การแก้ไขปัญหาจราจรบนทางหลวงหมายเลข 2 (บริเวณสี่แยกต้นตาล-สี่แยกโรงพยาบาลพล)
THE SOLUTION OF TRAFFIC PROBLEM ON HIGHWAY 2 CASE STUDY: PHOL, KHONKARN (TONTAN INTERSECTION - PHON HOSPITAL INTERSECTION)

นายธวัช ภู่เจริญโภคา[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วินัย รักสุนทร[1]
[1]วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี
**Corresponding author address: thawachpj@gmail.com*

บทคัดย่อ

ผลงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการแก้ไขปัญหาจราจรติดขัด และติดสะสมบนทางหลวงหมายเลข 2 (ช่วงอำเภอพล จังหวัดขอนแก่น) บริเวณสี่แยกต้นตาล สี่แยกอำเภอพล และสี่แยกโรงพยาบาลพล ซึ่งเป็นเส้นทางหลักในการเดินทางไปยังจังหวัดต่าง ๆในภาคอีสานทำให้มีความต้องการใช้เส้นทางเดินทางนี้สูงมาก ส่งผลให้เกิดการจราจรติดขัดสะสมเป็นระยะทางยาว 1.257 กิโลเมตร จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลภาคพบว่าปัญหาจราจรติดขัดและติดสะสม เกิดจาก 2 ปัจจัย คือ 1.) ปริมาณจราจรที่หนาแน่น 2.) ปริมาณรถโดยสารและรถบรรทุกสินค้า (6 ล้อขึ้นไป) ที่หนาแน่น ทั้งยังใช้ช่องจราจรในการเดินทางทั้ง 2 ช่องจราจร ในการวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบแต่ล่ะแนวทางการแก้ไขพบว่า การเพิ่มจำนวนช่องจราจรเป็น 3 ช่องจราจรตามรูปแบบที่ 3 จะพบว่ามีจำนวนความยาวแถวคอย เวลาที่ใช้ในการเดินทาง และความล่าช้าในการเดินทางมีค่าลดลงทั้งหมด เมื่อเทียบกับสภาพจราจรที่ใช้สัญญาณไฟ และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่วิจัยในปัจจุบัน โดยมีเวลาในการเดินทางลดลงไป 224.81 วินาที/คัน คิดเป็น 61% ความล่าช้าในการเดินทางลดลงจากเดิม 225.21 วินาที/คัน คิดเป็น 75% และมีความเร็วเพิ่มขึ้นจากเดิม 11.91 กิโลเมตร/ชั่วโมง คิดเป็น 61%

คำสำคัญ : สี่แยก,แบบจำลองจราจร,การจราจรติดขัด,ปัญหาจราจรจรติดขัด

Abstract

The objective of this research is to solve the problem of traffic congestion. And accumulated on Highway 2 (Phon District, Khon Kaen Province) around Ton Tan intersection Phon District Intersection And the intersection of Phon Hospital Which is the main route to travel to other provinces in the northeast, there is a high demand for this route. Resulting in cumulative traffic congestion for a distance of 1.257 kilometers. From the study and collecting regional data, it was found that traffic congestion problems and cumulative congestion were caused by 2 factors: 1.) Traffic congestion 2.) Heavy volume of buses and trucks (6 wheels or more) It also uses traffic lanes to travel in both traffic lanes. In this research, analyzes and comparisons were analyzed and compared, but each solution was found. Increasing the number of lanes to 3 lanes according to pattern 3, it was found that the number of queuing lengths Travel time and travel delays have all been reduced. compared to traffic conditions that use light signals and physical characteristics of the current research area The travel time was reduced by 224.81 seconds/vehicle or 61%, the travel delay was reduced from 225.21 seconds/ vehicle or 75%, and the speed increased from 11.91 km/h or 61%.

Keywords: intersection, traffic model, traffic jam

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาการจราจรติดขัดและติดสะสมในประเทศไทยเป็นหนึ่งปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อเวลาในการเดินทางที่ใช้มากเกินจำเป็นทั้งยังส่งผลเสียต่าง ๆ เช่น ก่อให้เกิดฝุ่นละอองและควันพิษจากท่อไอเสียของยานพหนะ มลภาวะทางเสียง ล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น ปัญหาการจราจรติดขัดและติดสะสมมักจะเกิดตามเส้นทางสำคัญต่าง ๆ เช่น ทางสัญจรในช่วงเทศกาล อาทิ ถนนสายหลักที่เชื่อมไปภูมิภาคต่าง ๆของประเทศไทย ได้แก่ ทางหลวงหมายเลข 1 (ถนนพหลโยธิน) เป็นเส้นทางหลักที่เดินทางไปยังภาคเหนือเริ่มต้นที่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ ทางหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) เป็นเส้นทางหลักที่เดินทางไปยังภาคอีสานโดยแยกมาจากถนนพหลโยธินที่จังหวัดสระบุรี ทางหลวงหมายเลข 3 (ถนนสุขุมวิท) เป็นเส้นทางหลักที่เดินทางไปยังภาคตะวันออกเริ่มต้นที่กรุงเทพมหานครฯ และทางหลวงหมายเลข 4 (ถนนเพชรเกษม) เป็นเส้นทางหลักที่เดินทางไปยังภาคใต้เริ่มต้นที่เชิงสะพานแนวจำเนียร เขตบางกอกใหญ่

ปัจจุบันในช่วงเทศกาลต่าง ๆ การจราจรที่ทางหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) ช่วงสี่แยกต้นตาล (กม.ที่ 262+632) สี่แยกเมืองพล (กม.ที่263+382) และสี่แยกโรงพยาบาลเมืองพล (กม.ที่ 263+733) อำเภอเมืองพล จังหวัดขอนแก่น ประสบกับปัญหาจราจรติดขัดและติดสะสมในชั่วโมงเร่งด่วน และวันหยุดสั้นเนื่องจากเป็นเส้นทางหลักในการเชื่อมต่อไปยังจังหวัดต่าง ๆ ในภาค

อีสาน ทำให้มีผู้ใช้เส้นทางนี้สัญจรเป็นจำนวนมาก และเนื่องด้วยทั้งแยกต้นตาล (กม.ที่ 262+632) สี่แยกเมืองพล (กม.ที่263+382) และสี่แยกโรงพยาบาลเมืองพล (กม.ที่263+733) เป็นสี่แยกที่อยู่ใกล้กัน ทั้งยังมีรถโดยสารขนาดใหญ่ รถบรรทุก และรถพ่วงจำนวนมาก เมื่อติดสัญญาณไฟจะทำการออกตัวช้าส่งผลให้การเคลื่อนตัวของจราจรช้าลงอย่างมากจึงไม่สามารถใช้ความเร็วตามแบบมาตรฐานได้ที่ควรจะเป็นตามที่ถนนสามารถรองรับได้

ดังนั้น เพื่อให้การจราจรบนถนนทางหลวงหมายเลข 2 ช่วงสี่แยกต้นตาล (กม.ที่ 262+632) สี่แยกเมืองพล (กม.ที่263+382) และสี่แยกโรงพยาบาลเมืองพล (กม.ที่263+733) อำเภอเมืองพล จังหวัดขอนแก่นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสาเหตุของปัญหาจราจร และสำรวจปริมาณจราจรบริเวณดังกล่าว เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และหาแนวทางการแก้ไขการจราจรในระยะยาวโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรเพื่อใช้เป็นแนวทางการในจัดการระบบจราจร เพื่อให้รองรับการเดินทางของผู้สัญจรไป-กลับ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคของสามทางแยกบนทางหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) ช่วงระหว่างสี่แยกต้นตาล (กม. 262+632) ถึงสี่แยกโรงพยาบาลเมืองพล (กม. 263+733) อำเภอเมืองพล จังหวัดขอนแก่น

2. เพื่อศึกษาหาและเสนอแนะแนวทางการจัดการจราจรทางแยกบนทางหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) ช่วงระหว่างสี่แยกต้นตาล (กม. 262+632) ถึงสี่แยกโรงพยาบาลเมืองพล (กม.263+733) ที่เป็นพื้นที่วิจัย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ดำเนินการสำรวจบนบนทางหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) ช่วงระหว่างสี่แยกต้นตาล (กม. 262+632) ถึงสี่แยกโรงพยาบาลเมืองพล (กม.263+733)ระยะทางที่ทำวิจัย1.5 กิโลเมตร ดังภาพที่ 1 โดยผู้วิจัยได้ทำการสำรวจเก็บข้อมูล วันที่ 12 กรกฎาคม 2562 ช่วงเวลา 08:00 น. ถึง เวลา 18:00 น.

ภาพที่ 1 ภาพแสดงขอบเขตการวิจัย

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิเคราะห์ถึงปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาจราจรดังกล่าวผู้วิจัยได้ศึกษาอ้างอิง บทความ ทฤษฎีและวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ทราบถึงแนวทางแก้ไขปัญหาจราจรบนหลวงหมายเลข 2 (ถนน-มิตรภาพ) รายละเอียดทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาจราจรมีดังต่อไปนี้

2.1 ปริมาณจราจร (Traffic Volume)

Highway Capacity Manual (2010) [6] ปริมาณจราจร หมายถึง จำนวนยวดยานที่เคลื่อนผ่านตำแหน่งอ้างอิงบนถนน ช่องจราจร หรือทิศทางจราจรในช่วงเวลาที่กำหนด โดยทั่วไปมีหน่วยเป็น คันต่อหน่วยเวลา เช่น คันต่อวัน หรือคันต่อชั่วโมง เป็นต้น

อัตราการไหล หมายถึง อัตราเทียบเท่าในหน่วยชั่วโมงที่ยานพาหนะสามารถผ่าน ตำแหน่งใด ๆ บนช่องจราจรหรือผ่านหน้าตัดของถนนที่พิจารณาในหน่วยเวลาใด ๆ

ตัวประกอบชั่วโมงสูงสุด หมายถึง ค่าที่แสดงถึงการกระจายของปริมาณการจราจร ในชั่วโมงเร่งด่วน โดยทั่วไปช่วงเวลามาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์จะใช้เวลา 15 นาที การหาค่าตัวประกอบชั่วโมงสูงสุด แสดงสมการได้ดังนี้

$$PHF = \frac{V}{4x\,V_{15}} \quad (1)$$

โดยที่ PHF หมายถึง ตัวประกอบชั่วโมงสูงสุด
V หมายถึง จำนวณยานพาหนะทั้งหมดในหนึ่งชั่วโมง
V_{15} หมายถึง จำนวนยานพาหนะสูงสุดในช่วงเวลา15นาที

ความหนาแน่น หมายถึง การวัดปริมาณของยานพาหนะในช่วงความยาวถนนใด ๆ มีหน่วยเป็นจำนวนคันต่อกิโลเมตร ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$D = \frac{V}{S} \quad (2)$$

โดยที่ D หมายถึง ความหนาแน่น
V หมายถึง อัตราการไหลของปริมาณจราจร
S หมายถึง ความเร็ว

สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์ (2551) [4] ได้กล่าวว่าความเร็วเฉลี่ยสามารถคำนวณหาได้ 2 วิธี และให้ค่าที่แตกต่างกัน ได้แก่ Time mean speed คือ ค่าเฉลี่ยความเร็วของยวดยานทั้งหมดที่วิ่งผ่านตำแหน่งใดๆ บนถนนหรือช่องจราจรในช่วงเวลาที่กำหนดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ และ Space mean speed คือ ค่าเฉลี่ยความเร็วของยวดยานทั้งหมดที่ครอบครองช่วงถนนที่พิจารณาในช่วงเวลาที่กำหนดสามารถคำนวณได้จากสมการที่

$$TMS = \frac{\sum_i \frac{d}{t_i}}{n} \quad (3)$$

$$SMS = \frac{d}{\frac{\sum_i t_i}{n}} = \frac{nd}{\sum_i t_i} \quad (4)$$

โดยที่ TMS = ค่าเฉลี่ยความเร็วของยวดยานทั้งหมดที่วิ่งผ่านตำแหน่งใดๆ บนถนนหรือช่องจราจรในช่วงเวลาที่กำหนด
SMS = ค่าเฉลี่ยความเร็วของยวดยานทั้งหมดที่ครอบครองช่วงถนนที่พิจารณาในช่วงเวลาที่กำหนด
n = จำนวนข้อมูลเวลาในการเดินทางที่สังเกตได้
d = ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ หน่วย ไมล์ (mi) กิโลเมตร (km) หรือฟุต (f)
t_i = เวลาที่ใช้ในการเดินทางของยวดยานคันที่ i หน่วย ชั่วโมง (h) หรือ วินาที (s)

ปริมาณจราจรในหน่วยคันต่อชั่วโมงของยานยนต์ประเภทต่างๆ มาปรับเทียบให้เป็นหน่วยเดียวกันกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (PCU/ชั่วโมง) โดยใช้ค่า Passenger Car Equivalent (PCE) ตามข้อกาหนดของคณะกรรมการวิจัยและศึกษาการขนส่งและการจราจรแห่งสหรัฐอเมริกา (United States of Transportation Research Board) ดังตารางที่ 1

ตารางที่1 แสดงหน่วยเปรียบเทียบรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

ประเภทของรถ	PCU
รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน	1
รถโดยสารขนาเล็ก	1.5
รถโดยสารขนาดกลาง	1.5
รถโดยสารขนาดใหญ่	2.1
รถบรรทุก 4 ล้อ	1
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.1
รถบรรทุก 10 ล้อ	2.5
รถบรรทุกพ่วง	2.5
รถบรรทุกกึ่งพ่วงง	2.5
รถจักรยานยนต์	0.333

ที่มา :สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง

2.2 ความยาวคอยแถว (Queue Length)

ความยาวคอยแถว หมายถึง ความยาวที่เกิดจากจำนวนยานพาหนะเข้ามาใช้บริการกำลังคอยเพื่อใช้บริการ โดยทั่วไปมีหน่วยเป็นจำนวนคัน หรือเมตร ซึ่งความยาวแถวคอยเป็นดัชนีที่สำคัญที่บอกถึงสภาพของความติดขัดของกระแสจราจรที่เกิดขึ้น แสดงถึงสภาพความติดขัดในสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น บนทางแยกที่มีหรือไม่มีสัญญาณไฟจราจร

Adolf D. May [7]ได้กล่าวว่าความต้องการเกินขีดความสามารถในการรับรถในช่วงเวลาหนึ่งหรือปริมาณรถที่เข้ามามากกว่าปริมาณรถที่ออกไป (ระดับจุลภาค) ณ ตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจง ทำให้เกิดแถวคอยขึ้น ซึ่งแถวคอยอาจจะอยู่ในรูปแบบที่เคลื่อนไหวหรือหยุดนิ่งยานพาหนะส่วนเกินจะเก็บไว้เหนือต้นน้ำของคอขวดหรือพื้นที่ให้บริการและการเดินทางของยานพาหนะเหล่านั้นจะล่าช้าไปในช่วงเวลาต่อมา ตัวอย่างกระบวนการเข้าคิวในระบบทางหลวง เช่น การรอเสียค่าที่จอดรถ ,สิ่งกีดขวางบนทางด่วน, สถานที่รถมารวมกัน การจัดการการขนส่งมีแถวคอยเข้ามาเกี่ยวข้องทั้งหมด มีกระบวนการเข้าคิวสองแบบ คือ Shock wave analysis (การวิเคราะห์คลื่นช็อก) และQueuing analysis (การวิเคราะห์แถวคอย) ความต้องการนำเข้าข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แถวคอยประกอบด้วย องค์ประกอบ 5 อย่าง คือ 1. Mean arrival value (ค่าเฉลี่ยในการเข้าถึง) 2. Arrival distribution (การกระจายการเข้าถึง) 3. Mean service value (ค่าเฉลี่ยการบริการ) 4. Service distribution (การบริการกระจาย) 5. Queue discipline (วินัยในแถวคอย)

2.3 โปรแกรมแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค

การจำลองเป็นการจัดการแบบจำลองในลักษณะที่จะดำเนินการในเวลา หรือพื้นที่ที่จะบีบอัด ทำให้สามารถรับรู้ปฏิสัมพันธ์ที่ไม่เป็นไปตามที่เห็นได้ชัด เพราะมีการแยกการจำลองในเวลาหรือระยะห่างและการจำลองกระแสการจราจรแยกออกเป็น

2 วิธี คือ กระแสจราจรแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ซึ่งระดับจุลภาคจะทำนายสถานะของยานพาหนะแต่ละคันอย่างต่อเนื่อง หรือพลการ และมุ่งเน้นไปที่ความเร็วและตำแหน่งของยานพาหนะแต่ละคัน

Timothy Oketch and Marzenna Carrick.[8] ได้ศึกษาการสอบเทียบและการตรวจสอบความถูกต้องเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการจำลองเสมือนจริงซึ่งทำให้แน่ใจได้ถึงความมั่นใจในผลลัพธ์ของแบบจำลอง เนื่องจากรูปแบบการสุ่มตัวอย่างของสภาพการจราจรจึงเป็นที่คาดการณ์เสมอว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบระหว่างแบบจำลองและข้อมูลที่สังเกตได้และความรับผิดชอบเมื่อผู้ใช้แบบจำลองสร้างระดับความน่าเชื่อถือที่ต้องการและความพยายามในการตรวจสอบเพื่อให้บรรลุกระบวนการสอบเทียบสำหรับแบบจำลอง Paramics ทำตามขั้นตอนโดยใช้กระบวนการสองขั้นตอนประกอบด้วย การครอบคลุมการตรวจสอบการป้อนข้อมูลอย่างละเอียด และเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่สังเกตเห็นได้ โดยทั่ว ไปใช้ค่า GEH static ในการเปรียบเทียบปริมาณการจราจรรายชั่วโมงเท่านั้นและสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการดังนี้

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (4)$$

โดยที่ M หมายถึง ปริมาณจราจรที่ได้จากแบบจำลอง (คันต่อชั่วโมง)

C หมายถึง ปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจ (คันต่อชั่วโมง)

ค่า GEH เป็นตัวชี้ความสอดคล้องระหว่างปริมาณจราจรที่ได้จากแบบจำลอง และจากการสำรวจข้อมูลจากภาคสนามจริงให้มีค่าไกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งสามารถประมาณผลได้ดังนี้

1. GEH < 5 หมายถึง ปริมาณจราจรที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลองมีความสอดคล้องกับข้อมูลในภาคสนามเป็นที่ยอมรับได้ หรืออาจตกลงได้
2. 5 >GEH< 10 หมายถึง ปริมาณจราจรที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลอง ต้องปรับเทียบกับข้อมูลในภาคสนามใหม่อีกครั้งข้อควรระวังในข้อผิดพลาดของรูปแบบหรือข้อมูลที่ถูกต้อง
3. GEH > 10 หมายถึง ปริมาณจราจรที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลองไม่มีความสอดคล้องกับผลการสำรวจจริงในภาคสนามการสร้างแบบจำลองอาจผิดพลาดหรือข้อมูลไม่ถูกต้อง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายสุรเดช อูมาร์ (2015) [2] ทำการวิเคราะห์การแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดบนทางหลวงแผ่นดินกรณีศึกษาทางหลวงหมายเลข 3214 ช่วงระหว่างทางหลวงพิเศษหมายเลข 9 เนื่องจากทางหลวงดังกล่าวเป็นเส้นทางหลักสำคัญสำหรับการต้องจัดการจราจร เพราะทางหลวงดังกล่าวผ่านพื้นที่ชุมชนขนาดใหญ่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก ทำให้มีการจรจราจรหนาแน่นจรเข้าไกล้สภาพวิกฤต ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการใช้โปรแกรม VISSIM ในการวิเคราะห์สภาพจราจรในรูปแบบจำลองระดับจุลภาค (Micro-simulation Model) ผลจากการทดสอบเทียบโดยการใช้โปรแกรมและสภาพจริง ปรากฏว่าความยาวแถวคอยสูงสุดและระยะเวลาเดินทางลดลง ตั้งแต่ร้อยละ 55.1 ถึง 64.9 และร้อยละ 57.5 ถึง 79.7 ตามลำดับ และได้เสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยอ้างอิงจากแบบจำลองที่ได้จากการใช้โปรแกรมจำลอง จึงได้เสนอแนวทางการแก้ไขทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยการแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดในระยะสั้นด้วยการปรับรูปแบบทางด่วนต่างระดับบางขันในทิศทางมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์มุ่งหน้าทางหลวงพิเศษหมายเลข 9 ซึ่งจากเดิมเป็นแบบที่มีการไขว้กระแสจราจร เป็นทางต่างระดับที่มีทางเข้าเพียงทางเดียว อีกทั้งเพิ่มความเข้มงวดกับการจัดการและการใช้กฎจราจรบริเวณฝั่งตรงข้ามมหาวิทยาลัย สำหรับการแก้ไขปัญหาในระยะยาวนั้น จะเป็นการปรับรูปแบบการจัดการการจราจรบริเวณทางแยก พร้อมทั้งสร้างสะพานข้ามทางแยกเพื่อลดปัญหาการจราจรติดขัดบนทางแยก รวมทั้งปรับเปลี่ยนรูปแบบทางกายภาพของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3214 ตั้งแต่กิโลเมตรที่ 2+000 ถึงทางต่างระดับบางขันให้เป็นแบบมีทางคู่ขนาน ผลลัพธ์ทำสภาพจราจรโดยรวมดีขึ้น

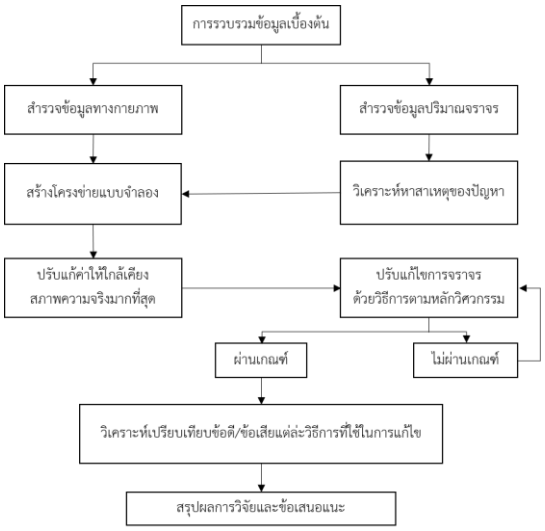
ณรงค์ยศ ดีสีปาน (2557) [1] การแก้ปัญหาการจราจรติดขัดบนทางหลวงหมายเลข 1 บริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรมนวนคร เสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดทั้งในระยะสั้นและระยะยาวโดยใช้โปรแกรมแบบจำลองการจราจร (AIMSUN 6.1) จากการศึกษาพบสาเหตุของปัญหา ได้แก่ (1) ปัญหาด้านลักษณะทางกายภาพของถนน, (2) ปัญหาด้านการจัดการจราจร, (3) ปัญหาจากการฝ่าฝืนกฎจราจร การแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดในระยะสั้นโดยให้จัดเจ้าหน้าที่คอยอำนวยความสะดวกในช่วงเวลาเร่งด่วน พร้อมทั้งบังคับใช้กฎหมายอย่างจริงจัง และให้มีขยายความยาวของป้ายรถประจำทางให้มีความยาวเพียงพอ สำหรับการแก้ไขในระยะยาวนั้นมีแนวทางดังนี้ (1) ปรับปรุงรัศมีเลี้ยว เนื่องจากมีปริมาณรถบรรทุกจำนวนมากเพิ่มความคล่องตัว, (2) การจัดการจราจรบริเวณจุดรับ-ส่งผู้โดยสาร โดยทำช่องจราจรสำหรับจอดรถโดยสารเพิ่มเติม, (3) จัดการจราจรบริเวณทางเข้า-ออกถนนนวนคร 5 โดยการปิดทางออกทางคู่ขนาน เพื่อลดการตัดกระแสจราจร และอุบัติเหตุ, (4) ปรับปรุงจุดขึ้นและจุดลงสะพานเชื่อมทางออกนวนคร

5 โดยทำการขยายถนนนวนคร 5 บริเวณทางออก และปรับจุดลงสะพานที่เชื่อมถนนพหลโยธินที่ลงเข้าสู่ทางหลัก ให้ลงทางขนานก่อนแล้วจึงเข้าสู่ทางหลัก, (5) สร้างสะพานเชื่อมถนนพหลโยธินทิศทางขาเข้ามุ่งเข้าสู่นวนครเพิ่มเติม

ชัยวัฒน์ ใหญ่บก [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงการจราจรบริเวณสี่แยกบนถนนกาญจนวณิชย์ในเมืองหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าปัญหาการจราจรติดขัดส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการจอดรถใกล้ทางแยก ลักษณะทางกายภาพที่ไม่เหมาะสม และการจัดการกระแสจราจรไม่สอดคล้องกับปริมาณการจราจร ส่วนที่สองเป็นการนำเสนอมาตรการแก้ไขปัญหาการจราจรในแต่ละทางแยกและวิเคราะห์ผลกระทบจากมาตรการโดยใช้แบบจำลองสภาพการจราจรที่พัฒนาขึ้น การวิเคราะห์ได้แบ่งเป็นสองแนวทางคือ แบบทางแยกเดี่ยวและแบบชุดทางแยก แบบแรกเป็นการทดสอบหามาตรการที่เหมาะสมโดยประเมินผลกระทบจากมาตรการของแต่ละทางแยกอิสระจากกัน ส่วนแบบที่สองเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากมาตรการของทางแยกที่พิจารณาซึ่งส่งผลทุกทางแยกบนเส้นทางศึกษา พบว่า การวิเคราะห์มาตรการแบบชุดทางแยกช่วยให้ผู้วางแผนทราบผลกระทบทั้งด้านบวก(สภาพการจราจรดีขึ้น) และลบ(สภาพการจราจรแย่ลง) จากการดำเนินมาตรการได้ดีกว่าการวิเคราะห์แบบแยกเดี่ยว

3 วิธีการศึกษาวิจัย

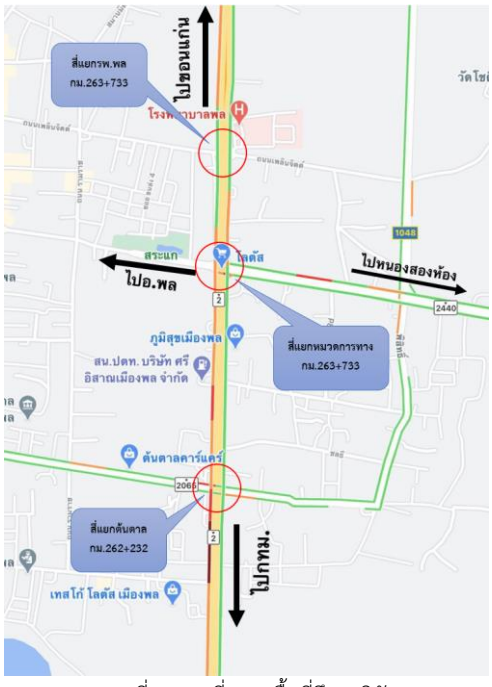
วิธีการศึกษาวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง คือ การศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวข้องกับพื้นที่วิจัย กับส่วนที่สอง คือ การนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไขต่อไป ซึ่งรายละเอียดในแต่ละส่วน มีดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 พื้นที่วิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงวิธีการแก้ไขปัญหาจราจรติดขัดและติดสะสม โดยพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นพื้นที่ที่มีสี่แยกติดกัน 3 แยกคือ สี่แยกต้นตาล สี่แยกหมวดการทาง และสี่แยกโรงพยาบาลพลอยู่บนทางหลวงหมายเลข 2 ช่วงกม. 262+232 ถึง กม. 263+733 ดังภาพที่ 3 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวจะมีการจราจรติดขัดในชั่วโมงเร่งด่วน ถึงแม้ว่าจะมีการคุมสัญญาณไฟจราจรจากเจ้าหน้าที่ตำรวจประจำพื้นที่ แต่ก็เป็นการแก้ไขปัญหาแค่ชั่วคราว



ภาพที่ 3 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาวิจัย

3.2 การสำรวจปริมาณจราจร

การสำรวจปริมาณจราจรผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลที่จำเป็นต่อการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจร ประกอบด้วย 1) ปริมาณจราจร 2) สัญญาณไฟจราจร 3) ความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ 4) เวลาที่ใช้ในการเดินทาง 5) ลักษณะทางกายภาพ ซึ่งการสำรวจปริมาณจราจรดำเนินการในวันทำงานปกติเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2562 โดยใช้วิธีนับรถและจดบันทึกโดยเก็บเป็นช่วงเวลา 16:00 น. -17:00 น. (ช่วงเวลาเร่งด่วน) โดยแยกประเภทรถออกเป็น รถยนต์ส่วนบุคคล รถโดยสารขนาดเล็ก/กลาง รถโดยสารขนาดใหญ่/รถบรรทุก 6 ล้อ รถบรรทุก 10 ล้อ/รถบรรทุกพ่วง

3.3 สร้างแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

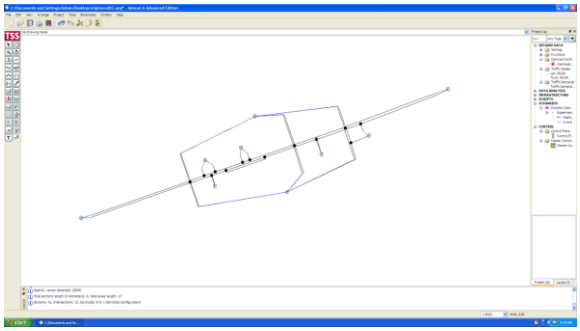
ในการจำลองสภาพจราจรผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองจราจรด้วยโปรแกรม AIMSUN เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การแก้ไขปัญหาจราจรที่เกิดขึ้นในพื้นที่วิจัย ซึ่งเป็นกระบวนการพัฒนาแบบจำลองระดับจุลภาค มีรายระเอียดดังต่อไปนี้

1) สร้างแบบจำลองให้มีลักษณะทางกายภาพให้เหมือนจริงที่สุดดังภาพที่ 4

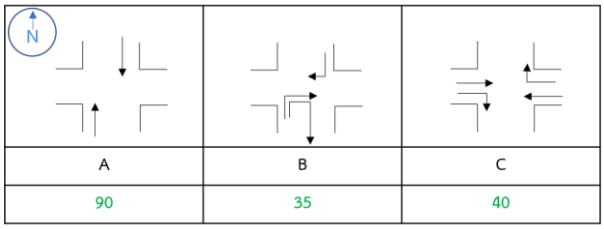
2) กำหนดค่าตัวแปรต่างที่ได้จากการสำรวจพื้นที่วิจัย

3) กำหนดลักษณะการปล่อยสัญญาณไฟจราจรดังภาพที่ 5 ภาพที่6 ภาพที่ 7

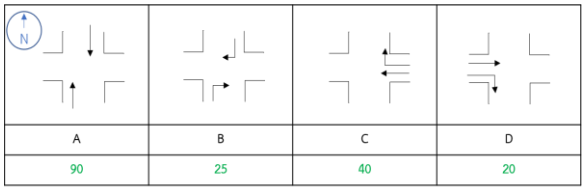
3) ทำการปรับเทียบข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมจำลองกับข้อมูลที่สำรวจได้ตามทฤษฎีของ Geoffrey E. Havers (GEH)



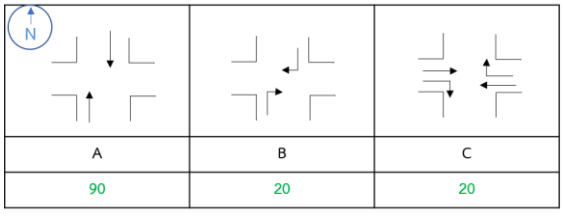
ภาพที่ 4 โครงข่ายถนนในแบบจำลอง



ภาพที่ 5 ลักษณะการปล่อยและเวลาสัญญาณไฟสี่แยกต้นตาล



ภาพที่ 6 ลักษณะการปล่อยและเวลาสัญญาณไฟสี่แยกหมวดการทาง



ภาพที่ 7 ลักษณะการปล่อยและเวลาสัญญาณไฟสี่แยกโรงพยาบาลพล

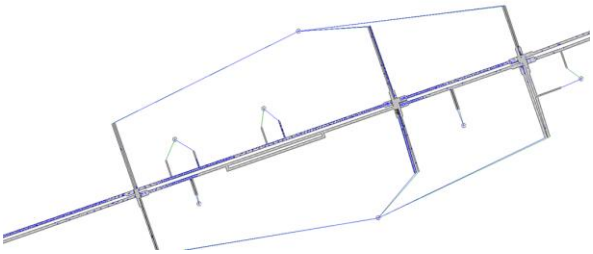
4 ผลการศึกษาวิเคราะห์

4.1 ปริมาณจราจร

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณจราจรภาคสนามบนทางหลวงหมายเลข 2 บริเวณสี่แยกต้นตาล (กม. 262+232) ถึง สี่แยกโรงพยาบาลพล (กม.263+733) วันที่ 12 กรกฎาคม 2562 ได้ข้อมูลปริมาณจราจรที่แปลงเป็นหน่วย PCU เฉลี่ยอยู่ที่ 44,184 คันต่อวัน พบว่าช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรสูงสุดคือช่วงเวลา 16:00 น.–17:00 น. ซึ่งมีปริมาณจราจรสูงถึง 3,305 คันต่อชั่วโมง ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่พบการจราจรติดขัดเป็นระยะทาง 1.257 กิโลเมตร โดยเฉพาะฝั่งขาออกจากกทม.

4.2 ปรับเทียบแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองจะมีการปรับแก้ไขข้อมูลในแบบจำลองเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงที่ไปทำการสำรวจข้อมูลมา โดยการปรับแก้แบบจำลองผ่านกระบวนการทางสถิติ Geoffrey E. Havers (GEH) ซึ่งจะได้ค่า GEH ต่ำกว่า 5 ถึงจะยอมรับได้ จะได้สภาพจราจรจรตามภาพที่ 8 และแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลจากที่สำรวจกับแบบจำลองผ่านปริมาณจราจรที่เก็บได้ (GEH < 5) ดังตารางที่ 2 ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง (ต้องไม่เกิน ± 20%) ดังตารางที่ 3 ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (ต้องไม่เกิน ± 20%) ดังตารางที่ 4



ภาพที่ 8 ภาพแสดงสภาพจราจรในแบบจำลอง

ตารางที่ 2 ปรับเทียบข้อมูลปริมาณจราจร

ถนน/เวลา	ชื่อแยก	แปลงหน่วยเป็น PCU		
		สำรวจ	แบบจำลอง	GEH <5
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาออก) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	1036	1024	0.37
	หมวดการทาง	1112	1236	3.62
	โรงพยาบาลพล	1227	1405	4.91
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาเข้า) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	1552	1615	1.58
	หมวดการทาง	1356	1307	1.34
	โรงพยาบาลพล	1167	1324	4.45

ตารางที่ 3 ปรับเทียบข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง

ถนน/เวลา	ชื่อแยก	ความเร็ว(กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		
		สำรวจ	แบบจำลอง	ความต่าง ±20%
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาออก) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	25.32	30	16%
	หมวดการทาง	26.31	30	12%
	โรงพยาบาลพล	29.15	35	17%
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาเข้า) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	32.36	40	19%
	หมวดการทาง	40.39	45	10%
	โรงพยาบาลพล	38.9	40	3%

ตารางที่ 4 ปรับเทียบข้อมูลความยาวคอยแถว

ถนน/เวลา	ชื่อแยก	ความยาวแถวเฉลี่ย(เมตร)		
		สำรวจ	แบบจำลอง	ความต่าง ±20%
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาออก) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	1297	1350	4%
	หมวดการทาง	715	740	3%
	โรงพยาบาลพล	305	330	8%
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาเข้า) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	90	105	14%
	หมวดการทาง	50	60	17%
	โรงพยาบาลพล	80	85	6%

4.3 วิเคราะห์แนวการแก้ไขปัญหาจราจร

ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาจราจรผ่านแบบจำลอง AIMSUN ไว้ 3 รูปแบบ คือ

4.3.1 ปรับแก้ไขสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก

ผู้วิจัยได้ทำการปรับแก้สัญญาณไฟจราจรบริเวณสี่แยกทั้ง 3 จุดโดยใช้ปริมาณจราจรเท่าเดิมซึ่งระยะเวลาจะเป็นตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงการปรับแก้สัญญาณไฟ

ถนน/เวลา	ชื่อแยก	ระยะเวลาไฟเขียว(วินาที)				ไฟเหลือง (วินาที)	ไฟแดง (วินาที)	รอบสัญญาณไฟ (วินาที)
		A	B	C	D			
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาออก) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	205	75	60	-	3	2	350
	หมวดการทาง	195	50	80	40	3	2	380
	โรงพยาบาลพล	190	40	40	-	3	2	280

ตารางที่ 6 ปรับเทียบก่อน-หลังปรับแก้ไขสัญญาณไฟจราจร

ถนน/เวลา	ชื่อแยก	ความยาวแถวเฉลี่ย		
		แบบเดิม	ปรับแก้	ความต่าง %
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาออก) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	1297	1971	34%
	หมวดการทาง	715	638	-12%
	โรงพยาบาลพล	305	170	-79%
ทางหลวงหมายเลข 2(ขาเข้า) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	90	180	50%
	หมวดการทาง	50	120	58%
	โรงพยาบาลพล	80	0	100%
เวลาที่ใช้ในการเดินทาง		370	445.72	17%
ความเร็วเฉลี่ย		19.64	16.21	-21%
ความล่าช้าในการเดินทาง		301	376.494	20%

จากแนวทางการแก้ไขข้างต้นในตารางที่ 6 จะเห็นว่าความยาวแถวคอยช่วงระหว่างทางแยกฝั่งกทม.ขาออกแยกหมวดการทางลดลงจาก 715 เมตร เป็น 638 เมตร แยกโรงพยาบาลพลจาก 305 เมตร เป็น 170 เมตร ความยาวแถวฝั่งกทม.ขาเข้าบริเวณแยกโรงพยาบาลพลไม่มีแถวคอย แต่แยกต้นตาล และแยกหมวดการทางมีแถวคอยยาวขึ้นเนื่องจากเพิ่มระยะเวลาสัญญาณไฟนั่นเอง ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางลดลง 21 %

4.3.2 แบบจำจองสภาพจราจรที่มีการปรับแก้สัญญาณไฟจราจรเฉพาะสี่แยกหมวดการทาง

ผู้วิจัยจะทำการปิดสัญญาณไฟจราจรบริเวณสี่แยกต้นตาลและสี่แยกโรงพยาบาลพลให้ผู้ใช้เส้นทางจราจรไปตรงได้อย่างเดียว และทำการปรับแก้ไขสัญญาณไฟจราจรที่สี่แยกหมวดการทาง โดยใช้ปริมาณเท่าเดิมใช้สัญญาณไฟจราจรตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงการปรับแก้สัญญาณไฟ

ถนน/เวลา	ชื่อแยก	ระยะเวลาไฟเขียว(วินาที)				ไฟเหลือง (วินาที)	ไฟแดง (วินาที)	รอบสัญญาณไฟ (วินาที)
		A	B	C	D			
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาออก) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	-	-	-	-	-	-	-
	หมวดการทาง	200	60	75	50	3	2	400
	โรงพยาบาลพล	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 8 เทียบหลังปรับสัญญาณไฟจราจรเฉพาะสี่แยกหมวดการทาง

ถนน/เวลา	ชื่อแยก	ความยาวแถวเฉลี่ย		
		แบบเดิม	ปรับแก้	ความต่าง %
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาออก) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	1297	-	100%
	หมวดการทาง	715	259	-64%
	โรงพยาบาลพล	305	-	100%
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาเข้า) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	90	-	100%
	หมวดการทาง	120	60	-50%
	โรงพยาบาลพล	80	-	100%
เวลาที่ใช้ในการเดินทาง		370	181.81	-51%
ความเร็วเฉลี่ย		19.64	33.06	68%
ความล่าช้าในการเดินทาง		301	112.67	-63%

จากการปรับแก้สัญญาณไฟโดยการปิดทางเลี้ยวขวาบริเวณสี่แยกต้นตาล และสี่แยกโรงพยาบาลพล ส่งผลให้ทางหลักทั้งสองแยกเดินทางสัญจรได้แต่ทางตรงกับเลี้ยวซ้าย และบังคับให้ทางรองเลี้ยวซ้ายได้อย่างเดียวจะเห็นว่าจำนวนแถวคอยบริเวณสี่แยกต้นตาล และบริเวณสี่แยกโรงพยาบาลพลไม่มีแถวคอย ส่วนบริเวณสี่แยกหมวดการทางระยะแถวคอยฝั่งกทม.ขาออกลดลงจาก 715 เมตร เหลือ 259 เมตร และฝั่งกทม.ขาเข้าลดลงจาก 120 เมตร เหลือ 60 เมตร ส่วนความเร็วเฉลี่ยตลอดเส้นทางที่ศึกษาวิจัยเพิ่มขึ้น 68%

4.3.3 แบบจำจองสภาพจราจรที่มีการปรับเพิ่มช่องจราจร

ผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มจำนวนช่องจราจรในเส้นทางหลักฝั่งล่ะหนึ่งช่องจราจรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น หลังจากได้ทำการเพิ่มช่องจราจรแล้วผู้วิจัยได้ทำการใช้สัญญาณจราจรเดิมดังตารางที่ 9 และทำการเปรียบเทียบหลังจากทำการเพิ่มช่องจราจรตารางที่ 10

ตารางที่ 9 แสดงเวลาสัญญาณไฟจราจร

ถนน/เวลา	ชื่อแยก	ระยะเวลาไฟเขียว(วินาที)				ไฟเหลือง (วินาที)	ไฟแดง (วินาที)	รอบสัญญาณไฟ (วินาที)
		A	B	C	D			
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาออก) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	90	35	40	-	3	2	170
	หมวดการทาง	90	25	40	20	3	2	190
	โรงพยาบาลพล	90	20	20	-	3	2	140

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบหลังจากเพิ่มช่องจราจร

ถนน/เวลา	ชื่อแยก	ความยาวแถวเฉลี่ย		
		แบบเดิม	ปรับแก้	ความต่าง %
ทางหลวงหมายเลข 2 (ขาออก) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	1297	69.8	-95%
	หมวดการทาง	715	60.2	-92%
	โรงพยาบาลพล	305	96	-69%
ทางหลวงหมายเลข 2(ขาเข้า) 16:00 -17:00 น.	ต้นตาล	90	10	-89%
	หมวดการทาง	50	45.9	-8%
	โรงพยาบาลพล	80	10	-88%
เวลาที่ใช้ในการเดินทาง		370	145.19	-61%
ความเร็วเฉลี่ย		19.64	31.55	61%
ความล่าช้าในการเดินทาง		301	75.79	-75%

ผู้วิจัยทำการจำลองเวลาของจังหวะสัญญาณไฟจราจรเดิมตามตารางที่ 9(แบบ 3 ช่องจราจร) โดยใช้โปรแกรมจำลอง AIMSUN พบว่ามีจำนวนความยาวแถวคอย เวลาที่ใช้ในการเดินทาง และความล่าช้าในการเดินทางมีค่าลดลงทั้งหมด เมื่อเทียบกับสภาพจราจรที่ใช้สัญญาณไฟ และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่วิจัยในปัจจุบัน โดยมีเวลาในการเดินทางลดลงไป 224.81 วินาที/คัน คิดเป็น 61% ความล่าช้าในการเดินทางลดลงจากเดิม 225.21 วินาที/คัน คิดเป็น 75% และมีความเร็วเพิ่มขึ้นจากเดิม 11.91 กิโลเมตร/ชั่วโมง คิดเป็น 61%

5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการประเมินผลกระทบจากปัญหาการจราจรติดขัดบนถนนหมายเลข 2 ช่วงอำเภอพล จังหวัดขอนแก่นด้วยการแก้ไขปัญหาจราจรผ่านการประยุกต์ใช้แบบจำลองด้วยโปรแกรม AIMSUN สามารถสรุปแนวทางการแก้ไขปัญหาได้อย่างเหมาะสม ว่าการปรับแก้สัญญาณไฟจราจรเฉพาะสี่แยกหมวดการทางเหมาะสมในการปรับแก้ไขปัญหาจราจร เนื่องจากทำให้ฝั่งกทม.ขาออกแถวคอยลดลงจาก 715 เมตร เหลือ 259 เมตร และฝั่งกทม.ขาเข้าลดลงจาก 120 เมตร เหลือ 60 เมตร ส่วนความเร็วเฉลี่ยตลอดเส้นทางที่ศึกษาวิจัยเพิ่มขึ้น 68% ทำให้การจราจรเกิดสภาพคล่องขึ้นมากเป็นการชั่วคร่าวและต้องได้รับความร่วมมือจากเจ้าหน้าที่ตำรวจจราจรในพื้นที่ทำการปิดช่องทางเลี้ยวขวาช่องจราจรกทม.ขาออก และช่องจราจรกทม.ขาเข้าบริเวณสี่แยกต้นตาล และสี่แยกโรงพยาบาลพล แล้วทำการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่สี่แยกหมวดการทางเพื่อความเร็วการเดินทางที่ไม่สะดุด เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการเดินทาง

และอีกแนวทางคือเพิ่มจำนวนช่องจราจรเป็น 3 ช่องจราจร ตามรูปแบบที่ 3 จะพบว่ามีจำนวนความยาวแถวคอย เวลาที่ใช้ในการเดินทาง และความล่าช้าในการเดินทางมีค่าลดลงทั้งหมด เมื่อเทียบกับสภาพจราจรที่ใช้สัญญาณไฟ และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่วิจัยในปัจจุบัน โดยมีเวลาในการเดินทางลดลงไป 224.81 วินาที/คัน คิดเป็น 61% ความล่าช้าในการเดินทางลดลงจากเดิม 225.21 วินาที/คัน คิดเป็น 75% และมีความเร็วเพิ่มขึ้นจากเดิม 11.91 กิโลเมตร/ชั่วโมง คิดเป็น 61%

6 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งและสารสนเทศ คณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และช่วยเหลือแนะนำการใช้โปรแกรม AIMSUN และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ตำรวจ สถานีตำรวจอำเภอเมืองพล จังหวัดขอนแก่น ที่ช่วยสนับสนุนในการให้ข้อมูลและความช่วยเหลือต่างๆ สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

7 เอกสารอ้างอิง

[1] ณรงค์ยศ ดีสีปาน (2557) การแก้ปัญหาการจราจรติดขัดบนทางหลวงหมายเลข 1 บริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรมนวนคร, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมขนส่งและสารสนเทศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[2] นายสุรเดช อูมาร์ (2015) ทำการวิเคราะห์การแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดบนทางหลวงแผ่นดินกรณีศึกษาทางหลวงหมายเลข 3214 ช่วงระหว่างทางหลวงพิเศษหมายเลข 9, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมขนส่งและสารสนเทศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[3] ชัยวัฒน์ ใหญ่บก (2558),การปรับปรุงการจราจรบริเวณสี่แยกบนถนนกาญจนวณิชย์ในเมืองหาดใหญ่,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,สาขาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[4] สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์ (2551).วิศวกรรมขนส่ง (TransportationEngineering),เอกสารประกอบการสอน.ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

[5] กรมทางหลวง.สำนักอำนวยความปลอดภัย ข้อมูลปริมาณจราจร ปี พ.ศ. 2552 – 2562

[6] Transportation Research Board of the National Academies. (2010).HCM2010 ,Washington, DC.

[7] Adolf D. May (1990).TRFFIC FLOW FUNAMENTALS. Prentice Hall,Englewood Cliffs, New Jersey.pp. 338-370

[8] Timothy Oketch and Marzenna Carrick (2005). Calibration and Validation of a Micro-Simulation Model in Network Analysis. Transportation Research Board (TRB), Annual Meeting (January, 2005) ,United State of America,Washington, DCRetrievedJul28,2017,fromhttp://tsh.ca/pdf/TRB05_paper05_1938_final.pdf

[9] Google Map (2562). การจราจรทั่วไป,retrieved to Jul.12,2019,from,https://www.google.co.th/maps/@15.8139835,102.6039807,16.25z?hl=th&authuser=0