การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบด้านจราจรจากการเปิดใช้ระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบ Multi-lane Free Flow (M-Flow) กรณีศึกษาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ บางนา กม.6 (ขาเข้า)

Study and analysis of traffic impacts from the activation of the Automatic Multi-lane Free Flow (M-Flow) toll collection system, a case study of the Bangna Km.6 toll plaza (inbound)

พลฉัตร ยงญาติ[1,*] ศิวัช ปัญญาชัยวัฒนากูล[2] และ เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร[3]

บทคัดย่อ

ปัญหาความแออัดของรถบริเวณหน้าด่านเป็นหนึ่งในปัญหาจราจรหลักที่เกิดขึ้นบนทางพิเศษ การทางพิเศษแห่งประเทศไทยจึงได้มีการศึกษาและพัฒนาระบบจัดเก็บค่าผ่านทางรูปแบบใหม่ ซึ่งเป็นระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบ Multi-lane Free Flow (M-Flow) เพื่อให้รถสามารถผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางได้อย่างรวดเร็ว ไม่หยุดชะงัก ทั้งนี้ การพัฒนาระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษ M-Flow จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและกระทบต่อสภาพจราจรบนทางพิเศษเช่นเดียวกัน บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบด้านจราจรของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) เมื่อเปิดใช้ระบบ M-Flow โดยอาศัยเทคนิคการพัฒนาแบบจำลองด้านจราจร ผ่านโปรแกรม AIMSUN เพื่อประเมินสภาพจราจรที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดเก็บค่าผ่านทางทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วนและนอกช่วงเวลาเร่งด่วน โดยแบ่งสถานการณ์สอดคล้องกับการคาดการณ์ปริมาณจราจรในปีที่ 1 ปีที่ 5 และปีที่ 10 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า การพัฒนาระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษ M-Flow ทำให้ค่าความล่าช้าเฉลี่ย แถวคอย และระยะเวลาเดินทางรวมลดลง ขณะที่ความเร็วเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรสภาพจราจรดังกล่าวขึ้นอยู่กับสัดส่วนผู้ใช้ระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษ M-Flow โดยหากมีปริมาณผู้ใช้ M-Flow สูงขึ้นก็จะส่งผลให้สภาพจราจรบนทางพิเศษมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษ, ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ, ผลกระทบด้านจราจร

Abstract

The problem of congestion in front of the toll gate is one of the main traffic problems on the Expressway. The Expressway Authority of Thailand therefore has studied and developed a new type of toll collection system, which is an automatic Multi-lane Free Flow (M-Flow) toll collection system, so that vehicles can pass through the toll gates faster without interruption. The development of M-Flow will cause changes in the physical toll plaza that will affect the traffic conditions on the expressways as well. This paper presents an analysis of traffic impacts on the Bangna Km. 6 toll plaza (inbound) when the M-Flow system is activated using a traffic model development technique through the AIMSUN program to assess the traffic conditions that occur both before and after change in the toll collection system, both during peak hours and off-peak hours by dividing the situation that is consistent with the traffic volume forecast in the 1st year, 5th year and 10th year respectively. The study found that the development of M-Flow reduced the average delay, queuing, and total travel time, while the average speed tended to increase. However, the change in the aforementioned traffic condition variable depends on the ratio of users of the M-Flow. If the ratio of M-Flow users is increased, the traffic conditions on the Expressway will be more efficient.

Keywords: toll collection system, toll plaza, traffic impact

1. บทนำ

ปัญหาความแออัดของรถบริเวณหน้าด่านเป็นหนึ่งในปัญหาจราจรหลักที่เกิดขึ้นบนทางพิเศษ การทางพิเศษแห่งประเทศไทยจึงได้มีการศึกษาและพัฒนาระบบจัดเก็บค่าผ่านทางรูปแบบใหม่ ซึ่งเป็นระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบ Multi-lane Free Flow (M-Flow) โดยใช้เทคโนโลยีในการตรวจจับและระบุตัวตนผู้ใช้ทาง เพื่อให้รถสามารถผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางได้อย่างรวดเร็ว ไม่หยุดชะงัก ทั้งนี้ การพัฒนาระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษ M-Flow จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและกระทบต่อสภาพจราจรบนทางพิเศษเช่นเดียวกัน

ซึ่งปัจจุบันบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษให้บริการระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษ 2 ระบบ คือ ช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) และช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติ (ETC) และเพื่อให้สามารถรองรับช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น M-Flow ให้การดำเนินการแก้ไขปัญหาจราจรมีประสิทธิภาพ จึงทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค AIMSUN วิเคราะห์ความเหมาะสมของการจัดตำแหน่งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษและผลกระทบด้านจราจรต่าง ๆ โดยเลือกใช้กรณีศึกษาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) ซึ่งถือเป็นด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษขนาดใหญ่ มีลักษณะกายภาพเป็นชั้น (Staggered Toll) เพื่อให้รองรับช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น M-Flow และระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีอยู่เดิมทั้งช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) และช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติ (ETC) เพื่อประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ใช้บริการทางพิเศษ

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) จากการเปิดให้บริการระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-lane Free Flow (M-Flow)
2. เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบด้านจราจรก่อนและหลังการเปิดให้บริการระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-lane Free Flow (M-Flow) ของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า)
3. เพื่อเป็นแนวทางการจัดการจราจรช่องจราจรของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอื่น ๆ เมื่อเปิดให้บริการระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-lane Free Flow (M-Flow) ในอนาคต

การวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคโดยใช้โปรแกรม AIMSUN เพื่อจำลองสภาพการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านจราจรจากการเปิดใช้ระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) ในด้านแถวคอยสูงสุดเฉลี่ย ความล่าช้าเฉลี่ย

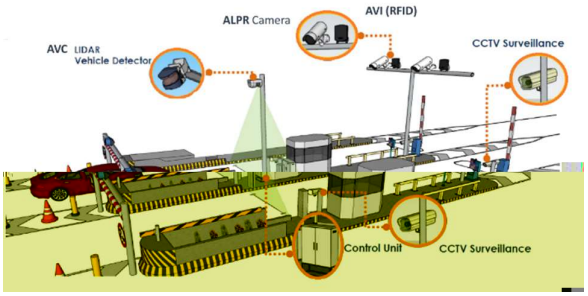
2. ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบัน การทางพิเศษแห่งประเทศไทยมีระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษ 2 ระบบ [1] ได้แก่

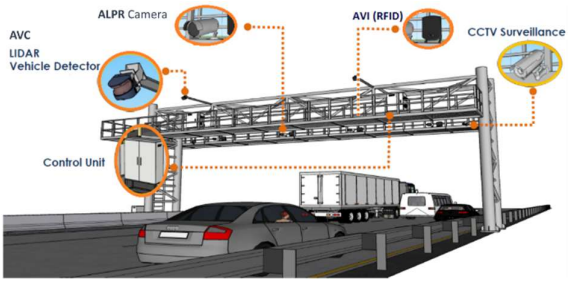
2.1.1 ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (Manual Toll Collection: MTC) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ผู้ใช้ทางจำเป็นต้องจอดยานพาหนะให้หยุดนิ่ง เพื่อชำระเงินสดให้กับพนักงานในตู้เก็บค่าผ่านทาง มีอัตราการให้บริการสูงสุด 400 คันต่อชั่วโมง

2.1.2 ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection: ETC) เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ผู้ใช้ทางชะลอความเร็วของยานพาหนะจนเกือบหยุดนิ่งเพื่อชำระเงินผ่าน Easy Pass ซึ่งเป็นระบบการชำระเงินแบบอัตโนมัติ มีอัตราการให้บริการสูงสุด 800 คันต่อชั่วโมง

ระบบ M-Flow หรือ ระบบจัดเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น เป็นระบบจัดเก็บค่าผ่านทางแบบใหม่ที่พัฒนาระบบจัดเก็บค่าผ่านทางด้วยระบบ Video Tolling และระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถอัตโนมัติ (Automated License Plate Recognition: ALPR) ร่วมกับระบบตรวจจับยานพาหนะอัตโนมัติ (Automatic Vehicle Identification: AVI) แบบ RFID (Radio Frequency Identification) เพื่อตรวจสอบยานพาหนะและระบุตัวตนผู้ใช้ทาง ทำให้รถสามารถวิ่งผ่านด่านฯ ได้อย่างสะดวก คล่องตัว ไม่ต้องหยุดหรือชะลอรถ รองรับความเร็วได้ถึง 160 กม./ชม. มีอัตราการให้บริการสูงสุด 1,200 คันต่อชั่วโมง สำหรับรูปแบบช่องทางเดี่ยว Single Lane Free Flow (SLFF) และอัตราการให้บริการสูงสุด 2,000 คันต่อชั่วโมง สำหรับรูปแบบหลายช่องทาง Multi- Lane Free Flow (MLFF) ซึ่งถือว่ามีอัตราให้บริการสูงกว่าระบบ MTC ถึง 5 เท่า อุปกรณ์ที่ติดตั้งในช่องทาง (Lane) สำหรับตรวจจับยานพาหนะและระบุตัวตนผู้ใช้บริการที่ใช้ช่องทางระบบ M-Flow แบบอัตโนมัติดังแสดงในรูปที่ 1 และ รูปที่ 2



รูปที่ 1 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์และโปรแกรมระบบในระดับช่องทาง (Lane) ของระบบ M-Flow ในรูปแบบ SLFF



รูปที่ 2 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์และโปรแกรมระบบในระดับช่องทาง (Lane) ของระบบ M-Flow ในรูปแบบ MLFF

ตารางที่ 1 อัตราการให้บริการระบบเก็บค่าผ่านทางรูปแบบต่าง ๆ [2]

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

การจำลองสภาพจราจรเป็นการจำลองลักษณะสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริงบนถนนหนึ่งๆ หรือทำการประยุกต์จำลองสถานการณ์ ที่สมมุติขึ้น ทำให้สามารถศึกษาผลกระทบต่อการจราจรเมื่อเกิดอุบัติการณ์ต่างๆ ที่ไม่สามารถสมมุติให้เกิดขึ้นจริงได้ในภาคสนาม ทำให้มองเห็นสภาพจราจรและปัญหาจราจรโดยรวมได้อย่างเป็นระบบ เพื่อประเมินทางเลือกซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาด้านต่างๆ การพัฒนาแบบจำลองด้านจราจรสามารถจำแนกได้ 3 ระดับ คือ ระดับมหภาค (Macroscopic) ระดับกึ่งจุลภาค (Mesoscopic) และระดับจุลภาค (Microscopic) ขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการนำไปใช้งาน ที่มีรูปแบบค่อนข้างหลากหลาย

การจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (Microscopic) มักใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกันของยวดยาน (Car-Following Model) แบบจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร (Lane-Changing Model) และระยะระหว่างรถที่ยอมรับได้ (Gap Acceptance) เป็นหลักการพื้นฐานในการจำลองการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคัน โดยการขับขี่ของยวดยานคันหน้าที่มีการเพิ่มความเร็ว ลดความเร็ว และหยุดรถจะมีผลต่อการขับขี่ของยวดยานที่ขับตามมา ในปัจจุบันมีการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคให้เลือกใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งแต่ละแบบจำลองมีสมรรถนะในการจำลองเหตุการณ์ได้แตกต่างกัน ซึ่งโปรแกรมที่นิยมใช้งานกัน ได้แก่ AIMSUN, VISSIM, CORSIM, PARAMICS และ โปรแกรมอื่นๆ ซึ่งมีสมรรถนะในการใช้งานที่แตกต่างกัน [3]

AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks) เป็นโปรแกรมสำหรับการจำลองสภาพการจราจรที่ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี 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 ที่มีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายหน่วยงานทั่วโลกสำหรับการศึกษาวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมจราจร การจำลองสภาพการจราจร การวางแผนการขนส่ง และการศึกษาอพยพฉุกเฉิน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อประเมินแนวทางการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐาน การวิเคราะห์เกี่ยวกับมลภาวะ และการวิเคราะห์สภาพจราจรติดขัด [4]

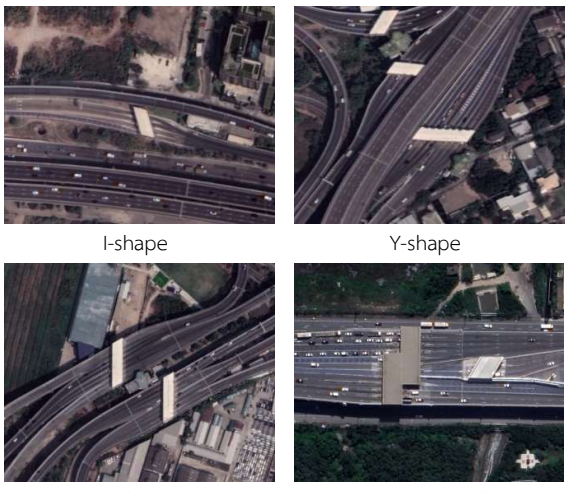
การออกแบบกายภาพด่านเก็บค่าผ่านทางบนโครงข่ายทางพิเศษให้สามารถรองรับการใช้งานระบบ M-Flow นั้น จำเป็นต้องมีการศึกษากายภาพของด่านในปัจจุบัน รวมถึงข้อจำกัดด้านพื้นที่และโครงสร้างของทางพิเศษของแต่ละด่าน เพื่อใช้พิจารณาถึงความเหมาะสมของตำแหน่งช่อง M-Flow ที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากจำนวนด่านที่ค่อนข้างมาก จึงต้องมีการพิจารณาจัดกลุ่มด่านที่มีลักษณะกายภาพคล้ายคลึงกันเพื่อคัดเลือกด่านตัวแทนของแต่ละกลุ่มมาใช้ออกแบบกายภาพและประเมินประสิทธิภาพด้านการจราจรของด่านในแต่ละระยะการดำเนินการ โดยการคัดเลือกด่านตัวแทนตามเกณฑ์การพิจารณาทั้ง 5 ปัจจัย ดังนี้

รูปแบบการให้บริการของด่านสามารถแบ่งตามรูปแบบของการจัดเก็บค่าผ่านทางได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

- ระบบเปิด (Open System) ซึ่งมีการให้บริการบนทางพิเศษฉลองรัช และทางพิเศษเฉลิมมหานคร
- ระบบปิด (Close System) ซึ่งมีการให้บริการบนทางพิเศษบูรพาวิถี และทางพิเศษกาญจนาภิเษก

ลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางสามารถแบ่งตามรูปแบบของทิศทางการจราจรบริเวณช่องเก็บค่าผ่านทางได้เป็น 4 รูปแบบ ได้แก่

- รูปร่างตัว I (I-Shape)
- รูปร่างตัว Y (Y-shape)
- รูปร่างตัว X (X-shape)
- ลักษณะเป็นชั้น (Staggered Toll)



I-shape Y-shape X-shape Staggered Toll

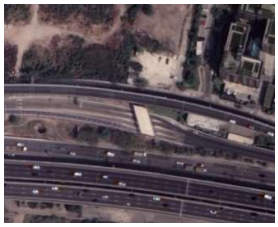
รูปที่ 3 ตัวอย่างรูปร่างและลักษณะของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษสามารถแบ่งตามจำนวนของช่องเก็บค่าผ่านทางได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

• ด่านเก็บค่าผ่านทางขนาดเล็ก (จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางน้อยกว่า 5 ช่อง)

• ด่านเก็บค่าผ่านทางขนาดกลาง (จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางอยู่ระหว่าง 5-8 ช่อง)

• ด่านเก็บค่าผ่านทางขนาดใหญ่ (จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางมากกว่า 8 ช่อง)



ขนาดเล็ก



ขนาดกลาง



ขนาดใหญ่

รูปที่ 4 ตัวอย่างของขนาดด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

ปริมาณจราจรบริเวณด่านแสดงให้เห็นถึงความต้องการใช้ทางพิเศษโดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak Period) โดยสามารถแบ่งประเภทของด่านแบ่งตามข้อมูลปริมาณจราจรได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

• ด่านเก็บค่าผ่านทางปริมาณจราจรต่ำ (ปริมาณจราจรต่ำกว่า 3,000 คัน/ชม.)

• ด่านเก็บค่าผ่านทางที่มีปริมาณจราจรปานกลาง (ปริมาณจราจรอยู่ระหว่าง 3,000 - 5,000 คัน/ชม.)

• ด่านเก็บค่าผ่านทางที่มีปริมาณจราจรหนาแน่น (ปริมาณจราจรมากกว่า 4,000 คัน/ชม.)

ระดับความติดขัดของด่านสามารถวิเคราะห์ได้จากสัดส่วนระหว่างปริมาณจราจรต่อความจุ (V/C Ratio) ของด่านเก็บค่าผ่านทาง ซึ่งจะสะท้อนถึงระดับการให้บริการ (Level of Service: LOS) ของด่านเก็บค่าผ่านทางในแต่ละพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 2 และสามารถแบ่งประเภทของด่านแบ่งตามข้อมูลระดับความติดขัดของด่านได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

• ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ไม่มีความติดขัด (LOS: A-B)

• ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีความติดขัดปานกลาง (LOS: C-D)

• ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีความติดขัดมาก (LOS: E-F)

ตารางที่ 2 ระดับการให้บริการ (Level of Service: LOS) ของช่องทางพิเศษ

ความหนาแน่นของทางพิเศษในเขตเมือง (pc/mi/ln)	ความหนาแน่นของทางพิเศษนอกเขตเมือง (pc/mi/ln)	Level of Service (LOS)	คำอธิบาย
≤11	≤6	A	การจราจรมีการไหลแบบอิสระ
>11-18	>6-14	B	การจราจรมีการไหลแบบคล่องตัว
>18-26	>14-22	C	การจราจรมีการไหลแบบชะลอตัว
>26-35	>22-29	D	การจราจรมีการไหลแบบหนาแน่น
>35-45	>29-39	E	สภาพการไหลของการจราจรติดขัด
>45 หรือ v/c > 1.00	>39 หรือ v/c > 1.00	F	ปริมาณจราจรมากกว่าความจุ

ธีร์ดนัย อินดี และจำรัส พิทักษ์ศฤงคาร [5] ได้ศึกษาการจัดการสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง เพื่อรองรับปริมาณจราจรในปี พ.ศ.2570 โดยวิเคราะห์การจัดวางตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) ตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) ให้มีความผสมผสานกับตำแหน่งช่องผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) ผ่านโปรแกรม VISSIM ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า หากติดตั้งระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) จำนวน 9 ช่อง อยู่กึ่งกลางของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ผสมผสานกับตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 2 ตู้ สามารถแก้ไขปัญหาการติดขัดของการจราจร และรองรับปริมาณจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดงในปี พ.ศ. 2570 ได้

Lueanpech, P. et al. [6] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Single Lane Free Flows (SLFF) ที่ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษสาธุประดิษฐ์ 1 บนทางพิเศษเฉลิมมหานคร เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการเก็บค่าผ่านทางพิเศษจากความล่าช้า (Delay) และความยาวของแถวคอยบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Queue Length) โดยใช้โปรแกรม VISSIM พัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค พบว่าระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Single Lane Free Flows (SLFF) สามารถลดค่าความล่าช้าและลดความยาวของแถวคอยบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษลงได้ รวมถึงเพิ่มระดับการให้บริการ (Level of Service) ของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้อีกด้วย

Kim, B. J. [7] ได้ศึกษาการไหลของกระแสจราจร (Traffic Flow) สำหรับการออกแบบด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Toll Plaza) ณ พื้นที่ทางตะวันออกของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ใน North Carolina ผ่านแบบจำลองเชิงตัวเลข ด้วยการจำลองปริมาณจราจร พบว่าการเลือกช่องทางให้บริการชำระค่าผ่านทางที่เหมาะสม อัตราการเก็บค่าผ่านทางด้วยระบบอัตโนมัติ (ETC) และจำนวนตู้เก็บค่าผ่านทาง (Toll Booth) มีผล

ต่อการไหลของกระแสจราจร (Traffic Flow) และสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้ เช่น ความยาวแถวคอยสูงสุด (Maximum Queue Length) และระยะเวลาการรอสูงสุด (Maximum Waiting Time)

Diaz, C., Madrigal, J., Mappala, A., Palmiano, H., และ Sigua, R. [8] ทำการศึกษาเพื่อลดเวลาการให้บริการบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางโดยใช้ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ ณ เกาะลูซอน ประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าการจัดสรรช่องเก็บค่าผ่านทางสำหรับระบบ Manual และ E-Pass ให้สอดคล้องกับปริมาณและสัดส่วนของการใช้งาน E-Pass จะช่วยเพิ่มความสามารถในการให้บริการของด่านเก็บค่าผ่านทางและลดความล่าช้าให้น้อยที่สุด ซึ่งหากผู้ให้บริการทางพิเศษสามารถจูงใจให้เกิดการใช้งาน E-Pass เพิ่มมากขึ้น ก็จะสามารถปรับสัดส่วนของด่านเก็บค่าผ่านทางระบบ E-Pass เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้เกิดการลดความล่าช้าเฉลี่ยของระบบ ทั้งนี้ มีข้อสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราค่าบริการก็ส่งผลต่อผลลัพธ์ของการศึกษาด้วยเช่นกัน

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 ตั้งอยู่ในเขตทางพิเศษบูรพาวิถี มีจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางทั้งหมด 14 ช่อง แบ่งเป็นช่องเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (MTC) จำนวน 8 ช่อง และจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 6 ช่อง มีลักษณะกายภาพดังรูปที่ 6

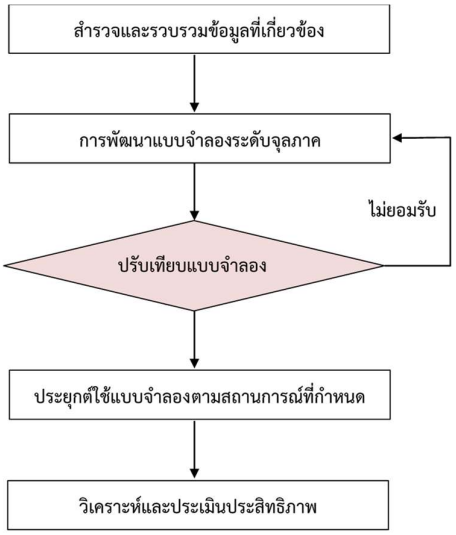


รูปที่ 5 ตำแหน่งที่ตั้งของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า)



รูปที่ 6 ลักษณะทางกายภาพบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า)

การดำเนินงานพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรที่ใช้เป็นตัวแทนพื้นฐานในการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดเก็บค่าผ่านทาง ต้องดำเนินการพัฒนาแบบจำลองให้อยู่ในเกณฑ์การประเมินที่ยอมรับได้ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับสภาพจราจรในสภาวะจริง และสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ประกอบการพิจารณาวางแผนเชิงนโยบายต่อไป ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานมีดำลับตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 ขั้นตอนการดำเนินงาน

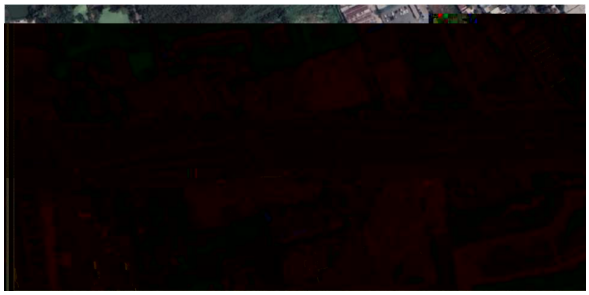
ข้อมูลโครงข่ายถนน (Road network data)

โครงข่ายถนนในโปรแกรม AIMSUN นั้น ประกอบขึ้นจาก ช่วงถนนหรือที่เรียกว่า Section หลาย ๆ ช่วงประกอบกัน โดย sections ต่างๆ นั้นจะเป็นการเดินรถในทิศทางเดียว (one way link) โดยจุดที่เชื่อมต่อระหว่าง Section คือ Node หรืออาจเป็นทางแยก (Intersections) โดยรายละเอียดของ node ที่เป็นทางแยกจะมีข้อมูลเพิ่มเติมมากกว่าปกติ สำหรับข้อมูลที่ต้องใช้ในการสร้างโครงข่ายถนน มีดังต่อไปนี้-

- แผนที่หรือภาพถ่ายทางอากาศ
- จำนวนช่องจราจร ความกว้าง ของทุกๆ Section
- ลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทาง
- จำนวนช่องและรูปแบบเก็บค่าผ่านทาง

การสร้างโครงข่ายถนนในแบบจำลองถือเป็นอีกหนึ่งขั้นตอนที่มีความสำคัญ เนื่องจากการสร้างโครงข่ายที่มีความถูกต้องมากเท่าใด ก็จะส่งผลให้การจำลองสภาพจราจรสะท้อนความใกล้เคียงสภาพจริงมากเท่านั้น ในการศึกษานี้ใช้ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 เป็นฉากพื้นหลังเพื่อกำหนดจุดอ้างอิงและเส้นทาง

ซ้อนทับ เพื่อดำเนินการจำลองช่องจราจรและความเร็วจำกัดของทุกช่วงถนนให้ใกล้เคียงกับสภาพพื้นที่จริง



รูปที่ 8 ภาพถ่ายทางอากาศที่ใช้อ้างอิงเพื่อสร้างโครงข่ายแบบจำลอง



รูปที่ 9 ลักษณะโครงข่ายของแบบจำลองด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า)

การนำเข้าข้อมูลปริมาณจราจร

รูปแบบการนำเข้าข้อมูลเป็นการป้อนปริมาณจราจรแบบตารางการเดินทาง (O/D Matrix) คือ ต้องมีการกำหนดจุดต้นทาง-ปลายทาง (Centroid) เพื่อเชื่อมต่อทางเข้าและออกของปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนน โดยแบ่งแยกตารางการเดินทางตามประเภทรถและช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองสภาพจราจร พร้อมทั้งระบุจำนวนการเดินทาง (Trips) จากแหล่งกำเนิด (Origin) ไปยังจุดปลายทางต่าง ๆ (Destinations) ตามช่องจัดเก็บค่าผ่านทางที่กำหนดไว้บนแนวโครงข่ายถนนในแบบจำลอ

การปรับเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลองเป็นกระบวนการที่ทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรบางตัวในแบบจำลองเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลแบบจำลองมีค่าที่เสมือนกับค่าที่ได้จากการสำรวจโดยแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้น ในการศึกษานี้จึงได้คัดเลือกเกณฑ์สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองโดยอาศัยเกณฑ์ของ Design Manual for Road and Bridge (DMRB) อ้างอิงเป็นเกณฑ์การปรับเทียบหลักเนื่องจากเป็นเกณฑ์ที่ได้รับการยอมรับและมีการใช้เป็นเกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองระดับจุลภาคอย่างแพร่หลายเกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลอง

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

โดยที่ M = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

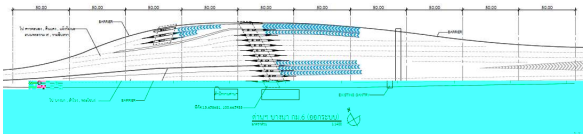
C = ค่าที่ได้จากข้อมูลสำรวจ

สำหรับการสร้างแบบจำลองการจราจรขั้นพื้นฐาน หากค่า GEH มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5.0 จะถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนต่อไป หากไม่ผ่านเกณฑ์ ที่กำหนดจำเป็นต้องกลับไปเปลี่ยนค่าตัวแปรหรือพฤติกรรมของยานพาหนะภายในแบบจำลองตามกระบวนการปรับเทียบแบบจำลองอีกครั้งหนึ่ง

• สถานการณ์เพื่อการวิเคราะห์

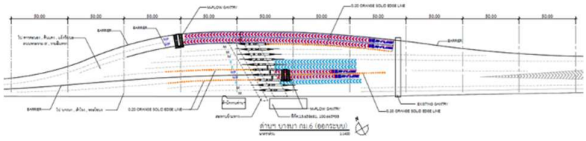
ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) เป็นด่านที่มีลักษณะเป็นขั้น (Staggered Toll) ที่มีการเข้าด่านจาก 2 ทิศทาง และออกจากด่าน 2 ทิศทาง ทำให้เกิดการตัดกระแสจราจรทั้งบริเวณหน้าด่านและหลังด่าน ดังนั้นจึงได้พิจารณาออกแบบช่อง M-Flow จำนวน 4 ช่อง ในรูปแบบ Single Lane Free-Flow ที่ตำแหน่งช่องหมายเลข 4-5 และ 11-12 โดยให้มีการขยายช่องทางเข้า และรื้อถอนโครงสร้าง Staggered ในช่อง 12-14 ทำให้จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษลดลงจากจำนวน 14 ช่อง เหลือ 12 ช่อง และการติดตั้งระบบ M-Flow จำนวน 4 ช่อง ทำให้ช่องเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (MTC) ลดลงจากจำนวน 8 ช่อง เหลือ 5 ช่อง และจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติ (ETC) ลดลงจากจำนวน 6 ช่อง เหลือ 3 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 10 และ 11 รูปแบบการวิเคราะห์ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) เป็นการพิจารณาสภาพจราจรเมื่อมีการประยุกต์ใช้ระบบ M-Flow (Single Lane Free-Flow) กับรูปแบบด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษในปัจจุบัน ทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วนและนอกช่วงเวลาเร่งด่วน ดังนั้นจึงทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบดังกล่าวตามสัดส่วนของผู้ใช้ทางที่คาดว่าจะมาใช้ระบบ M-Flow โดยแบ่งสถานการณ์ตามการคาดการณ์ปริมาณจราจรทั้งในปีที่ 1 ปีที่ 5 และ ปีที่ 10 ตามลำดับ ดังนี้

- กรณีใช้ระบบจัดเก็บค่าผ่านทางที่มีอยู่ในปัจจุบัน (MTC & ETC)



รูปที่ 10 รูปแบบด่านบางนา กม.6 (ขาเข้า) ในปัจจุบัน

- กรณีการจัดเก็บฯ ใน 3 รูปแบบ ได้แก่ MTC ETC และ M-Flow



รูปที่ 11 รูปแบบด่านบางนา กม.6 (ขาเข้า) ในกรณีการจัดเก็บฯ 3 รูปแบบ

ปริมาณจราจรที่เป็นตัวแทนในการประเมินสภาพจราจรด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาเร่งด่วนและนอกช่วงเวลาเร่งด่วน เพื่อใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับ

การวิเคราะห์หาสัดส่วนผู้ใช้ทางที่เปลี่

37 กม./ชม. และค่าความเร็วเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีสัดส่วนผู้ใช้ M-Flow เพิ่มมากขึ้น เช่น ในปีที่ 1 กรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ M-Flow 40% มีค่าความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 71.8 กม./ชม. และในปีที่ 10 กรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ M-Flow 70% มีค่าความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 59.5 กม./ชม. เนื่องจากการปรับปรุงรูปแบบด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษด้วยการรื้อถอนโครงสร้าง Staggered และการติดตั้งระบบ M-Flow ทำให้จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษระบบ ETC และ MTC ลดลง และหากมีจำนวนผู้ใช้ระบบ M-Flow ในสัดส่วนที่น้อยเกินไปจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการรองรับปริมาณจราจรของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) ลดลง เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงรูปแบบด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์สภาพจราจรด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) นอกช่วงเวลาเร่งด่วน

(OFF-PEAK)	ตัวแปร				
ผลการวิเคราะห์	Input Count (veh)	Avg Delay Time (sec/veh)	Avg Speed (km/hr)	Mean Queue (veh)	Travel Time (sec/km)
ปีที่ 1					
ไม่มีโครงการ	1,214	11.5	73.3	1.7	49.42
M-Flow 20.00%	1,246	10.2	72.3	1.6	48.88
M-Flow 31.30%	1,239	8.5	73.7	1.2	49.3
M-Flow 40.00%	1,268	8	74.5	1.2	48.88
ปีที่ 5					
ไม่มีโครงการ	1,650	12.1	72.9	2.3	49.69
M-Flow 40.00%	1,735	8.9	73.6	1.8	49.46
M-Flow 51.13%	1,714	7.6	74.8	1.4	48.67
M-Flow 60.00%	1,681	6.1	76.2	1	47.73
ปีที่ 10					
ไม่มีโครงการ	2,369	13.3	71.8	3.5	50.41
M-Flow 50.00%	2,357	8.4	74.2	2	49.13
M-Flow 58.64%	2,451	7.5	75.1	1.7	48.48
M-Flow 70.00%	2,423	6.1	76.2	1.1	47.72

จากตารางที่ 6 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) นอกช่วงเวลาเร่งด่วน ทั้งในรูปแบบปัจจุบันและมีการประยุกต์ใช้ระบบ M-Flow (Single Lane Free-Flow) โดยพบว่าในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่ค่อนข้างน้อย เนื่องด้วยปริมาณจราจรที่เบาบางกว่าช่วงเวลาเร่งด่วน ส่งผลให้กรณีที่ไม่มีการปรับปรุงรูปแบบด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจะส่งผลให้ค่าความล่าช้าเฉลี่ยในปัจจุบันเท่ากับ 11.5 วินาที/คัน แต่อย่างไรก็ตามค่าความล่าช้ายังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปีเช่นเดียวกัน ซึ่งในปีที่ 10 จะมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยเท่ากับ 13.3 วินาที/คัน แต่เมื่อมีการประยุกต์ใช้ระบบ M-Flow จะส่งผลให้ค่าความล่าช้า เมื่อเทียบในช่วงปีเดียวกัน (ปีที่ 10) และมีสัดส่วนผู้ใช้ M-Flow ถึง 50% เหลือ 6.1 วินาที/คัน จากรูปแบบด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีเพียงระบบ ETC และ MTC ขณะที่ค่าความเร็วเฉลี่ยในกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงรูปแบบด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ จะส่งผลให้ค่าความเร็วเฉลี่ยในปัจจุบันเท่ากับ 73.3 กม./ชม. และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี ซึ่งในปีที่ 10 จะมีค่าความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 71.8 กม./ชม. แต่เมื่อมีการประยุกต์ใช้ระบบ M-Flow ในกรณีมีสัดส่วนผู้ใช้ M-Flow ไม่มากพอจะส่งผลให้ค่าความเร็วเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับปีเดียวกัน เช่น ในปีที่ 1 กรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ M-Flow 20% มีค่าความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 72.3 กม./ชม. และค่าความเร็วเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีสัดส่วนผู้ใช้ M-Flow เพิ่มมากขึ้น เช่น ในปีที่ 1 กรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ M-Flow 40% มีค่าความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 74.5 กม./ชม. และในปีที่ 10 กรณีที่มีสัดส่วนผู้ใช้ M-Flow 70% มีค่าความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 76.2 กม./ชม.

4. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบด้านจราจรของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา กม.6 (ขาเข้า) โดยอาศัยเทคนิคการพัฒนาแบบจำลองด้านจราจร ผ่านโปรแกรม AIMSUN เพื่อประเมินสภาพจราจรที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษรองรับระบบ M-Flow ทั้งในช่วงเวลาเร่งด่วนและนอกช่วงเวลาเร่งด่วน โดยแบ่งสถานการณ์สอดคล้องกับการคาดการณ์ปริมาณจราจรในปีที่ 1 ปีที่ 5 และปีที่ 10 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า การพัฒนาระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษ M-Flow ทำให้ค่าความล่าช้าเฉลี่ย แถวคอย และระยะเวลาเดินทางรวมลดลง ทั้งช่วงเวลาเร่งด่วนและนอกช่วงเวลาเร่งด่วน ขณะที่ความเร็วเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรสภาพจราจรดังกล่าวขึ้นอยู่กับสัดส่วนผู้ใช้ระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษ M-Flow โดยหากมีปริมาณผู้ใช้ M-Flow สูงขึ้นก็จะส่งผลให้สภาพจราจรบนทางพิเศษมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามความจุของช่องจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษก็มีผลต่อสภาพจราจรเช่นเดียวกันหากปริมาณจราจรในอนาคตเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับความจุก็จะส่งผลให้เกิดแถวคอยที่ยาวขึ้น ทั้งนี้ หากมีผู้ใช้บริการ M-Flow ในสัดส่วนที่สูงกว่าการเก็บค่าผ่านทางรูปแบบอื่นก็จะช่วยบรรเทาปัญหาจราจรติดขัดที่ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากบทความนี้ได้รับความช่วยเหลือจากพนักงานในสังกัดกองวิจัยและพัฒนา รวมทั้งเจ้าหน้าที่การทางพิเศษแห่งประเทศไทยทุกท่านที่ให้ข้อมูลและสนับสนุนในงานต่างๆ

ที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2558). คู่มือการใช้บริการทางพิเศษ. การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, หน้า 19.

[2] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2562). ผลการดำเนินงานการแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษตามแนวนโยบายกระทรวงคมนาคม. การทางพิเศษแห่งประเทศไทย.

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

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

[5] ธีร์ดนัย อินดี และจารัส พิทักษ์ศฤงคาร (2564). การวิเคราะห์ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบผสมผสานโดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค: กรณีศึกษาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง. วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 38, ฉบับที่ 1, หน้า 2-14.

[6] Lueanpech, P., Pleongsrithong, J., Punyim, P., Leangvilai, E. and Ruttanapunyagorn, T. (2019). Evaluation of Single Lane Free Flow (SLFF) for Electronic Toll Collection System. The 9 th International Congress on Engineering and Information (ICEAI 2019), Osaka, Japan, 7-9 May 2019.

[7] Kim, B. J. (2011). Conceptualization of traffic flow for designing toll plaza configuration: A case study using simulation with estimated traffic volume. The International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications, and Practice, 18, pp. 51-57.

[8] 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, 5, pp. 1496-1509.