

การกำหนดแนวทางการใช้ช่องทางพิเศษบนทางหลวงหมายเลข 2

Guideline Establishment for Reversible Lane Implementation on Highway No.2

นายกิตติพันธ์ สิริรักษาศักดิ์¹ นายจิรวิทย์ วรรณรัตน์² และ รองศาสตราจารย์ ดร. จิตติชัย รุจนกนกนาฏ³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางการใช้ช่องทางพิเศษบนทางหลวงหมายเลข 2 โดยมุ่งเน้นไปที่ ช่วงอำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี - อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นส่วนที่ปัจจุบันมีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษอยู่เป็นประจำในช่วงเทศกาลที่มีวันหยุดยาวเพื่อบรรเทาปัญหาสภาพจราจรติดขัด โดยการทำแบบจำลองสภาพจราจรเพื่อวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษในช่วงเทศกาลปีใหม่ พ.ศ.2564 และเพื่อศึกษาหาหลักเกณฑ์สำหรับการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยจากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลองสภาพจราจรซึ่งพัฒนาจากข้อมูลจราจรจริงที่ตรวจวัดด้วยระบบจุดสำรวจปริมาณจราจร กรมทางหลวง พบว่าผลของการดำเนินการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจทางหลวงและเจ้าหน้าที่แขวงการทางในพื้นที่นั้นมีประสิทธิภาพในการช่วยลดระยะเวลาในการเดินทางของผู้ใช้ถนน และจากการใช้แบบจำลองสภาพจราจรวิเคราะห์หาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ จะทำให้สามารถพัฒนาหาหลักเกณฑ์สำหรับการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษที่มีประสิทธิภาพสูงสุดได้ โดยมีพื้นฐานอยู่บนการตั้งหลักเกณฑ์ให้มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษได้ตรงกับช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะได้เป็นหลักเกณฑ์สำหรับการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ: ช่องทางพิเศษ, การจัดการทางหลวง, การปฏิบัติการจราจร, ข้อมูลการจราจร

Abstract

This research is a study of guideline establishment for reversible lane implementation on highway No.2 focusing on the section from Mueang Saraburi district to Mueang Nakhon Ratchasima district, part of highway No.2, where reversible lanes are often implemented during the holiday to alleviate traffic congestion. Traffic simulation was conducted to analyze the results

of the operation of reversible lane implementation during new year festival 2021 holiday and to study the criteria for the most efficient implementation of reversible lane. Based on the analysis of results obtained from traffic simulation, which was developed from actual traffic data measured with Department of Highway traffic survey system, it is found that the results of the operation of reversible lane, implemented by local highway police and local highway district officers, reducing total travel time. Using traffic simulation to find the optimal duration for reversible lane implementation that can extremely reduce the total travel time, the criteria for the most efficient implementation of reversible lane can be developed, thus, the criteria as a guideline for the most efficient implementation of reversible lane is established.

Keywords: Reversible Lane, Highway Management, Traffic Operations, Traffic Data

1. บทนำ

ช่องทางพิเศษ (Reversible Lane) คือ ช่องจราจรที่เปิดขึ้นมาเป็นกรณีพิเศษเพื่อใช้บรรเทาปัญหาการจราจรติดขัด โดยใช้หลักการบริหารช่องจราจรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วยการสลับทิศทางการเดินรถ โดยนำเอาช่องจราจรของทิศทางที่มีปริมาณจราจรต่ำมาใช้เป็นช่องจราจรสำหรับทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูง การเปิดใช้งานช่องทางพิเศษเป็นหนึ่งในวิธีการลดปัญหาสภาพการจราจรติดขัดที่ได้รับความนิยมและมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย สามารถใช้กับถนนที่มีอยู่เดิมไม่ต้องมีการก่อสร้างช่องจราจรเพิ่มเติมหรือปรับเปลี่ยนเรขาคณิตของถนน

ปัจจุบันการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษในประเทศไทยโดยส่วนมากมักจะอาศัยพิจารณาของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในสนามเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ ยังไม่เคยมีหน่วยงานใดได้จัดทำข้อกำหนด หรือแนวทางที่จะเป็นตัวบังคับซึ่งถึงสภาพการจราจรที่เหมาะสมกับการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษขึ้นมาอย่างเป็นทางการ ทำ

ให้ในบางครั้งอาจมีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษในสภาพการจราจรที่ไม่เหมาะสมเท่าที่ควร ทำให้ไม่ได้รับประโยชน์สูงสุดจากการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษในลักษณะที่ไม่ใช่การเปิดตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ตายตัว (fixed time interval) ดังเช่นการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษบนถนนประเภททางหลวงแผ่นดินที่มักจะมีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษในช่วงวันหยุดเทศกาลที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นเนื่องจากประชาชนมีความต้องการเดินทางสูง โดยจะเปิดใช้งานช่องทางพิเศษเมื่อมีสภาพการจราจรติดขัดเกิดขึ้นในลักษณะตามแต่สถานการณ์ไป ซึ่งต้องอาศัยการตัดสินใจอย่างรอบคอบมากกว่าการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษที่เปิดตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานอาจสังเกตสิ่งบ่งชี้ถึงสภาพการจราจรที่ควรเปิดใช้งานช่องทางพิเศษได้จากปริมาณจราจร อัตราเร็วของรถ หรือความหนาแน่นของการจราจร ดังนั้นหากมีการจัดทำข้อกำหนด หรือแนวทางสำหรับการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษขึ้น ก็จะเป็นการสร้างหลักเกณฑ์ช่วยประกอบการตัดสินใจให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในสนามสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ และยังจะช่วยให้มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษในสภาพการจราจรที่เหมาะสม ทำให้เกิดประสิทธิภาพของการใช้งานช่องทางพิเศษอย่างสูงสุด ส่งผลให้เกิดประโยชน์กับประชาชนผู้ใช้ถนนสามารถใช้ถนนในการสัญจรได้อย่างสะดวกสบาย มีความรวดเร็วในการเดินทางยิ่งขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในเรื่องของเศรษฐกิจและสังคมต่อไป

ด้วยเหตุผลดังนั้นก็ทำให้นักวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะจัดทำหลักเกณฑ์สำหรับการใช้งานช่องทางพิเศษขึ้น โดยมุ่งเน้นไปที่การใช้งานช่องทางพิเศษบนทางหลวงหมายเลข 2 ในช่วง อ.เมืองสระบุรี จ.สระบุรี – อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา ซึ่งเป็นส่วนที่ในปัจจุบันมีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษอยู่เป็นประจำทำให้สามารถศึกษาผลลัพธ์และประสิทธิภาพของการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษในปัจจุบันซึ่งจะสามารถนำมาใช้พัฒนาจัดทำข้อกำหนด หรือแนวทางสำหรับการใช้งานช่องทางพิเศษได้ โดยแม้ว่าในการจัดทำข้อกำหนด หรือแนวทางสำหรับการใช้งานช่องทางพิเศษนี้จะพัฒนามาจากพื้นฐานของทางหลวงหมายเลข 2 แต่ยังสามารถนำไปใช้กับถนนสายอื่นๆได้เช่นกัน

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวทางที่องค์กรต่างๆ แนะนำ

แนวทางในการใช้งานช่องทางพิเศษที่องค์กรด้านวิศวกรรมขนส่งแนะนำมีดังต่อไปนี้

- AASHTO ได้ระบุไว้ว่าการเปิดใช้ช่องทางพิเศษจะเหมาะสมเมื่อมีปริมาณการจราจรในระหว่างชั่วโมงเร่งด่วนเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว ตั้งแต่ 65% ของปริมาณการจราจรรวมทั้งสองทิศทางขึ้นไป และสำหรับถนน 6 ช่องจราจร (ทิศทางละ 3 ช่องจราจร) เมื่อมีอัตราส่วนโดยประมาณของปริมาณการจราจรแต่ละทิศทางเป็น 65:35 สามารถเปิดใช้ช่องทางพิเศษได้ โดยให้ทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูง (Major Flow Direction) มี 4 ช่องทาง และทิศทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ (Minor Flow Direction) มี 2 ช่องทาง ทั้งนี้เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในหลักการเปิดช่องทางพิเศษว่าไม่ควรให้ทิศทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ (Minor Flow Direction) มีช่องจราจรเหลือน้อยกว่า 2 ช่องทาง [1]

- ITE (Institute of Transportation Engineers) ได้เสนอหลักเกณฑ์ในการใช้งานช่องทางพิเศษ โดยแนะนำว่าควรประเมินและศึกษาสภาพจราจรให้สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ก่อนตัดสินใจเปิดใช้ช่องทางพิเศษ [2]

2.1 ตัวอย่างการใช้ช่องทางพิเศษในต่างประเทศ

จากการศึกษาตัวอย่างการใช้งานช่องทางพิเศษในประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศแคนาดาพบว่าแม้ว่าจะมีการใช้งานช่องทางพิเศษมาอย่างยาวนานและแพร่หลาย แต่ก็มีข้อมูลและการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานไม่มาก นอกจากนี้ยังมีแนวทางและมาตรฐานที่เผยแพร่เกี่ยวข้องกับการวางแผน, การออกแบบ, การดำเนิน และการควบคุมการใช้ไม่มากนัก ดังนั้นการใช้งานช่องทางพิเศษโดยส่วนใหญ่จะได้รับการพัฒนาและจัดการโดยอาศัยประสบการณ์และการสังเกตของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานเป็นสำคัญ [3]

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการใช้ช่องทางพิเศษในต่างประเทศ

ประเทศ	หลักเกณฑ์ในการพิจารณาใช้งาน
สหรัฐอเมริกา	ใช้งานตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ (routine and timed schedule), เมื่อมีกิจกรรมพิเศษ เช่น เทศกาลสำคัญ, การแข่งขันกีฬา และการก่อสร้าง, เมื่อมีปริมาณจราจรสูง, เมื่อเกิดแกวคย, เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน เช่น การอพยพหนีเฮอริเคน [4]
แคนาดา	ใช้งานเมื่อมีปริมาณจราจรสูง [4]

2.2 ตัวอย่างการใช้งานช่องทางพิเศษในประเทศไทย

ทางหลวงหมายเลข 2 หรือถนนมิตรภาพเป็นถนนที่มีสายทางเริ่มต้นที่ อ.เมืองสระบุรี จ.สระบุรี มุ่งสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเปรียบเสมือนเส้นทางหลักที่เชื่อมภาคกลางเข้ากับภาคตะวันออกเฉียงเหนือดังนั้นจึงมักมีสภาพการจราจรที่หนาแน่น ทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ดำเนินมาตรการที่จะช่วยลดผลกระทบอันเนื่องมาจากปริมาณการจราจรที่มีจำนวนมาก โดยมีการใช้งาน ช่องทางพิเศษ เพื่อช่วยลดปัญหาการจราจรติดขัดโดยเฉพาะในช่วงเทศกาลมาอย่างยาวนาน โดยมีหน่วยงานในท้องที่ ได้แก่ ตำรวจทางหลวง และแขวงทางหลวงเป็นผู้ดำเนินการ



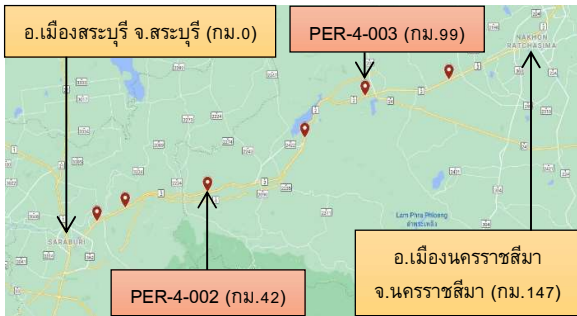
รูปที่ 1 การใช้งานช่องทางพิเศษบนทางหลวงหมายเลข 2 (ที่มา : ตำรวจทางหลวงนครราชสีมา)

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยจะเริ่มจากการวางแผนเก็บข้อมูลจราจร จากนั้นจึงดำเนินการเก็บข้อมูลจราจร และวิเคราะห์ข้อมูลจราจรที่รวบรวมมา

3.1 การวางแผนเก็บข้อมูลจราจร

การวางแผนเก็บข้อมูลจราจรเริ่มจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และสภาพแวดล้อมของทางหลวงหมายเลข 2 ช่วง อ.เมืองสระบุรี จ.สระบุรี – อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา ศึกษาตำแหน่งที่ตั้ง สภาพแวดล้อมโดยรอบ และลักษณะทางกายภาพของถนนในช่วงใกล้เคียงของจุดสำรวจปริมาณจราจร กรมทางหลวง ศึกษาข้อมูลประวัติการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษในช่วงเทศกาลปีใหม่ พ.ศ. 2564 แล้วจึงทำการคัดเลือกจุดสำรวจ จากระบบจุดสำรวจปริมาณจราจร กรมทางหลวง ที่จะดำเนินการเก็บข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยในการคัดเลือกจุดสำรวจจะพิจารณาถึงที่ตั้งของจุดสำรวจ ลักษณะทางกายภาพของถนนในบริเวณนั้น รวมไปถึงความสมบูรณ์ของระบบสำรวจและความสมบูรณ์ของข้อมูลที่มีครบถ้วนไว้ในระบบฐานข้อมูลของจุดสำรวจนั้นๆ ซึ่งจากการคัดเลือกจะได้ว่า จะทำการเก็บข้อมูลจากจุดสำรวจ 2 จุด จากทั้งหมด 6 จุด ที่อยู่บนทางหลวงหมายเลข 2 ช่วง อ.เมืองสระบุรี จ.สระบุรี – อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา ได้แก่ 1.จุดสำรวจ PER-4-002 และ 2.จุดสำรวจ PER-4-003



รูปที่ 2 จุดสำรวจปริมาณจราจร กรมทางหลวง บนทางหลวงหมายเลข 2

3.2 การเก็บข้อมูลจราจร

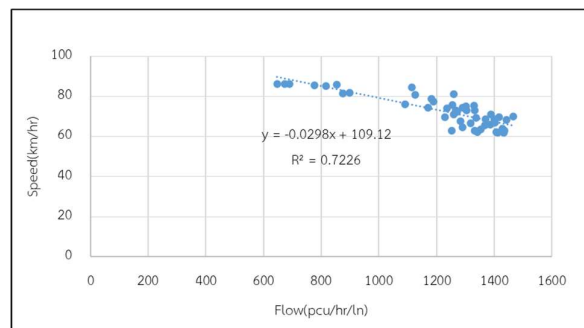
การเก็บข้อมูลจราจรนั้นจะแบ่งแหล่งข้อมูลออกเป็น 2 แหล่ง ได้แก่

1. ระบบจุดสำรวจปริมาณจราจร กรมทางหลวง ซึ่งเป็นระบบออนไลน์โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการดาวน์โหลดข้อมูลตามวัน และจุดสำรวจข้อมูลที่ได้วางแผนไว้ ซึ่งข้อมูลที่ได้มานั้นประกอบด้วย อัตราเร็ว (Speed), ปริมาณจราจร (Flow), ระยะเวลาระหว่างยานพาหนะ (Headway), ระยะห่างระหว่างยานพาหนะ (Spacing), ความหนาแน่น (Density), การครอบครองผิวจราจร (Occupancy), ระดับการให้บริการ (Level of Service) และจำนวนยานพาหนะแยกตามประเภทของทุกๆ ระยะเวลา 15 นาที ตลอดทั้งวัน ของช่วงวันที่ 29 - 31 ธันวาคม พ.ศ. 2563 และ 1 - 4 มกราคม พ.ศ. 2564
2. สอบถามโดยตรงจากเจ้าหน้าที่สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง ผู้วิจัยได้ติดต่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมใน

เรื่องของระบบสำรวจปริมาณจราจร และประวัติการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษในช่วงเทศกาลปีใหม่ พ.ศ. 2564 จากเจ้าหน้าที่สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจราจร

ข้อมูลจราจรที่ผู้วิจัยได้รวบรวมมาจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสภาพจราจร โดยเมื่อได้ข้อมูลจราจรที่จำเป็นมาครบถ้วนแล้ว จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเบื้องต้น แล้วจึงนำเอาข้อมูลอัตราเร็ว (Speed) และปริมาณจราจร (Flow) ราย 15 นาทีของแต่ละทิศทางในแต่ละวันมาสร้างกราฟเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและปริมาณจราจรเพื่อนำไปใช้สร้างแบบจำลองสภาพจราจร โดยในการสร้างกราฟจะมีการตัดค่าผิดปกติ (Outlier) และค่าอัตราเร็วที่ต่ำกว่าอัตราเร็วเหมาะสม (Optimum Speed) ออก เพื่อสร้างสมการในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Equation)



รูปที่ 3 การสร้างกราฟเพื่อหาสมการความสัมพันธ์

เมื่อได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว (X) และปริมาณจราจร (Y) ของแต่ละทิศทางในแต่ละวันที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องด้วยการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R²) ว่าสัมพันธ์กับข้อมูลหรือไม่แล้ว ก็จะสามารถสร้างแบบจำลองสภาพจราจร (Traffic Simulation) ได้ โดยสภาพจราจรที่สามารถจำลองขึ้นด้วยแบบจำลองสภาพจราจรจะจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ 1.สภาพจราจรที่ไม่มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ ซึ่งใช้ในกรณีนี้ในสถานการณ์จริงมีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจแล้วต้องการจำลองให้เสมือนไม่มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ และ 2.สภาพจราจรที่มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ ซึ่งใช้ในกรณีนี้ในสถานการณ์จริงไม่มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจแต่ต้องการจำลองให้เสมือนมีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ โดยในการจำลองสภาพจราจรนั้นจะมีการใช้สมมติฐานประกอบการจำลอง ซึ่งสมมติฐานเหล่านี้พื้นฐานอยู่บนหลักการทางวิศวกรรมจราจร การวิเคราะห์ทางสถิติ และการคาดคะเน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เมื่อมีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ ปริมาณจราจร (Flow) ของทิศทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ (Minor Flow Direction) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากสูญเสียช่องทางจราจรไป 1 ช่องทาง สำหรับใช้เป็นช่องทางพิเศษ และปริมาณจราจร (Flow) ของทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูง (Major Flow Direction) จะมีค่าต่ำลงเนื่องจากได้ช่องทางจราจรเพิ่มขึ้นจากการเปิดใช้ช่องทาง

พิเศษ โดยกำหนดให้การเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณจราจร (Flow) มีค่าเท่ากับสัดส่วนของจำนวนช่องจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งปริมาณจราจร (Flow) ที่เปลี่ยนแปลงไปนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$Q_2 = \frac{n_1}{n_2} \times Q_1 \quad (1)$$

โดยที่ Q_1 คือ ปริมาณจราจร (Flow) ต่อหนึ่งช่องจราจร ก่อนมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องจราจร
 Q_2 คือ ปริมาณจราจร (Flow) ต่อหนึ่งช่องจราจร หลังมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องจราจร
 n_1 คือ จำนวนช่องจราจรก่อนมีการเปลี่ยนแปลง
 n_2 คือ จำนวนช่องจราจรหลังมีการเปลี่ยนแปลง

2. ในการจำลองอัตราเร็ว เพื่อให้อัตราเร็วมีความสอดคล้องกับสภาพจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเมื่อมีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษจะใช้ตัวคูณเพิ่มซึ่งมีค่า เท่ากับ 1.09 คูณกับอัตราเร็วของทิศทางที่มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ และใช้ตัวคูณลด 0.99 คูณกับอัตราเร็วของทิศทางที่สูญเสียช่องทางเพื่อนำไปใช้เป็นช่องทางพิเศษ โดยค่าของตัวคูณนี้ได้จากการหาเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของอัตราเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการปรับแก้ปริมาณจราจร (Flow) ดังที่กล่าวในสมมติฐานข้อ 1 โดยข้อมูลอัตราเร็วที่นำมาหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยนี้เป็นข้อมูลของช่วงเทศกาลปีใหม่ พ.ศ. 2564 ในทางกลับกันเมื่อปิดใช้งานช่องทางพิเศษจะใช้ส่วนกลับเป็นตัวคูณปรับแก้
3. ในการจำลองกำหนดให้อัตราเร็วเหมาะสม (Optimum Speed) มีค่าประมาณ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยในส่วนของอัตราเร็วที่มีค่าต่ำกว่า 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะมีการกระจายของข้อมูลสูงมาก จึงทำการแบ่งช่วงอัตราเร็วโดยพิจารณาแบ่งช่วงโดยให้แต่ละช่วงเป็นช่วงที่มีการกระจายตัวของข้อมูลใกล้เคียงกัน แล้วแทนด้วยค่าเฉลี่ยซึ่งคำนวณมาจากการเฉลี่ยอัตราเร็วจากข้อมูลจราจรในช่วงเทศกาลปีใหม่ พ.ศ. 2564 โดยหากอัตราเร็วอยู่ในช่วงระหว่าง 0 - 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะแทนด้วยค่าเฉลี่ยเป็น 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง, ช่วงระหว่าง 20 - 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะแทนด้วยค่าเฉลี่ยเป็น 33 กิโลเมตร/ชั่วโมง และช่วงระหว่าง 40 - 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะแทนด้วยค่าเฉลี่ยเป็น 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง
4. ในการจำลองกำหนดให้อัตราเร็วเฉลี่ยของช่องทางพิเศษลดลง 10% จากอัตราเร็วเฉลี่ยของช่องทางปกติในทิศทางที่มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ เนื่องมาจากพฤติกรรมของผู้ขับขี่ยานพาหนะที่ตอบสนองต่อการขับขี้นช่องทางพิเศษที่ต้องใช้ความระมัดระวังในการขับขี้นช่องทางพิเศษ
5. ในการจำลองกำหนดให้ในการเตรียมการเปิด/ปิดช่องทางพิเศษใช้ระยะเวลา 15 นาที โดยระยะเวลานี้มาจากการ

คาดคะเนระยะเวลาที่เจ้าหน้าที่ตำรวจ และเจ้าหน้าที่แขวงทางจะใช้ในการวางเก็บกรวยจราจรเพื่อกั้นช่องทางพิเศษ โดยในระหว่างนั้นจะไม่มีรถวิ่งในช่องทางพิเศษ

6. ในการจำลองจะใช้ระยะทางที่เปิดใช้งานช่องทางพิเศษมีค่าเท่ากับระยะทางของช่องทางพิเศษที่เจ้าหน้าที่ตำรวจเปิดใช้งานจริงในช่วงเวลานั้นหรือช่วงเวลาที่ใกล้เคียง สมมติฐานเหล่านี้จะนำไปสู่การจำลองสภาพจราจรเพื่อหาผลลัพธ์ซึ่งก็คือสภาพจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษหรือปิดใช้งานช่องทางพิเศษ และประโยชน์ที่ได้จากการใช้งานช่องทางพิเศษ โดยจะสิ่งที่ใช้บ่งชี้ถึงประโยชน์ก็คือเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด (Total Travel Time) ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2)

$$Total Travel Time = \frac{L}{u_{avg}} \times n \quad (2)$$

โดยที่ L คือ ระยะทางที่มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ
 u_{avg} คือ อัตราเร็วเฉลี่ยของทิศทางนั้นที่ได้จากการใช้แบบจำลองสภาพจราจร
 n คือ จำนวนรถในทิศทางนั้น ณ ช่วงเวลาที่จะคำนวณ

โดยเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดนี้จะเป็นสิ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจทางหลวง และใช้ในการศึกษาหาหลักเกณฑ์สำหรับการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษจะถือว่าประสิทธิภาพเมื่อสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดได้

4. การวิเคราะห์ข้อมูลจราจร

4.1 วิเคราะห์ประโยชน์ของการเปิดใช้ช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจ

การวิเคราะห์ประโยชน์ของการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจจะดำเนินการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ระหว่างจากการเปิดใช้ช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจ และจากสถานการณ์จำลองที่ไม่มีเปิดใช้ช่องทางพิเศษโดยจะวิเคราะห์ด้วยการใช้ข้อมูลจราจรของวันตัวอย่าง 2 วัน ในช่วงเทศกาลปีใหม่ พ.ศ. 2564 คือ วันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2563 ซึ่งมีปริมาณการจราจรขาออก จากจังหวัดสระบุรีมุ่งหน้าจังหวัดนครราชสีมาเป็นจำนวนมาก และข้อมูลจราจรของวันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2564 ซึ่งมีปริมาณการจราจรขาเข้า จากจังหวัดนครราชสีมามุ่งหน้าจังหวัดสระบุรีเป็นจำนวนมาก จากการเก็บข้อมูลผ่านระบบจุดสำรวจปริมาณจราจร กรมทางหลวง โดยเลือกใช้ข้อมูลจากจุดสำรวจ PER-4-002 ตั้งอยู่ในพื้นที่ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ลักษณะถนนในบริเวณจุดสำรวจเป็นถนนขนาด 6 ช่องจราจร (ทิศทางละ 3 ช่องจราจร) โดยจะนำข้อมูลจราจรมาทำแบบจำลองสภาพจราจรเพื่อจำลองสถานการณ์ที่ไม่มีการใช้งานช่องทางพิเศษ และประมวลผลเพื่อหาผลลัพธ์ที่ได้จากการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจด้วยขั้นตอนดังที่กล่าวในหัวข้อ 3.3 โดยจากผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถสรุปได้ว่าการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ

โดยเจ้าหน้าที่ตำรวจนั้นมีส่วนช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด (Total Travel Time) สำหรับการจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูง ได้แก่ ทิศทางขาออกในวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2563 และทิศทางขาเข้าในวันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2564 ในขณะที่เดียวกันก็ส่งผลกระทบต่อให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด (Total Travel Time) ของการจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรต่ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากการที่ต้องสูญเสียช่องจราจรไป 1 ช่องจราจร เพื่อใช้เป็นช่องทางพิเศษ ดังนั้นการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษของเจ้าหน้าที่ตำรวจมีประสิทธิภาพในการช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด และมีประโยชน์เมื่อเทียบกับการไม่เปิดใช้งานช่องทางพิเศษ

4.2 การหาหลักเกณฑ์ในการใช้งานช่องทางพิเศษ

ในการหาหลักเกณฑ์ในการใช้งานช่องทางพิเศษที่เหมาะสมนั้นจะพัฒนาจากข้อมูลจราจรของวันตัวอย่าง 2 วัน คือ วันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2563 และ วันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2564 ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาณจราจรในทิศทางขาออกมาก และเป็นวันที่มีปริมาณจราจรในทิศทางขาเข้ามากตามลำดับ โดยเริ่มจากการหาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ โดยพิจารณาความเหมาะสมด้วยการกำหนดว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษคือช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดแล้วก็จะพิจารณาว่าช่วงเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด (Total Travel Time) ได้สูงสุด โดยจะทำการหาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดนี้ด้วยแบบจำลองสภาพจราจร จากนั้นเมื่อทราบถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดแล้วก็จะพิจารณาค่าของตัวแปรจราจรต่างๆ ในช่วงก่อน, ระหว่าง และหลังช่วงที่เหมาะสมที่สุด เพื่อจะนำมาสู่การหาหลักเกณฑ์ในการใช้งานช่องทางพิเศษ โดยจะพิจารณาหาตัวแปรที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นเกณฑ์ ซึ่งจะได้ว่า อัตราเร็วและอัตราส่วนปริมาณจราจรของทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูง (Major Flow Direction) ต่อทิศทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ (Minor Flow Direction) เป็นตัวแปรที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นเกณฑ์ จากนั้นจึงทดลองตั้งเกณฑ์จากตัวแปรทั้งสองแล้วนำไปทดสอบโดยเป็นไปในลักษณะของการลองผิดลองถูก (trial and error) โดยจะพิจารณาแยกเป็นหลักเกณฑ์ในการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ และหลักเกณฑ์ในการปิดช่องทางพิเศษ โดยหลักเกณฑ์ในการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษที่นำไปทดสอบแล้วพบว่ามีความเหมาะสม ได้แก่ 1.เปิดใช้งานช่องทางพิเศษเมื่ออัตราเร็วเฉลี่ยของการจราจรมีค่าต่ำกว่า 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง 2.เปิดใช้งานช่องทางพิเศษเมื่ออัตราส่วนของปริมาณจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูงต่อปริมาณจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ มีค่าตั้งแต่ 2 ขึ้นไป และ 3.ใช้เกณฑ์ข้อ 1 และ 2 ร่วมกัน ในส่วนของหลักเกณฑ์ในการปิดช่องทางพิเศษที่นำไปทดสอบแล้วพบว่ามีความเหมาะสม ได้แก่ 1.ปิดใช้งานช่องทางพิเศษเมื่ออัตราเร็วเฉลี่ยของการจราจรมีค่าสูงกว่า 70 กิโลเมตร/ชั่วโมง 2.ปิดใช้งานช่องทางพิเศษเมื่ออัตราส่วนของปริมาณจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูงต่อปริมาณจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ มีค่าต่ำกว่า 2 และ 3.ใช้เกณฑ์ข้อ 1 และ 2 ร่วมกัน

เมื่อทราบหลักเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานแล้วจึงนำเอาหลักเกณฑ์เหล่านี้มาวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อหาหลักเกณฑ์ในการเปิดและปิดใช้งานช่องทางพิเศษที่เหมาะสมที่สุด โดยจะทำการจับคู่หลักเกณฑ์ในการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษแต่ละข้อกับหลักเกณฑ์ใน

การปิดใช้งานช่องทางพิเศษแต่ละข้อแล้วจึงใช้แบบจำลองสภาพจราจรวิเคราะห์โดยพิจารณาว่าสิ่งที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของหลักเกณฑ์คือระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง (Total Travel Time) ที่สามารถลดลงไปได้ต่อการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษหนึ่งชั่วโมง ซึ่งจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแต่ละคู่หลักเกณฑ์จะได้ผลว่าการใช้หลักเกณฑ์ในการเปิดข้อที่ 1 ร่วมกับหลักเกณฑ์ในการปิดข้อที่ 1 และการใช้หลักเกณฑ์ในการเปิดข้อที่ 3 ร่วมกับหลักเกณฑ์ในการปิดข้อที่ 1 นั้นมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันและมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับคู่หลักเกณฑ์อื่นๆ แต่หากพิจารณาที่ใช้หลักเกณฑ์ในการเปิดข้อที่ 3 ร่วมกับหลักเกณฑ์ในการปิดข้อที่ 1 นั้นจะสังเกตได้ว่าการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษนั้นจะพิจารณาถึงตัวแปร 2 ตัว ได้แก่ อัตราเร็วเฉลี่ยและอัตราส่วนปริมาณจราจร ในขณะที่การใช้หลักเกณฑ์ในการเปิดข้อที่ 1 ร่วมกับหลักเกณฑ์ในการปิดข้อที่ 1 นั้นในการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษจะพิจารณาอัตราเร็วเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว โดยการพิจารณาอัตราเร็วเฉลี่ยร่วมกับอัตราส่วนปริมาณจราจรนั้นจะทำให้หลักเกณฑ์มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานจริงมากขึ้นเนื่องจากการพิจารณาตัวแปร 2 ตัวร่วมกันจะสามารถช่วยป้องกันความผิดพลาดที่เกิดจากความแปรปรวนของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งได้ ในขณะที่การพิจารณาเฉพาะอัตราเร็วเฉลี่ยนั้นหากอัตราเร็วเฉลี่ยมีความแปรปรวนก็อาจจะส่งผลให้เกิดการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษที่ไม่เหมาะสมได้

ดังนั้นจะสามารถสรุปได้ว่าหลักเกณฑ์ในการเปิดและปิดใช้งานช่องทางพิเศษที่มีประสิทธิภาพสูงสุดที่พัฒนามาจากข้อมูลจราจรของวันตัวอย่าง 2 วัน คือ

1. เปิดใช้งานช่องทางพิเศษเมื่ออัตราเร็วเฉลี่ยของการจราจรมีค่าต่ำกว่า 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง และอัตราส่วนของปริมาณจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูงต่อปริมาณจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ มีค่าตั้งแต่ 2 ขึ้นไป
2. ปิดใช้งานช่องทางพิเศษเมื่ออัตราเร็วเฉลี่ยของการจราจรมีค่าสูงกว่า 70 กิโลเมตร/ชั่วโมง

5. การทดสอบประสิทธิภาพของหลักเกณฑ์

เมื่อได้หลักเกณฑ์ในการเปิดและปิดใช้งานช่องทางพิเศษที่พัฒนามาจากข้อมูลของวันตัวอย่างทั้ง 2 วัน แล้วจะนำหลักเกณฑ์นั้นมาประยุกต์ใช้กับวันอื่นๆ ในช่วงเทศกาลปีใหม่ พ.ศ. 2564 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของหลักเกณฑ์ โดยจะหาผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้หลักเกณฑ์ด้วยแบบจำลองสภาพจราจรที่มีพื้นฐานข้อมูลจราจรมาจากข้อมูลของจุดสำรวจ PER-4-002 ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา และจุดสำรวจ PER-4-003 ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ ต.ลาดบัวขาว อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา โดยจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสภาพจราจรจะได้ผลว่าการใช้งานช่องทางพิเศษด้วยหลักเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีประสิทธิภาพ สามารถทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีกับวันอื่นๆ ในช่วงเทศกาลปีใหม่ พ.ศ. 2564 ด้วยเช่นกัน โดยทำให้อัตราเร็วเฉลี่ยของทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูงในบริเวณทั้ง 2 จุดสำรวจ เพิ่มขึ้นแม้จะแลกมาด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยที่ลดลงของทิศทางที่มีปริมาณจราจรต่ำแต่ก็ลดลงเพียงเล็กน้อย และสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด (Total Travel Time) ในทุกวันที่มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด (Total

Travel Time) ที่ลดลงไปได้จากการประยุกต์ใช้หลักเกณฑ์แสดงดังใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดที่ลดลงไปได้

วันที่	Total Travel Time Saved (นาที)	
	PER-4-002	PER-4-003
29 ธ.ค.	142,645	3,984
30 ธ.ค.	106,022	20,848
31 ธ.ค.	31,517	7,669
1 ม.ค.	3,258	ไม่มีการเปิด
2 ม.ค.	176,588	199,130
3 ม.ค.	252,162	2,868,025
4 ม.ค.	1,815	346,141

นอกจากนี้เมื่อนำประโยชน์ที่ได้จากการใช้หลักเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมาขึ้นไปเปรียบเทียบกับประโยชน์ที่ได้จากการเปิดใช้ช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่ในแต่ละวัน จะพบว่าการใช้หลักเกณฑ์ยังเกิดประโยชน์ค่อนข้างสูงกว่าประโยชน์ที่ได้รับจากการเปิดใช้ช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่อีกด้วย

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาที่ได้กล่าวไปข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้งานช่องทางพิเศษบนทางหลวงหมายเลข 2 ช่วง อ.เมืองสระบุรี จ.สระบุรี - อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา ซึ่งรับผิดชอบโดยตำรวจทางหลวงและแขวงทางหลวงในพื้นที่ โดยที่ผ่านมามีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษเป็นประจำในช่วงเทศกาลที่มีวันหยุดยาว จากการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานที่ผ่านมาด้วยการทำแบบจำลองสภาพจราจรเปรียบเทียบสถานการณ์จริงที่มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจกับสถานการณ์จำลองที่ไม่มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษโดยมีพื้นฐานอยู่บนข้อมูลช่วงเทศกาลปีใหม่ พ.ศ. 2564 พบว่าการดำเนินงานเปิดใช้งานช่องทางพิเศษโดยเจ้าหน้าที่ตำรวจนั้นก่อให้เกิดประโยชน์โดยสามารถช่วยลดระยะเวลาในการเดินทาง และสามารถช่วยเพิ่มอัตราเร็วได้

ผู้วิจัยยังได้ศึกษาหาหลักเกณฑ์สำหรับการใช้งานช่องทางพิเศษที่มีประสิทธิภาพสูงสุดด้วยการทำแบบจำลองสภาพจราจรโดยมีพื้นฐานอยู่บนข้อมูลช่วงเทศกาลปีใหม่ พ.ศ. 2564 โดยเริ่มจากการหาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษของวันตัวอย่างสองวัน ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาณจราจรในทิศทางขาออกมากหนึ่งวัน และอีกหนึ่งวันเป็นวันที่มีปริมาณจราจรในทิศทางขาเข้ามาก เมื่อได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดแล้วจึงได้ทดลองตั้งหลักเกณฑ์ที่สอดคล้องกับสภาพจราจรในช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษได้ในช่วงเวลาที่เหมาะสมซึ่งจะเป็นการเปิดใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด หลังจากได้หลักเกณฑ์ในการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษที่พัฒนาขึ้นมาจากวันตัวอย่างทั้งสองวันแล้วจึงได้นำไปทดสอบกับวันอื่นๆในช่วงเทศกาลปีใหม่ จากผลการทดสอบพบว่าหลักเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมาจากวันตัวอย่างทั้งสองวันนั้นใช้ได้ดีกับวันอื่นๆ

เพราะฉะนั้นจึงสามารถกำหนดหลักเกณฑ์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการใช้งานช่องทางพิเศษอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดได้ โดยกำหนดให้มีการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษเมื่ออัตราเร็วเฉลี่ยของการจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูงมีค่าต่ำกว่า 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง และมีอัตราส่วนของปริมาณจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูงต่อปริมาณจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรต่ำ มีค่าตั้งแต่ 2 ขึ้นไป และกำหนดให้มีการปิดใช้งานช่องทางพิเศษเมื่ออัตราเร็วเฉลี่ยของการจราจรในทิศทางที่มีปริมาณจราจรสูงมีค่าสูงกว่า 70 กิโลเมตร/ชั่วโมง

แม้ว่างานวิจัยนี้จะสามารถดำเนินการได้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามยังคงมีประเด็นบางประการที่ควรนำมาพิจารณาเพื่อใช้ปรับปรุงการพัฒนาแบบจำลองเพื่อให้ได้สภาพจราจรจากการจำลองที่สามารถสะท้อนถึงความเป็นจริงมากที่สุด และสามารถนำไปพัฒนาหลักเกณฑ์ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น หากในอนาคตมีการเพิ่มจำนวนจุดสำรวจของระบบสำรวจปริมาณจราจรก็จะทำให้การวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากมีจำนวนฐานข้อมูลมากขึ้น หรือพิจารณาถึงผลกระทบของการเปิดใช้งานช่องทางพิเศษในระดับจุลภาค เช่น การเกิดแถวคอยบริเวณจุดเปลี่ยนผ่านระหว่างช่องทางปกติกับช่องทางพิเศษ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักผู้อำนวยการความปลอดภัย กรมทางหลวง ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลจราจรซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (Green Book), 4th ed. Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001.
- [2] Institute of Transportation Engineers, Traffic Engineering Handbook, 5th ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1999.
- [3] Guebert, A. A., Carroll, D., Weston, B., and Kinnecom, D. Guidelines for the Planning Design, Operation and Evaluation of Reversible Lane Systems, pp. 1-28, 2010.
- [4] Transportation Research Board, Convertible Roadways and Lanes: A Synthesis of Highway Practice (Synthesis 340), pp. 69-92, 2004.
- [5] ตำรวจทางหลวงนครราชสีมา. การเปิดช่องทางพิเศษ กม.100-86 [ออนไลน์]. 2564. แหล่งที่มา: <https://www.facebook.com/167476530632876/posts/699933074053883/?d=n>. [6 มกราคม 2564]
- [6] Google.co.th, ภาพแผนที่ทางหลวงหมายเลข 2 ช่วง อ.เมืองสระบุรี จ.สระบุรี ถึง อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา. [ออนไลน์]. 2564. แหล่งที่มา: www.google.co.th/maps. [20 เมษายน 2564]