[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ บางเขน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
[2] บริษัท โมบินารี่ จำกัด กรุงเทพฯ
[3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี
*Corresponding author; E-mail address: panuwat@mobinary.org

ปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 7 เป็นอุปสรรคสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพการเดินทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทิศทางมุ่งหน้ากรุงเทพฯ (ขาเข้า) ซึ่งมีอัตราการระบายรถน้อยกว่าทิศทางมุ่งหน้าชลบุรี (ขาออก) เนื่องจากเป็นการเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางในระบบปิด (Close System) ผู้ใช้ทางต้องคืนบัตรผ่านทางและตรวจสอบจำนวนเงินก่อนชำระค่าผ่านทาง ส่งผลให้เกิดท้ายแถวสะสมของรถในฝั่งขาเข้า และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ แม้ว่ากองทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองจะมีการเปิดช่องทางพิเศษ (Reversible Lane) เพื่อบรรเทาปัญหาในบางช่วงเวลา แต่มาตรการดังกล่าวยังไม่สามารถลดการติดขัดได้อย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง โดยการประยุกต์ใช้ระบบกล้องตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ (License Plate Recognition: LPR) ในฝั่งขาออก เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการผ่านด่านฯ และลดจำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางในฝั่งขาออก โดยนำโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Simulation) มาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และจัดทำแบบจำลอง จากผลการศึกษาพบว่า การใช้ระบบ LPR ร่วมกับการปรับปรุงกายภาพสามารถลดความล่าช้าในการเดินทางจาก 169 วินาทีต่อกิโลเมตรเหลือเพียง 9 วินาทีต่อกิโลเมตร และลดความยาวแถวคอยจาก 2,154 เมตร เหลือเพียง 308 เมตร หรือคิดเป็นการลดลงถึงร้อยละ 85.7 ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงการบริหารจัดการจราจร และเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายรถบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบังได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง, โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค, ระบบกล้องตรวจจับป้ายทะเบียน (LPR)

Traffic congestion at the Ladkrabang toll plaza on Motorway No. 7 showcase a significant challenge, impacting both safety and travel efficiency. This is particularly pronounced in the Bangkok-bound direction (inbound), where the traffic flow rate is considerably lower than the Chonburi-bound direction (outbound). This discrepancy stems from the closed toll collection system, which requires drivers to return a toll card and verify the fee before making a payment. This process leads to queuing on the inbound side, increasing the risk of accidents. While the Department of Highways has implemented reversible lanes to alleviate congestion during peak hours, this measure has not yielded a sustainable solution. This research focuses on addressing traffic congestion at the Ladkrabang toll plaza by implementing a License Plate Recognition (LPR) system on the outbound side. This aims to expedite toll booth passage and reduce the number of toll booths required on the outbound side. Microscopic Traffic Simulation was employed to analyze and model the impact of this approach. The results reveal that the integrated approach of using the LPR system along with physical reconfiguration can reduce travel delays from 169 seconds per kilometer to only 9 seconds per kilometer. Additionally, queue length was reduced from 2,154 meters to just 308 meters—an 85.7% reduction. These findings can be applied to develop and improve traffic management strategies, ultimately enhancing the efficiency of traffic flow at the Ladkrabang toll plaza sustainably.

Keywords Toll Plaza, Microscopic Traffic Simulation, License Plate Recognition (LPR), AIMSUN

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 7 เป็นอุปสรรคสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพการเดินทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทิศทางมุ่งหน้ากรุงเทพฯ (ขาเข้า) ซึ่งมีอัตราการระบายรถน้อยกว่าทิศทางมุ่งหน้าชลบุรี (ขาออก) เนื่องจากเป็นการเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางในระบบปิด (Close System) ผู้ใช้ทางต้องคืนบัตรผ่านทางและตรวจสอบจำนวนเงินก่อนชำระค่าผ่านทาง ส่งผลให้เกิดท้ายแถวสะสมของรถในฝั่งขาเข้า และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ แม้ว่ากองทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองจะมีการเปิดช่องทางพิเศษ (Reversible

Lane) เพื่อบรรเทาปัญหาในบางช่วงเวลา แต่มาตรการดังกล่าวยังไม่สามารถลดการติดขัดได้อย่างยั่งยืน

จึงดำเนินการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง โดยการประยุกต์ใช้ระบบกล้องตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ (License Plate Recognition: LPR) ในฝั่งขาออก เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการผ่านด่านฯ และลดจำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางในฝั่งขาออก โดยนำโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Simulation) มาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และจัดทำแบบจำลอง เพื่อนำไปปรับใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงการบริหารจัดการจราจร และเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายรถบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบังได้อย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพจราจร และระบบจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง
2. พัฒนาแบบจำลองสภาพจราจร เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการจราจร
3. วิเคราะห์ผลก่อนและหลังการประยุกต์ใช้ระบบ LPR ในด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง
4. เสนอแนวทางการปรับปรุง และเพิ่มประสิทธิภาพของด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นเฉพาะบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง ซึ่งตั้งอยู่ที่กิโลเมตรที่ 23+800 บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 7 (กรุงเทพฯ–ชลบุรี–พัทยา–มาบตาพุด) โดยครอบคลุมทั้งทิศทางมุ่งหน้าเข้าสู่กรุงเทพ (ขาเข้า) และทิศทางมุ่งหน้าบ้านฉาง (ขาออก) รวมถึงการวิเคราะห์ในกรณีที่มีและไม่มีการเปิดช่องทางพิเศษ (Reversible Lane) เพื่อให้ได้ภาพรวมที่ชัดเจนเกี่ยวกับสภาพการจราจร โดยการวิเคราะห์จะใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วน (Peak Hour) เพื่อเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์สภาพจราจร พร้อมทั้งพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่

1. ปริมาณจราจรและสัดส่วนประเภทของการชำระค่าธรรมเนียมผ่านทางรูปแบบต่าง ๆ
2. รายละเอียดทางกายภาพของด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง
3. การประยุกต์ใช้ระบบกล้องอ่านป้ายทะเบียน (LPR) ในทิศทางมุ่งหน้าบ้านฉาง (ขาออก)

ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาบูรณาการ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของมาตรการต่าง ๆ รวมถึงเสนอแนวทางสำหรับการบริหารจัดการจราจรและการเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางอย่างเหมาะสมต่อไป

2.1 ระบบกล้องตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์

ระบบการอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์อัตโนมัติ (License Plate Recognition: LPR) เป็นกระบวนการที่ต้องวิเคราะห์ตัวเลขและตัวอักษรจากป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยอาศัยกล้องเป็นอุปกรณ์รับภาพที่จับได้ว่ามียานพาหนะพร้อมป้ายทะเบียนอยู่ในเฟรมภาพ จากนั้นระบบจะกำหนดพิกัดของป้ายทะเบียนในภาพเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไปให้ได้ตัวอักษรและตัวเลขที่อยู่บนป้ายทะเบียน กระบวนการนี้ต้องอาศัยเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) ที่ผสานหลายปัจจัยสำคัญ ทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและแม่นยำ

ปัจจัยแรกที่สำคัญคือ “สี” ซึ่งเป็นตัวช่วยบอกความแตกต่างระหว่างพื้นหลังกับตัวอักษรหรือตัวเลขบนป้ายทะเบียน รวมถึงรูปทรง (Contour) ของป้ายทะเบียนที่มักใช้เป็นจุดสังเกตในการแยกพื้นที่ของป้ายออกจากบริเวณอื่นของภาพ ต่อมาคือความละเอียดของภาพ (Pixel) โดยยิ่งมีค่ามาก จะยิ่งเพิ่มโอกาสในการแยกส่วนประกอบของข้อมูลภาพได้ละเอียดและถูกต้องมากขึ้น ปัจจัยถัดมาคือ “แสง” ซึ่งส่งผลต่อการมองเห็นป้ายทะเบียน หากสภาพแสงไม่เพียงพอหรือเกิดเงาตกกระทบมากเกินไป อาจทำให้การประมวลผลและการจดจำตัวอักษรคลาดเคลื่อน สุดท้ายคือ “ความเร็วของยานพาหนะ” ที่ยิ่งเคลื่อนที่เร็วมากเท่าไร โอกาสที่ระบบจะวิเคราะห์ป้ายทะเบียนได้อย่างแม่นยำยิ่งลดลง ด้วยเหตุนี้ การคัดเลือกอุปกรณ์ตรวจจับป้ายทะเบียนที่มีประสิทธิภาพสูง ทั้งคุณภาพกล้อง เซนเซอร์ และซอฟต์แวร์ประมวลผล จะช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากข้อจำกัดของสภาพแวดล้อม เช่น แสงน้อย ป้ายทะเบียนชำรุด หรือแม้กระทั่งมุมกล้องที่ไม่เหมาะสม สำหรับกระบวนการหลักของการอ่านป้ายทะเบียน (License Plate Recognition) ทั้งจากภาพนิ่งหรือภาพเคลื่อนไหว สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนสำคัญ ได้แก่

1. การหาตำแหน่งของป้ายทะเบียน (License Plate Detection) ซึ่งอาศัยคุณลักษณะทางเรขาคณิต อัตราส่วนความกว้างยาว สี โทนขาวดำ ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสง (Intensity) หรือการเปลี่ยนแปลงของค่า Gradient รวมถึงการสังเกตช่วงว่างและการกระจายตัวระหว่างตัวอักษร เพื่อบ่งบอกบริเวณที่มีโอกาสเป็นป้ายทะเบียน
2. การแยกตัวอักษร (Character Segmentation) โดยอาจใช้เทคนิค Projection, Relaxation Labeling หรือการหา Component ที่ติดกัน (Connected Component Analysis) เพื่อแยกตัวอักษรออกจากกันให้ชัดเจน
3. การอ่านตัวอักษร (Optical Character Recognition: OCR) ซึ่งมีวิธีการหลากหลาย เช่น Genetic Algorithm, Neural Networks, Fuzzy Logic, C-means, Support Vector Machine หรือ Markov Processes เป็นต้น

การพัฒนาวิธีการในแต่ละขั้นตอนดังกล่าวจำเป็นต้องคำนึงถึงข้อกำหนดและลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบป้ายทะเบียนที่หลากหลาย ป้ายทะเบียนที่ชำรุดเสียหาย การเปลี่ยนแปลงของแสงที่ไม่คงที่หรือสภาพแวดล้อมในการรับภาพที่อาจมีสิ่งกีดขวาง ซึ่งล้วนเป็นเหตุให้ผลลัพธ์การจดจำป้ายทะเบียนอาจคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้น ระบบ LPR จึงต้องออกแบบวิธีการประมวลผลภาพและเลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขหลากหลาย เพื่อให้การตรวจจับและอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยลักษณะการทำงานของระบบกล้องตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ (License Plate Recognition)

กรณีการประยุกต์ใช้ระบบกล้องตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ (License Plate Recognition: LPR) ในระบบจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง และยกไม้กั้นขึ้น หรือที่เรียกว่า Single Lane Free Flow (SLFF) หมายถึง ระบบจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางอัตโนมัติที่อาศัยเทคโนโลยีจดจำป้ายทะเบียนเพื่อลงทะเบียนและเก็บค่าผ่านทางโดยไม่ต้องหยุดรถที่ด่านขาเข้าระบบ ช่องจราจรจะถูกปรับให้เป็นช่องเดี่ยว เพื่อให้รถเคลื่อนผ่านได้อย่างต่อเนื่อง สามารถรองรับปริมาณจราจรเฉลี่ยประมาณ 1,200 คันต่อชั่วโมงต่อช่องทาง (ที่มา: ฝ่ายจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง กรมทางหลวง) ระบบดังกล่าวช่วยลดความหนาแน่นบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียม เพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการจราจร และอำนวยความสะดวกในการเดินทางได้อย่างมีประสิทธิผล

โดยพลฉัตร ยงญาติ และคณะ [3] ทดสอบประสิทธิภาพด้านความแม่นยำของระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติที่รองรับความเร็วสูง และระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติที่ไม่รองรับความเร็วสูง โดยการติดตั้งอุปกรณ์ 1) กล้อง ALPR 2) อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (Microwave Radar Sensor) และ 3) อุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะ (Detector) บนโครงป้ายคร่อมช่องจราจร ตำแหน่ง กม.32+500 ทิศทางมุ่งหน้าบางนา ทางพิเศษบูรพาวิถี พบว่าระบบอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์จากกล้อง ALPR ที่รองรับความเร็วสูงมีประสิทธิภาพในการตรวจจับป้ายทะเบียนได้จำนวน 95.65% จากรถทั้งหมดที่นับได้ด้วย Microwave Sensor ขณะที่ระบบอ่านป้ายทะเบียนยานพาหนะจากกล้อง ALPR ที่ไม่รองรับความเร็วสูงมีประสิทธิภาพในการตรวจจับป้ายทะเบียนได้จำนวน 63.11% จากรถทั้งหมดที่นับได้ด้วย Microwave Sensor ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของกล้อง ALPR ทั้งสองแบบพบว่ากล้อง ALPR ที่รองรับความเร็วสูงมีประสิทธิภาพในการตรวจจับป้ายทะเบียนยานพาหนะมากกว่ากล้อง ALPR ที่ไม่รองรับความเร็วสูง 32.54%

2.2 การจำลองสภาพจราจร

การจำลองสภาพจราจรเป็นการจำลองลักษณะสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริงบนถนนหนึ่งๆ หรือทำการประยุกต์จำลองสถานการณ์ที่สมมุติขึ้น ทำให้สามารถศึกษาผลกระทบต่อการจราจรเมื่อเกิดอุบัติการณ์ต่าง ๆ ที่ไม่สามารถสมมุติให้เกิดขึ้นจริงได้ในภาคสนาม ทำให้มองเห็นสภาพจราจรและปัญหาจราจรโดยรวมได้อย่างเป็นระบบ เพื่อประเมินทางเลือกซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาด้านต่าง ๆ 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 และโปรแกรมอื่น ๆ ซึ่งมีสมรรถนะในการใช้งานที่แตกต่างกัน

2.3 โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค AIMSUN

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 และการวิเคราะห์สภาพจราจรติดขัดในพื้นที่เมือง โดยจิรวัฒน์ เพลิงศรีทอง และคณะ [1] ได้ประเมินมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพด่านฯ อโศก 3 และ อโศก 4 โดยการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค AIMSUN พบว่า มาตรการเพิ่มพนักงานเก็บและทอนเงินก่อนเข้าสู่ช่อง MTC จำนวน 10 คนต่อช่องทางร่วมกับมาตรการยกเลิกการใช้ไม้กั้น NSL สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับด่านฯ อโศก 3 ในชั่วโมงเร่งด่วนเย็น ทำให้ปริมาณจราจรบริเวณหน้าด่านฯ เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.52% และมาตรการเพิ่มพนักงานเก็บและทอนเงินก่อนเข้าสู่ช่อง MTC จำนวน 5 คนต่อช่องทางร่วมกับมาตรการยกเลิกการใช้ไม้กั้น NSL สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับด่านฯ อโศก 4 ในชั่วโมงเร่งด่วนเช้า ทำให้ปริมาณจราจรบริเวณหน้าด่านฯ เพิ่มขึ้นจากเดิม 12.73% และนพคุณ บุญกระพือ และคณะ [2] ทำการวิเคราะห์จำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางที่เหมาะสมกับปริมาณและสัดส่วนรถบรรทุกที่ใช้บริการ โดยใช้ด่านทับช้าง (ระบบเปิด) บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองเป็นกรณีศึกษา มีการใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (Aimsun) ในการจำลองด่านฯ โดยใช้ข้อมูลเวลาเฉลี่ยในการเข้ารับบริการและอัตราการให้บริการสูงสุดของรถบรรทุกแต่ละประเภทในการปรับเทียบแบบจำลอง จากนั้นได้มีการแปรเปลี่ยนปริมาณและสัดส่วนของรถบรรทุกเพื่อวิเคราะห์จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางที่เหมาะสม และมีการพัฒนาต้นแบบตารางความล่าช้าที่เกิดขึ้นตามปริมาณและสัดส่วนของรถบรรทุกแต่ละประเภทที่เข้าใช้บริการ เพื่อกำหนดการเปิดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางรถบรรทุกได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้ลดความล่าช้า และแถวคอยบริเวณหน้าด่านฯ ลงได้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิรวัฒน์ เพลิงศรีทอง และคณะ [1] ได้ประเมินมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพด่านฯ อโศก 3 และ อโศก 4 โดยการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค AIMSUN พบว่า มาตรการเพิ่มพนักงานเก็บและทอนเงินก่อนเข้าสู่ช่อง MTC จำนวน 10 คนต่อช่องทางร่วมกับมาตรการยกเลิกการใช้ไม้กั้น NSL สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับด่านฯ อโศก 3 ในชั่วโมงเร่งด่วนเย็น ทำให้ปริมาณจราจรบริเวณหน้าด่านฯ เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.52% และมาตรการเพิ่มพนักงานเก็บและทอนเงินก่อนเข้าสู่ช่อง MTC จำนวน 5 คนต่อช่องทางร่วมกับมาตรการยกเลิกการใช้ไม้กั้น NSL สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับด่านฯ อโศก 4 ในชั่วโมงเร่งด่วนเช้า ทำให้ปริมาณจราจรบริเวณหน้าด่านฯ เพิ่มขึ้นจากเดิม 12.73%

นพคุณ บุญกระพือ และคณะ [2] ทำการวิเคราะห์จำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางที่เหมาะสมกับปริมาณและสัดส่วนรถบรรทุกที่ใช้บริการ โดยใช้ด่านทับช้าง (ระบบเปิด) บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองเป็นกรณีศึกษา มีการใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (Aimsun) ในการจำลองด่านฯ โดยใช้ข้อมูลเวลาเฉลี่ยในการเข้ารับบริการและอัตราการให้บริการสูงสุดของรถบรรทุกแต่ละประเภทในการปรับเทียบแบบจำลอง จากนั้นได้มีการแปรเปลี่ยนปริมาณและสัดส่วนของรถบรรทุกเพื่อวิเคราะห์จำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางที่เหมาะสม และมีการพัฒนาต้นแบบตารางความล่าช้าที่เกิดขึ้นตามปริมาณและสัดส่วนของรถบรรทุกแต่ละประเภทที่เข้าใช้บริการ เพื่อกำหนดการเปิดจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางรถบรรทุกได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้ลดความล่าช้า และแถวคอยบริเวณหน้าด่านฯ ลงได้

พลฉัตร ยงญาติ และคณะ [3] ทดสอบประสิทธิภาพด้านความแม่นยำของระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติที่รองรับความเร็วสูง และระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติที่ไม่รองรับความเร็วสูง โดยการติดตั้งอุปกรณ์ 1) กล้อง ALPR 2) อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (Microwave Radar Sensor) และ 3) อุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะ (Detector) บนโครงป้ายคร่อมช่อง

จราจร ตำแหน่ง กม.32+500 ทิศทางมุ่งหน้าบางนา ทางพิเศษบูรพาวิถี พบว่าระบบอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์จากกล้อง ALPR ที่รองรับความเร็วสูงมีประสิทธิภาพในการตรวจจับป้ายทะเบียนได้จำนวน 95.65% จากรถทั้งหมดที่นับได้ด้วย Microwave Sensor ขณะที่ระบบอ่านป้ายทะเบียนยานพาหนะจากกล้อง ALPR ที่ไม่รองรับความเร็วสูงมีประสิทธิภาพในการตรวจจับป้ายทะเบียนได้จำนวน 63.11% จากรถทั้งหมดที่นับได้ด้วย Microwave Sensor ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของกล้อง ALPR ทั้งสองแบบพบว่ากล้อง ALPR ที่รองรับความเร็วสูงมีประสิทธิภาพในการตรวจจับป้ายทะเบียนยานพาหนะมากกว่ากล้อง ALPR ที่ไม่รองรับความเร็วสูง 32.54%

ฐิติพงศ์ สุขเสริม และคณะ [4] การดำเนินโครงการติดตั้งระบบบริหารจัดการช่องจราจรบนทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (Automatic Lane Control System) เพื่อให้ตำแหน่งดังกล่าวทำงานโดยอัตโนมัติและเป็นต้นแบบของการแก้ปัญหาจราจรโดยใช้เทคโนโลยีช่วยจัดการการจราจร พบว่าภายหลังทดลองเปิดใช้ระบบดังกล่าวปริมาณจราจรช่องไหล่ทางลดลงร้อยละ 14 ณ บริเวณ กม.12+500 A และลดลงร้อยละ 6 ณ บริเวณกม.14+150 A อีกทั้งช่วงระยะเวลาของการใช้ช่องไหล่ทางมีช่วงเวลาที่ลดลงในช่วงเร่งด่วนเย็น และความเร็วเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 19 ณ บริเวณกม.12+500 A และมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 19 ณ บริเวณ กม.14+150 A แสดงให้เห็นถึงการยอมรับการเปิดใช้งานป้ายจราจร (Traffic Sign) ผ่านป้ายแสดงข้อความแบบปรับเปลี่ยนได้ (Variable Message Sign : VMS) และป้ายเตือนช่องทาง (Matrix Sign : MS) ซึ่งสามารถช่วยแก้ปัญหาผู้ฝ่าฝืนใช้ช่องไหล่ทางและช่วยเพิ่มความคล่องตัวของการจราจรบริเวณดังกล่าวได้

ทักษิณา กรไกร และคณะ [5] ได้พัฒนาระบบตรวจจับและค้นหาป้ายทะเบียนรถยนต์อัตโนมัติ โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) สำหรับทางพิเศษฉลองรัช เพื่อรองรับการพัฒนาระบบจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษอัตโนมัติแบบไม่มีไม้กั้น (M-Flow) ระบบนี้ใช้เทคโนโลยีการอ่านป้ายทะเบียนรถอัตโนมัติ (ALPR) เพื่อตรวจสอบยานพาหนะและระบุตัวตนผู้ใช้บริการ และช่วยในการออกรายงานการผ่านทางอัตโนมัติ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบอ่านป้ายทะเบียนรถอัตโนมัติ พบว่า มีความถูกต้องในการอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ร้อยละ 97.5 ความถูกต้องในการจำแนกสีร้อยละ 96 และความถูกต้องในการจำแนกยี่ห้อร้อยละ 93 ระบบนี้ถูกพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบ Web Application เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน

ธนุตม์ กล่อมระนก และคณะ [6] ประเมินสภาพการจราจรของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง และเปรียบเทียบผลกระทบด้านการจราจรทั้งก่อนและหลังปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษเพื่อรองรับการให้บริการระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ M-Flow ในปีที่ 1 ปีที่ 5 และปีที่ 10 ทั้งช่วงเวลาเร่งด่วนและนอกช่วงเวลาเร่งด่วนผ่านโปรแกรม Aimsun การเปิดให้บริการระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ M-Flow ของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดงในปีที่ 1 ปีที่ 5 และปีที่ 10 ทั้งช่วงเวลาเร่งด่วนและนอกช่วงเวลาเร่งด่วนจะสามารถลดความล่าช้า แถวคอย และเวลาการเดินทางลงได้เมื่อสัดส่วนผู้ใช้งานระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ M-Flow เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สัดส่วนผู้ใช้งานระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ M-Flow มีผลโดยตรงต่อการบริหารจัดการจำนวนช่องจราจรบริเวณทางออกของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

การศึกษานี้ดำเนินการตามลำดับขั้นตอนของวิศวกรรมจราจร ดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วิธีการเก็บค่าผ่านทางในรูปแบบปัจจุบัน ลักษณะกายภาพของด่าน ปริมาณจราจร และข้อมูลระบบ LPR เพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นที่ครอบคลุมสถานการณ์

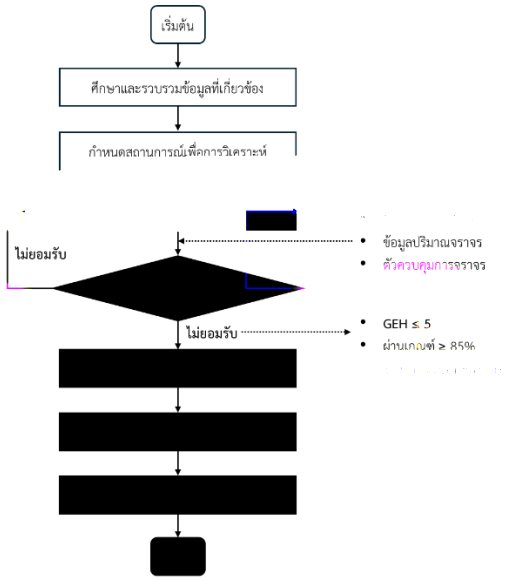
2. พัฒนาแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Simulation) ด้วยโปรแกรม AIMSUN ซึ่งสามารถจำลองพฤติกรรมการขับขี่ การไหลของจราจร และการเกิดแถวคอย (Queue Length) ได้อย่างละเอียด

3. ปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) โดยใช้ค่า GEH (Geoffrey E. Havers) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณจราจรจริงกับผลลัพธ์จากแบบจำลอง และปรับพารามิเตอร์เพื่อให้การจำลองใกล้เคียงกับสภาพจริง

4. จำลองสถานการณ์ (Scenario Simulation) แบ่งเป็นกรณีปัจจุบัน (Base Case) กับกรณีที่ประยุกต์ใช้ระบบ LPR หรือมีการปรับปรุงกายภาพหรือเปิดช่องทางพิเศษ ผลลัพธ์ที่ได้จะเปรียบเทียบในด้านต่าง ๆ เช่น ความยาวของแถวคอย การเผาผลาญเชื้อเพลิง และการปลดปล่อยมลพิษ เป็นต้น

5. ประเมินประสิทธิภาพและเสนอแนวทางพัฒนาระบบ รวมถึงการพิจารณารูปแบบการจัดช่องทางที่เหมาะสม เพื่อให้ด่านเก็บค่าธรรมเนียมสามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจรในอนาคต

โดยรายละเอียดแผนการดำเนินงานแก้ไขปัญหาสภาพจราจรบริเวณด่านลาดกระบังแสดงดังรูปที่ 1



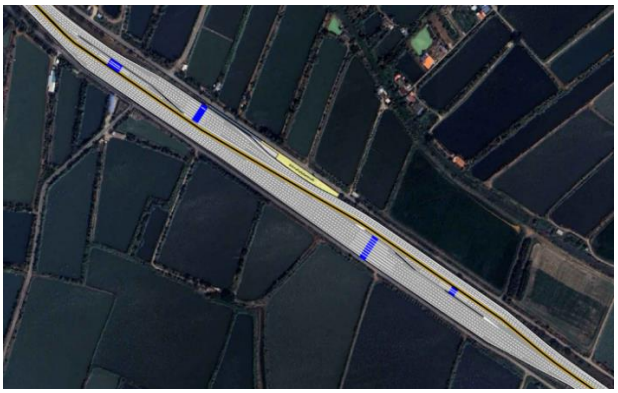
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูล

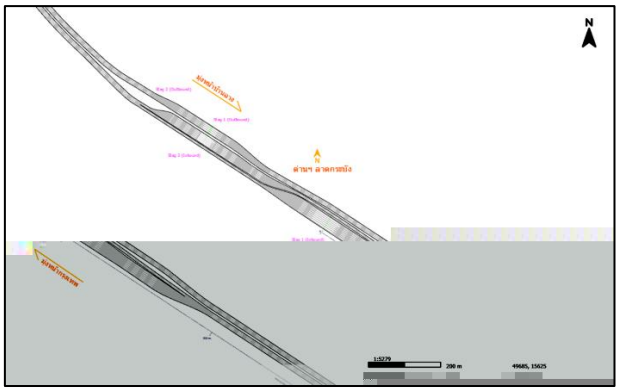
การศึกษานี้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหาจราจรบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของด่าน (2) อัตราการให้บริการ (3) ข้อมูลปริมาณจราจร และ (4) ข้อมูลแถวคอย ทั้งนี้เพื่อประกอบการพิจารณา และวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างครบถ้วนและมีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพ

ด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง ตั้งอยู่บริเวณกิโลเมตรที่ 23+800 บนทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 7 (กรุงเทพฯ–ชลบุรี–พัทยา–มาบตาพุด) มีการออกแบบให้มีลักษณะ 2 ส่วนซ้อนทับกัน (Stackable) ในทั้งสองทิศทาง แสดงลักษณะทางกายภาพดังรูปที่ 2



ลักษณะทางกายภาพของด่านลาดกระบัง (ด่านฯ กรณีศึกษา)



โครงข่ายแบบจำลองบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง

3.1.2 ข้อมูลอัตราการให้บริการ

การศึกษานี้รวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรจากฝ่ายจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง และกลุ่มอำนวยการจัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง กองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง กรมทางหลวง เพื่อหาค่าความถี่สะสมของปริมาณจราจรผ่านด่าน โดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจรผ่านด่านที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ เป็นตัวแทนของความสามารถในการให้บริการของแต่ละระบบ จากข้อมูลที่ได้พบว่า ความสามารถในการให้บริการของระบบ MTC ในทิศทางมุ่งหน้ากรุงเทพ มีอัตราการให้บริการ 300 คันต่อชั่วโมง และทิศทางมุ่งหน้าบ้านฉางมีอัตราการให้บริการ 400 คันต่อชั่วโมง ส่วนความสามารถในการให้บริการของระบบ ETC ใช้ค่า 800 คันต่อชั่วโมง เป็นตัวแทนในทั้งสองทิศทาง

3.1.3 ปริมาณจราจร

จากการตรวจสอบปริมาณจราจรรายวันภายในเดือนดังกล่าว พบว่า วันพฤหัสบดีที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2567 มีค่าปริมาณจราจรเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 56,676 คัน ซึ่งสูงกว่าวันอื่น ๆ และเมื่อจำแนกปริมาณจราจรตามชั่วโมง พบว่าในช่วง 16:00–17:00 น. มีปริมาณสูงสุดถึง 5,159 คันต่อชั่วโมง จึงถูกเลือกเป็น “ชั่วโมงเร่งด่วนสูงสุด” เพื่อเป็นตัวแทนของสภาวะการจราจรหนาแน่น ในช่วงเวลาที่มีการเปิดช่องทางพิเศษ

3.1.4 ข้อมูลแถวคอย

จากการตรวจสอบความยาวแถวคอยในช่วงเวลา 16:00-17:00 น. พบว่า ความยาวแถวคอยเฉลี่ยในทิศทางมุ่งหน้ากรุงเทพ อยู่ที่ประมาณ 2 กิโลเมตร

3.2 ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลอง

3.2.1 การสร้างโครงข่ายแบบจำลอง

โครงข่ายทางกายภาพ (Geometric Network) สร้างโดยการนำเข้าแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมบริเวณพื้นที่ศึกษาคือ ด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง จาก Google Earth และสร้างแบบจำลองสภาพจราจรที่มีลักษณะกายภาพ ได้แก่ โครงข่ายถนน จำนวนช่องจราจร ประเภทของช่องเก็บค่าผ่านทาง ให้ใกล้เคียงกับสภาพในปัจจุบัน แสดงโครงข่ายแบบจำลองดังรูปที่ 3

3.3 การปรับเทียบแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเป็นการเปรียบเทียบค่าความยาวท้ายแถวที่เกิดขึ้นหน้าด่านที่ได้จากแบบจำลองกับค่าอ้างอิงที่ได้จากการสำรวจ โดยใช้เกณฑ์ของ Department for Transport UK Highways Agency’s Design Manual for Roads & Bridges (DMRB) ของประเทศอังกฤษในการเปรียบเทียบแบบจำลองระดับจุลภาคกำหนดให้ใช้ค่า GEH ซึ่งแสดงสูตรที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบดังนี้

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

เมื่อกำหนดให้

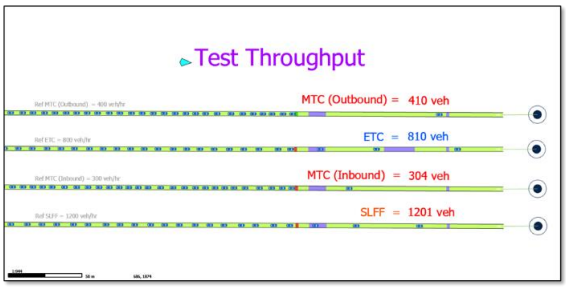
M คือ ความยาวท้ายแถวที่ได้จากแบบจำลอง

C คือ ความยาวท้ายแถวที่ได้จากการสำรวจจริง

หากค่า GEH ร้อยละ 85 มีค่าน้อยกว่า 5 ถือได้ว่าข้อมูลที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี มีความคลาดเคลื่อนน้อย ระหว่าง 5.0 - 10.0 ควรได้รับการรับรองผลการสำรวจ หากค่า GEH มากกว่า 10.0 ข้อมูลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง นพคุณ บุญกระพือ และคณะ [2] ทำการปรับเทียบแบบจำลอง AIMSUN โดยปรับให้ค่า GEH เท่ากับ 5.0 พบว่าสภาพจราจรจากแบบจำลองได้ค่าใกล้เคียงกับสภาพจราจรจริงที่เกิดขึ้น ดังนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบแบบจำลอง โดยจะใช้อัตราการระบายรถบรรทุกสูงสุดบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางเป็นตัวชี้วัด จากการประมวลผลโปรแกรมจำลองสภาพจราจร 3 ครั้ง โดยมีผลจากการตรวจสอบ ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 4

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

	400	410	0.50
	300	304	0.23
	800	810	0.35
	1200	1201	0.03

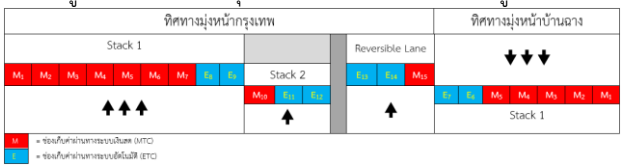


การปรับเทียบอัตราการให้บริการในแบบจำลอง

3.4 การกำหนดสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์

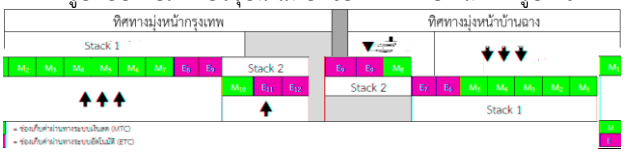
การศึกษากำหนดการทดสอบทั้งหมด 6 รูปแบบ (Scenarios) เพื่อให้ครอบคลุมทั้งสภาพกายภาพของด่านที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน การเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ (Reversible Lane) และการนำระบบกล้องอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ (LPR) มาประยุกต์ใช้ ตลอดจนแนวทางการปรับปรุงกายภาพด่านเพิ่มเติม โดยแต่ละรูปแบบที่กำหนดขึ้นจะถูกนำไปจำลองในสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Simulation) เพื่อเปรียบเทียบตัวชี้วัด เช่น ความเร็วเฉลี่ย (Average Speed) ความล่าช้า (Delay) ความยาวแถวคอย (Queue Length) อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง (Fuel Consumption) และอัตราการปลดปล่อยมลพิษ (Emission) ซึ่งจะช่วยให้สามารถระบุได้ว่ามาตรการใด หรือรูปแบบใดเหมาะสมที่สุดในการแก้ไขปัญหาจราจร ณ ด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง โดยมีรูปแบบที่ 1 (Base Case) เป็นตัวชี้วัดอ้างอิงหลักในการประเมิน ซึ่งรายละเอียดของแต่ละรูปแบบแสดงดังนี้

1. รูปแบบกายภาพปัจจุบัน เปิดช่องทางพิเศษ แสดงดังรูปที่ 5



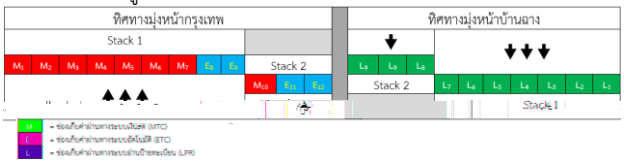
สถานการณ์เพื่อการวิเคราะห์รูปแบบที่ 1

2. รูปแบบกายภาพปัจจุบัน ไม่เปิดช่องทางพิเศษ แสดงดังรูปที่ 6



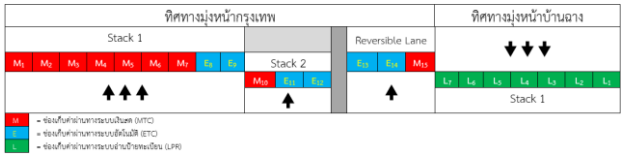
สถานการณ์เพื่อการวิเคราะห์รูปแบบที่ 2

3. รูปแบบกายภาพปัจจุบัน ไม่เปิดช่องทางพิเศษ และใช้ระบบ LPR แสดงดังรูปที่ 7



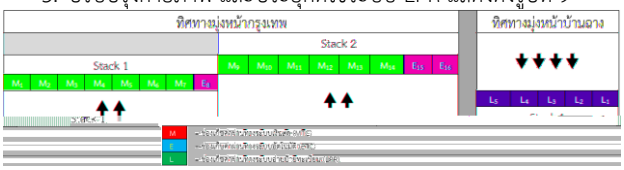
สถานการณ์เพื่อการวิเคราะห์รูปแบบที่ 3

4. รูปแบบกายภาพปัจจุบัน เปิดช่องทางพิเศษ และใช้ระบบ LPR แสดงดังรูปที่ 8



สถานการณ์เพื่อการวิเคราะห์รูปแบบที่ 4

5. ปรับปรุงกายภาพ และประยุกต์ใช้ระบบ LPR แสดงดังรูปที่ 9



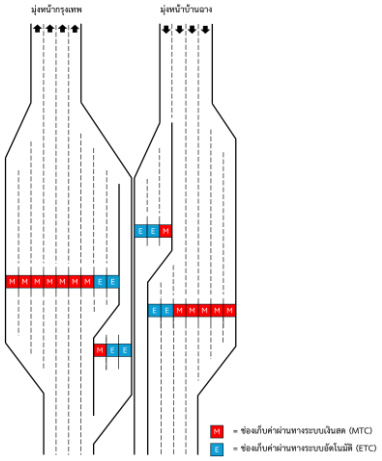
สถานการณ์เพื่อการวิเคราะห์รูปแบบที่ 5

6. ปรับปรุงกายภาพ ไม่มีระบบ LPR แสดงดังรูปที่ 10

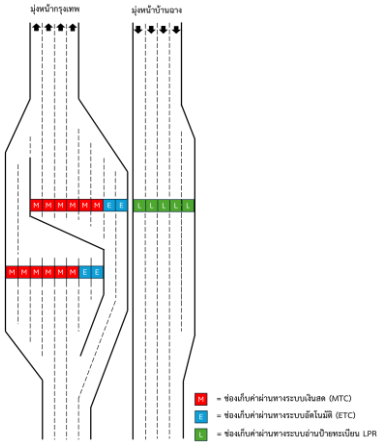


สถานการณ์เพื่อการวิเคราะห์รูปแบบที่ 6

งานวิจัยนี้ปรับปรุงลักษณะภาพด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบังสามารถแสดงลักษณะทางกายภาพเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกายภาพดังรูปที่ 11 และรูปที่ 12



ลักษณะทางกายภาพก่อนปรับปรุง



ลักษณะทางกายภาพหลังปรับปรุงกายภาพ

จากการรวบรวมข้อมูลและจัดทำแบบจำลองสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง งานศึกษานี้ได้ดำเนินการจำลองและประเมินผลในแต่ละรูปแบบอย่างรอบคอบ โดยคำนึงถึงปัจจัยเชิงกายภาพ เช่น โครงข่ายของด่าน และจำนวนช่องเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทาง รวมถึงปัจจัยเชิงเทคโนโลยี เช่น การประยุกต์ใช้ระบบ LPR และการเปิดช่องทางพิเศษ ด้วยเหตุนี้ ผลการวิเคราะห์จึงสะท้อนถึงแนวโน้มในเชิงวิศวกรรมจราจร และสามารถนำมาเปรียบเทียบความเหมาะสมของมาตรการแก้ไขปัญหาจราจรหลากหลายรูปแบบได้อย่างเป็นระบบ ทั้งในด้านอัตราการระบายรถ ความยาวแถวคอย (Queue Length) การเผาผลาญเชื้อเพลิง และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ตลอดจนชี้ให้เห็นถึงผลได้และข้อจำกัดของทุกทางเลือกที่เสนอ ก่อนพิจารณานำไปปรับใช้และสรุปเป็นแนวนโยบายหรือแผนปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรมต่อไป โดยรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ในแต่ละส่วนมีดังนี้

4.1 ด้านอัตราการให้บริการ

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LPR (เช่น ในรูปแบบที่ 3, 4 และ 5) ช่วยเพิ่มอัตราการระบายรถในทิศทางที่มีการติดตั้ง LPR อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (MTC) หรือระบบอัตโนมัติ (ETC) เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เป็นเพราะเทคโนโลยี LPR ช่วยให้กระบวนการตรวจสอบ และจัดเก็บค่าผ่านทางเป็นไปโดยอัตโนมัติ ลดการหยุดรถหรือการดำเนินการทางกายภาพที่ต้องอาศัยเจ้าหน้าที่ จุดนี้ส่งผลโดยตรงต่อ “Service Rate” หรือความสามารถในการรองรับจำนวนรถต่อหน่วยเวลา

ในทางกลับกัน มาตรการเปิดช่องทางพิเศษ (Reversible Lane) ตามที่ปรากฏในรูปแบบที่ 1 และ 4 แม้ว่าจะไม่สามารถเพิ่มอัตราการระบายรถได้มากเท่ากับการติดตั้ง LPR แต่ก็ยังมีผลในเชิงบวกต่อการลดความแออัดในช่วงเวลาที่มีทิศทางจราจรขาใดขาหนึ่งหนาแน่นมากเป็นพิเศษ การวางแผนเปิดช่องทางพิเศษอย่างเหมาะสมร่วมกับระบบจัดเก็บค่าผ่านทางในปัจจุบันจึงสามารถบรรเทาปัญหาการติดขัดให้ดีขึ้นได้ในระดับหนึ่ง

อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงกายภาพด่านฯ (รูปแบบที่ 5 และ 6) คือการเพิ่มจำนวนช่องหรือตำแหน่งช่องจัดเก็บค่าผ่านทางในทิศทางต่าง ๆ ย่อมส่งผลดีต่ออัตราการระบายรถโดยรวม โดยเฉพาะเมื่อผนวกกับเทคโนโลยี LPR (รูปแบบที่ 5) ที่สามารถเพิ่ม Service Rate ได้สูงยิ่งกว่า แต่ประโยชน์ที่ได้รับอาจแตกต่างกันไปตาม จำนวนช่องที่ออกแบบ และประเภทของระบบเก็บค่าธรรมเนียมที่ติดตั้ง (MTC / ETC / LPR) ประกอบกับพื้นที่ว่าง และข้อจำกัดทางกายภาพของด่านฯ จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบเชิงวิศวกรรมจราจรอย่างละเอียด เพื่อให้สามารถเลือกใช้มาตรการที่เหมาะสมและคุ้มค่ากับการลงทุนมากที่สุดในระยะยาว โดยสามารถสรุปอัตราการให้บริการของแต่ละรูปแบบได้ดังตารางที่ 2

สรุปอัตราการให้บริการของช่องเก็บค่าผ่านทางทั้ง รูปแบบ

1	BKK	MTC= 9 ETC= 6	MTC= 2,700 ETC= 4,800	7,500	10,300
	BC	MTC= 5 ETC= 2	MTC= 2,000 ETC= 800	2,800	
2	BKK	MTC= 8 ETC= 4	MTC= 2,400 ETC= 3,200	5,600	9,600
	BC	MTC= 6 ETC= 4	MTC= 2,400 ETC= 1,600	4,000	
3	BKK	MTC= 8 ETC= 4	MTC= 2,400 ETC= 3,200	5,600	17,600
	BC	LPR= 10	LPR= 12,000	12,000	
4	BKK	MTC= 9 ETC= 6	MTC= 2,700 ETC= 4,800	7,500	15,900
	BC	LPR= 7	LPR= 8,400	8,400	
5	BKK	MTC=12 ETC= 4	MTC= 3,600 ETC= 3,200	6,800	12,800
	BC	LPR= 5	LPR= 6,000	6,000	
6	BKK	MTC= 12 ETC= 4	MTC= 3,600 ETC= 3,200	6,800	9,600
	BC	MTC= 3 ETC= 2	MTC= 1,200 ETC= 1,600	2,800	

หมายเหตุ BKK = กรุงเทพ
BC = บ้านฉาง

4.2 ด้านสภาพจราจร

จากการประมวลผลด้วยแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ซึ่งพิจารณาตัวชี้วัดต่าง ๆ ได้แก่ ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร) ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง) ความยาวแถวคอย (เมตร) ระยะเวลาเดินทางรวม (ชั่วโมง) อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ลิตร/ชั่วโมง) และการปลดปล่อยมลพิษ (กิโลกรัม/ชั่วโมง) สามารถแสดงผลลัพธ์ของแต่ละรูปแบบได้ดังตารางที่ 3

ผลลัพธ์จากแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร)	169	170	169	167	9	203
ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	31	31	31	31	67	44
ความยาวแถวคอย (เมตร)	1,936	2,154	2,100	1,849	308	1,300
ระยะเวลาเดินทางรวม (ชั่วโมง)	962	953	945	950	516	706
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ลิตรต่อชั่วโมง)	4,497	3,993	3,943	4,437	3,376	3,804
การปลดปล่อยมลพิษ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	7,923	7,627	7,548	7,824	6,203	6,433

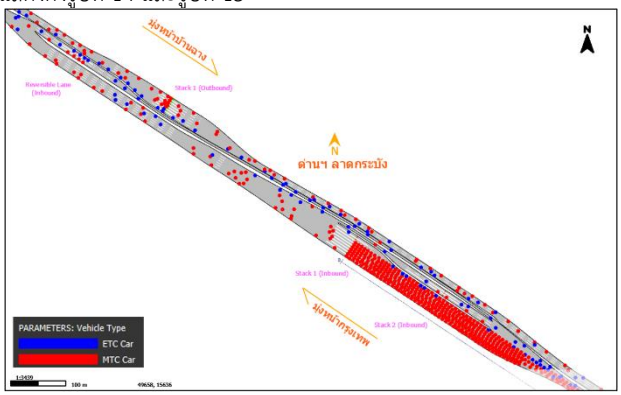
4.3 ด้านการเผาผลาญเชื้อเพลิงและการปลดปล่อยมลพิษ

จากผลการวิเคราะห์พบว่า รูปแบบที่ 5 มีระยะเวลาเดินทางรวมต่ำที่สุด (516 ชั่วโมง) ซึ่งสะท้อนว่าผู้ใช้ทางสามารถขับเคลื่อนผ่านด่านได้อย่างต่อเนื่องมากขึ้น ลดการจอดรอหรือการชะลอ–หยุดบ่อยครั้ง ส่งผลให้การเผาผลาญเชื้อเพลิงและการปลดปล่อยมลพิษลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกรณีฐาน (รูปแบบที่ 1) โดยมีรายละเอียดดังนี้

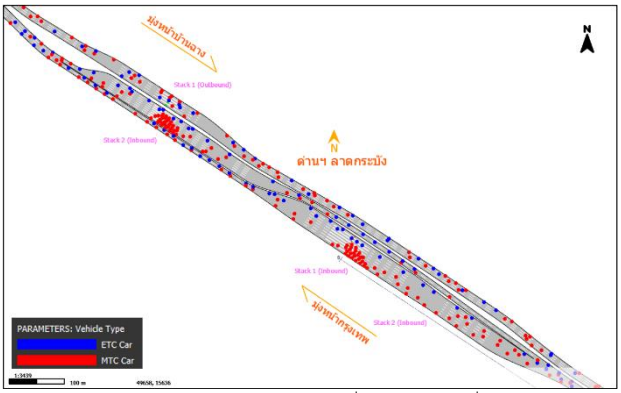
1. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ในกรณีฐาน มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 4,497 ลิตร/ชั่วโมง และในรูปแบบที่ 5 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 3,376 ลิตร/ชั่วโมง พบว่าประหยัดได้ 1,121 ลิตร/ชั่วโมง หรือประมาณร้อยละ 24.9 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 1

2. การปลดปล่อย CO_2 กรณีฐาน (รูปแบบที่ 1) มีการปล่อย CO_2 7,923 กิโลกรัม/ชั่วโมง และในรูปแบบที่ 5 มีการปล่อย CO_2 6,203 กิโลกรัม/ชั่วโมง พบว่าลดลง 1,720 กิโลกรัม/ชั่วโมง หรือประมาณร้อยละ 21.7

เพื่อประเมินมิติทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติมได้พิจารณาช่วงเวลาที่การจราจรมีแนวโน้มติดขัดในปริมาณสูงสุด (13:00–18:00 น. รวม 5 ชั่วโมงต่อวัน) พบว่าการลดลงของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในรูปแบบที่ 5 จะเท่ากับประมาณ 5,605 ลิตร/วัน หรือ 2,045,825 ลิตร/ปี หากอ้างอิงราคาจำหน่ายน้ำมันดีเซล ณ ปัจจุบัน (ลิตรละ 35 บาท) จะเทียบเท่ามูลค่าการประหยัดด้านเชื้อเพลิง 71,603,875 บาท/ปี ในขณะเดียวกัน การปลดปล่อย CO_2 จะลดลง 8,600 กิโลกรัม/วัน หรือราว 3,139 ตัน/ปี ดังนั้น เมื่อคำนึงถึงทุกด้าน ทั้งประสิทธิภาพในการระบายรถ ความรวดเร็วในการเดินทาง และมิติด้านสิ่งแวดล้อม จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า รูปแบบที่ 5 ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่ารูปแบบอื่น ๆ อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน (รูปแบบที่ 1) โดยลักษณะสภาพจราจรที่ได้จากรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 5 แสดงดังรูปที่ 14 และรูปที่ 15



ลักษณะสภาพจราจรที่ได้จากรูปแบบที่ 1



ลักษณะสภาพจราจรที่ได้จากรูปแบบที่ 5

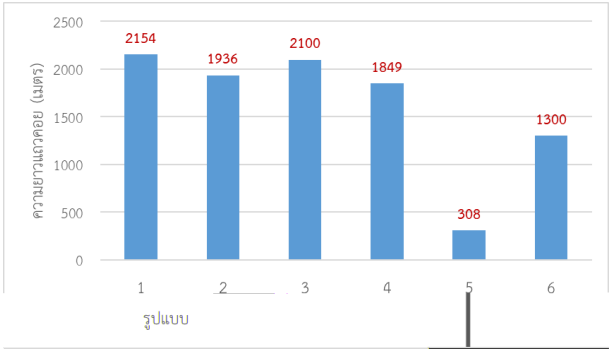
การศึกษาได้นำโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Simulation) ซึ่งมีความสามารถในการจำลองพฤติกรรมยานพาหนะแต่ละคัน มาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และจัดทำแบบจำลอง เพื่อนำผลลัพธ์ไปใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงการบริหารจัดการจราจร รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายรถบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง โปรแกรมดังกล่าวยังช่วยประเมินประสิทธิภาพของแนวทางการพัฒนาระบบ และพิจารณารูปแบบการจัดสรรช่องเก็บค่าธรรมเนียมได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้ด่านฯ สามารถรองรับปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถสรุปรายละเอียดการวิเคราะห์ได้ดังนี้

5.1 ประสิทธิภาพโดยรวม

สถานการณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบที่ 5 (การปรับปรุงกายภาพร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LPR) แสดงผลลัพธ์ดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัดในทุกตัวชี้วัดด้านจราจรและสิ่งแวดล้อม ได้แก่

1. ความล่าช้าเฉลี่ยต่ำสุด (9 วินาทีต่อกิโลเมตร)
2. ความเร็วเฉลี่ยสูงสุด (67 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
3. ระยะเวลาเดินทางรวมต่ำที่สุด (516 ชั่วโมง)
4. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำสุด (3,376 ลิตรต่อชั่วโมง)
5. การปลดปล่อยมลพิษต่ำที่สุด (6,203 กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า การผสมผสานระหว่างการปรับปรุงโครงสร้างกายภาพของด่านฯ และการใช้เทคโนโลยี LPR ช่วยเพิ่มศักยภาพในการระบายรถได้อย่างเป็นรูปธรรม พร้อมทั้งลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะจากการลดความยาวแถวคอยหน้าด่าน ซึ่งเดิมเป็นปัญหาหลักบริเวณด่านเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางลาดกระบัง โดยในรูปแบบที่ 5 นี้ ความยาวแถวคอยเฉลี่ยเหลือเพียง 308 เมตร ลดลงจากกรณีฐาน (รูปแบบที่ 1) ถึง 1,846 เมตร หรือประมาณ 85.7% (1,846/2,154) ซึ่งถือเป็นการลดลงอย่างมีนัยสำคัญอย่างมาก แสดงถึงประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาความหนาแน่น และการรอคอยหน้าด่านได้อย่างชัดเจน โดยรายละเอียดของค่าความยาวแถวคอยในแต่ละรูปแบบแสดงดังรูปที่ 13



การเปรียบเทียบความยาวแถวคอยในแต่ละรูปแบบ

5.2 การลดการเผาผลาญเชื้อเพลิงและการปลดปล่อยมลพิษ

สถานการณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบที่ 5 (การปรับปรุงกายภาพร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LPR) แสดงผลลัพธ์ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีฐาน (รูปแบบที่ 1) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ในรูปแบบที่ 5 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยกว่ากรณีฐาน 2,045,825 ลิตร/ปี
2. การปลดปล่อย CO_2 ในรูปแบบที่ 5 มีการปล่อย CO_2 ลดลง 3,139 ตัน/ปี

1. พิจารณาการดำเนินการติดตั้งระบบ LPR แบบนำร่อง (Pilot Project) เพื่อเก็บข้อมูลและประเมินประสิทธิภาพเชิงลึกก่อนการลงทุนเต็มรูปแบบ โดยเฉพาะในด้านความแม่นยำของการอ่านป้ายทะเบียน การประมวลผล และการรองรับปริมาณจราจรที่สูงในช่วงเวลาเร่งด่วน ซึ่งจะช่วยให้การลงทุนมีความมั่นใจมากขึ้น

2. การออกแบบและปรับปรุงกายภาพร่วมกับเทคโนโลยีอื่น แม้การปรับปรุงกายภาพและติดตั้งระบบ LPR จะเป็นแนวทางที่ได้ผลดี แต่ควรพิจารณาเทคโนโลยีเสริม เช่น ระบบติดตามและรายงานสภาพจราจรแบบเรียลไทม์ (Real-time Traffic Monitoring) ป้ายแสดงข้อมูลอัจฉริยะ (VMS: Variable Message Sign) เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการจราจรในภาพรวม

3. วิเคราะห์ต้นทุน–ผลประโยชน์ในระยะยาว การปรับปรุงกายภาพและนำเทคโนโลยี LPR มาใช้มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้น จึงควรทำการประเมินความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคมในระยะยาว เช่น ความคุ้มค่าในการลงทุนในด้านการปรับปรุงกายภาพ ความคุ้มค่าในการลงทุนเพื่อติดตั้งเทคโนโลยี และความคุ้มค่าในการลงทุนในด้านการบริหารจัดการเทคโนโลยี เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถตัดสินใจได้อย่างรอบด้าน

4. งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดสำคัญคือ การสมมุติให้ระบบกล้องอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ (LPR) มีประสิทธิภาพในการตรวจจับและอ่านข้อมูลทะเบียนได้อย่างสมบูรณ์ (100%) ซึ่งในทางปฏิบัติอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม สภาพแสง มุมกล้อง หรือสภาพป้ายทะเบียนที่เสื่อมสภาพ ส่งผลต่อความแม่นยำในการทำงานของระบบ ดังนั้น จึงควรมีการประเมินความแม่นยำของระบบ LPR ในสถานการณ์จริง รวมถึงการทดสอบเพิ่มเติมในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เพื่อยืนยันประสิทธิภาพและความเหมาะสมก่อนการนำไปใช้งานจริง

ขอขอบคุณฝ่ายบริหารจัดการจราจร กองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง กรมทางหลวง ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลในครั้งนี้

[1] จิรวัฒน์ เพลิงศรีทอง, พรรณทิพา พันธ์ยิ้ม ดวงกมล ชูสิงห์ และเทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร (2563). การประเมินผลมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษกรณีศึกษาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 3 และ อโศก 4. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, ชลบุรี, วันที่ 15 – 17 กรกฎาคม 2563.

[2] นพคุณ บุญกระพือ, กฤษดา สกุลเต็ม และวีรพงศ์ นวลจันทร์ (2563). ความสัมพันธ์ของจำนวนช่องเก็บค่าผ่านทางรถบรรทุกกับสัดส่วนและปริมาณรถบรรทุกที่เข้าใช้บริการ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, ชลบุรี, วันที่ 15 – 17 กรกฎาคม 2563.

[3] พลฉัตร ยงญาติ, พรรณทิพา พันธ์ยิ้ม, ศิวัช ปัญญาชัยวัฒนากูล และเทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร (2564). การประเมินประสิทธิภาพของระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติที่รองรับความเร็วสูงบนทางพิเศษบูรพาวิถี. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, การประชุมรูปแบบออนไลน์, วันที่ 13 – 25 มิถุนายน 2564.

[4] ฐิติพงศ์ สุขเสริม, นันทวรรณ พิทักษ์พานิช และเทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร (2564). การติดตั้งระบบบริหารจัดการช่องจราจรบนทางพิเศษแบบอัตโนมัติทางพิเศษฉลองรัช. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, การประชุมรูปแบบออนไลน์, วันที่ 13 – 25 มิถุนายน 2564.

[5] ทักษิณา กรไกร, พลฉัตร ยงญาติ, ศิวัช ปัญญาชัยวัฒนากูล และเทพฤทธิ์ รัตนปัญญา (2565). การพัฒนาระบบตรวจจับและค้นหาป้ายทะเบียนรถยนต์อัตโนมัติ กรณีศึกษาทางพิเศษฉลองรัช. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27, เชียงราย, วันที่ 24 – 26 สิงหาคม 2565.

[6] ธนุตม์ กล่อมระนก, นันทวรรณ พิทักษ์พานิช และเทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร (2566). การประเมินสภาพการจราจรของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดงเมื่อเปิดให้บริการระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-lane Free Flow (M-Flow) โดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28, ภูเก็ต, วันที่ 24-26 พฤษภาคม 2566.