

การประมาณตารางปริมาณจราจรของจุดเริ่มต้น-จุดปลายทางบนทางพิเศษ โดยใช้ข้อมูลจากระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติและด่านเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ

Estimating of Origin-Destination Matrix on Expressway Using the Automatic License Plate Recognition and Electronic Toll Collection Data

จิรวัดณ์ เพลิงศรีทอง^{1,*} ศิวัช ปัญญาชัยวัฒนากุล² เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร³ สโรช บุญศิริพันธ์⁴ และจุฑาทิพย์ อาจหาญ⁵

^{1,2,3} กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

^{4,5} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*Corresponding author; E-mail address: jirawat.exat@gmail.com

บทคัดย่อ

ตารางปริมาณจราจรของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญสำหรับการวางแผนโครงข่ายของระบบการขนส่งและจราจร วิธีที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ การสัมภาษณ์ผู้ใช้ทาง ซึ่งมีข้อจำกัดของปริมาณผู้ให้สัมภาษณ์ที่มีจำนวนน้อย และไม่สามารถระบุยานพาหนะรายคันได้ อีกทั้งความถูกต้องที่ได้อาจไม่แม่นยำพอสมควร ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีการอ่านป้ายทะเบียนแบบอัตโนมัติสามารถทำได้อย่างแม่นยำมากขึ้น และสามารถนำมาใช้ในการจับคู่จุดเริ่มต้น-จุดปลายทางได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ระบบการอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (Automatic License Plate Recognition, ALPR) ซึ่งเป็นระบบการอ่านป้ายทะเบียนของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านจุดสังเกตและนำมาจับคู่ป้ายทะเบียนในตำแหน่งจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางที่สนใจ อีกทั้งปริมาณการใช้งานระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection, ETC) ในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการประมาณปริมาณจราจรของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง โดยใช้ข้อมูลจากระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติและข้อมูลจากด่านเก็บค่าผ่านทาง และทำการตรวจสอบความถูกต้องของตารางการเดินทาง โดยใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจนับยานพาหนะ (Screenline Sensor) บนทางพิเศษ พบว่าวิธีการสร้างตารางปริมาณจราจรของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางที่ใช้ข้อมูลจากระบบ ALPR มีค่าความถูกต้องที่ยอมรับได้ และสามารถนำตารางการเดินทางที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานต่อการวิเคราะห์ด้านอื่นๆได้ และการใช้ข้อมูลจากระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องให้กับตารางจุดเริ่มต้นและจุดเดินทางของการเดินทางได้และทำให้ความถูกต้องต่ำลงในบางกรณี

คำสำคัญ: ตารางปริมาณจราจรของจุดเริ่มต้น-จุดปลายทางของการเดินทาง, ระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ, ทางพิเศษ

Abstract

Origin-Destination (OD) matrix of traffic volume is the crucial information for network traffic planning and analysis. Traditionally, gathering OD data gathering OD data involved surveying road users, which has limitations in terms of the limited number of respondents and the inability to identify individual vehicles. The accuracy of the resulting origin-

destination matrix might not be sufficient. In the recent years, the automatic vehicle identification (AVI), such as optical character recognition (OCR) technology and dedicated short-range communication (DSRC), has advanced significantly. Automatic license plate recognition (ALPR) systems can accurately read license plates and match the origin and destination points of vehicles. In addition, the penetration rate for the electronic toll collection (ETC) in Thailand has continuously grown. Therefore, this study aims to implement ALPR systems and develop an algorithm for estimating the origin-destination matrix of traffic volume using data from ALPR system. This algorithm calculates the proportion of origin-destination patterns and incorporates it with traffic volume data obtained from toll systems. The performance of the origin-destination matrix is assessed using data from the screenline sensors located on the expressway. The findings indicate that the method for determining the origin-destination matrix of traffic volume based on ALPR is accurate and can be utilized in other applications. The use of ETC data to enhance the OD estimation yielded mixed results, i.e., higher accuracy in some routes and lower accuracy in the other routes.

Keywords: Origin-Destination Estimation, Automatic License Plate Recognition, Expressway, Electronic toll collection

1. บทนำ

การประมาณจุดเริ่มต้นและจุดเริ่มปลายทางของการเดินทางนอกจะเป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผนและจัดการโครงข่ายระบบการขนส่งและจราจรแล้ว ยังเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญที่ช่วยในด้านการตัดสินใจ การควบคุมจราจร และช่วยในการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมในระบบการขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation Systems, ITS)

วิธีโดยทั่วไปที่ใช้ในการสร้างตารางการเดินทาง มาจากการเก็บข้อมูลกว้าง ๆ โดยการสัมภาษณ์ผู้ใช้ทาง ซึ่งจะต้องใช้ทรัพยากรทั้งคนและเวลาอย่างมาก นอกจากนั้นยังมีข้อจำกัดของจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ให้สัมภาษณ์

และการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจร (Traffic Sensor) แต่วิธีนี้จะไม่สามารถระบุยานพาหนะรายคันได้ [1]

ในปัจจุบันระบบตรวจจ่ายยานพาหนะอัตโนมัติ (Automatic Vehicle Identification, AVI) เริ่มนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยเฉพาะในระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection, ETC) ที่เราสามารถทราบจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของยานพาหนะที่ติดอุปกรณ์ป้ายระบุข้อมูลประจำรถ แต่ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของปริมาณข้อมูลที่ตรวจจับได้ ยังไม่ใช้ข้อมูลของปริมาณจราจรทั้งหมดที่อยู่บนสายทาง [2]

นอกจากนี้ในปัจจุบันเทคโนโลยีประมวลผลภาพมีความก้าวหน้า และการอ่านป้ายทะเบียนแบบอัตโนมัติสามารถทำได้แม่นยำมากขึ้น และยังสามารถนำมาใช้ในการจับคู่จุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง แต่ยังมีข้อจำกัดในการจับคู่ป้ายทะเบียน เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ทางด้านระบบ เช่น ซอฟต์แวร์ตรวจจับ และทางด้านกายภาพ เช่น ความสว่าง/ความมืด ความเร็วยานพาหนะที่วิ่งผ่าน สภาพอากาศ ความชัดของรูปป้ายทะเบียนที่ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการจับคู่ป้ายทะเบียนลดน้อยลง [3]

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการพัฒนาการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (Automatic License Plate Recognition, ALPR) และข้อมูลจากเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection, ETC)

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง (Origin-Destination Estimation)

ข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง คือ ข้อมูลการเดินทางที่สามารถบอกรับปริมาณหรือรูปแบบการเดินทางจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางที่สนใจทั้งในพื้นที่ที่เป็นทางหลวง ทางพิเศษ หรือโครงข่ายขนาดใหญ่ [4]

2.2 วิธีการเก็บข้อมูลสำหรับการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง

การเก็บข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง สามารถเก็บข้อมูลได้หลายวิธี โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ระบบการอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (Automatic License Plate Recognition, ALPR)

ระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (ALPR) เป็นหนึ่งในมาตรการเฝ้าระวังและอำนวยความสะดวกสำหรับชุมชน โดยใช้เทคนิคการจดจำตัวอักษรบนภาพถ่ายป้ายทะเบียนยานพาหนะ ในตำแหน่งจุดต้นทางและจุดปลายทางที่สนใจ ระบบ ALPR สามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) [5] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์กล้อง ALPR

2.2.2 ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection, ETC)

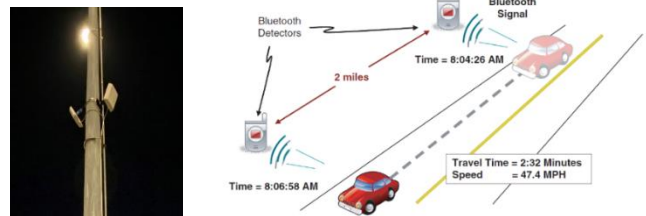
ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ คือ ช่องเก็บค่าผ่านทางที่รับการชำระเงินด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น โดยยานพาหนะจะต้องติดตั้งป้ายระบุข้อมูลประจำรถ หรือ On-Board Unit (OBU) เพื่อให้เครื่องอ่านที่ติดตั้งอยู่ที่ด่านเก็บค่าผ่านทางสามารถระบุข้อมูลประจำรถและตรวจสอบยอดเงินในบัญชีได้ ทำให้สามารถทราบจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของยานพาหนะที่เราสนใจ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่าง OBU ที่ติดบนยานพาหนะ

2.2.3 เทคโนโลยีตรวจจับสัญญาณบลูทูธ (Bluetooth Scanner)

บลูทูธเป็นมาตรฐานเทคโนโลยีไร้สายเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระยะสั้นโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ UHF ในช่วง ISM Band ที่ความถี่ 2.4 - 2.495 GHz ซึ่งหลักการของเทคโนโลยีเครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธจะทำการบันทึกหมายเลข MAC Address พร้อมกับเวลาที่ตรวจจับได้ขณะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งเครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธ เมื่อระบบตรวจพบ MAC Address หมายเลขเดียวกันจากเครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธที่จุดต้นทางและจุดปลายทาง [6] ดังรูปที่ 3



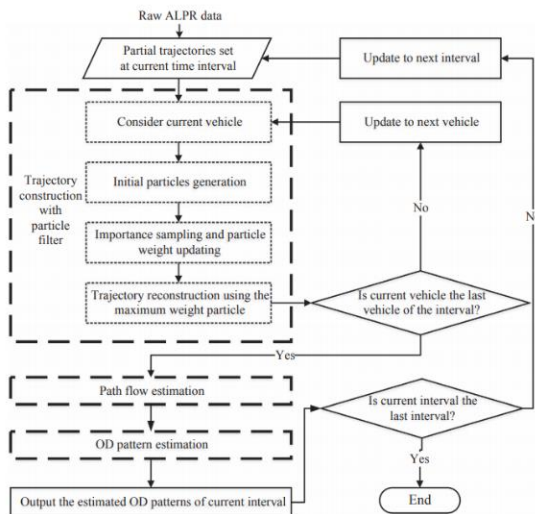
รูปที่ 3 อุปกรณ์และหลักการทำงานของเครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธ [6]

2.3 วิธีการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง

ข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางแล้วสามารถนำข้อมูลมาสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางได้หลายวิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 การสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากระบบการอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ

ข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ในระบบ ALPR ได้แก่ หมายเลขป้ายทะเบียนเวลาที่ตรวจจับได้ และตำแหน่งที่มีการอ่านป้ายทะเบียน แต่ข้อมูลที่ได้รับนั้นอาจยังไม่สมบูรณ์ จึงต้องมีการคัดกรองและจัดเตรียมข้อมูลก่อนที่จะนำมาคำนวณปริมาณจราจรที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง ซึ่ง Rao et. al [7] ได้แบ่งขั้นตอนในการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางเป็น 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 4 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4 ขั้นตอนการประมาณปริมาณจราจรจุดเริ่มต้นและจุดปลายของการเดินทางจากระบบการอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ [7]

ขั้นตอนที่ 1 Trajectory reconstruction with a particle filter

การคัดกรองจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางที่คาดว่าจะเป็นไปได้ ซึ่งทำการคัดกรองออกโดยใช้ค่าความน่าจะเป็นในแต่ละคู่จุดต้นทางและจุดปลายทางที่คำนวณจากกลุ่มตัวอย่างป้ายทะเบียนที่จับคู่ได้

ขั้นตอนที่ 2 Path Flow Estimation

การรวมปริมาณจราจรในแต่ละคู่จุดต้นทางและจุดปลายทางในช่วงเวลาที่สนใจ เช่น ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 3 OD Pattern Estimation

การรวมปริมาณจราจรที่จุดต้นทางและจุดปลายทางเดียวกันที่สามารถเดินทางได้หลายทิศทาง และทำการเฉลี่ยปริมาณจราจรในช่วงเวลาที่สนใจ

วิธีที่ 2 การสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายของการเดินทางจากระบบอุปกรณ์ระบุข้อมูลประจำตัวยานพาหนะ

ข้อมูลที่ได้รับเมื่อยานพาหนะที่มีอุปกรณ์ OBU เคลื่อนที่ผ่านจุดที่มีอุปกรณ์สำหรับอ่านข้อมูลในตำแหน่งที่สนใจ จะมีการส่งข้อมูลเฉพาะยานพาหนะนั้น ได้แก่ ตำแหน่งที่ตรวจจับได้ เวลาที่ตรวจจับได้มายังระบบซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะนำมาประยุกต์ใช้กับด้านเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) และนำมาใช้ในการประมาณปริมาณจราจรที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายของการเดินทาง ซึ่ง Dixon and Rilett [8] ได้แบ่งขั้นตอนในการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางการเดินทางเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Identification of the Automatic Vehicle

Identification Vehicle Origin-Destination Matrix

การระบุข้อมูลปริมาณจราจรทั้งหมดที่ติดตั้งอุปกรณ์ AVI โดยกำหนดจุดเริ่มต้น (Origin) และจุดปลายทาง (Destination) จากตำแหน่ง On-Ramp และ Off-Ramp บนทางพิเศษระบบปิด จากนั้นคำนวณหาจำนวนยานพาหนะทั้งหมดที่ติดตั้งอุปกรณ์ AVI ที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายของการเดินทางในแต่ละจุด

ขั้นตอนที่ 2 Identifying the Population Origin-Destination

Matrix

การระบุจำนวนปริมาณจราจรทั้งหมดจากจุดเริ่มต้นและจุดปลายของการเดินทางในขั้นตอนที่ 1 โดยคำนวณจากปริมาณจราจรทั้งหมดที่ผ่านจุด On-Ramp เป็นปริมาณจราจรของจุดเริ่มต้น และปริมาณจราจรทั้งหมดที่ผ่านจุด Off-Ramp เป็นปริมาณจราจรของจุดปลายทาง และคำนวณหาปริมาณ Sampling Rate จากปริมาณยานพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์ AVI เทียบกับปริมาณยานพาหนะที่ผ่านจุดนั้นทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลาที่น่าสนใจ

ขั้นตอนที่ 3 Identifying the Ramp-to-Ramp Origin-Destination Matrix

การกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดปลายของการเดินทางทั้งหมดที่เป็นไปได้จากขั้นตอนที่ 2 และนำปริมาณจราจรทั้งหมดในแต่ละคู่จุดต้นทางและจุดปลายทางคูณกับค่า Sampling Rate ของจุดต้นทางที่เป็น On-Ramp ที่เป็นจุดต้นทางของคู่จุดต้นทางและจุดปลายทางคูณที่สนใจ และค่า Sampling Rate ของจุดปลายทางที่เป็น Off-Ramp ที่เป็นจุดปลายทางของคู่จุดต้นทางและจุดปลายทางคูณที่สนใจ จะได้ค่าประมาณของปริมาณจราจรที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายของการเดินทางในแต่ละคู่แสดงเป็นรูปแบบ Ramp-to-Ramp Origin-Destination Matrix โดยทำการคำนวณในทุก ๆ 1 ชั่วโมง

วิธีที่ 3 การสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายของการเดินทางจากระบบอุปกรณ์ระบุข้อมูลเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์

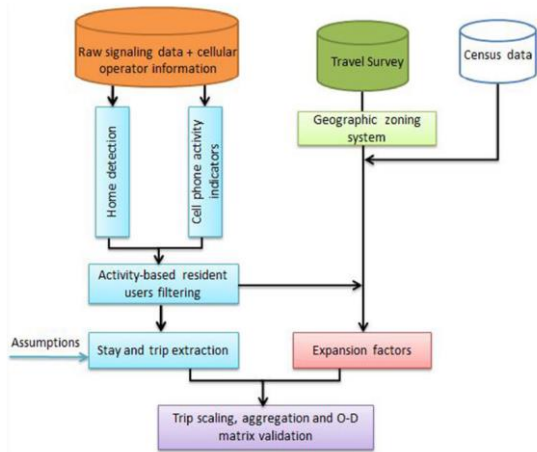
ข้อมูลเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์ จะมีการเก็บข้อมูลไว้โดยผู้ประกอบการทางด้านคมนาคม สำหรับใช้ในการเรียกเก็บค่าใช้จ่าย และวัตถุประสงค์อื่น ๆ ตามมาตรการของสถานที่นั้น ๆ โดยข้อมูลที่เก็บได้จะ ได้แก่ User ID, การใช้มือถือทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้ในด้านการติดต่อสื่อสาร การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เป็นต้น, ตำแหน่งที่เกิด และเวลาที่ตรวจจับสัญญาณได้ โดย Fekih et al. [9] ได้ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ข้อมูลจากโทรศัพท์มากกว่า 2 ล้านเครื่องในเมือง Rhône-Alpes ประเทศฝรั่งเศส โดยแบ่งเป็น 77 โซนจากในพื้นที่ศึกษา โดยมีขั้นตอนการดำเนินการแบ่งเป็นขั้นตอนหลัก ๆ 4 ขั้นตอนดังรูปที่ 5 โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ระบุตำแหน่งที่อยู่อาศัยของผู้ใช้สัญญาณโทรศัพท์

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ข้อมูลกิจกรรมการใช้โทรศัพท์ของผู้ใช้งานแต่ละคน และทำความเข้าใจข้อมูล

ขั้นตอนที่ 3 ทำการคัดกรองกิจกรรมของผู้ใช้งานโดยใช้ค่า ระยะเวลาที่ใช้ทำในแต่ละกิจกรรม ค่า Entropy และจำนวนของกิจกรรมที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

ขั้นตอนที่ 4 ทำการคัดแยกและปรับขนาดของแต่ละเที่ยวเดินทางตามปัจจัยการขยายตัว เพื่อรวบรวมปริมาณจราจรในแต่ละโซน และนำข้อมูลดังกล่าวมาดำเนินการสร้างจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางการเดินทาง



รูปที่ 5 ขั้นตอนการประมาณปริมาณจราจรจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากเครือข่ายสัญญาณมือถือ [9]

2.4 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในอดีตได้พัฒนาการเก็บข้อมูลและการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางไว้หลายวิธี โดยผู้วิจัยได้ทำการสรุปงานวิจัยในอดีตไว้ดังตารางที่ 1 และผู้วิจัยได้สรุปวิธีการจับคู่ป้ายทะเบียนด้วยจากระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สรุปงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง

งานวิจัย	ประเทศ	พื้นที่ศึกษา	เทคโนโลยีเก็บข้อมูล	ผลลัพธ์
[7]	China	Urban Network	ALPR	Detection Rate ไม่น้อยกว่า 60% ของปริมาณจราจรทั้งหมด
[10]	Iran	Urban Network	ALPR, AVI, Loop Detectors, GPS	MAPE = 34.5%
[8]	USA	Freeway	AVI	MAPE = 36.4%
[11]	China	Urban Network	AVI, Mobile Phone	MAPE = 23.4%
[12]	UK	Urban Network	Mobile Phone, Roadside Interviews	ในตำแหน่งที่ไม่มีข้อมูล RSI สามารถใช้ข้อมูลจาก mobile phone แทนได้ และเหมาะกับการนำไปใช้ประโยชน์กับข้อมูลตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่
[9]	France	Urban Network	Mobile Phone	R ² เท่ากับ 0.95 เมื่อเทียบกับข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้ใช้ทางจริง

ตารางที่ 2 สรุปงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการจับคู่ป้ายทะเบียนด้วยระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ

งานวิจัย	รูปแบบป้ายทะเบียน	วิธีที่ใช้	Precision (%)	Recall (%)	F-Measure (%)
[13]	Thailand	Edit distance, GED	98.5	91.8	95.1
[14]	Australia	Deep learning	97.6	95.2	96.4
[15]	USA	GED	96.5	-	-
[16]	USA	Edit Distance	80	-	-
[17]	Bangladesh	SVM	96.5	97.1%	96.6
[18]	USA	GED	96	-	-
[19]	Saudi Arabic	Hamming Distance	96.2	-	-
[20]	Korea	Deep learning	98.4	99.19	97.62

จากงานวิจัยในอดีตในจากตารางที่ 1 จะเห็นว่าความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางอยู่ที่ประมาณร้อยละ 23.4-36.4 และ Detection Rate ไม่นควรมีค่าน้อยกว่า 60% และผู้วิจัยได้นำวิธีสร้างตารางปริมาณจราจรจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางจากข้อมูลระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (ALPR) กับระบบเก็บค่าผ่านทางมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง และเป็นระบบที่มีการติดตั้งอยู่บนพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ในการศึกษานี้ ได้พัฒนาการใช้ข้อมูล ETC มาตรวจสอบความถูกต้องของตาราง OD ที่คำนวณได้ในขั้นตอนแรกอีกด้วย และจากตารางที่ 2 ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการจับคู่ป้ายทะเบียนโดยใช้วิธี Generalized Edit Distance (GED) เนื่องจากเป็นวิธีที่พัฒนามากจาก Edit Distance ให้ความถูกต้องสูงกว่าวิธีอื่น และไม่ต้องใช้ข้อมูลและเวลาในการเก็บข้อมูลจำนวนมากเหมือนวิธี Deep learning

2.5 การตรวจสอบความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง (Performance Measurement)

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ดัชนีเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง 2 ชนิด ดังนี้ Mean Absolute Error (MAE) และ Mean Absolute Percentage Error (MAPE) [21] แสดงในสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - \hat{f}_i| \quad (1)$$

$$MAPE = 100 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|f_i - \hat{f}_i|}{f_i} \quad (2)$$

โดย f_i คือปริมาณจราจรจริง และ \hat{f}_i คือปริมาณจราจรที่ได้จากตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง

3. การเก็บข้อมูล

3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกสายทางพิเศษคลองรังสิตรูปที่ 6 มีระยะทางทั้งหมด 28.2 กิโลเมตร และเป็นสายทางที่มีปริมาณจราจรบนสายทางต่อวันประมาณ 23,038 – 58,692 คัน/วัน และเป็นสายทางที่

มีการติดตั้ง Screenline Sensor บนสายทางซึ่งสามารถนำมาใช้ตรวจสอบความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง



รูปที่ 6 แผนที่ตำแหน่งพื้นที่ศึกษา

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลวันที่ 18 กันยายน 2565 – 31 กันยายน 2565 เป็นระยะเวลาทั้งหมด 14 วัน โดยมีการเก็บข้อมูลจาก 3 อุปกรณ์ ได้แก่ ข้อมูลจากระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ ข้อมูลปริมาณจราจรจากระบบเก็บค่าผ่านทาง และข้อมูลปริมาณจราจรบนสายทางหลักจากอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจร โดยมีรายละเอียดของจุดติดตั้งและการนำไปใช้งานดังนี้

3.2.1 ระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (ALPR)

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากกล้องที่ติดตั้งตามสายทางทั้งหมด 35 ตัว ซึ่งแบ่งเป็นกล้องที่ติดตั้งตำแหน่งทางขึ้น (On-Ramp) 16 ตัว และตำแหน่งทางลง (Off-Ramp) 19 ตัว ข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลรายคัน แสดงตัวอย่างข้อมูลดังรูปที่ 7

Results	Message	imgid	licensePlate	periodHour	gateId	cameraName	gateType	province	classId	sourceDate	createDate
1		11459921	๙๙1948	1	59	SESOUT08	1	BKK	1	2022-05-25 01:15:51.000	2022-06-05 20:05:11
2		11288245	๙๙๙415	1	48	SES024	1	UNK	1	2022-05-25 01:03:53.000	2022-06-05 20:05:11
3		11287861	๙๙๙841	1	60	FES01	2	UNK	1	2022-05-25 01:00:32.000	2022-06-05 20:05:11
4		11287969	35174	1	60	FES01	2	UNK	4	2022-05-25 01:00:48.000	2022-06-05 20:05:11
5		11287977	๙๙๙371	1	60	FES01	2	UNK	1	2022-05-25 01:01:37.000	2022-06-05 20:05:11
6		11287709	No	1	60	FES01	2	Pla	1	2022-05-25 01:06:58.000	2022-06-05 20:05:11
7		11287717	No	1	60	FES01	2	Pla	1	2022-05-25 01:06:16.000	2022-06-05 20:05:11
8		11287725	No	1	60	FES01	2	Pla	1	2022-05-25 01:06:53.000	2022-06-05 20:05:11
9		11287733	๙๙๕24	1	60	FES01	2	CBI	1	2022-05-25 01:09:25.000	2022-06-05 20:05:11
10		11287773	๙๙778	1	80	FES116	0	UNK	1	2022-05-25 01:09:01.000	2022-06-05 20:05:11
11		11287909	9534	1	50	SES026	1	UNK	8	2022-05-25 01:06:00.000	2022-06-05 20:05:11
12		11288101	v๙563	1	37	SES011	1	BKK	1	2022-05-25 01:03:57.000	2022-06-05 20:05:11
13		11288125	๙๙990	1	37	SES011	1	BKK	1	2022-05-25 01:09:35.000	2022-06-05 20:05:11
14		11288349	5๙๙522	1	131	FES015	2	UNK	1	2022-05-25 01:03:02.000	2022-06-05 20:05:11
15		11288422	๙๙7407	1	45	SES021	1	BKK	1	2022-05-25 01:06:28.000	2022-06-05 20:05:11
16		11288498	๙๙3556	1	39	SES015	1	UNK	1	2022-05-25 01:02:14.000	2022-06-05 20:05:11
17		11288558	๙๙1191	1	97	FES015	1	UNK	1	2022-05-25 01:03:08.000	2022-06-05 20:05:11

รูปที่ 7 ตัวอย่างข้อมูลจากระบบ ALPR

3.2.2 ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC)

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากด่านเก็บค่าผ่านทางของสายทางตลอดรัชทั้งหมด 15 ด่าน ทิศทางมุ่งหน้าจุดซัดติ 8 ด่าน และทิศทางมุ่งหน้าอางณรงค์ 7 ด่าน ข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลรายคัน แสดงตัวอย่างข้อมูลดังรูปที่ 8

trn_bill_id	trn_date_time	trn_bill_num	trn_bill_num	trn_bill_num	trn_bill_type	trn_bill_val	trn_bill_price	pay_type	smartcard_ID
3-312-4-20220818234701	2022-08-18 23:47:01	3	312	4 0	1	40 ETC	30856000131131940		
3-314-4-20220818234704	2022-08-18 23:47:04	3	314	4 0	1	40 ETC	30856000100759880		
3-319-4-20220818234705	2022-08-18 23:47:05	3	319	4 0	1	40 ETC	30856000075817472		
3-315-3-20220818234706	2022-08-18 23:47:06	3	315	3 0	1	0 ETC	30856000138639168		
3-317-6-20220818234713	2022-08-18 23:47:13	3	317	6 0	1	30 ETC	30856000154021474		
3-315-3-20220818234714	2022-08-18 23:47:14	3	315	3 0	1	30 ETC	308560001601920248		
3-317-4-20220818234715	2022-08-18 23:47:15	3	317	4 0	1	30 CASH			
3-326-1-20220818234716	2022-08-18 23:47:16	3	326	1 0	1	20 CASH			
3-319-4-20220818234717	2022-08-18 23:47:17	3	319	4 0	1	40 ETC	63685420000538624		
3-317-3-20220818234717	2022-08-18 23:47:17	3	317	3 0	1	30 ETC	30856000194771200		

รูปที่ 8 ตัวอย่างข้อมูลรายคันจากระบบ MTC และ ETC

3.2.3 อุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจร (Screenline Sensor)

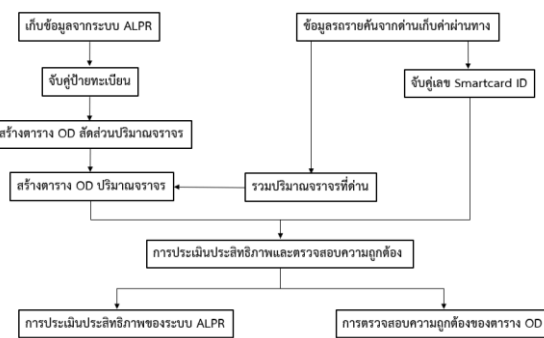
ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจรของสายทางตลอดรัชทั้งหมด 4 ตัว ทิศทางมุ่งหน้าจุดซัดติ 2 ตัว และทิศทางมุ่งหน้าอางณรงค์ 2 ตัว ข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลปริมาณจราจร แสดงตัวอย่างข้อมูลดังรูปที่ 9

date	sensor_v2_avg_speed	sensor_v2_count_class2	sensor_v2_count_class3	sensor_v2_count_class4	sensor_v2_lane
8/26/2022 9:00:11.033000000 AM	90.23764038	20	0	0	3
8/26/2022 9:01:11.038000000 AM	90.62219238	5	0	0	2
8/26/2022 9:01:11.074000000 AM	87.64147949	12	0	0	3
8/26/2022 9:02:11.032000000 AM	78.86995697	9	1	0	2
8/26/2022 9:02:11.066000000 AM	73.50957489	15	0	1	3
8/26/2022 9:03:11.041000000 AM	85.43550873	9	0	0	2
8/26/2022 9:03:11.059000000 AM	84.02461243	20	1	0	3
8/26/2022 9:04:10.995500000 AM	74.82559204	11	1	0	2
8/26/2022 9:04:11.018000000 AM	84.16711426	23	0	0	3

รูปที่ 9 ตัวอย่างข้อมูลจากอุปกรณ์ Screenline Sensor

4. การประมวลผลข้อมูล

ผู้วิจัยได้พัฒนากระบวนการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง โดยมีทั้งสิ้น 5 ขั้นตอน ดังรูปที่ 10 โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 10 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

4.1 การเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลป้ายทะเบียนจากระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (ALPR) และข้อมูลรายคันจากระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (ETC) บนสายทางพิเศษตลอดรัช

4.2 การจับคู่ป้ายทะเบียน

ผู้วิจัยได้ทำการจับคู่ป้ายทะเบียนโดยใช้วิธี Generalized Edit Distance (GED) ซึ่งเป็นวิธีในการจับคู่โดยการเลือกจากค่า Distance ของคู่ป้ายทะเบียนที่น้อยที่สุด โดยการคำนวณจากค่าความน่าจะเป็นของแต่ละคู่ตัวอักษร โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการจับคู่ป้ายทะเบียนดังในงานวิจัย [22]

4.3 การสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางของสัดส่วนปริมาณจราจร

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างตารางสัดส่วนปริมาณจราจร โดยการนำข้อมูลปริมาณจราจรในแต่ละจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางหารด้วยปริมาณจราจรที่จุดต้นทางนั้นทั้งหมด ดังรูปที่ 11

	D1	D2	D3	D4	Origin Total
O1	23	78	78	26	205
O2	22	72	51	75	220
O3	72	36	18	91	217
O4	60	42	20	72	194



	D1	D2	D3	D4
O1	23/205	78/205	78/205	26/205
O2	22/220	72/220	51/220	75/220
O3	72/217	36/217	18/217	91/217
O4	60/194	42/194	20/194	72/194

	D1	D2	D3	D4
O1	11%	38%	38%	13%
O2	11%	33%	23%	37%
O3	33%	17%	8%	42%
O4	29%	22%	10%	35%

รูปที่ 11 ขั้นตอนการสร้างจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางของสัดส่วนปริมาณจราจร

4.4 การรวมปริมาณจราจรที่ด้านเก็บค่าผ่านทาง

ข้อมูลจากระบบเก็บค่าผ่านทาง มีลักษณะเป็นข้อมูลรายคัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้รวบรวมปริมาณจราจรรายวันของแต่ละด้านที่อยู่บนสายทางพิเศษคลองรัช ดังแสดงในรูปที่ 12

date	trn_plaza_num	volume
2022-08-19	311	11166
2022-08-19	312	15202
2022-08-19	313	10400
2022-08-19	314	11985
2022-08-19	315	13429
2022-08-19	317	28694
2022-08-19	318	10477
2022-08-19	319	11797
2022-08-19	320	15480
2022-08-19	321	4236
2022-08-19	323	7886
2022-08-19	326	13370
2022-08-19	327	13801

รูปที่ 12 ตัวอย่างข้อมูลการรวมปริมาณจราจรที่ด้านเก็บค่าผ่านทาง

4.5 การสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางของปริมาณจราจร

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางโดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจรที่ด้านเก็บค่าผ่านทางจากขั้นตอนที่ 4.4 มาคูณเข้ากับตารางสัดส่วนปริมาณจราจรที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.3 ดังรูปที่ 13 เพื่อให้ได้เป็นตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของปริมาณจราจร

plaza_name	period	volume
O1	2022-01-05 06:00:00-10:00:00	300
O2	2022-01-05 06:00:00-10:00:00	320
O3	2022-01-05 06:00:00-10:00:00	400
O4	2022-01-05 06:00:00-10:00:00	410

ตาราง OD สัดส่วนปริมาณจราจร								
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
O1	11%	36%	36%	13%	2%	1%	5%	4%
O2	11%	35%	25%	37%	5%	1%	1%	2%
O3	35%	18%	9%	44%	3%	4%	16%	10%
O4	29%	20%	10%	35%	8%	7%	5%	12%

ตาราง OD ปริมาณจราจร								
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
O1	33	114	114	39	6	3	15	12
O2	35	112	80	118	16	3	3	6
O3	140	72	36	176	12	16	64	40
O4	119	82	41	144	33	29	21	49

รูปที่ 13 ขั้นตอนการสร้างจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางของปริมาณจราจร

5. การประเมินประสิทธิภาพและตรวจสอบความถูกต้อง

ผู้วิจัยได้แบ่งการประเมินประสิทธิภาพและตรวจสอบความถูกต้องเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ALPR และ

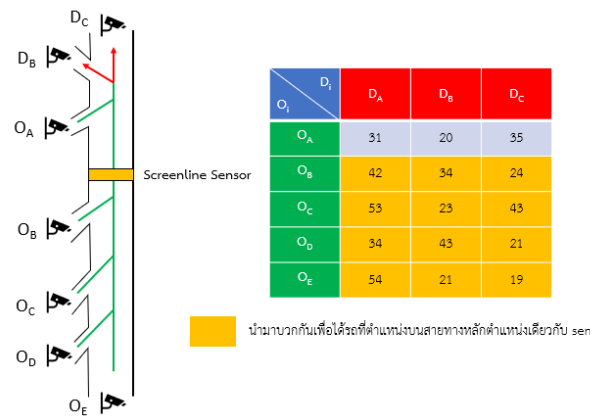
ตรวจสอบความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางโดยมีรายละเอียดดังนี้

- การประเมินประสิทธิภาพของระบบ ALPR

ผู้วิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ALPR ทั้งหมด 2 ดัชนี ได้แก่ Detection Rate และ Accuracy โดยเทียบกับการอ่านป้ายทะเบียนของจริงจากกล้อง CCTV โดยได้ผลลัพธ์ Detection Rate เฉลี่ยอยู่ร้อยละ 94.7% และ Accuracy เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 87.4 บริเวณตำแหน่งทางขึ้นและทางลง ดังที่ผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลไว้ในงานวิจัย [22]

- การตรวจสอบความถูกต้องของการตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง โดยใช้วิธีเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนสายทางหลักที่ตรวจวัดได้จาก Screenline Sensor โดยมีรายละเอียดวิธีดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 วิธีเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนสายทางหลักที่ตรวจวัดได้จาก Screenline Sensor

6. ผลลัพธ์การสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางทั้งสิ้น 84 ตาราง ซึ่งแบ่งตามจำนวนวันที่เก็บข้อมูล 14 วัน และแบ่งตามช่วงเวลา 6 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (06:00-10:00) ช่วงเวลาเร่งด่วน (10:00-15:00) ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (15:00-19:00) ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (19:00-00:00) ช่วงเวลากลางคืน (00:00-06:00) และปริมาณจราจรรายวัน (00:00-23:59) ซึ่งแสดงตัวอย่างผลลัพธ์ของการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง ดังรูปที่ 15

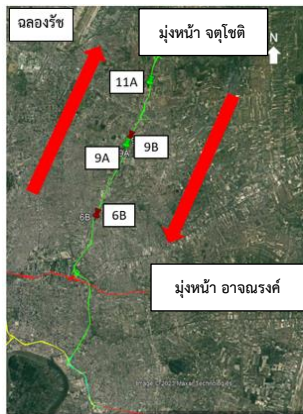
	01	02	03	04	05	06	07	08	09
	หอจางค์ 1 (หอจางค์ 1)	หอจางค์ 2 (หอจางค์ 2)	หอจางค์ 3 (หอจางค์ 3)	หอจางค์ 4 (หอจางค์ 4)	หอจางค์ 5 (หอจางค์ 5)	หอจางค์ 6 (หอจางค์ 6)	หอจางค์ 7 (หอจางค์ 7)	หอจางค์ 8 (หอจางค์ 8)	หอจางค์ 9 (หอจางค์ 9)
01 อ่างจางค์ 2	3990	2776	0	4676	34073	3521	278	7795	
02 หอจางค์ 3	2185	376	2720	-1	1370	-1	3	416	
03 หอจางค์ 4	30	9	9536	1563	212	0	0	33	
04 หอจางค์ 5	519	636	1280	-1	-1	-1	-1	26	131
05 หอจางค์ 6 (หอจางค์ 6)	0	0	103	-1	4	-1	-1	76	0
06 หอจางค์ 7 (หอจางค์ 7)	0	0	51150	25629	599	19589	73	544	
07 หอจางค์ 8	32	49	75	-1	0	-1	-1	27	0
08 หอจางค์ 9	874	678	4775	1208	13	630	244	26	
09 อ่างจางค์ 1	103	55	315	-1	28	-1	-1	18	0
10 โยธินพัฒนา	883	849	5551	1410	20	1397	879	7	
11 รางอินทรา	387	745	3602	1064	0	976	745	0	
12 รางอินทรา 1	11	25	68	-1	0	-1	-1	14	0
13 สาขาถนน 5-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14 สาขาถนน 5-2	-1	2	3	-1	0	-1	-1	0	0
15 ภูเก็ต	260	1311	6368	2448	52	2165	2139	0	

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	อ่าวจางค์ 2 (หอจางค์ 12)	หอจางค์ 13 (หอจางค์ 14)	รางอินทรา 2 (หอจางค์ 17)	รางอินทรา 3 (หอจางค์ 18A)	รางอินทรา 4 (หอจางค์ 19B)	สาขาถนน 5 (หอจางค์ 22)	สาขาถนน 5 (หอจางค์ 23)	จตุรัส (หอจางค์ 25)	กาญจนา (หอจางค์ 26)
01 อ่าวจางค์ 2	344	28258	19485	0	8	15032	15	7965	
02 หอจางค์ 3	-1	1669	1627	-1	-1	1013	-1	808	
03 หอจางค์ 4	-1	0	7	0	0	10	0	26	
04 หอจางค์ 5	-1	1454	1257	-1	-1	991	-1	441	
05 หอจางค์ 6 (หอจางค์ 6)	-1	6279	5324	-1	-1	3074	-1	1931	
06 หอจางค์ 7 (หอจางค์ 7)	36	2884	2376	0	0	1306	36	979	
07 หอจางค์ 8	-1	2435	3234	-1	-1	2012	-1	1574	
08 หอจางค์ 9	0	103	64	0	0	26	0	26	
09 อ่างจางค์ 1	-1	964	1946	-1	-1	2313	-1	2139	
10 โยธินพัฒนา	1069	439	138	0	0	26	0	26	
11 รางอินทรา	651	38	463	0	0	56	0	19	
12 รางอินทรา 1	-1	14	0	-1	-1	4740	-1	3713	
13 สาขาถนน 5-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14 สาขาถนน 5-2	-1	0	0	-1	-1	3	-1	549	
15 ภูเก็ต	6430	39	103	296	2139	103	2062	541	

รูปที่ 15 ตัวอย่างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางที่ได้จากระบบ ALPR แบบรายวัน

7. ผลการตรวจสอบความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง

ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง โดยใช้วิธีเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนสายทางหลักที่ตรวจวัดได้จาก Screenline Sensor ดังรูปที่ 16 และได้ผลลัพธ์ตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางจากข้อมูล ALPR ดังตารางที่ 3



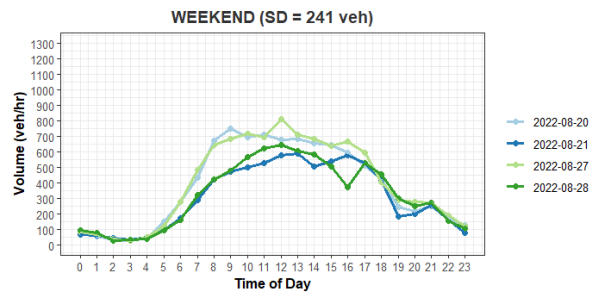
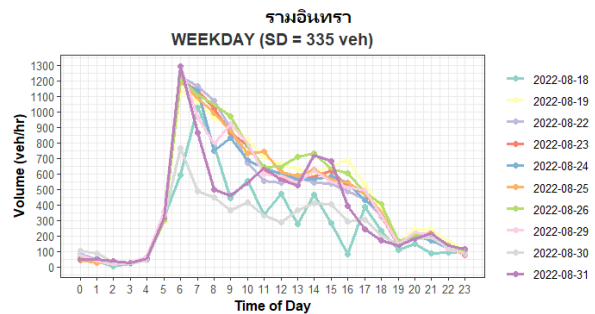
รูปที่ 16 แผนที่ตำแหน่ง screenline sensor ที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางจากข้อมูล ALPR

ตำแหน่งอุปกรณ์	วันของสัปดาห์	ปริมาณจราจรเฉลี่ย (คัน)	MAPE (%)	MAE (คัน)
6B	weekday	47,262	16.8%	7,906
	weekend	41,747	11.3%	4,531
9A	weekday	43,348	32.3%	13,655
	weekend	37,507	34.6%	12,297
9B	weekday	31,518	19.2%	5,901
	weekend	27,948	11.0%	2,980
11A	weekday	39,645	18.5%	7,347
	weekend	34,530	22.6%	7,622
รวม		37,938	20.8%	7,780

จากตารางที่ 3 พบว่าค่า MAPE เฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 20.8 และในช่วงวันหยุด (weekend) มีค่า MAPE เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 19.9 ซึ่งจะมีปริมาณจราจรที่ใกล้เคียงกับข้อมูลปริมาณจราจรจาก Screenline Sensor มากกว่าในช่วงวันทำงาน (weekday) ที่มีค่า MAPE เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 21.7 ซึ่งในช่วงเวลากลางวัน ปริมาณจราจรจากตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง จะมีปริมาณจราจรที่ต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับข้อมูลจาก Sensor ในขณะที่ในช่วงเวลาเย็นข้อมูลปริมาณจราจรจากตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง จะมีปริมาณจราจรมากกว่าข้อมูลจาก Sensor ส่งผลให้ข้อมูลปริมาณจราจรรวมทั้งวันมีค่า MAPE ที่ใกล้เคียงกับปริมาณจราจรของ Sensor

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้แสดงการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณจราจรรายวันบริเวณด้านเก็บค่าผ่านทางบนสายทางถลุงรัชในช่วงวันทำงาน และวันหยุดดังรูปที่ 17



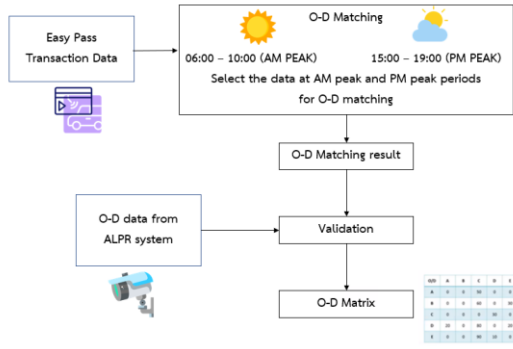
รูปที่ 17 การกระจายตัวของปริมาณจราจรที่ด่านเก็บค่าผ่านทาง ในช่วงวันทำงาน (weekday) และวันหยุด (weekend)

จากรูปที่ 17 จะเห็นว่าปริมาณจราจรในช่วงวันหยุดจะมีความแปรปรวนน้อยกว่าปริมาณจราจรในช่วงวันทำงาน

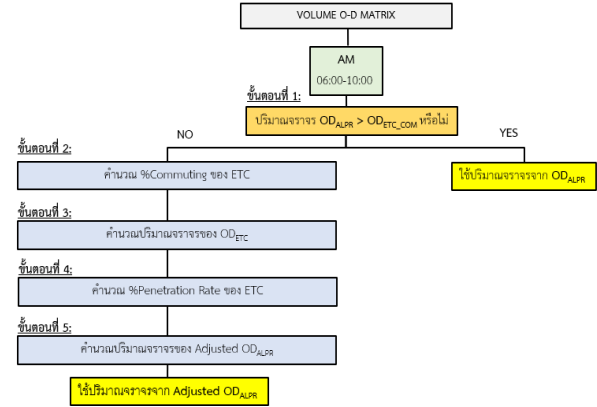
8. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำข้อมูล ETC มาใช้เพิ่มความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง

8.1 การสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางเป็นประจำ (Commuting Trip) จากข้อมูล ETC

ผู้วิจัยได้นำข้อมูล ETC มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางจากข้อมูล ALPR โดยผู้วิจัยได้ทำการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางจากข้อมูล ETC โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 18 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ คาดว่าเป็นปริมาณจราจรที่จุดต้นทางและจุดปลายทาง ของเป็นผู้ใช้งาน ETC ที่มีการใช้บริการทางพิเศษเป็นประจำ (Commuting Trip)



รูปที่ 18 ขั้นตอนการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางของ Commuting Trip (ไปเช้า-กลับเย็น) จากข้อมูล ETC



รูปที่ 19 ขั้นตอนในการประยุกต์ใช้ข้อมูล ETC กับตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางจากข้อมูล ALPR

8.2 การสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางของปริมาณจราจรโดยใช้ข้อมูล ETC มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการนำข้อมูล ETC มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางจากระบบ ALPR ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังรูปที่ 19 โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้ขั้นตอนที่ 1 การตรวจสอบปริมาณจราจรจากตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางที่ได้จากระบบ ALPR (OD_{ALPR}) มีค่าน้อยกว่าปริมาณจราจรจากตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางที่ได้จากระบบ ETC ($OD_{ETC,COM}$) หรือไม่

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณร้อยละของ Commuting Trip ที่ได้จากข้อมูล ETC โดยการคำนวณจากปริมาณจราจรที่ได้จากตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางที่ได้จากระบบ ETC ($OD_{ETC,COM}$) กับปริมาณจราจรที่ผ่านเก็บค่าผ่านทางจากระบบ ETC

ขั้นตอนที่ 3 การคูณขยายโดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจรจากตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางที่ได้จากระบบ ETC ($OD_{ETC,COM}$) และร้อยละ Commuting Trip ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 เพื่อให้ทราบจำนวนปริมาณจราจรในตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางของทั้งระบบ ETC (OD_{ETC})

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณร้อยละ Penetration Rate ของข้อมูล ETC จากปริมาณจราจรที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 และปริมาณจราจรทั้งหมดของระบบ MTC และ ETC ที่ได้จากค่าเก็บค่าผ่านทาง

ขั้นตอนที่ 5 การคูณขยายโดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจรจากตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางที่ได้จากระบบ ETC ทั้งหมด (OD_{ETC}) ในขั้นตอนที่ 3 และร้อยละ Penetration Rate ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 เพื่อให้ทราบจำนวนปริมาณจราจรในตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางของทั้งระบบ ETC และ MTC หลังจากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้ไปแทนค่าในตำแหน่งปริมาณจราจรที่ต้องการปรับแก้ในตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางที่ได้จากระบบ ALPR

ผลลัพธ์ตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางจากข้อมูล ALPR ที่ใช้ข้อมูล ETC Commuting Trip มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณจราจรเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (06:00-10:00) ของวันทำงาน (weekday) ดังตารางที่ 4 เนื่องจากวิธียังมีข้อจำกัดที่ต้องรอข้อมูลให้ครบทั้งช่วงเช้าและช่วงเย็นก่อนจึงจะนำมาประยุกต์ใช้ได้

ตารางที่ 4 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางจากข้อมูล ALPR และ ETC-enhanced ALPR ของช่วงวันทำงาน

ตำแหน่งอุปกรณ์	ปริมาณจราจรช่วงเช้า (คัน)	ALPR		ETC-enhanced ALPR	
		MAPE (%)	MAE (คัน)	MAPE (%)	MAE (คัน)
6B	22,411	24.2%	5,434	50.7%	11,304
9A	18,509	29.9%	5,676	21.6%	3,880
9B	15,825	25.5%	3,908	62.8%	9,224
11A	17,463	43.6%	7,614	15.4%	2,686
รวม	18,552	30.8%	5,658	37.6%	6,774

จากตารางที่ 4 พบว่าการนำข้อมูล ETC Commuting Trip มาประยุกต์ใช้กับตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางที่ได้จากระบบ ALPR สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องของตารางในตำแหน่งขาออก มุ่งหน้าจตุโชติ จากค่า MAPE เหลืออยู่ที่ร้อยละ 36.8 เป็นร้อยละ 18.5 และทำให้ความถูกต้องของตารางลดลงตำแหน่งขาเข้า มุ่งหน้าอาฉนรงค์ จากค่า MAPE เหลืออยู่ที่ร้อยละ 24.9 เป็นร้อยละ 56.8

9. การอภิปรายผลการศึกษา

จากผลลัพธ์การตรวจสอบความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางจากข้อมูล ALPR และขั้นตอนที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เทียบกับปริมาณจราจรจริงบนสายทางหลัก มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยที่ยอมรับได้ ความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 36 โดยเฉพาะในช่วงวันหยุด (weekend) จะมีค่าความถูกต้องมากกว่าช่วงวันทำงาน (weekday) เนื่องจากปริมาณจราจรในช่วงวันหยุดจะมีความแปรปรวนของข้อมูลต่ำกว่าวันทำงาน ในส่วนการนำข้อมูล ETC มาประยุกต์ใช้กับตารางการเดินทางที่ได้จากระบบ ALPR สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องได้ในบางตำแหน่ง ได้แก่ คู่เดินทางที่วิ่งออกนอกเมือง (มุ่งหน้าจตุโชติ) และ

สามารถทำให้ความถูกต้องลดลงในบางตำแหน่ง ได้แก่ คูเดินทางที่วิ่งเข้าเมือง (มุ่งหน้าออกนครังค์) ซึ่งอาจเกิดจากข้อจำกัด 3 ประการ คือ

- การเดินทางแบบ Commuting Trip ที่ใช้ตำแหน่งต่างๆ เข้าในตอนเย็นมาเป็นจุดปลายทางของตอนเช้า นั้น อาจจะได้เป็นพฤติกรรมที่แท้จริงของผู้ใช้ทางในบางจุดจุดเริ่มต้น-จุดปลายทาง ส่งผลให้ปริมาณจราจรของตารางจุดเริ่มต้น-จุดปลายทางที่ถูกปรับแก้ นั้น มีบางช่วงที่ความถูกต้องเพิ่มขึ้น และบางช่วงที่มีความถูกต้องที่ลดลง
- ในการคำนวณจำนวนรถ ETC ของแต่ละจุดจุดต้นทาง/จุดปลายทาง จากปริมาณรถ ETC ที่เป็น Commuting Trip นั้น มีการตั้งสมมติฐานว่า สัดส่วนของจำนวนรถที่เป็น Commuting Trip ที่ขึ้นที่ตึกฯ ขาเข้าเดียวกัน (แต่ไปออกปลายทางที่ต่างกัน) มีค่าเท่ากันทุกคู่ ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว รถที่วิ่งไปตึกฯ ทางออก ที่มีอาคารสำนักงาน สถานศึกษาอยู่มาก อาจจะมีสัดส่วน ETC Commuting Trip ที่สูงกว่าคู่อื่น ๆ
- ในการคำนวณจำนวนรถทั้งหมด ของแต่ละจุดจุดต้นทาง/จุดปลายทางจากปริมาณรถ ETC นั้น มีการตั้งสมมติฐานว่า สัดส่วน (ETC Penetration Rate, PR) ของจำนวนรถที่เป็น ETC ที่ขึ้นที่ตึกฯ ขาเข้าเดียวกัน (แต่ไปออกปลายทางที่ต่างกัน) มีค่าเท่ากันทุกคู่ ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว บางคู่จุดต้นทาง/จุดปลายทางอาจจะมีปริมาณรถ ETC สูงกว่าคู่อื่น ๆ ได้

10. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขั้นตอนการสร้างตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง โดยได้เลือกใช้ข้อมูลจากระบบการอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ (Automatic License Plate Recognition, ALPR) กับข้อมูลที่ได้จากระบบเก็บค่าผ่านทาง และใช้ข้อมูลจากระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection, ETC) มาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทาง ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ความถูกต้องของตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางที่ได้จากข้อมูล ALPR อยู่ที่ประมาณร้อยละ 80 ซึ่งสามารถนำตารางมาประยุกต์ใช้ในการใช้งานในด้านอื่นๆ ต่อไปได้ เช่น การวางแผนขยายเส้นทางในอนาคต การวางแผนการคิดค่าผ่านทางตามระยะทาง เป็นต้น ส่วนในการใช้ข้อมูล ETC มาคำนวณ Commuting Trip เพื่อนำมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพตารางจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางจากข้อมูล ALPR สามารถเพิ่มความถูกต้องได้บางกรณี และทำให้ความถูกต้องลดลงในบางกรณี นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้องเฉพาะข้อมูลแบบรายวันโดยใช้ข้อมูลที่อยู่บนสายทางฉลองรัชเท่านั้น ในอนาคตถ้าต้องการทราบความถูกต้องของทั้งโครงข่าย อาจต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องบนสายทางอื่นร่วมด้วย และวิธีที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องได้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งที่จุดต้นทางและจุดปลายทางเพื่อที่จะสามารถระบุจุดต้นทางและจุดปลายทางของการเดินทางได้

11. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมงานสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พนักงานและลูกจ้างทางพิเศษแห่งประเทศไทยทุกท่าน ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Praphananurak, K., Sanghikul, W., Chovichien, V., & Watanachaturaporn, P. (2017). A framework for origin-destination estimation using license plate recognition for Thai rural traffic. *2017 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, 1–5.
- [2] Kwon, J., & Varaiya, P. (2005). Real-time estimation of origin-destination matrices with partial trajectories from electronic toll collection tag data. *Transportation Research Record*, 1923(1), 119–126.
- [3] Nakanishi, Y. J., & Western, J. (2005). Ensuring the security of transportation facilities: evaluation of advanced vehicle identification technologies. *Transportation Research Record*, 1938(1), 9–16.
- [4] Ekowicaksono, I., Bukhari, F., & Aman, A. (2016). Estimating origin-destination matrix of bogor city using gravity model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 31(1), 12021.
- [5] Roberts, D. J., & Casanova, M. (2012). *Automated License Plate Recognition (ALPR) Use by Law Enforcement: Policy and Operational Guide, Summary*.
- [6] Haghani, A., Hamedi, M., Sadabadi, K. F., Young, S., & Tarnoff, P. (2010). Data collection of freeway travel time ground truth with bluetooth sensors. *Transportation Research Record*, 2160(1), 60–68.
- [7] Rao, W., Wu, Y.-J., Xia, J., Ou, J., & Kluger, R. (2018). Origin-destination pattern estimation based on trajectory reconstruction using automatic license plate recognition data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 29–46.
- [8] Dixon, M. P., & Rilett, L. R. (2005). Population origin-destination estimation using automatic vehicle identification and volume data. *Journal of Transportation Engineering*, 131(2), 75–82.
- [9] Fekih, M., Bellemans, T., Smoreda, Z., Bonnel, P., Furno, A., & Galland, S. (2021). A data-driven approach for origin-destination matrix construction from cellular network signalling data: a case study of Lyon region (France). *Transportation*, 48(4), 1671–1702.
- [10] Afandizadeh Zargari, S., Memamejad, A., & Mirzahosseini, H. (2021). Hourly Origin-Destination Matrix Estimation Using Intelligent Transportation Systems Data and Deep Learning. *Sensors*, 21(21), 7080.
- [11] Huang, T., Ma, Y., Qin, Z. T., Zheng, J., Liu, H. X., Zhu, H., & Ye, J. (2019). Origin-destination flow prediction with vehicle trajectory data and semi-supervised recurrent neural network. *2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 1450–1459.
- [12] Tolouei, R., Psarras, S., & Prince, R. (2017). Origin-

- destination trip matrix development: Conventional methods versus mobile phone data. *Transportation Research Procedia*, 26, 39–52.
- [13] Watcharapinchai, N., & Rujikietgumjorn, S. (2017). Approximate license plate string matching for vehicle re-identification. *2017 14th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, 1–6.
- [14] Li, H., & Shen, C. (2016). Reading car license plates using deep convolutional neural networks and LSTMs. *ArXiv Preprint ArXiv:1601.05610*.
- [15] Oliveira-Neto, F. M., Han, L. D., & Jeong, M. K. (2012). Online license plate matching procedures using license-plate recognition machines and new weighted edit distance. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 21(1), 306–320.
- [16] Oliveira-Neto, F. M., Han, L. D., & Jeong, M. K. (2009). Tracking large trucks in real time with license plate recognition and text-mining techniques. *Transportation Research Record*, 2121(1), 121–127.
- [17] Islam, R., Islam, M. R., & Talukder, K. H. (2020). An efficient method for extraction and recognition of bangla characters from vehicle license plates. *Multimedia Tools and Applications*, 79(27), 20107–20132.
- [18] Oliveira-Neto, F. M., Han, L. D., & Jeong, M. K. (2013). An online self-learning algorithm for license plate matching. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(4), 1806–1816.
- [19] Chiou, Y.-C., Lan, L. W., Tseng, C.-M., & Fan, C.-C. (2011). Optimal locations of license plate recognition to enhance the origin-destination matrix estimation. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 8 (The 9th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2011)*, 297.
- [20] Yoo, S. B., & Han, M. (2020). Temporal matching prior network for vehicle license plate detection and recognition in videos. *ETRI Journal*, 42(3), 411–419.
- [21] Washington, S., Karlaftis, M. G., Mannering, F., & Anastasopoulos, P. (2020). *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*. CRC press.
- [22] จิรวัดน์ เพลิงศรีทอง, ศิวัช ปัญญาชัยวัฒนากุล, เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร, สโรช บุญศิริพันธ์, จุฑาทิพย์ อาจหาญ (2565). การประมาณสัดส่วนปริมาณจราจรจุดเริ่มต้น-จุดปลายทางบนทางพิเศษ ด้วยข้อมูลจากระบบอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ. *การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, 27(1), TRL27-1.