

การจัดการจราจรบริเวณจุดตัดกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้ารางเบา
จังหวัดขอนแก่นโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองระดับจุลภาค
และอากาศยานไร้คนขับ

TRAFFIC MANAGEMENT AT INTERSECTIONS: A CASE STUDY OF
THE KHON KAEN LIGHT RAIL PROJECT USING A MICROSCOPIC
SIMULATION MODEL AND UNMANNED AERIAL VEHICLES

ทรงพล ทรงแสงฤทธิ์¹ ธนพล พรหมรักษา^{2*} วรณวิรัช อูธธา³

วุฒิไกร ไชยปัญญา⁴ และ ปิยนัฐ จันทอสูทธิ⁵

^{1,2*,3,4}อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
150 ถนนศรีจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000,

¹songphol.so@rmuti.ac.th, ²thanapol.pr@rmuti.ac.th, ³warunvit.au@rmuti.ac.th,

⁴wuttikrai.ca@rmuti.ac.th

⁵อาจารย์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม คณะวิศวกรรมศาสตร์ 41/20 อำเภอคันทรวิชัย
จังหวัดมหาสารคาม 44150, Piyanat.j@msu.ac.th

Songphol Songsaengrit¹, Thanapol Promraksa^{2*}, Warunvit Auttha³

Wuttikrai Chaipanha⁴ and Piyanat Jantosit⁵

^{1,2*,3,4}Lecturer, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan,
Khon Kaen Campus, 150 Srichan Road, KhonKaen 40000, Thailand,

¹songphol.so@rmuti.ac.th, ²thanapol.pr@rmuti.ac.th, ³warunvit.au@rmuti.ac.th,

⁴wuttikrai.ca@rmuti.ac.th

⁵Lecturer, Mahasarakham University, Faculty of Engineering, 41/20 Kantarawichai District,
Maha Sarakham, Thailand 44150, Piyanat.j@msu.ac.th

* ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding author)

บทคัดย่อ

รถไฟฟ้ารางเบาจังหวัดขอนแก่น (Light Rail Transit, LRT) ได้ถูกออกแบบให้วิ่งบนเกาะกลางถนน เพื่อลดความขัดแย้งระหว่างยานพาหนะประเภทอื่น อย่างไรก็ตามที่บริเวณทางแยกยังคงเป็นจุดที่เป็นปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อนำเสนอการออกแบบช่องจราจร การเปิดทางแยกเพิ่ม

และใช้สัญญาณไฟจราจรที่ให้สิทธิ์แก่ระบบขนส่งมวลชน (Transit Signal Priority, TSP) เพื่อลดปัญหาความขัดแย้งที่ทางแยก วิธีการวิจัยประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับสำรวจข้อมูลปริมาณจราจรและลักษณะทางกายภาพ และพัฒนาแบบจำลองจราจรระดับจุลภาควิเคราะห์ 4 กรณีศึกษา ได้แก่ 1) ไม่ดำเนินโครงการใด ๆ 2) เปิดให้บริการ LRT และใช้สัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ 3) เปิดให้บริการ LRT พร้อมปรับปรุงทางแยกแต่ยังใช้สัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ และ 4) เปิดให้บริการ LRT พร้อมปรับปรุงทางแยกและใช้สัญญาณไฟแบบ TSP ผลการศึกษา ในปี พ.ศ. 2569 พบว่า กรณีที่ 1 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เนื่องจากความจุถนนยังเพียงพอต่อปริมาณจราจรในปัจจุบัน โดยไม่ต้องลดช่องทางจราจรเพื่อใช้เป็นเขตทาง LRT อีกทั้งสัดส่วนการเลือกใช้ LRT ยังไม่สูง ในทางกลับกัน ปี พ.ศ. 2589 พบว่า กรณีที่ 4 มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากปริมาณจราจรเกินความจุและมีระบบขนส่งมวลชนเป็นทางเลือก ระบบ TSP ทำให้ LRT สามารถผ่านทางแยกพร้อมกับยานพาหนะสายหลักโดยไม่ต้องหยุดรอ การจัดช่องจราจรใหม่และการเปิดทางแยกเพิ่มยังช่วยลดเวลาการเดินทางและความล่าช้าได้ นัยทางทฤษฎี/นโยบาย การพัฒนาแบบจำลองนี้จะช่วยประเมินผลกระทบมาตรการแต่ละกรณีเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจและวางแผนการจราจร

คำสำคัญ: ระบบขนส่งมวลชน, แบบจำลองการจราจร, อากาศยานไร้คนขับ

ABSTRACT

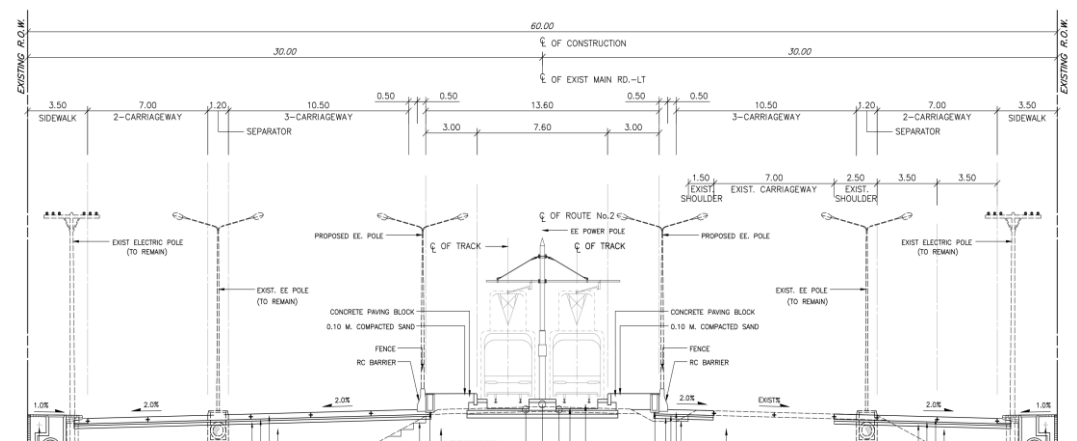
The Khon Kaen Light Rail Transit (LRT) system is designed to operate on median lanes to minimize conflicts with other vehicles. However, intersections remain critical conflict points. This study aims to propose traffic lane redesigns, the addition of new intersections, and the application of Transit Signal Priority (TSP) to mitigate intersection conflicts. UAVs were employed to collect traffic volume and physical data, while a micro-level traffic simulation model was used to analyze four scenarios: (1) no project implementation, (2) LRT with fixed-time traffic signals, (3) LRT with intersection improvements and fixed-time signals, and (4) LRT with intersection improvements and TSP. Results for 2026 show that Scenario (1) yields the best outcome, as current road capacity is sufficient, and LRT adoption is low. By 2046, Scenario (4) is most effective due to increased traffic and the availability of public transit as an alternative. TSP allows LRT and main road vehicles to pass through intersections simultaneously, reducing delays. The redesigned lanes and new intersections also significantly cut travel time and congestion. Theoretical/Policy Implications: This research provides a framework for managing conflict points, aligning traffic systems, and improving connectivity

KEYWORDS: Public transit system, Traffic simulation model, Unmanned aerial vehicles

1. บทนำ

กระทรวงคมนาคมได้กำหนดกรอบยุทธศาสตร์เพื่อพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานการคมนาคมและขนส่งอย่างยั่งยืน โดยมีเป้าหมายในการสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจและสังคม เพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางให้มีความปลอดภัยและสะดวกสบาย เตรียมพร้อมต่อโอกาสในการแข่งขันทางของประเทศ การพัฒนาครั้งนี้เน้นที่การปรับปรุงโครงข่ายคมนาคมในเขตเมืองใหญ่และภูมิภาคต่าง ๆ ซึ่งมีความสำคัญในการรองรับการเติบโตของประชากร คุณภาพชีวิตและการขยายตัวของเมือง [1] ขอนแก่นเป็นหนึ่งในจังหวัดที่มีการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปริมาณความต้องการการเดินทางสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้การวางแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่งในจังหวัดมีความจำเป็นอย่างยิ่ง รัฐบาลจึงได้ริเริ่มโครงการศึกษาระบบขนส่งมวลชนรถไฟฟ้ารางเบาจังหวัดขอนแก่น โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการเดินทางลดความแออัดทางจราจร และสนับสนุนเศรษฐกิจในภูมิภาค

โครงการรถไฟฟ้ารางเบาสายเหนือ-ใต้ (Light Rail Transit, LRT) เป็นโครงการสำคัญที่มีแนวเส้นทางอยู่บริเวณเกาะกลางถนนมิตรภาพ (ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2) อำเภอเมืองจังหวัดขอนแก่น โดยมีระยะทางรวม 22.8 กิโลเมตร LRT มีทั้งระดับดินและแบบยกระดับ การออกแบบเส้นทางนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ LRT สามารถสัญจรร่วมกับยานพาหนะประเภทอื่นได้ อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับส่วนที่เป็นโครงสร้างระดับดิน ดังรูปที่ 1 LRT และยานพาหนะอื่น ๆ จะต้องใช้ถนนร่วมกันโดยเฉพาะบริเวณทางแยก [1] ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและความขัดแย้งสูง การยกระดับรางข้ามทางแยกจึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามต้นทุนการยกระดับรางมีมูลค่าสูงมากอาจทำให้ไม่สามารถยกระดับราง LRT ได้ทั้งโครงการ



รูปที่ 1 แบบโครงสร้างระดับดิน LRT [1]

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยจึงเสนอแนวทางในการบริหารจัดการจราจรภายใต้เงื่อนไขจำกัดที่ไม่สามารถยกระดับรางข้ามทางแยกได้ เช่น การปรับปรุงช่องจราจร การจัดการจราจร การประยุกต์ใช้สัญญาณไฟจราจรในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของ LRT หนึ่งในมาตรการที่สำคัญคือการใช้สัญญาณไฟจราจรที่ปรับแต่งให้เหมาะสมกับ LRT และยานพาหนะบนถนนสายหลัก โดยมุ่งเน้นให้กระแสจราจรสามารถผ่านทางแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดปัญหาความล่าช้าและความขัดแย้งที่ทางแยก ทั้งนี้งานวิจัยได้ประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในการสำรวจพื้นที่ศึกษาและประยุกต์ใช้แบบจำลองจราจรระดับจุลภาค เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินมาตรการเหล่านี้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถพัฒนาระบบขนส่งมวลชนในจังหวัดขอนแก่นได้อย่างยั่งยืน

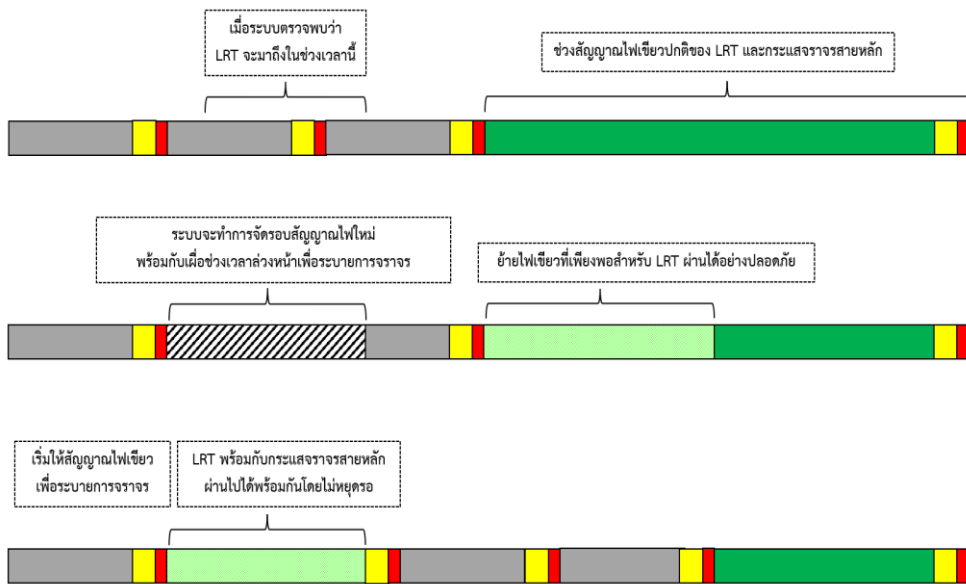
2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ระบบสัญญาณไฟประเภทกำหนดเวลาแบบคงที่ (Fixed-Time Signals)

เป็นระบบควบคุมการจราจรที่ออกแบบโดยอิงตามช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรสูงสุด นิยมใช้กับทางแยกที่ปริมาณจราจรค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยระยะเวลาของรอบสัญญาณไฟ (Cycle Length) จะถูกกำหนดให้คงที่ตามการออกแบบ อย่างไรก็ตามข้อเสียของระบบนี้คือ เมื่อปริมาณจราจรมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่คงที่ จะส่งผลให้สัญญาณไฟเขียวไม่สอดคล้องกับปริมาณจราจรจริงที่มีอยู่ในขณะนั้น ส่งผลให้เกิดความล่าช้า เพิ่มโอกาสในฝ่าฝืนสัญญาณไฟ และใช้ไฟเขียวไม่เต็มประสิทธิภาพ [2]

2.2 ระบบสัญญาณไฟประเภทให้สิทธิแก่ระบบขนส่งมวลชน (Transit Signal Priority, TSP)

ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในบริเวณจุดตัดที่มีการใช้พื้นที่ร่วมกันระหว่างระบบขนส่งมวลชนและยานพาหนะอื่น ๆ ระบบนี้สามารถปรับเปลี่ยนระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวหรือแดงเพื่อให้รถขนส่งสาธารณะสามารถผ่านทางแยกได้โดยไม่ต้องหยุดตั้งรูปที่ 2 ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและดึงดูดผู้ใช้จากยานพาหนะส่วนตัว โดยยังคงรักษาความสมดุลของรอบสัญญาณไฟเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อกระแสจราจรโดยรวม [3-5]



รูปที่ 2 ระบบสัญญาณไฟ TSP

จากกรณีศึกษาในต่างประเทศพบว่า TSP สามารถลดเวลาล่าช้าของรถโดยสารได้มากถึง 20-30% และมีศักยภาพในการรักษาสมดุลระหว่างการให้สิทธิแก่ระบบขนส่งมวลชนและการจราจรโดยรวม [3-5] กรณีศึกษาในไทยซึ่งวิเคราะห์การใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบระบบตรวจจับตำแหน่งของยานพาหนะและปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรแบบเรียลไทม์ซึ่งคล้ายกับระบบ TSP ในเมืองที่มีความหนาแน่นสูงพบว่า สามารถลดปริมาณการหยุดรถที่ทางแยกได้ถึง 15% เมื่อเทียบกับระบบสัญญาณไฟประเภทกำหนดเวลาแบบคงที่ [6]

2.3 การจัดช่องจราจร (Channelization)

เป็นการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ถนนผ่านการใช้เครื่องหมายจราจรหรือโครงสร้างทางกายภาพ เช่น เกาะกลางถนน บ้าย และสัญญาณไฟจราจร มาตรการนี้มีเป้าหมายเพื่อลดอุบัติเหตุและทำให้การจราจรไหลลื่นมากขึ้น รูปแบบของการจัดช่องจราจรมีหลายประเภท ได้แก่ การปรับปรุงทิศทางการจราจร (Lane Marking) เพื่อแยกทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ลดความสับสนและการเปลี่ยนช่องจราจรกะทันหัน การปรับปรุงเกาะกลางถนน (Median Islands) เป็นโครงสร้างที่ใช้เพื่อแยกทิศทางการจราจร ป้องกันการข้ามช่องจราจรหรือกลับรถในจุดที่เสี่ยงต่ออุบัติเหตุ การปรับปรุงช่องทางเลี้ยว (Turning Lanes) เพื่อลดผลกระทบต่อการจราจรหลัก จัดระเบียบกระแสจราจร ลดการชนกันในจุดตัด โดยสรุปแล้วการจัดช่องจราจรมีบทบาทสำคัญในการลดความขัดแย้งกระแสจราจร และช่วยให้การจราจรมีประสิทธิภาพมากขึ้น [7]

2.4 แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Microsimulation)

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ระบบจราจรและการขนส่งผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ สามารถจำลองสถานการณ์การจราจรได้อย่างละเอียดในทุกวินาที โดยอ้างอิงจากตรรกะทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์การเคลื่อนที่ของยานพาหนะแบบพลวัต ข้อดีของการใช้แบบจำลองนี้คือ ความสามารถในการคาดการณ์และแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นล่วงหน้า อีกทั้งยังสามารถทดสอบและปรับปรุงมาตรการที่เสนอเพื่อช่วยลดความเสี่ยง และลดระยะเวลาการดำเนินงาน

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคยังมีข้อจำกัด โดยความแม่นยำของแบบจำลองขึ้นอยู่กับกระบวนการปรับเทียบ (Calibration) ซึ่งหมายถึงการปรับให้แบบจำลองมีความสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงก่อนที่จะนำไปใช้งาน การปรับเทียบนี้พิจารณาจากตัวแปรที่นำเข้าสู่แบบจำลอง (Input) และผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง (Output) ซึ่งผลลัพธ์นั้นจะต้องไม่แตกต่างจากเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในเชิงวิศวกรรมจราจร [8]

3. วิธีการศึกษา

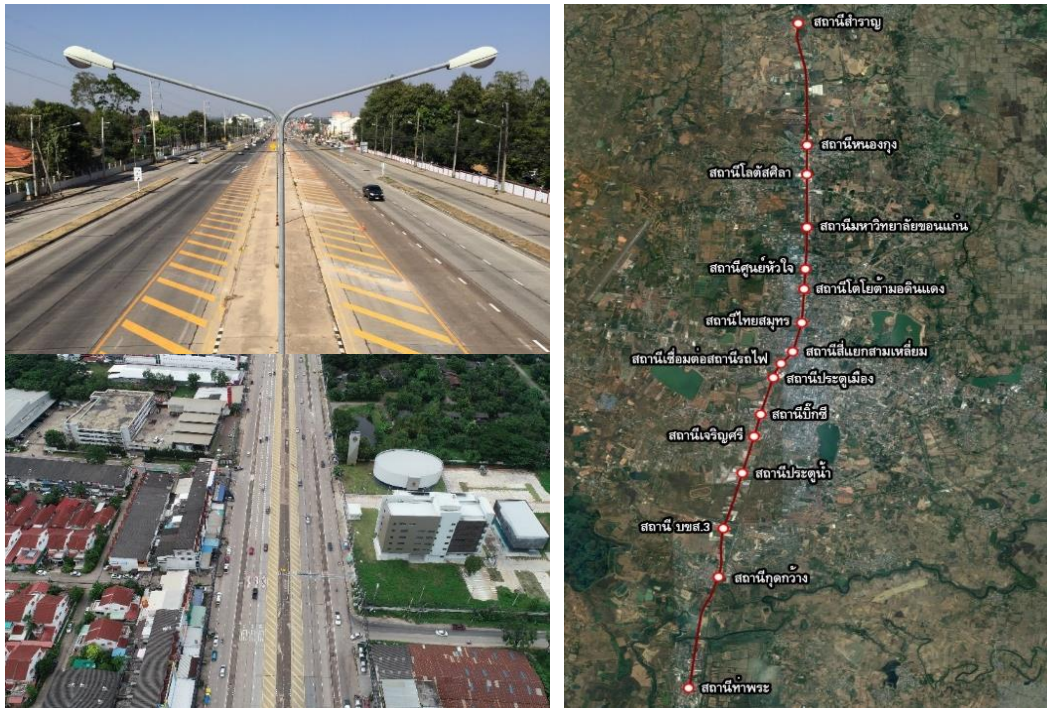
งานวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ รหัสโครงการ HEC-02-67-023

3.1 การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

ผู้วิจัยคัดเลือกพื้นที่ศึกษาตามแนวเส้นทางระดับดินของ LRT โดยเน้นบริเวณที่มีความซับซ้อนและมีปริมาณการจราจรเข้าออกจำนวนมาก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสำเร็จของโครงการ พื้นที่ศึกษาที่เลือกคือบริเวณทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ บนถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 (มิตรภาพ) ดังรูปที่ 3

พื้นที่ศึกษามีจำนวน 3 ช่องจราจรต่อทิศทาง โดยช่องจราจรด้านในมีการตีเส้นทแยงเพื่อห้ามใช้งาน นอกจากนี้ยังมีช่องจราจรคู่ขนาน 2 ช่องจราจรต่อทิศทาง โดยทุกช่องจราจรมีความกว้างเท่ากันที่ 3.5 เมตร และมีเกาะกลางขนาด 4 เมตร ถนนสายนี้เป็นเส้นทางคมนาคมสายหลักที่เชื่อมต่อไปยังมหาวิทยาลัยฯ หมู่บ้าน และศูนย์การค้า

โดยโครงการรถไฟฟ้ารางเบาขอนแก่น (LRT) มีกำหนดเริ่มให้บริการในปี พ.ศ. 2569 มีแนวเส้นทางวิ่งตามแนวเกาะกลางถนนมิตรภาพ ครอบคลุมระยะทาง 22.8 กิโลเมตร พร้อมสถานีจำนวน 16 สถานี ในช่วงเวลาเร่งด่วน



รูปที่ 3 ทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และภาพรวมของโครงการ

3.2 การสำรวจพื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) แบบปีกหมุนขนาดเล็ก ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจราจรโดยไม่มีการรบกวนพฤติกรรมของผู้ใช้ถนน ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วยความเร็ว อัตราเร่ง การเว้นระยะห่างระหว่างยานพาหนะ และพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องจราจร เป็นต้น การสำรวจปริมาณจราจรดำเนินการในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า (07.00-08.00 น.) และเย็น (16.00-17.00 น.) ในวันทำงานปกติ ภายใต้สภาพแวดล้อมการจราจรปกติ กระบวนการถอดข้อมูลดำเนินการผ่านการสังเกตจากวิดีโอที่บันทึก

นอกจากนี้ ยังได้ดำเนินการสำรวจลักษณะทางกายภาพของพื้นที่โดยใช้ภาพถ่ายออร์โธ (Orthophoto) ที่ได้จากเทคนิคการถ่ายภาพทางอากาศแบบ UAV Photogrammetry ซึ่งใช้หมุดควบคุมภาพแบบเป้าสัญญาณ (Signalized Photo-Control Points) ที่อ้างอิงกับหมุดควบคุมพิกัด GNSS โดยทำการรังวัดพิกัดด้วยวิธี Real-Time Kinematic (RTK)

การใช้เทคนิคดังกล่าวช่วยให้สามารถบันทึกภาพและวิดีโอความละเอียดสูงจากมุมมองทางอากาศ (Bird's Eye View) ส่งผลให้การเก็บรวบรวมข้อมูลของพื้นที่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูง [9-12] ดังรูปที่ 4



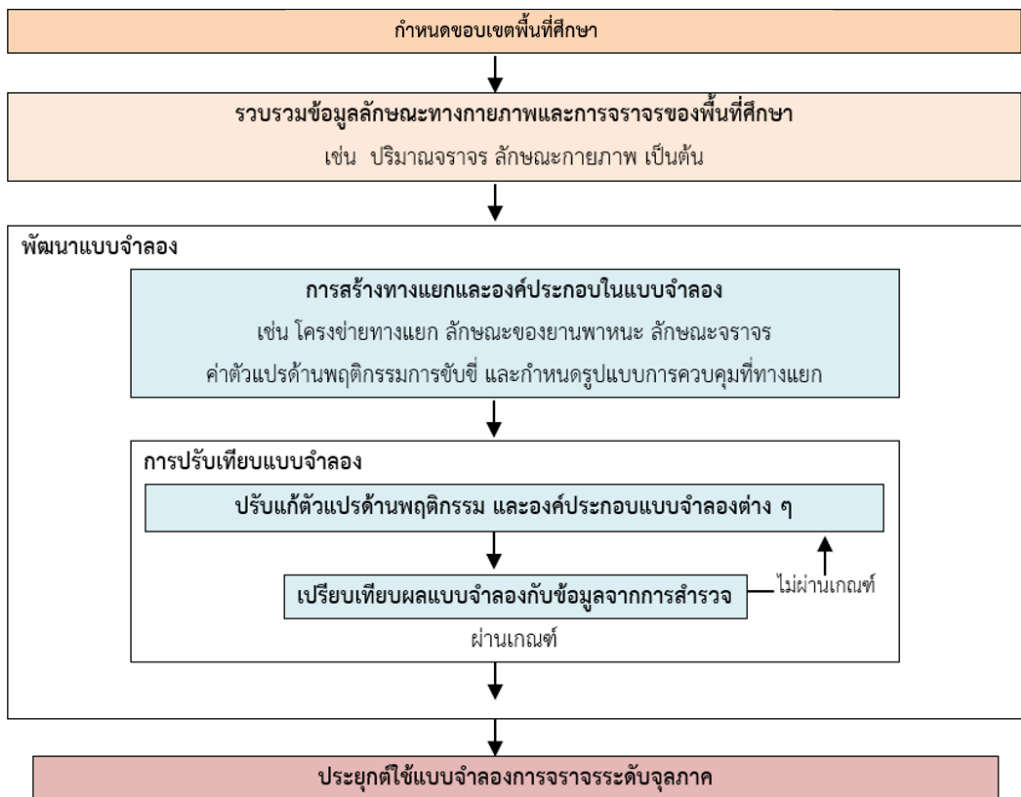
รูปที่ 4 การสำรวจด้วย UAV และ RTK

3.3 ปริมาณจราจรและสัดส่วนยานพาหนะ

การคาดการณ์ปริมาณการจราจรและสัดส่วนการเลือกรูปแบบการขนส่งในป้อนาคต พัฒนาขึ้นโดยใช้แบบจำลองการคาดการณ์ 4 ขั้นตอน (4-Step Model) โดยพิจารณาข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมในจังหวัดขอนแก่น ผลคาดการณ์ระบุว่าในปี พ.ศ. 2569 ปริมาณการเดินทางจะอยู่ที่ 861,000 เที่ยวต่อวัน โดยมีสัดส่วนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 32% รถจักรยานยนต์ 54% และรถขนส่งสาธารณะ 14% และในปี พ.ศ. 2589 ปริมาณการเดินทางจะเพิ่มขึ้นเป็น 1,518,00 เที่ยวต่อวัน โดยมีสัดส่วนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 30% รถจักรยานยนต์ 51% และรถขนส่งสาธารณะ 19% โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของปริมาณการเดินทางจะอยู่ที่ประมาณ 2.76% ต่อปี [1]

3.4 แบบจำลองจราจรระดับจุลภาค

ผู้วิจัยใช้โปรแกรม PTV Vissim ในการพัฒนาแบบจำลองจราจรระดับจุลภาค โดยนำข้อมูลจากพื้นที่ศึกษามาใช้เป็น ข้อมูลนำเข้า (Input Data) เพื่อสร้างแบบจำลองที่สะท้อนสภาพการจราจรในพื้นที่ประกอบไปด้วย ข้อมูลปริมาณการจราจร ความเร็ว อัตราเร่ง กายภาพของถนน ประเภทยานพาหนะ และพฤติกรรมกรขับขี่ของผู้ใช้ถนน นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กระบวนการพัฒนาแบบจำลอง

วัตถุประสงค์ของการพัฒนาแบบจำลองจราจรระดับจุลภาคคือ เพื่อวิเคราะห์สภาพการจราจรในปัจจุบันและอนาคตรวมถึงการประเมินผลกระทบโครงการรถไฟฟ้ารางเบา (LRT) ร่วมกับระบบสัญญาณไฟจราจรและมาตรการอื่น ๆ โดยกำหนดให้เวลาที่ให้บริการผู้โดยสารที่ความถี่เฉลี่ย 10 นาที ใช้ขบวนรถจำนวน 15 ขบวน แต่ละขบวนมีความจุ 250 คนต่อขบวน ภายใต้ 4 กรณีศึกษา (Scenario) ในปี พ.ศ. 2569 และ พ.ศ. 2589 รายละเอียดของแต่ละกรณีมีดังนี้ 1) ไม่ดำเนินโครงการใดๆ 2) เปิดให้บริการ LRT โดยคงสภาพกายภาพถนนเดิม และติดตั้งสัญญาณไฟแดงที่ 3) เปิดให้บริการ LRT พร้อมเปิดทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และติดตั้งสัญญาณไฟแดงที่ 4) เปิดให้บริการ LRT พร้อมเปิดทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และติดตั้งสัญญาณไฟที่ให้สิทธิ์รถไฟฟ้ารางเบา (TSP Coordinated)



รูปที่ 6 แบบปรับปรุงกายภาพทางแยก และพัฒนาแบบจำลองในมุมมองสามมิติ

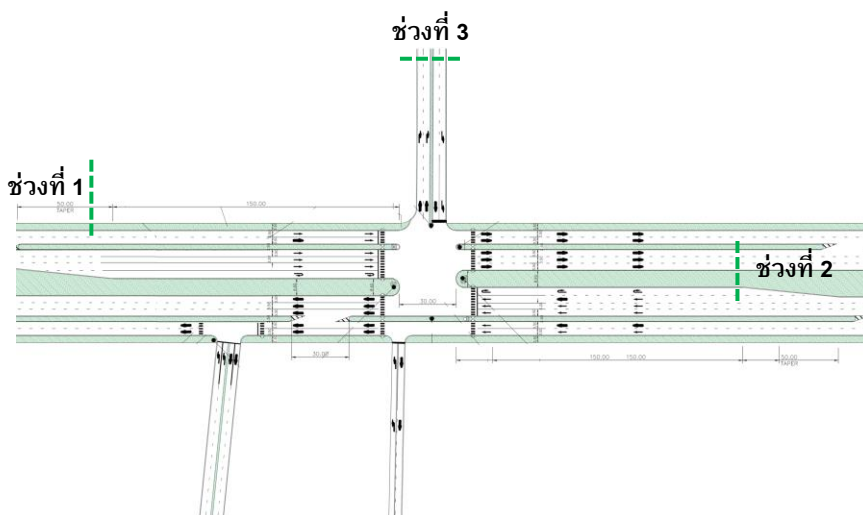
ตัวแปรชี้วัดหลักในแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค ได้แก่ 1) ความล่าช้าเฉลี่ยต่อยานพาหนะ (Average Total Delay per Vehicle, sec.) โดยวัดเวลาที่แต่ละยานพาหนะต้องรอหรือหยุดเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ในสภาวะปกติ ความล่าช้าอาจเกิดจากสัญญาณไฟ การจราจรติดขัดหรือจุดขัดแย้งอื่น ๆ การวัดนี้ช่วยประเมินประสิทธิภาพการไหลของจราจร 2) ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (Average Queue Length, m.) โดยวัดความยาวเฉลี่ยของแถวรถที่รออยู่ตามจุดตัดหรือบริเวณหยุดชะงัก ผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยประเมินความสามารถของทางแยกในการจัดการปริมาณจราจร หากแถวคอยยาวเกินไปบ่งบอกถึงความหนาแน่น

3.5 การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองคือกระบวนการปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น ปริมาณจราจร พฤติกรรมการขับ และลักษณะทางกายภาพของถนน เพื่อให้ผลลัพธ์จากแบบจำลองสอดคล้องกับข้อมูลพื้นที่ศึกษาจริง ผลการจำลองจะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม โดยค่าความแตกต่างต้องไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ในเชิงวิศวกรรมจราจร ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 7

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

ปริมาณจราจร (คัน/ชั่วโมง)					
ช่วงถนน	แบบจำลอง (คัน)	ค่าจริง (คัน)	ความแตกต่าง (%)	เงื่อนไข	GEH < 5
เกณฑ์: ปริมาณจราจรต้องอยู่ระหว่าง 700 ถึง 2,700 คันต่อชั่วโมง					
ช่วงที่ 1	1954	2050	4.91%	15%	ผ่าน
ช่วงที่ 2	2147	2260	5.26%		ผ่าน
ช่วงที่ 3	426	440	3.93%		ผ่าน
รวมทุกช่วง	4527	4750	4.93%	5%	ผ่าน



รูปที่ 7 ตำแหน่งของช่วงถนนที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาณจราจร

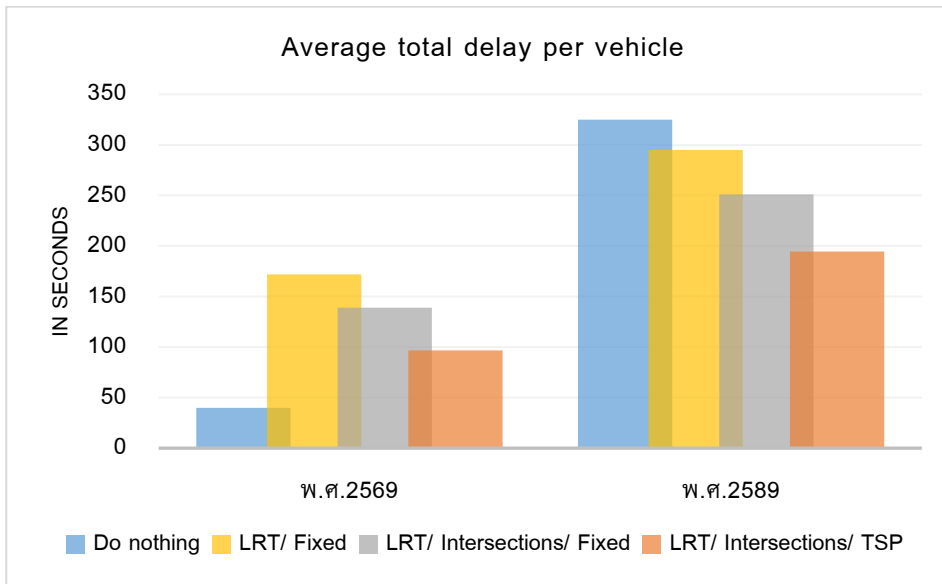
จากตารางที่ 1 พบว่าผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการจราจร (Model Calibration) โดยเปรียบเทียบ ปริมาณจราจรที่ได้จากแบบจำลอง กับ ข้อมูลภาคสนามจริง สำหรับ 3 ช่วงถนน (Sections) ผ่านเกณฑ์ทั้งหมดแสดงให้เห็นว่ามีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงตามเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

4. ผลการวิจัย

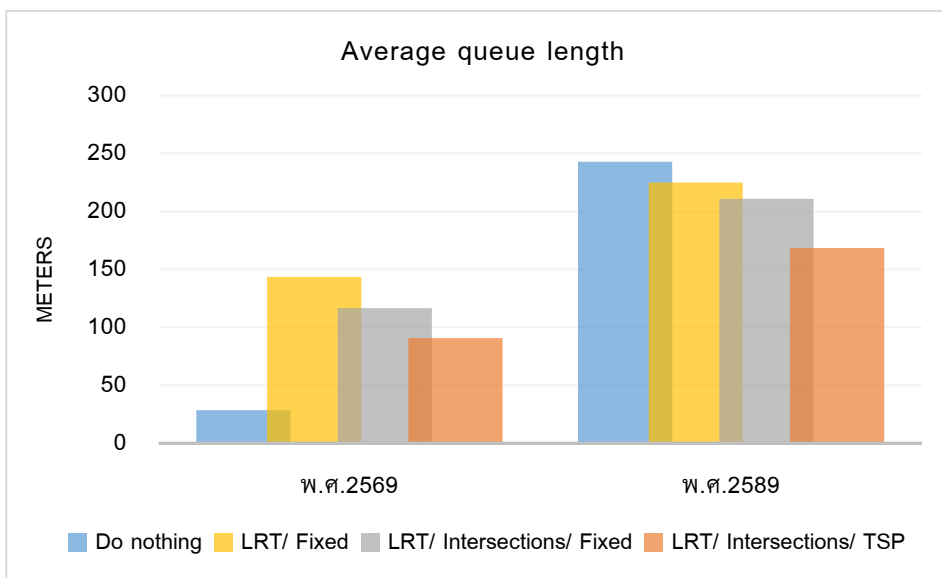
4.1 กรณีศึกษาในปี พ.ศ. 2569

กรณีที่ 2 (เปิดให้บริการ LRT โดยคงลักษณะกายภาพเดิมและติดตั้งสัญญาณไฟแบบคงที่) ส่งผลให้ความล่าช้าและความยาวแถวคอยเพิ่มขึ้น 82% และ 76% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ 1

(ไม่ดำเนินโครงการใด ๆ) ซึ่งสอดคล้องกับ กรณีที่ 3 ปัญหาหลักเกิดจากการใช้ลักษณะกายภาพเดิมที่จำกัดการเข้าออกระหว่างชุมชนทั้งสองฝั่งให้อยู่ที่จุดกลับรถในระยะไกล ทำให้ต้องเพิ่มระยะเวลาในการเดินทางและส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากขึ้น



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ย 4 กรณี



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบความยาวแถวคอยเฉลี่ย 4 กรณี

กรณีที่ 3 (เปิดให้บริการ LRT, เปิดทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และติดตั้งสัญญาณไฟแบบคงที่) ส่งผลให้ความล่าช้าและความยาวแถวคอยเพิ่มขึ้น 75% และ 71% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ 1 (ไม่ดำเนินโครงการใด ๆ) สาเหตุหลักมาจากการจัดรอบสัญญาณไฟจราจรที่ไม่สอดคล้องกับสภาพการจราจร ทำให้เกิดความล่าช้าทั้งสำหรับรถยนต์ส่วนบุคคลและ LRT

กรณีที่ 4 (เปิดให้บริการ LRT, เปิดทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และติดตั้งสัญญาณไฟ TSP) ส่งผลให้ความล่าช้าเฉลี่ยต่อยานพาหนะและความยาวแถวคอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 68% และ 58% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ กรณีที่ 1 (ไม่ดำเนินโครงการใด ๆ) สาเหตุหลักมาจากการลดจำนวนช่องจราจรบางช่วง เพื่อใช้เป็นเขตทางสำหรับ LRT ซึ่งทำให้ความจุถนนลดลง นอกจากนี้มาตรการจำกัดความเร็วที่บังคับใช้ยังส่งผลต่อระดับการให้บริการถนนในพื้นที่ อย่างไรก็ตาม แม้การติดตั้งให้ผู้ไรด์ส่วนบุคคลหันมาใช้ LRT ยังไม่สูงมากนัก การจัดช่องทางจราจรใหม่และการเปิดทางแยกช่วยลดเวลาในการเดินทางและลดความล่าช้าได้บ้าง

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทั้ง 4 กรณี

รายละเอียด	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4	
	ไม่ ดำเนินการ ใด ๆ	เปิดให้บริการ LRT กายภาพ เดิม และ สัญญาณไฟคงที่		เปิดให้บริการ LRT ปรับปรุง ทางแยก และ สัญญาณไฟคงที่		เปิดให้บริการ LRT ปรับปรุง ทางแยก และ สัญญาณไฟ TSP	
ปี พ.ศ. 2569							
ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (เมตร)	28.51	143	82%	117	75%	91	68%
ความล่าช้าเฉลี่ยต่อคัน (วินาที)	39.90	172	76%	139	71%	97	58%
ปี พ.ศ. 2589							
ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (เมตร)	243	225	8%	211	16%	168	44%
ความล่าช้าเฉลี่ยต่อคัน (วินาที)	325	295	10%	251	29%	195	69%

4.2 กรณีศึกษาในปี พ.ศ. 2589

กรณีที่ 1 ไม่ดำเนินโครงการใด ๆ เกิดความล่าช้า ความยาวแถวคอยเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สภาพการจราจรติดขัดและจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เหตุมาจากการความจุของถนนและเขตทางที่จำกัด ไม่สามารถรองรับยานพาหนะส่วนบุคคลที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปีได้ เนื่องจากไม่มีระบบขนส่งสาธารณะที่มีประสิทธิภาพเป็นทางเลือกแทนยานพาหนะ

กรณีที่ 2 มีประสิทธิภาพมากกว่ากรณีที่ 1 ความยาวแถวคอยและความล่าช้าลดลง 8% และ 10% ตามลำดับ เนื่องจากการเปิดให้บริการ LRT ช่วยลดสัดส่วนการใช้นานพาหนะส่วนบุคคล การใช้ LRT ช่วยลดความหนาแน่นของจราจรได้มากกว่ารถส่วนบุคคล

กรณีที่ 3 มีประสิทธิภาพมากกว่ากรณีที่ 1 ความยาวแถวคอยและความล่าช้าลดลง 16% และ 29% ตามลำดับ รวมถึงมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีที่ 2 อย่างไรก็ตาม ระบบสัญญาณไฟจราจรยังคงเป็นแบบคงที่ไฟไม่สอดคล้องกับสภาพการจราจร ทำให้ยังคงเกิดความล่าช้าสำหรับทั้งรถส่วนบุคคลและ LRT

กรณีที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ ความยาวแถวคอยและความล่าช้าลดลง 44% และ 69% ตามลำดับ เนื่องจากการจัดช่องทางจราจรใหม่และการเปิดทางแยกช่วยลดเวลาในการเดินทางและความล่าช้า การควบคุม LRT ด้วยระบบสัญญาณไฟ TSP ซึ่งทำงานแบบประสานสัมพันธ์ระหว่างทางแยก (Coordinated Control) ช่วยกำหนดเวลาการมาถึงของ LRT และจัดการรอบสัญญาณไฟเพื่อให้ยานพาหนะทุกประเภทสามารถผ่านทางแยกพร้อมกันได้อย่างราบรื่นเมื่อ LRT เข้าใกล้ทางแยก ระบบ TSP จะปรับให้ LRT ได้รับสัญญาณไฟเขียวโดยไม่ต้องหยุดรอ แต่ต้องลดความเร็วล่วงหน้าเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเบรกฉุกเฉินหากจำเป็น ในกรณีเหตุฉุกเฉิน ศูนย์ควบคุมสามารถปรับความเร็ว LRT แบบอัตโนมัติ ทำให้สามารถควบคุมการผ่านของ LRT ทั้งสองทิศทางได้พร้อมกัน รวมถึงยานพาหนะบนถนนมีตรภาพ หลังจาก LRT ผ่านทางแยก ระบบจะปรับลดระยะเวลาไฟเขียวในจังหวะถัดไปเพื่อชดเชยเวลาให้กับสัญญาณไฟอื่น ๆ ทำให้การจราจรสมดุลยิ่งขึ้น ระบบนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการจราจร ส่งเสริมให้ผู้ใช้รถยนต์ส่วนบุคคลหันมาใช้ LRT มากขึ้น ลดปริมาณการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลในระยะยาว

4.3 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

ผลการศึกษาพบว่า การใช้ TSP ที่ประสานกันระหว่างทางแยกในกรณีที่ 4 ช่วยลดเวลาล่าช้าได้สูงสุด (ลดลง 69% ในปี พ.ศ. 2589) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ He et al [5] ที่พบว่าการใช้ Multi-Modal TSP สามารถลดเวลาการเดินทางของ LRT เฉลี่ย 60% ขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจร

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Skabardonis and Christofa I [3] และ Christofa and Skabardonis [4] พบว่าระบบ Actuated TSP ลดเวลาล่าช้าเฉลี่ย 25% แต่ในกรณีจังหวัดขอนแก่น การประยุกต์ใช้ Coordinated Adaptive TSP ทำให้ลดความล่าช้าได้สูงกว่าเนื่องจากการประสานกันระหว่างจุดตัดหลายจุด

นอกจากนี้ Shao et al [7] พบว่าการปรับปรุงทางกายภาพของทางแยก เช่น การเพิ่มช่องจราจรและทางเบี่ยง สามารถเสริมประสิทธิภาพของ TSP ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในที่พบว่า การเพิ่มช่องทางและการเปิดทางแยกใหม่ช่วยลดเวลาล่าช้าลงอย่างมีนัยสำคัญ

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

ในปี พ.ศ. 2569 กรณีที่ 1 (ไม่ดำเนินการใด ๆ) ให้ผลลัพธ์ที่ต่ำที่สุด เนื่องจากความจุของถนนยังเพียงพอที่จะรองรับปริมาณจราจรในปัจจุบัน ช่องทางจราจรไม่ถูกลดลงเพื่อใช้เป็นเขตทางสำหรับ LRT และการดึงดูดให้ผู้โดยสารยานพาหนะส่วนบุคคลหันมาใช้ LRT ยังไม่สูงมากในช่วงปีแรก อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาในระยะยาว ความจุถนนที่มีอยู่อาจไม่เพียงพอในการรองรับปริมาณยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นทุกปี

ในปี พ.ศ. 2589 กรณีที่ 4 (ให้บริการ LRT, เปิดทางแยกโนนม่วง-หนองไผ่ และติดตั้งสัญญาณไฟ TSP) ให้ผลลัพธ์ที่ต่ำที่สุด เนื่องจากมีระบบขนส่งมวลชนเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับผู้เดินทางช่วยลดการจราจรติดขัด การควบคุม LRT ด้วยระบบสัญญาณไฟ TSP ที่ประสานกับสัญญาณไฟที่ทางแยก (Coordinated Control) ช่วยให้ LRT ทั้งสองทิศทางสามารถผ่านทางแยกได้พร้อมกัน และยานพาหนะบนช่องจราจรของถนนสายหลักสามารถผ่านได้พร้อมกันเช่นกัน

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การใช้ Transit Signal Priority (TSP) แบบ Coordinated Adaptive มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดความล่าช้าและเพิ่มประสิทธิภาพของ LRT โดยผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [3-5, 7] ที่แสดงให้เห็นว่า TSP สามารถลดความล่าช้าได้ในช่วง 20-70% ขึ้นอยู่กับประเภทของระบบที่ใช้

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของ TSP คือ การใช้งานอาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ถนนทั่วไป หากไม่มีการออกแบบรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสม ดังนั้น การใช้ TSP ควรดำเนินการร่วมกับมาตรการเสริม เช่น การเพิ่มช่องทางเดินรถ การปรับปรุงการจัดการจราจร และการส่งเสริมให้ประชาชนเปลี่ยนมาใช้ระบบขนส่งมวลชนมากขึ้น การศึกษาลำดับถัดไปการใช้ AI-based Adaptive TSP ที่สามารถเรียนรู้และปรับเปลี่ยนตามสภาพการจราจรแบบเรียลไทม์ ซึ่งอาจให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นในการจัดการทางแยกที่มีปริมาณจราจรสูง

แนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการจัดการจราจรที่จุดตัด คือการยกระดับราง LRT เพื่อข้ามผ่านทางแยกซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการจราจรได้ อย่างไรก็ตามแนวทางนี้มาพร้อมกับการลงทุนที่สูงซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถดำเนินการได้ ดังนั้นการพิจารณายกระดับรางเฉพาะในจุดตัดที่มีปัญหาวิกฤต และใช้รางระดับดินในพื้นที่ชานเมือง อาจเป็นวิธีที่ช่วยลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มโอกาสความเป็นไปได้ในการดำเนินโครงการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน (SIRDC) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ขอนแก่นมหาวิทยาลัยขอนแก่น และ หน่วยวิจัยการขนส่งในเมืองอย่างยั่งยืน

(SUMR) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น สำหรับความมั่งคั่งด้านข้อมูล บุคลากร และแบบจำลองสภาพการจราจร

References

- [1] Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Faculty of Engineering, Khon Kaen University. A detailed design study of the Khon Kaen public transportation system and environmental impact assessment office of transport and traffic policy and planning. Khon Kaen: Office of Transport and Traffic Policy and Planning; 2018.
- [2] Roess RP, Prassas ES, McShane WR. Traffic engineering. New Jersey, USA: Pearson; 2011.
- [3] Skabardonis A, Christofa E. Impact of transit signal priority on level of service at signalized intersections. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2011;16:612-9. doi: 10.1016/j.sbspro.2011.04.481.
- [4] Christofa E, Skabardonis A. Traffic signal optimization with application of transit signal priority to an isolated intersection. *Transportation Research Record* 2011;2259(1):192-201. doi: 10.3141/2259-18.
- [5] He Q, Head KL, Ding J. Multi-modal traffic signal control with priority, signal actuation and coordination. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 2014;46: 65-82. doi: 10.1016/j.trc.2014.05.001.
- [6] Promraksa T, Satiennam T, Satiennam W. Vehicle actuated signal control for low carbon society. *International Journal of GEOMATE* 2019;16(55):86-91.
- [7] Shao Y, Han X, Wu H, Claudel CG. Evaluating signalization and channelization selections at intersections based on an entropy method. *Entropy*. 2019 Aug 18;21(8):808. doi: 10.3390/e21080808.
- [8] Currin TR. Introduction to traffic engineering: a manual for data collection and analysis. 2nd ed. Stamford, USA: Cengage Learning; 2012.
- [9] Barmponakis EN, Vlahogianni EI, Golias JC. Unmanned aerial aircraft systems for transportation engineering: current practice and future challenges. *International Journal of Transportation Science and Technology* 2016;5(3):111-22. doi: 10.1016/j.ijtst.2017.02.001.
- [10] Gupta SG, Ghonge MM, Jawandhiya PM. Review of unmanned aircraft system (UAS). *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology* 2013;2(4):1646-58.

- [11] Khan MA, Ectors W, Bellemans T, Janssens D, Wets G. Unmanned aerial vehicle-based traffic analysis: a case study for shockwave identification and flow parameters estimation at signalized intersections. Remote Sensing 2018;10(3):458. doi: 10.3390/rs10030458.
- [12] Wang L, Chen F, Yin H. Detecting and tracking vehicles in traffic by unmanned aerial vehicles. Automation in Construction 2016;72(Pt 3):294–308. doi: 10.1016/j.autcon.2016.05.008.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ทรงพล ทรงแสงฤทธิ์ ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต ขอนแก่น 150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 Email: songphol.so@rmuti.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมสำรวจ และวิศวกรรมขนส่ง



ธนพล พรหมรักษา ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต ขอนแก่น 150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 Email: thanapol.pr@rmuti.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมขนส่ง และวิศวกรรมสำรวจ



วรัญวิธ อูธธา ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต ขอนแก่น 150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 Email: warunvit.au@rmuti.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมขนส่ง



วุฒิไกร ไชยปัญญา ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต ขอนแก่น 150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 Email: wuttikrai.ca@rmuti.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมขนส่ง



ปิยณัฐ จันทอสุทธิ์ ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสารคาม 41/20 ต.ขามเรียง อ. กันทรวิชัย
จ. มหาสารคาม 44150 Email: Piyanat.j@msu.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมขนส่ง

Article History:

Received: November 16, 2024

Revised: April 9, 2025

Accepted: April 11, 2025