมีการจราจรหนาแน่นในช่วงเร่งด่วนเช้าตั้งแต่เวลา 6.00 – 9.00 น. โดยมีการจราจรหนาแน่นที่สุดในช่วงเวลา 6.00 – 7.00 น. เป็นจำนวน 3,641 คัน/ชม. โดยคิดเป็นสัดส่วนผู้ใช้ระบบ MTC ร้อยละ 56.22 และผู้ใช้ระบบ ETC ร้อยละ 43.78 แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปริมาณจราจรเฉลี่ยรายช่องทาง (คัน/ชม.)

4.2. การปรับเทียบแบบจำลองสภาพจราจร

การสร้างแบบจำลองสภาพจราจรแบบจุลภาคสำหรับสภาพจราจรปัจจุบัน (Base case) จำเป็นต้องดำเนินการปรับเทียบแบบจำลองให้มีความเสมือนกับสภาพจราจรจริงมากที่สุด โดยใช้เกณฑ์สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองของ Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) จากการคำนวณค่า GEH [9] ดังสมการที่ (3)

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \qquad (3)$$

เมื่อ M = ปริมาณจราจรจากการประมาณของแบบจำลอง
C = ปริมาณจราจรจากการสำรวจจริง

โดยค่า GEH ที่มีค่าน้อยกว่า 5 จะถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ซึ่งการปรับเทียบปริมาณจราจรเฉลี่ยรายช่องทางเป็นการปรับค่า Delay Time ในตัวควบคุม Metering รวมทั้งความเร็วของรถที่เข้าสู่ช่องเก็บค่าผ่านทาง เพื่อให้ปริมาณจราจรที่ผ่านด่านฯ มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การปรับเทียบปริมาณจราจรเฉลี่ยรายช่องทาง

ช่องทาง	ปริมาณจราจรเฉลี่ย (คันต่อชั่วโมง)		GEH (<5)
	จากสภาพจราจรจริง	จากแบบจำลอง	
MTC1	499	462	1.69
MTC2	509	473	1.62
MTC3	538	484	2.39
ETC4	775	698	2.84
MTC5	501	488	0.58
ETC6	819	797	0.77

พบว่า ปริมาณจราจรเฉลี่ยทั้ง 6 ช่องทางมีค่า GEH น้อยกว่า 5 สามารถอธิบายได้ว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความน่าเชื่อถือสามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวแทนของสภาพจราจรจริงได้

4.3. การจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษในปีปัจจุบัน (Y0)

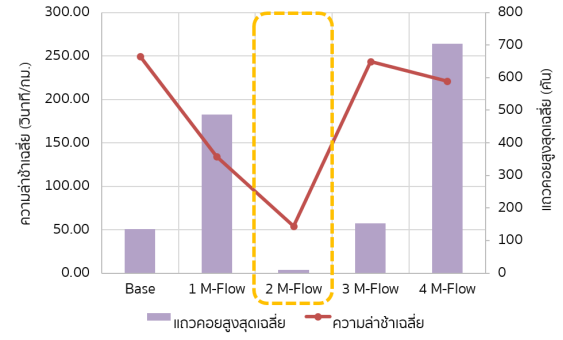
ผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองในกรณีสภาพจราจรปัจจุบัน (Base case) และกรณีเพิ่มจำนวนช่องทาง 1M-Flow, 2M-Flow, 3M-Flow และ 4M-Flow รูปแบบสถานการณ์ตามหัวข้อ 3.3 แสดงดังรูปที่ 3 และตารางที่ 3 โดยมีข้อมูลนำเข้าสัดส่วนผู้ใช้งานระบบ M-Flow ดังแสดงในตารางที่ 4 กรณีปีปัจจุบัน (Y0)

รูปที่ 3 แบบจำลองกรณีช่องทาง M-Flow 2 ช่องทางในปีปัจจุบัน (2M-Flow_Y0)

ตารางที่ 3 ผลจากแบบจำลองในปีปัจจุบัน (Y0)

Parameters	Base	1M-Flow	2M-Flow	3M-Flow	4M-Flow
Delay Time	249.27	133.90	53.96	243.22	221.03
Queue	135	486	10	152	703
Fuel	255.71	101.98	119.21	247.34	149.59
PM Emission	153.33	60.18	53.74	117.29	59.46
VHT	102.48	61.31	38.14	96.64	76.61
VKT	1230.80	1135.54	1298.83	1201.93	1040.30

พบว่า สภาพจราจรในปีปัจจุบันควรจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษช่องทาง M-Flow จำนวน 2 ช่องทาง เนื่องจากมีสภาพการจราจรหน้าด่านฯ คล่องตัวมากที่สุด มีความล่าช้าเฉลี่ย 53.96 วินาที/กม. และแถวคอยสูงสุดเฉลี่ย 10 คัน ซึ่งลดลงสูงสุด แสดงดังรูปที่ 4 รวมถึงระยะเวลารวมของการเดินทาง ระยะทางรวมของการเดินทาง อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง และอัตราการปลดปล่อยมลพิษ มีแนวโน้มดีขึ้นทั้งหมด



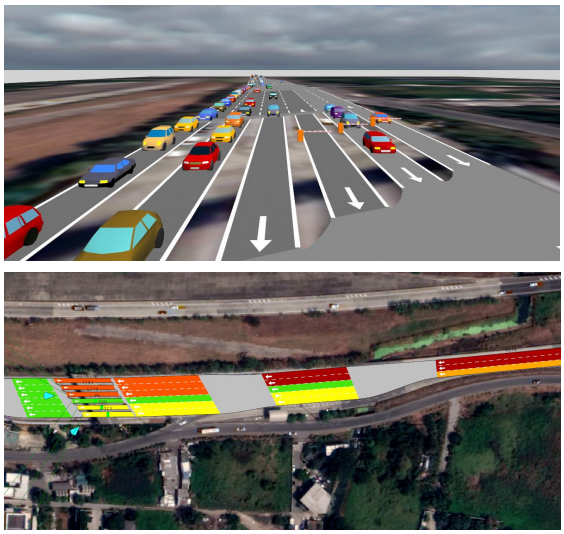
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ยและแถวคอยสูงสุดเฉลี่ย

4.4. การจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษในอนาคต

การนำเข้าปริมาณจราจรคาดการณ์ในอนาคต แสดงดังตารางที่ 4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองในกรณีเพิ่มจำนวนช่องทาง 2M-Flow, 3M-Flow และ 4M-Flow ในอนาคตอีก 3, 5, 7 และ 10 ปีข้างหน้า แสดงดังรูปที่ 5 และตารางที่ 5, 6 และ 7

ตารางที่ 4 ข้อมูลนำเข้าปริมาณจราจรคาดการณ์ในอนาคต

ปี	ปริมาณจราจร (คัน/ชม.)	สัดส่วนการใช้		
		%MTC	%ETC	%M-Flow
Y0	3,641	32	22	46
Y3	4,131	26	16	58
Y5	4,494	22	12	66
Y7	4,889	18	8	74
Y10	5,547	12	2	86



รูปที่ 5 แบบจำลองกรณีช่องทาง M-Flow 3 ช่องทางใน 10 ปีข้างหน้า (3M-Flow_Y10)

ตารางที่ 5 ผลจากแบบจำลองกรณี 2M-Flow ในอนาคต

Parameters	Y3	Y5	Y7	Y10
Delay Time	65.19	76.25	105.62	106.43
Queue	80	654	1371	2637
Fuel	165.18	179.64	172.23	157.56
PM Emission	77.63	89.62	85.29	79.24
VHT	51.393	53.66	50.648	46.737
VKT	1454.93	1388.05	1291.08	1113.8

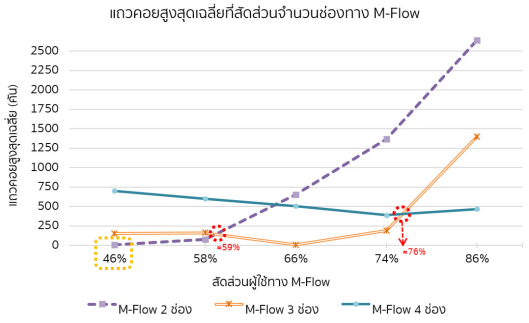
ตารางที่ 6 ผลจากแบบจำลองกรณี 3M-Flow ในอนาคต

Parameters	Y3	Y5	Y7	Y10
Delay Time	150.24	59.98	84.08	99.82
Queue	163	10	190	1401
Fuel	245.71	175.07	309.84	290.09
PM Emission	115.56	71.25	186.61	187.65
VHT	76.48	49.30	65.97	66.30
VKT	1386.51	1584.8	1679.04	1508.57

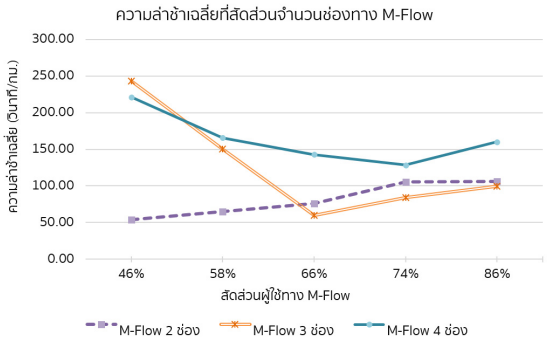
ตารางที่ 7 ผลจากแบบจำลองกรณี 4M-Flow ในอนาคต

Parameters	Y3	Y5	Y7	Y10
Delay Time	165.6	142.98	128.34	160.10
Queue	601	507	390	469
Fuel	147.57	159.35	187.90	389.45
PM Emission	49.72	51.42	63.55	207.39
VHT	73.15	74.92	80.41	112.39
VKT	1249.53	1415.52	1596.64	1804.93

นำค่าที่ได้จากตารางที่ 5, 6 และ 7มาแสดงในรูปแบบกราฟเส้น เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มแถวคอยสูงสุดเฉลี่ยและความล่าช้าเฉลี่ยตามสัดส่วนผู้ใช้ระบบ M-Flow และจำนวนช่องทาง M-Flow ภายหลังเปิดใช้ช่องทาง M-Flow จำนวน 2 ช่องทางในปีปัจจุบันกับปริมาณจราจรและสัดส่วนผู้ใช้ระบบ M-Flow ที่เพิ่มขึ้นแต่ละปีในอนาคต แสดงดังรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบแถวคอยสูงสุดเฉลี่ยตามสัดส่วนผู้ใช้ระบบ M-Flow และจำนวนช่องทาง M-Flow



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ยตามสัดส่วนผู้ใช้ระบบ M-Flow และจำนวนช่องทาง M-Flow

ควรปรับเปลี่ยนการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษช่องทาง M-Flow เพิ่มอีก 1 ช่องทางเป็นจำนวน 3 ช่องทาง ภายหลังจากปีที่ 3 หรือที่สัดส่วนผู้ใช้ระบบ M-Flow ประมาณร้อยละ 59 เป็นต้นไปเนื่องจากสภาพการจราจรหน้าด่านฯ จะเริ่มมีความคล่องตัวลดลง เมื่อเพิ่มช่องทาง M-Flow เป็นจำนวน 3 ช่องทาง สภาพการจราจรหน้าด่านฯ จะมีความคล่องตัวมากขึ้นโดยเฉพาะปีที่ 5 มีแถวคอยสูงสุดเฉลี่ย 10 คัน และความล่าช้าเฉลี่ย 59.98 วินาที/กม. ซึ่งมีค่าต่ำสุด

ภายหลังเปิดใช้ช่องทาง M-Flow จำนวน 3 ช่องทาง ควรปรับเปลี่ยนเพิ่มช่องทาง M-Flow อีก 1 ช่องทางเป็นจำนวน 4 ช่องทาง ภายหลังจากปีที่ 7 หรือที่สัดส่วนผู้ใช้ระบบ M-Flow ประมาณร้อยละ 76 เป็นต้นไปเนื่องจากปริมาณจราจรและสัดส่วนผู้ใช้ระบบ M-Flow ที่เพิ่มขึ้นแต่ละปีทำให้สภาพการจราจรหน้าด่านฯ คล่องตัวลดลง มีแถวคอยสูงสุดเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มช่องทาง M-Flow เป็นจำนวน 4 ช่องทาง สภาพการจราจรหน้าด่านฯ จะมีความคล่องตัวมากขึ้นโดยเฉพาะปีที่ 10 มีแถวคอยสูงสุดเฉลี่ย 469 คัน ซึ่งมีค่าต่ำสุด และมีความล่าช้าเฉลี่ย 160 วินาที/กม. ซึ่งพบว่าแถวคอยสูงสุดเฉลี่ยและความล่าช้าเฉลี่ยมีค่าค่อนข้างสูง อาจเกิดจากปริมาณจราจรที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละปีจนทำให้อัตราการเข้าใช้บริการใกล้เคียงกับอัตราการให้บริการของทั้งด่านฯ

5. สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น (M-Flow) บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจตุโชติ ทางพิเศษฉลองรัช ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในปีปัจจุบัน และคาดการณ์ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษในอนาคตอีก 3, 5, 7 และ 10 ปีข้างหน้า ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค สรุปได้ว่า สภาพจราจรในปีปัจจุบันควรจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษช่องทาง M-Flow จำนวน 2 ช่องทาง เนื่องจากมีสภาพการจราจรหน้าด่านฯ คล่องตัวมากที่สุด ทั้งในด้านแถวคอยสูงสุดเฉลี่ย ความล่าช้าเฉลี่ย

ระยะเวลารวมของการเดินทาง ระยะทางรวมของการเดินทาง อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง และอัตราการปลดปล่อยมลพิษ เมื่อปริมาณจราจรและสัดส่วนผู้ใช้ระบบ M-Flow เพิ่มขึ้นในแต่ละปี ควรมีการปรับเปลี่ยนเพิ่มช่องทาง M-Flow อีก 1 ช่องทางเป็นจำนวน 3 ช่องทาง ภายหลังจากปีที่ 3 หรือที่สัดส่วนผู้ใช้ระบบ M-Flow ประมาณร้อยละ 59 เป็นต้นไป และเพิ่มช่องทาง M-Flow อีก 1 ช่องทางเป็นจำนวน 4 ช่องทาง ภายหลังจากปีที่ 7 หรือที่สัดส่วนผู้ใช้ระบบ M-Flow ประมาณร้อยละ 76 เป็นต้นไป จะช่วยให้สภาพการจราจรหน้าด่านฯ จะมีความคล่องตัวมากขึ้น โดยภายหลังจากปีที่ 10 แถวคอยสูงสุดเฉลี่ยและความล่าช้าเฉลี่ยจะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณจราจรที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละปีจนทำให้อัตราการเข้าใช้บริการใกล้เคียงกับอัตราการให้บริการของทั้งด่านฯ ดังนั้นควรมีการเตรียมมาตรการเพื่อรองรับปริมาณจราจรที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละปีไม่ให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด เช่น การพัฒนาระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) ที่มีอัตราการให้บริการสูงสุดได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณพนักงานและลูกจ้างการทางพิเศษแห่งประเทศไทยทุกท่าน ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กาญจน์กรอง สุอังคะ, สนณรงค์ สุอังคะ, รุ่งอรุณ บุญถ่าน และวัฒนวงศ์ รัตนวราห (2556). การประเมินผลกระทบด้านจราจรของการออกแบบช่องเก็บค่าผ่านทางระบบอัตโนมัติของประเทศไทย. รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[2] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2562). ผลการดำเนินงานการแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษตามแนวนโยบายกระทรวงคมนาคม.

[3] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง (2563). งานศึกษาออกแบบและสนับสนุนการปฏิบัติงานของกรมทางหลวงในด้านเทคนิคและกฎหมายสำหรับการปรับเปลี่ยนระบบจัดเก็บค่าผ่านทางไปสู่รูปแบบ Multilane Free-Flow (MLFF).

[4] พรรณทิพา พันธ์ยิ้ม, นันทวรรณ พิทักษ์พานิช, เอกรินทร์ เหลืองวิลัย, เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร (2561). การประเมินผลกระทบด้านจราจรของด่านเก็บค่าผ่านทางโดยการจำลองสถานการณ์จราจร: กรณีศึกษาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษวงแหวนรอบนอก (บางแก้ว) ทางออกทางพิเศษบูรพาวิถี. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23, นครนายก, วันที่ 18 – 20 กรกฎาคม 2561.

[5] TSS-Transport Simulation Systems (2016). AIMSUN 8.1 User's Manuals.

[6] Diaz, C., Madrigal, J., Mappala, A., Palmiano, H., and Sigua, R., (2005). 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, 1496-1509.

[7] Poon, N. and Dia, H. (2005). Evaluation of Toll Collection Performance using Traffic Simulation. *27th Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR 2005)*, Brisbane, 7-9 December.

[8] ธีรพจน์ ศิริไพโรจน์, เอกชัย สุมาลี, สุวิชาณ สุระบาล (2559). งานศึกษาด้านจราจรเพื่อจัดทำแผนแม่บทด้านการพัฒนาระบบจัดเก็บค่าธรรมเนียมบนทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2559, หน้า 109-120.

[9] The Highways Agency (1996). *Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) Vol. 12*, Department for Transport, UK

[10] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2563). รายงานสถิติปริมาณจราจร รายได้ค่าผ่านทางพิเศษและอุบัติเหตุบนทางพิเศษ ไตรมาสที่ 4 ปีงบประมาณ 2563.