



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความล่าช้า ที่ทางแยกเดี่ยวด้วยควบคุมสัญญาณไฟจราจร Comparison of Delay Reduction of an Isolated Intersection Controlled by Traffic Signal Systems

พงษ์พันธ์ แทนเกษม^{1,*} ธนพล พรหมรักษา² ธนศ เสถียรนาม³ และ อนุชาติ ลีอนันต์ศักดิ์ศิริ⁴

**Phongphan Tankasem^{1,*}, Thanapol Promraksa², Thaned Satiennam³
and Anuchat Leeanansuksiri⁴**

^{1,4}สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น ประเทศไทย 40000

^{2,3}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น ประเทศไทย 40002

^{1,4}Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,
North Eastern University, Khon Kaen, 40000, Thailand

^{2,3}Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,
Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

*E-mail: civilphongphan@gmail.com, Tel: 089-1872778

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการลดความล่าช้าเนื่องจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของสามแยกท่าพระ อ.เมือง จ.ขอนแก่น ใน 3 กรณี ประกอบด้วย 1) การปรับปรุงระบบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ 2) ระบบสัญญาณไฟจราจรแปรผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทาง และ 3) ระบบสัญญาณไฟจราจรแปรผันตามปริมาณจราจรในทุกทิศทาง โดยการใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค เป็นเครื่องมือในการประเมินผล ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้สำรวจข้อมูลลักษณะทางกายภาพของถนน ลักษณะการจราจร สัญญาณไฟจราจร ปริมาณจราจรในแต่ละทิศทาง และความยาวแถวคอย เพื่อใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง รวมถึงการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และการประยุกต์ใช้ในแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบที่ดีที่สุด คือ ระบบสัญญาณไฟแปรผันตามปริมาณจราจรในทุกทิศทาง โดยสามารถลดความล่าช้าเนื่องจากการหยุดได้ร้อยละ 69 และลดความล่าช้ารวมเฉลี่ยได้ร้อยละ 52 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบสัญญาณไฟจราจรในปัจจุบัน สำหรับรูปแบบการปรับสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่โดยปรับให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรในปัจจุบัน และรูปแบบระบบสัญญาณไฟจราจรที่แปรผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทางสามารถลดความล่าช้าเนื่องจากการหยุดได้ร้อยละ 12 และร้อยละ 50 ตามลำดับ ความล่าช้ารวมเฉลี่ยได้ร้อยละ 9 และร้อยละ 41 ตามลำดับ

คำสำคัญ: สัญญาณไฟจราจร สัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งกระตุ้น สัญญาณไฟจราจรแบบกระตุ้นเต็ม ความล่าช้า

ABSTRACT

The aim of this study was to examine and compare effective traffic signal control for traffic delays at a junction in Khon Kaen. Comparisons of effective traffic signal control included three measures, including; 1) Fixed time, 2) Semi-vehicle actuation and 3) Full-vehicle actuation. Traffic

micro-simulation was used for evaluation measures. The authors observed traffic data related to the micro-simulation, including: physical intersection and road, traffic signal, traffic flow and the queue length of each leg. These traffic data were used for validation, calibration and application of the measures in the simulation. The results indicated that full-vehicle actuation control measures could reduce traffic delays by approximately 69% for stop delay and 52% for total delay when compared with existing traffic control measures. Other measures could reduce stop delays by about 12% for fixed time measures and 50% for semi-vehicle actuation control measures. Both measures also reduced total delay by about 9% and 41%, respectively.

Keywords: Traffic signal control, Semi vehicle actuated, Full vehicle actuated and Traffic delay

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร บริเวณทางแยกในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะเป็นระบบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ (Fixed time) ซึ่งระบบดังกล่าวทำให้เกิดความล่าช้าที่ทางแยก ในกรณีที่มีปริมาณจราจรไม่สอดคล้องกับรอบสัญญาณไฟที่ได้ออกแบบไว้ เช่น ในทิศทางที่ได้สิทธิสัญญาณไฟเขียว แต่ไม่มีรถเคลื่อนที่ผ่าน จึงทำให้รถด้านทิศทางการจราจรสัญญาณไฟแดงต้องหยุดรอแบบสูญเปล่า เป็นต้น ทั้งนี้การปรับปรุงการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดปัญหาความล่าช้าที่เกิดขึ้นได้ ทั้งนี้ความล่าช้าเกิดขึ้นได้จากหลายกรณี เช่น ช่วงเวลาเริ่มต้นของการเคลื่อนที่เมื่อได้สัญญาณไฟเขียว การหยุดรอสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น ปัจจุบันการแนวทางการปรับปรุงการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ส่วนใหญ่จะมีอยู่ 3 ทางเลือก ประกอบด้วย ทางเลือกที่ 1 คือ การปรับรอบและช่วงเวลาของสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ โดยวิธีนี้จำเป็นที่จะต้องมีการปรับสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรอย่างสม่ำเสมอ ทางเลือกที่ 2 คือ ระบบแปรผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทาง (Semi vehicle actuated) ซึ่งในปัจจุบันนิยมติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบยานพาหนะ บริเวณพื้นถนน (Loop detector) ในทิศทางสายตรง เมื่อมียานพาหนะแล่นผ่านหรือหยุดบริเวณอุปกรณ์ดังกล่าว ระบบจะสั่งการให้สัญญาณไฟเขียวในทิศทางนั้นจนกระทั่งรถที่เข้าสู่ทิศทางนั้นหมดหรือให้เวลาไฟเขียวเพิ่มขึ้นตามที่ได้ออกแบบไว้ และทางเลือกที่ 3 คือ ระบบที่แปรผันตามปริมาณจราจรในทุกทิศทาง (Full vehicle actuated) โดยหลักการจะเหมือนกับรูปแบบที่ 2 ซึ่งระบบนี้จะสามารถปรับช่วงเวลา

การควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกจริง แต่ระบบดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง จึงทำให้ยังไม่เป็นที่นิยม

สามแยกท่าพระ ตั้งอยู่ในเขตเทศบาลตำบลท่าพระ อ.เมือง จ.ขอนแก่น ห่างจากเขตตัวเมืองขอนแก่น ประมาณ 10 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 สามแยกดังกล่าวมีปริมาณจราจรเฉลี่ยในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนและไม่วิ่งด่วนช่วงกลางวัน ประมาณ 5,000 และ 3,000 คัน/ชั่วโมง ตามลำดับ [1] โดยมีลักษณะทางกายภาพของแต่ละทิศทาง ประกอบด้วย จำนวนช่องจราจร 3 ช่อง (ทิศทางมุ่งเหนือมีช่องจราจรเพิ่มเพื่อรถเลี้ยวขวา) มีการแบ่งทิศทางการเคลื่อนที่บนทางหลักโดยใช้เกาะกลางถนนทั้งสามทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ภาพถ่ายทางอากาศ บริเวณสามแยกท่าพระ

ทั้งนี้ทางแยกดังกล่าวมีอัตราการเกิดอุบัติเหตุสูง อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ มีความรุนแรงจนทำให้ผู้ประสบเหตุเสียชีวิต สาเหตุสำคัญมาจากการฝ่าสัญญาณไฟแดง [2] ซึ่งรถที่ฝ่าสัญญาณไฟแดงส่วนมากมักจะฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรในช่วงท้ายของสัญญาณไฟเหลือง

และช่วงคันของสัญญาณไฟแดง โดยเฉพาะในทิศทางมุ่งเหนือ ซึ่งอาจมีสาเหตุที่เกี่ยวข้องจากหลายปัจจัย เช่น เวลาไฟเหลืองไม่สอดคล้องกับความเร็วที่เข้าสู่ทางแยก ลักษณะทางลาดลงก่อนเข้าสู่ทางแยก ทางแยกตั้งอยู่พื้นที่ชานเมือง จึงทำให้รถส่วนใหญ่ใช้ความเร็วสูง เป็นต้น



รูปที่ 2 ลักษณะกายภาพ ในทิศทางมุ่งเหนือ

ด้วยสาเหตุนี้คณะกรรมการป้องกันอุบัติเหตุทางถนนจังหวัดขอนแก่น ร่วมกับแขวงทางหลวงขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่) ตำรวจจราจรขอนแก่น และมูลนิธิถนนที่ปลอดภัยกว่า (Safer Roads Foundation, SRF) ของประเทศอังกฤษ ได้ร่วมกันปรับปรุงแก้ไขปัญหาอุบัติเหตุของทางแยกนี้ เพื่อต้องการลดจำนวนอุบัติเหตุ ลดจำนวนผู้ฝ่าฝืนสัญญาณไฟแดง โดยการประยุกต์ใช้กล้องวงจรปิด (CCTV) ให้สามารถตรวจจับการฝ่าสัญญาณไฟแดง นอกจากนั้นยังได้มีการติดตั้งป้ายเตือนการตรวจจับฝ่าไฟแดง 24 ชั่วโมง ป้ายเตือนทางแยกสัญญาณไฟจราจร ในบริเวณทั้งด้านซ้ายทางและด้านขวาทาง จำนวนอย่างละ 3 ชุด ก่อนถึงทางแยก การเพิ่มความชัดเจนในการมองเห็นสัญญาณไฟจราจร โดยการติดตั้งเสาไฟ และ ติดตั้งป้ายตัวเลขสัญญาณไฟจราจรแบบนับถอยหลัง เป็นต้น โดยระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรยังคงเลือกใช้ระบบเดิม คือ ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ รวมถึงมีการติดตั้งระบบแปรผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทางสำหรับช่องรถเลี้ยวขวาในทิศทางมุ่งจากทิศใต้ไปยังทิศตะวันออก แต่ระบบดังกล่าวจะเปิดใช้ต่อเมื่อมีปริมาณรถในทิศทางดังกล่าวมากกว่าปกติเท่านั้น โดยเฉพาะ

รถบรรทุก เช่น ในช่วงที่มีการขนส่งอ้อย เป็นต้น โดยตำรวจจราจรหรือเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องจะเป็นผู้พิจารณาการปรับเปลี่ยนระบบสัญญาณไฟ แต่อย่างไรก็ตามในช่วงก่อนมีการปรับปรุงแก้ไขทางแยกดังกล่าว นอกเหนือจากปัญหาอุบัติเหตุจากการฝ่าฝืนสัญญาณไฟแดงแล้ว อีกปัญหาที่พบ คือ ความล่าช้าจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ดังเช่นปัญหาที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น แสดงให้เห็นว่าระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของทางแยกท่าพระยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงแก้ไขปัญหาล่าช้าที่ทางแยกจากระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร เพื่อลดปัญหาความล่าช้า และปัญหาการฝ่าสัญญาณไฟแดง ทั้งนี้เนื่องจากพฤติกรรมการฝ่าสัญญาณไฟแดง มีความสัมพันธ์กับเวลาการหยุดรอสัญญาณไฟแดง และการไม่รถในทิศทางที่ได้สัญญาณไฟเขียว [3,4] ซึ่งหากระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีประสิทธิภาพในการลดความล่าช้าที่ทางแยกยิ่งโดยเฉพาะในช่วงฤดูขนส่งอ้อยที่มีรถบรรทุกผ่านทางแยกจำนวนมากในทิศทางจากทิศใต้ไปทิศตะวันออก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาศึกษาการปรับปรุงแก้ไขการควบคุมสัญญาณไฟจราจร เพื่อเสนอให้เป็นทางเลือกในการตัดสินใจสำหรับผู้บริหารในการคัดเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของทางแยกท่าพระ และในพื้นที่อื่นได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรสำหรับทางแยกเดี่ยว โดยการเปรียบเทียบเวลาสูญเสียเนื่องจากความล่าช้าจาก 3 กรณี ประกอบด้วย 1.ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ (Fixed time) 2. ระบบสัญญาณไฟแปรผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทาง (Semi vehicle actuated) และ 3. ระบบสัญญาณไฟแบบแปรผันตามปริมาณจราจรในทุกทิศทาง (Full vehicle actuated) และการศึกษาผลกระทบจากการเพิ่มปริมาณรถบรรทุกในกรณีควบคุมระบบสัญญาณไฟแบบแปรผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทาง

2. ทบทวนวรรณกรรม

เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าหรือเคลื่อนที่ออกในบริเวณทางแยก รวมถึงเมื่อหยุดรอสัญญาณไฟจราจร จะเกิดความล่าช้า ซึ่งเป็นผลโดยตรงมาจากระบบการควบคุมโดยสัญญาณไฟจราจร ทั้งนี้หากมีการจัดการหรือเลือกรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม จะสามารถช่วยลดความล่าช้าและเพิ่มประสิทธิภาพในการหยุดรอสัญญาณไฟจราจรหรือเคลื่อนที่ผ่านทางแยกได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก พบว่ารูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่แปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจรจริง หรือแบบกระตุ้นเต็ม (Full vehicle actuated, Full-VA) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดความล่าช้าเฉลี่ยลดลงร้อยละ 44 (สำหรับทางแยกกลุ่ม) ลดลงสูงสุดร้อยละ 70 (สำหรับทางแยกเดี่ยว) รองลงมาคือ รูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่แปรผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทาง หรือแบบกึ่งกระตุ้น (Semi vehicle actuated, Semi-VA) และการปรับเปลี่ยนรอบสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรในปัจจุบัน (Fixed time) ตามลำดับ ทั้งนี้ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบแปรผันตามปริมาณจราจรในทุกทิศทาง นอกเหนือจากนั้นยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษทางอากาศได้สูงสุดเมื่อเทียบกับรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรอื่น [1,5,6] แต่หากเป็นทางแยกกลุ่ม หากใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบประสานทั้งกลุ่มทางแยกจะสามารถลดความล่าช้าได้ร้อยละ 8-37 [5,6]

กรณีมีการเปลี่ยนระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรจากแบบคงที่ เป็นระบบแปรผันตามปริมาณจราจรในทุกทิศทาง โดยจัดซื้อระบบใหม่ทั้งหมด หรือเป็นการปรับปรุงจากระบบเดิม มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ และมีมูลค่าผลประโยชน์จากการลดเวลาการเดินทางได้ประมาณ 1-16 ล้านบาทต่อปี [1,6]

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ (Fixed-time)

เป็นการปล่อยกระแสจราจรเคลื่อนที่ตามจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่ได้ออกแบบไว้ล่วงหน้า โดยวิเคราะห์จากข้อมูลปริมาณจราจรในแต่ละทิศทาง สำหรับการออกแบบรอบสัญญาณไฟจราจรและเวลาในการปล่อยไฟเขียวในแต่ละทิศทาง เลือกใช้วิธี Webster [7] ดังแสดงในสมการที่ (1) ถึงสมการที่ (5)

$$C = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} Y_i} \quad (1)$$

เมื่อ		
C	คือ	รอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม (วินาที)
L	คือ	เวลาที่สูญเสียทั้งหมดในหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจร (วินาที)
Y_i	คือ	อัตราส่วนของปริมาณจราจรต่ออัตราการไหลอ้อมตัว ของทิศทางการเคลื่อนที่ที่วิกฤติที่จังหวะ สัญญาณไฟจราจร
ϕ	คือ	จำนวนจังหวะ หรือจำนวนเฟสของสัญญาณไฟจราจรทั้งหมด

ไฟเขียวประสิทธิผลทั้งหมดในหนึ่งรอบสัญญาณ

$$G_{te} = C - L \quad (2)$$

เมื่อ		
G_{ei}	คือ	เวลาไฟเขียวประสิทธิผลตามสัดส่วนของค่า Y ของแต่ละจังหวะ (วินาที)

การจัดสรร ไฟเขียวในแต่ละจังหวะ

$$G_{ei} = \left[\frac{Y_i}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{\phi}} \right] \times G_{te} \quad (3)$$

เมื่อ

G_{ei} คือ เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพตามสัดส่วนของค่า Y ของแต่ละจังหวัด (วินาที)

G_{te} คือ เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพทั้งหมดในหนึ่งรอบสัญญาณ (วินาที)

เวลาไฟเขียวจริงของแต่ละจังหวัด

$$G_{ai} = G_{ei} + l_i - \tau_i \quad (4)$$

เมื่อ

G_{ai} คือ เวลาไฟเขียวจริงในแต่ละจังหวัด (วินาที)

l_i คือ เวลาที่สูญเสียในแต่ละจังหวัด (วินาที)

τ_i คือ เวลาที่ไฟเหลืองในแต่ละจังหวัด (วินาที)

เวลาช่วงไฟเหลือง

เวลาไฟเหลือง ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 3-5 วินาที ในกรณีที่เมื่อคำนวณเวลาไฟเหลืองได้มากกว่า 5 วินาที ควรเอาเวลาที่เกินดังกล่าวไปเพิ่มในช่วงไฟแดงทุกด้าน (All red)

$$\tau_{\min} = \delta + \frac{v_0}{2a} + \frac{w+L}{v_0} \quad (5)$$

เมื่อ

$\tau_{\min}$ คือ เวลาที่ไฟเหลืองที่น้อยที่สุดในแต่ละจังหวัด (วินาที)

v_0 คือ อัตราความเร็วของรถเมื่อเข้าสู่ทางแยก (เมตร/วินาที)

δ คือ เวลาในการตัดสินใจก่อนแตะเบรก (วินาที)

a คือ ค่าความหน่วงของรถเมื่อเข้าสู่ทางแยก เลือกใช้ค่า 3.05 เมตร/วินาที² [7]

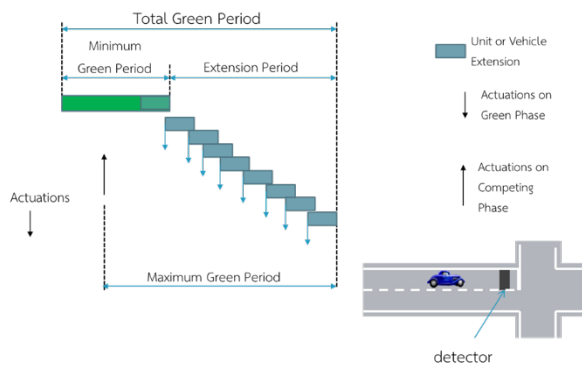
w คือ ความกว้างของทางแยกนั้น (เมตร)

L คือ ความยาวของรถที่พิจารณา (เมตร)

3.2 การควบคุมแบบแปรผันตามปริมาณจราจร (Vehicle Actuated Control, VA)

เป็นการเชื่อมโยงสัญญาณจากเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร (Detectors) และแปรผลเป็นเวลาในการปล่อยสัญญาณไฟจราจรในรอบสัญญาณที่ได้ถูกออกแบบไว้ โดยรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบยานพาหนะโดยทั่วไปที่นิยมจะติดตั้งไว้ได้ผิวจราจร ซึ่งสังเกตเห็นได้ที่ผิวจราจรจะมีรอยเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Loop detector) ในบริเวณก่อนถึงเส้นหยุด หรือติดตั้งบนเสาแบบกึ่งเหนือศีรษะ ในรูปแบบกล้องเหนือศีรษะ ซึ่งกล้องดังกล่าวจะทำหน้าที่ตรวจนับปริมาณจราจร เช่นเดียวกับรูปแบบที่ติดตั้งได้ผิวจราจร

สำหรับกระบวนการทำงานของระบบการควบคุมการปล่อยสัญญาณไฟจราจรแบบแปรผันตามปริมาณจราจรจริง แสดงในรูปที่ 3 กล่าวคือ ระบบจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟเขียว เมื่อมียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านหรือหยุดในพื้นที่ของอุปกรณ์ (Detector) หลังจากนั้นระบบจะทำการปรับช่วงเวลาการปล่อยไฟเขียวให้กับทิศทางนั้น โดยการเริ่มต้นตามค่าไฟเขียวต่ำสุด (Minimum Green) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (6) และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณยานพาหนะอื่นเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจฯ โดยค่าเวลาไฟเขียวที่เพิ่มขึ้นนั้นคำนวณได้จากสมการที่ (7) แต่หากมียานพาหนะผ่านอุปกรณ์ตรวจฯ อย่างต่อเนื่อง ระบบจะทำการให้สัญญาณไฟเขียวต่อจนกระทั่งถึงค่าเวลาไฟเขียวสูงสุด (Maximum Green) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (8) หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟเหลืองและไฟแดง ตามลำดับ หรือในกรณีที่ไม่มียานพาหนะผ่านอุปกรณ์ตรวจฯ ระบบจะทำการปรับเวลาที่เหลือในจังหวัดนั้นให้เป็นค่าเวลาไฟเขียวเพิ่มขึ้นในทิศทางอื่น ตามลำดับจังหวัดของการปล่อยสัญญาณไฟจราจรที่ได้กำหนดไว้ ทั้งนี้เวลาที่เพิ่มขึ้นจะยังคงอยู่ในรอบสัญญาณทั้งหมด คำนวณได้จากสมการที่ (9)



รูปที่ 3 หลักการทำงานของระบบควบคุมฯ แบบแปรผันตามปริมาณจราจร [7]

ช่วงเวลาไฟเขียวอย่างน้อยที่สุด (Minimum Green time)

$$G_{\min} = l + \left[2 \times \text{Int} \left(\frac{d}{20} \right) \right] \quad (6)$$

เมื่อ

$G_{\min}$	คือ	เวลาที่ไฟเขียวที่น้อยที่สุดในแต่ละจังหวะ (วินาที)
l	คือ	เวลาสูญเสียเนื่องจากการออกตัว (วินาที)
d	คือ	ระยะห่างระหว่างเส้นหยุดกับอุปกรณ์ตรวจนับ (ฟุต)
Int	คือ	ผลลัพธ์ที่ได้ต้องเป็นค่าจำนวนเต็ม

ส่วนเพิ่มของสัญญาณไฟเขียว (Extension)

$$U \geq P = \frac{d}{1.47S_{15}} \quad (7)$$

เมื่อ

U	คือ	ส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียว (วินาที)
P	คือ	เวลาที่เดินข้ามทางแยก (วินาที)
d	คือ	ระยะทางจากอุปกรณ์ตรวจนับถึงเส้นหยุด (ฟุต)
S_{15}	คือ	ความเร็วบนช่วงถนนที่ 15 เปอร์เซ็นต์ไทด์ (ไมล์/ชั่วโมง)

รอบสัญญาณของการควบคุมไฟจราจรแบบกระตุ้นคำนวณได้จากสมการที่ (8)

$$C_i = \frac{L}{1 - \left(\frac{V_c}{1,615 \times PHF \times \frac{V}{C}} \right)} \quad (8)$$

เมื่อ

C_i	คือ	รอบสัญญาณไฟเริ่มต้น (วินาที)
V_c	คือ	ผลรวมของปริมาณจราจรในช่องจราจรวิกฤติ (คัน/ชั่วโมง)
PHF	คือ	ตัวประกอบชั่วโมงสูงสุด (Peak Hour Factor, PHF)
V/C	คือ	ปริมาณจราจรต่อความจุถนนที่ใช้ ออกแบบ

ความยาวไฟเขียวสูงสุด (Maximum green time)

$$g_i = (C - L) \times \left(\frac{V_{ci}}{V_c} \right) \quad (9)$$

เมื่อ

g_i	คือ	เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ ในจังหวะการปล่อย i (วินาที)
L	คือ	เวลาสูญเสียทั้งหมดในหนึ่งรอบสัญญาณ (วินาที)
V_{ci}	คือ	ปริมาณจราจรในช่องจราจรวิกฤติ ในจังหวะการปล่อย i (คัน/ชั่วโมง)

เนื่องจากการคำนวณเวลาการปล่อยสัญญาณไฟจราจรของรูปแบบกระตุ้น จะให้เวลาของสัญญาณไฟเขียวที่น้อยกว่ารูปแบบสัญญาณไฟคงที่ จึงต้องมีการคูณด้วย 1.50 เพื่อเพิ่มช่วงเวลาของสัญญาณไฟเขียวสูงสุดในแต่ละจังหวะ [7]

3.3 เกณฑ์การพิจารณาเปรียบเทียบแบบจำลอง

เพื่อเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยมีเกณฑ์การพิจารณา [8] ดังนี้

ปริมาณจราจรต่อชั่วโมง ในแต่ละทิศทาง แตกต่าง
กันไม่เกินร้อยละ 15

ปริมาณจราจรต่อชั่วโมง รวมทุกทิศทาง แตกต่างกัน
ไม่เกินร้อยละ 5

ความยาวแถวคอยรวมทุกทิศทาง แตกต่างกันไม่เกิน
ร้อยละ 20

ค่า GEH ในแต่ละทิศทางและรวมทุกทิศทาง
แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 โดยที่ ค่า GEH คำนวณได้
จากสมการที่ (10)

$$GEH = \sqrt{\frac{2(V-E)^2}{V+E}} \quad (10)$$

เมื่อ

E คือ ปริมาณจราจรผลจากแบบจำลอง (คัน)
 V คือ ปริมาณจราจรจากการสำรวจ (คัน)

3.4 มูลค่าผลประโยชน์จากการลดเวลาความล่าช้า

เป็นมูลค่าผลประโยชน์ ที่ได้รับการลดเวลาความ
ล่าช้า ซึ่งเป็นผลที่ได้จากของแบบจำลองระดับจุลภาคใน
แต่ละทางเลือก โดยการประเมินมูลค่าของผลประโยชน์
จากการลดเวลาความล่าช้า สำหรับการศึกษาครั้งนี้คำนวณได้
จากสมการที่ (10)

$$BVOT = VOT \times \Delta(Flow \times S_{time}) \quad (10)$$

เมื่อ

$BVOT$ คือ ผลประโยชน์จากการประหยัดเวลาใน
การเดินทาง (บาท)

VOT คือ มูลค่าเวลาการเดินทาง
(บาท/คัน-ชั่วโมง) [9]

$Flow$ คือ ปริมาณยานพาหนะที่เข้าทางแยก
(คัน)

S_{time} คือ เวลาการหยุดรถที่เกิดขึ้นจากระบบ
การควบคุมสัญญาณไฟ (ชั่วโมง)

Δ คือ ผลต่างของเวลาที่ลดลงคูณกับปริมาณ
ยานพาหนะที่เข้าทางแยก (คัน-ชั่วโมง)

4. วิธีการวิจัย

4.1 สํารวจจราจรข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

สำรวจข้อมูลปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกในแต่ละ
ทิศทาง แบบแยกประเภทยานพาหนะ โดยการสำรวจ
ข้อมูลปริมาณจราจร สํารวจในช่วงเวลา 07:00 – 09:00
น. รวมถึงการสำรวจอื่นๆ ที่จำเป็นในการสร้าง
แบบจำลองระดับจุลภาค ประกอบด้วย จังหวะและเวลาใน
การปล่อยสัญญาณไฟจราจรในแต่ละทิศทาง เวลาของรอบ
สัญญาณไฟจราจร เวลาไฟเหลือง และเวลาไฟแดงทุกด้าน
จำนวนและความกว้างช่องจราจร ความกว้างของทางแยก
ความเร็วเข้าสู่ทางแยกและความเร็วขณะเลี้ยวของ
ยานพาหนะประเภท ความลาดชันของถนน ความยาวช่อง
รอเลี้ยว ระยะเวลากว่าง ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทาง
รวมถึงการใช้ภาพถ่ายทางอากาศในการกำหนดขอบเขต
ของทางแยก

4.2 กระบวนการพัฒนาแบบจำลองการจราจร

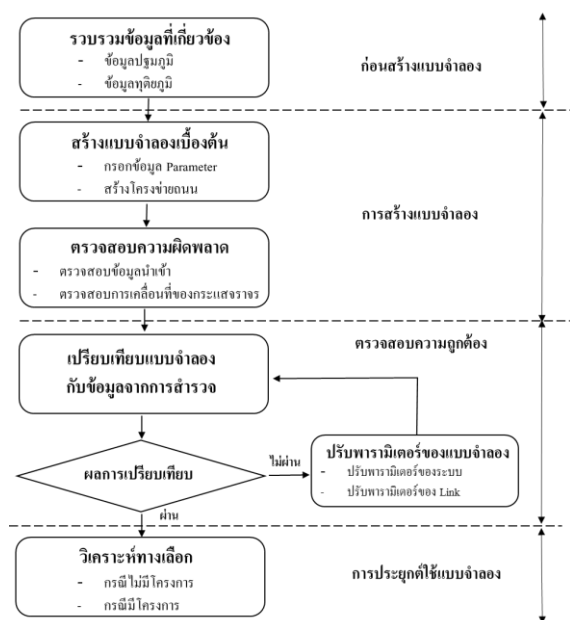
คณะผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้กระบวนการพัฒนา
แบบจำลองการจราจร (Traffic Simulation) [10]
ดังแสดงรูปที่ 4 และเลือกใช้โปรแกรม VISSIM
version 6.0 ในการสร้างแบบจำลองการจราจรระดับ
จุลภาค [11]

ในส่วนของการขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลอง
(Calibration) โดยการใช้ข้อมูลผลการศึกษาในอดีตของ
พื้นที่ศึกษาปี พ.ศ. 2557 [1] และทำการตรวจสอบ
ข้อมูลซ้ำอีกครั้ง (Validation) โดยที่ได้จากการสำรวจ
ซึ่งค่าดัชนีต่างๆ ที่จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะต้องผ่าน
เกณฑ์การพิจารณาปรับเทียบแบบจำลอง

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์ผลของทางเลือก
คณะผู้วิจัยได้เลือกรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร 3
รูปแบบ ประกอบด้วย 1. ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบ
คงที่ตามข้อมูลจราจรที่ได้จากการสำรวจ (New fixed
time) 2. ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบแปร
ผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทาง (Semi vehicle
actuated) ซึ่งรูปแบบนี้จะสอดคล้องกับสถานการณ์จริง
โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเป็นช่วงฤดูกาลที่มีการขนส่งอ้อย

ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการกำหนดสถานการณ์ โดยให้มีปริมาณรถบรรทุกในสถานการณ์ปกติ มีการเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 และเพิ่มร้อยละ 100 และ 3.ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบแปรผันตามปริมาณจราจรในทุกทิศทาง (Full vehicle actuated) โดยทั้งหมดจะถูกทำการเปรียบเทียบกับรูปแบบการใช้งานจริงในปัจจุบัน (Existing) ซึ่งเป็นแบบรอบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่

สำหรับตัวชี้วัดที่ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ประกอบด้วย ความล่าช้าเฉลี่ย และความล่าช้าเฉลี่ยเนื่องจากการหยุด โดยผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดจะเป็นค่าเฉลี่ยของทั้งทางแยก



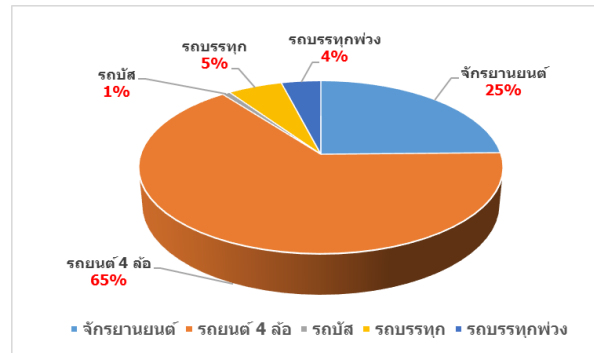
รูปที่ 4 กระบวนการพัฒนาแบบจำลองการจราจร

5. ผลการศึกษา

5.1 ลักษณะการจราจรในปัจจุบัน

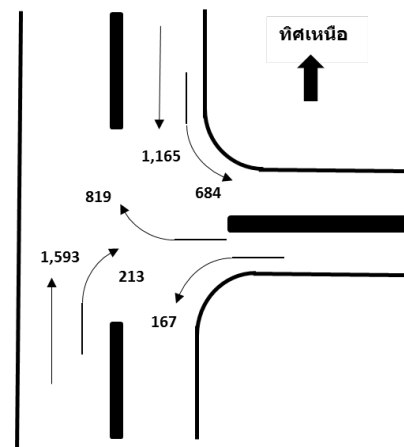
คณะผู้วิจัยได้ทำการสำรวจปริมาณจราจรที่สามแยกท่าพระ ในช่วงเวลา 07:30-08:30 น. (เร่งด่วนเช้า) พบว่ามีปริมาณจราจรประมาณ 4,800 คัน เมื่อแบ่งตามสัดส่วนประเภทของยานพาหนะดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่ารถยนต์สี่ล้อ มีปริมาณสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 65 รองลงมาคือ รถจักรยานยนต์ ร้อยละ 25 รถบรรทุก ร้อยละ 5

รถบรรทุกพ่วง ร้อยละ 4 และรถโดยสาร (รถบัส) ร้อยละ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 5 สัดส่วนปริมาณจราจรแยกประเภทยานพาหนะ

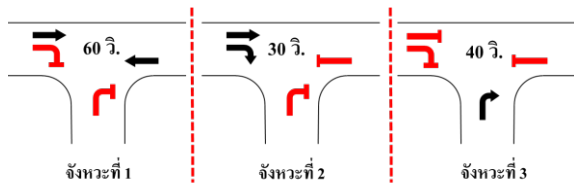
จากข้อมูลการสำรวจปริมาณจราจรในหน่วยเทียบท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger Car Unit, PCU) ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่ามีปริมาณจราจรในทิศทางมุ่งเหนือ (เข้าเมืองขอนแก่น) สูงสุด ประมาณ 2,400 คัน รองลงมา คือ มุ่งทิศใต้ (ออกจากเมืองขอนแก่น) มีปริมาณจราจรประมาณ 1,300 คัน และมุ่งทิศตะวันออก (เข้าอำเภอโกสุมพิสัย) ประมาณ 900 คัน



รูปที่ 6 ปริมาณจราจรของแต่ละทิศทางในหน่วยเทียบท่ารถยนต์ส่วนบุคคล

สำหรับรอบสัญญาณไฟจราจรในปัจจุบัน จากการสำรวจพบว่า มีความเวลาของรอบฯทั้งหมด 145 วินาที แบ่งได้เป็น 3 จังหวะการปล่อยสัญญาณไฟจราจร โดยระยะเวลาไฟเขียวในแต่ละทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 7

ทั้งนี้เมื่อสิ้นสุดช่วงสัญญาณไฟเขียว ระบบจะปรับเป็นสัญญาณไฟเหลือง 3 วินาที และไฟแดงทุกด้าน 2 วินาที ยกเว้นจากจังหวะการปล่อยสัญญาณไฟจราจรจากจังหวะที่ 1 เป็นจังหวะการปล่อยสัญญาณไฟจราจรที่ 2



รูปที่ 7 รอบสัญญาณไฟจราจรปัจจุบัน

ความเร็วของยานพาหนะแต่ละประเภทได้ถูกสำรวจในช่วงที่มีการเก็บข้อมูลปริมาณจราจร พบว่าความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ส่วนบุคคลในทิศใต้มุ่งสู่ทิศเหนือมีสูงที่สุด รองลงมาเป็นรถโดยสาร รถบรรทุก รถจักรยานยนต์ และรถบรรทุกพ่วง ตามลำดับทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปสร้างเป็นแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค และใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดพฤติกรรมเบื้องต้นของผู้ใช้ถนน

5.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง และตรวจสอบความถูกต้อง

ตัวแปรที่นำมาพิจารณาได้แก่ ปริมาณจราจร (Traffic volume) ความยาวแถวคอยสูงสุด (Max queue length) และความแปรปรวนของปริมาณจราจร (Variance GEH Statistic) ดังตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง (Calibration) และการตรวจสอบความถูกต้องซ้ำอีกครั้ง (Validation) ผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบทั้งหมด ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าการเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคบนพื้นที่ศึกษา มีความถูกต้องและใกล้เคียงสภาพความเป็นจริง

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการจราจร

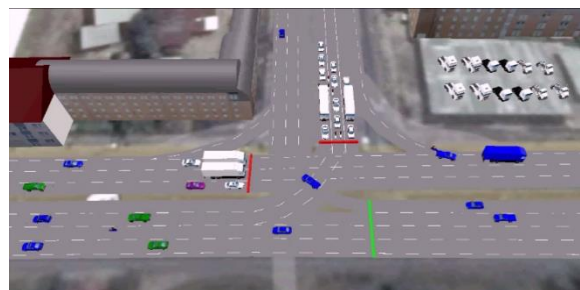
ทิศทาง	ปริมาณยานพาหนะ		ความแตกต่าง	เกณฑ์
	แบบจำลอง	สำรวจ		
ปริมาณจราจร (คัน/ชั่วโมง)				
S to N, T	1,627	1,709	-4.80%	< 15%
S to N, R	198	274	-76 veh.	< 100 veh.
N to S, L	547	639	-92 veh.	< 100 veh.
N to S, T	1,154	1,052	1.20%	< 15%

ทิศทาง	ปริมาณยานพาหนะ		ความแตกต่าง	เกณฑ์
	แบบจำลอง	สำรวจ		
E to W, L	184	155	29 veh.	< 100 veh.
E to W, R	895	985	9.14%	< 15%
All	4,605	4,814	-4.34%	< 5%
แถวคอยรวมที่ยาวที่สุด (เมตร)				
S to N	119	102	-16.67%	< 20%
N to S	147	154	4.55%	< 20%
E to W	88	107	17.76%	< 20%
เกณฑ์ปริมาณจราจรรวม GEH				
S to N, L	2.01	5	2.99	GEH < 5
S to N, R	4.95	5	0.05	GEH < 5
N to S, L	3.78	5	1.22	GEH < 5
N to S, T	3.07	5	1.93	GEH < 5
E to W, L	2.23	5	2.77	GEH < 5
E to W, R	2.94	5	2.06	GEH < 5
All	3.05	4	0.95	GEH < 4

หมายเหตุ: S หมายถึง ทิศใต้, N หมายถึง ทิศเหนือ, E หมายถึง ทิศตะวันออก, W หมายถึง ทิศตะวันตก, T หมายถึง ทางตรง, L หมายถึง เลี้ยวซ้าย, R หมายถึง เลี้ยวขวา และ All หมายถึง รวมทุกทิศทาง ตัวอย่าง เช่น S to N, T หมายถึง ทิศทางการเคลื่อนที่จาก ทิศใต้ ไป ทิศเหนือ, ในทิศทางตรง

5.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

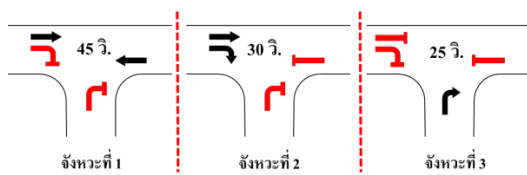
เมื่อได้แบบจำลองจราจรที่ผ่านเกณฑ์ต่างๆ แล้ว ดังแสดงในรูปที่ 8 คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในแต่ละทางเลือก โดยผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับปรุงทางแยกเพื่อลดความล่าช้าเนื่องจากเวลาหยุด (Stop time delay) และความล่าช้ารวม (Delay time) สรุปผลได้ดังนี้



รูปที่ 8 ตัวอย่างแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคของทางแยกท่าพระ

5.3.1 ทางเลือกที่ 1 การปรับปรุงรอบสัญญาณไฟใหม่จากระบบเดิม

รอบสัญญาณไฟจราจรที่ปรับให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรในปัจจุบัน คือ รอบสัญญาณไฟจราจรทั้งหมด 118 วินาที เวลาไฟเหลือง 4 วินาที ไฟแดงทุกด้าน 2 วินาที ระยะเวลาไฟเขียว แสดงดังรูปที่ 9 โดยรูปแบบจังหวะการปล่อยสัญญาณไฟจราจรยังคงใช้แบบเดิม เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ทำให้เกิดความล่าช้าน้อยที่สุด



รูปที่ 9 รอบสัญญาณไฟจราจรใหม่

ผลจากการประเมินพบว่า เมื่อปรับสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรในปัจจุบัน สามารถลดเวลาสูญเสียเนื่องจากความล่าช้าจากการหยุดลดลง 2.15 วินาที/คัน (ร้อยละ 12.22) และลดเวลาสูญเสียเนื่องจากความล่าช้ารวมลดลง 2.21 วินาที/คัน (ร้อยละ 8.91) เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ในปัจจุบัน

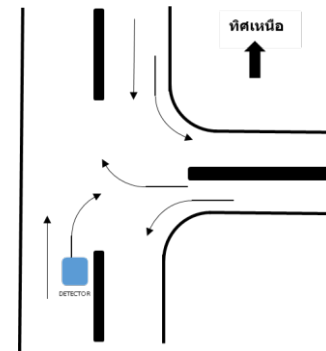
5.3.2 ทางเลือกที่ 2 ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแปรผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทาง

โดยกำหนดให้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะในบางทิศทาง ให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานในปัจจุบันของทางแยกท่าพระ ที่มีเฉพาะในทิศทางเลี้ยวขวา ดังแสดงในที่ 10 ซึ่งจะเปิดใช้งานในบางกรณีเท่านั้น

ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองฯ พบว่าสามารถลดเวลาสูญเสียเนื่องจากความล่าช้าได้ลดลง 8.94 วินาที/คัน (ร้อยละ 50.82) และเวลาสูญเสียเนื่องจากความล่าช้าลดลง 10.28 วินาที/คัน (ร้อยละ 41.43)

สำหรับกรณีที่มียานพาหนะรถบรรทุกเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 และร้อยละ 100 จากปริมาณรถบรรทุกในปัจจุบัน เฉพาะในทิศทางจากทิศใต้มุ่งสู่ทิศตะวันออก (เลี้ยวขวา) ระบบ

ดังกล่าวยังคงมีประสิทธิภาพในการลดเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดและความล่าช้าใกล้เคียงกับสภาพปริมาณรถบรรทุกในปัจจุบัน สำหรับกรณีที่รถบรรทุกมีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 แต่จะลดประสิทธิภาพลงเมื่อมีปริมาณรถบรรทุกเพิ่มขึ้นร้อยละ 100 เป็นร้อยละ 23.88 และร้อยละ 7.90 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ในปัจจุบัน



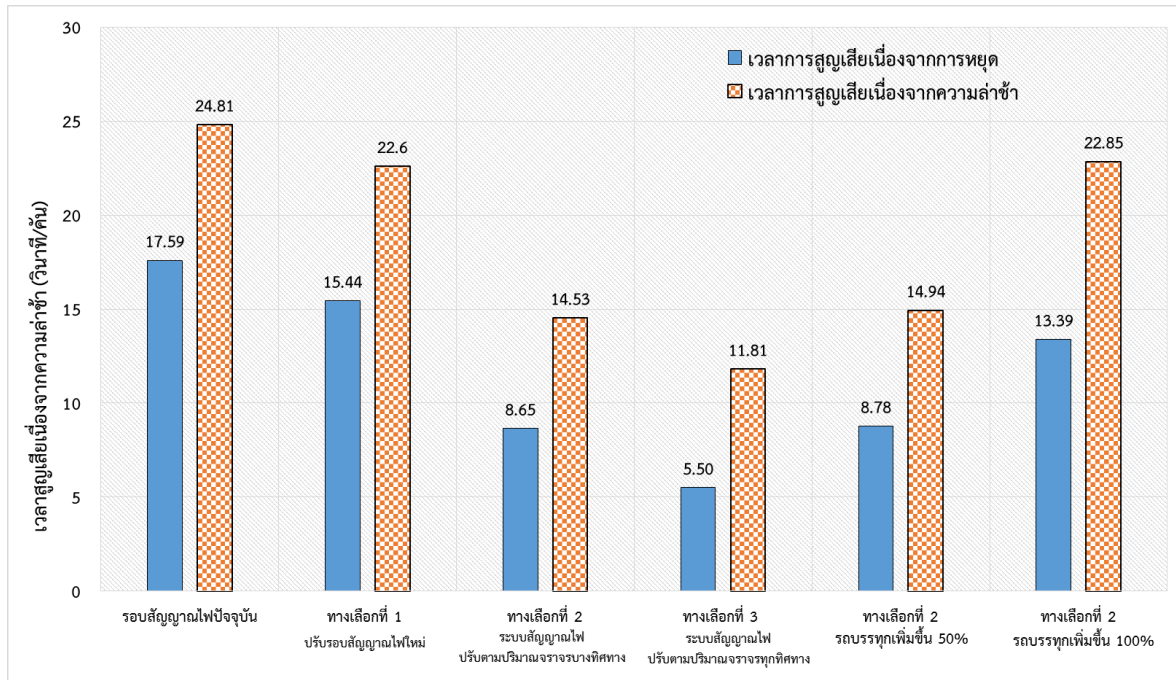
รูปที่ 10 ตำแหน่งการติดตั้งระบบตรวจปริมาณจราจรในปัจจุบัน

5.3.3 ทางเลือกที่ 3 ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแปรผันตามปริมาณจราจรทุกทิศทาง

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทางเลือกที่ 3 พบว่าสามารถลดเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด และเวลาสูญเสียเนื่องจากความล่าช้าได้มากที่สุด โดยสามารถลดเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดได้ 12.09 วินาที/คัน (ร้อยละ 68.73) ลดเวลาสูญเสียเนื่องจากความล่าช้าได้ 13 วินาที/คัน (ร้อยละ 52.40)

5.3.4 ผลการเปรียบเทียบความล่าช้า

ผลการเปรียบเทียบความล่าช้าของแต่ละทางเลือกแสดงในรูปที่ 11 พบว่าทางเลือกที่ 3 มีประสิทธิภาพในการลดความล่าช้าทั้งสองค่าได้สูงที่สุด รองลงมาคือทางเลือกที่ 2 และทางเลือกที่ 1 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสถานการณ์ปัจจุบัน ทั้งนี้สำหรับทางเลือกที่ 2 เมื่อมีการเพิ่มปริมาณรถบรรทุกในบางทิศทาง ยังคงมีประสิทธิภาพในการลดความล่าช้าได้ดีกว่าการใช้รูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในปัจจุบัน



รูปที่ 12 เปรียบเทียบเวลาการสูญเสียเนื่องจากความล่าช้าเฉลี่ยของแต่ละทางเลือก

5.3.5 มูลค่าผลประโยชน์จากการลดเวลาการเดินทาง

ผลการวิเคราะห์เวลาการเดินทางที่สามารถลดลงได้ หลังจากการปรับปรุงการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของแต่ละทางเลือก พบว่ารูปแบบทางเลือกทั้งสามมีผลต่อรถยนต์และรถปิกอัพส่วนบุคคลหรือรถบรรทุกขนาดเล็กมากที่สุด สำหรับทางเลือกที่ 2 และ 3 มีผลกับยานพาหนะทุกประเภทในแบบจำลอง โดยที่ทางเลือกที่ 3 มีผลต่อการเวลาการหยุดที่ทางแยกมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2

ทั้งนี้เมื่อพิจารณามูลค่าผลประโยชน์จากการลดเวลาการเดินทาง พบว่าทางเลือกที่ 1 มีผลต่อมูลค่าของเวลาในการเดินทางของรถยนต์และรถปิกอัพส่วนบุคคลหรือรถบรรทุกขนาดเล็กมากที่สุด ในขณะที่ทางเลือกที่ 2 และทางเลือกที่ 3 มีผลมูลค่าของเวลาในการเดินทางของรถยนต์และรถบรรทุกขนาดใหญ่หรือรถโดยสารมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3 และสำหรับผลรวมของมูลค่าเวลาในการเดินทางของยานพาหนะทุกประเภทในแบบจำลอง พบว่ารูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบแปรผันตามปริมาณจราจรมีมูลค่าผลประโยชน์ด้านการลดเวลาการเดินทางประมาณ 5.3 และ 7.3 เท่าของระบบ

สัญญาณไฟแบบคงที่ สำหรับแปรผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทางและทุกทิศทาง ตามลำดับ

ตารางที่ 2 เวลาที่ลดลงของยานพาหนะแต่ละประเภทและแต่ละรูปแบบทางเลือก

รูปแบบทางเลือกการควบคุมสัญญาณไฟจราจร	เวลาที่ลดลงจากการหยุดรถ (วินาที/คัน)			
	MC	PC	Pick up	Truck & Bus
ทางเลือกที่ 1: แบบคงที่ (Fixed-time)	0.26	3.07	3.33	0.27
ทางเลือกที่ 2: แปรผันตามปริมาณจราจรบางทิศทาง (Semi-VA)	5.59	10.73	9.54	6.66
ทางเลือกที่ 3: แปรผันตามปริมาณจราจรทุกทิศทาง (Full-VA)	8.81	13.47	14.28	9.92

หมายเหตุ: MC หมายถึง รถจักรยานยนต์, PC หมายถึง รถยนต์นั่งส่วนบุคคล, Pick up หมายถึง รถปิกอัพส่วนบุคคลหรือรถบรรทุกขนาดเล็ก และ Truck & Bus หมายถึง รถบรรทุกขนาดใหญ่ และรถโดยสารขนาดใหญ่

ตารางที่ 3 เวลาที่ลดลงของยานพาหนะแต่ละประเภท และแต่ละรูปแบบทางเลือก

รูปแบบทางเลือก	มูลค่าผลประโยชน์จากการลดเวลาการเดินทาง (ล้านบาท/ปี)				
	MC	PC	Pick up	Truck & Bus	รวมทุกประเภท
ทางเลือกที่ 1	0.02	0.86	0.22	0.09	1.19
ทางเลือกที่ 2	0.46	3.01	0.62	2.18	6.28
ทางเลือกที่ 3	0.73	3.78	0.93	3.25	8.69

หมายเหตุ: MC หมายถึง รถจักรยานยนต์, PC หมายถึง รถยนต์นั่งส่วนบุคคล, Pick up หมายถึง รถปิกอัพส่วนบุคคลหรือรถบรรทุกขนาดเล็ก และ Truck & Bus หมายถึง รถบรรทุกขนาดใหญ่ และรถโดยสารขนาดใหญ่,

6. สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการลดเวลาความล่าช้า จากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของทางแยกเดี่ยว ของ 3 กรณีทางเลือก ประกอบด้วย 1.ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ 2. ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบแปรผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทาง และ 3. ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบแปรผันตามปริมาณจราจรในทุกทิศทาง โดยใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคเป็นเครื่องมือในการประเมินผล

ผลการศึกษา พบว่าทั้งสามกรณีทางเลือกสามารถลดความล่าช้าเนื่องจากการหยุดได้ร้อยละ 12-69 และความล่าช้ารวมเฉลี่ยได้ร้อยละ 8-52 เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์ของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในปัจจุบัน โดยทางเลือกที่สามารถลดความล่าช้าได้สูงสุด คือ ระบบสัญญาณไฟจราจรแปรผันตามปริมาณจราจรในทุกทิศทาง (ทางเลือกที่ 3) รองลงมา คือ ระบบสัญญาณไฟจราจรแปรผันตามปริมาณจราจรบางทิศทาง (ทางเลือกที่ 2) และการปรับรอบสัญญาณไฟให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรในปัจจุบัน (ทางเลือกที่ 1) ตามลำดับ

ทั้งนี้รูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของทางเลือกที่ 3 สามารถช่วยลดเวลาความล่าช้าได้สูงสุดเนื่องสามารถช่วยปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟในแต่ละจังหวะให้สัมพันธ์กับปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกจริง ซึ่งรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรนี้จะช่วยไม่ให้เกิดเหตุการณ์ที่ยานพาหนะจอดรอจังหวะสัญญาณไฟแดงแบบสูญเปล่า

ทั้งนี้เมื่อพิจารณามูลค่าผลประโยชน์จากการลดเวลาการเดินทาง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า รูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในรูปแบบแปรผันตามปริมาณจราจร มีมูลค่าผลประโยชน์ด้านการลดเวลาการเดินทางประมาณ 5.3 และ 7.3 เท่าของระบบสัญญาณไฟแบบคงที่ สำหรับกรณีเลือกใช้รูปแบบระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบแปรผันตามปริมาณจราจรในบางทิศทางและแบบแปรผันตามปริมาณจราจรทุกทิศทาง ตามลำดับ

การศึกษานี้เป็นศึกษารูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรทั้ง 3 รูปแบบที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนในการกำหนดรูปแบบการปรับปรุงการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ทั้งนี้การศึกษานี้ได้ดำเนินการศึกษาภายใต้สมมุติฐานทางทฤษฎี และไม่มีข้อจำกัดหลายอย่าง การศึกษาในอนาคตจึงควรเพิ่มการวิเคราะห์ในประเด็นด้านผลประโยชน์ด้านอุบัติเหตุร่วมด้วย เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบแปรผันตามปริมาณจราจรได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการศึกษาครั้งนี้ รวมถึง เจ้าหน้าที่ตำรวจสถานีตำรวจภูธรเมืองขอนแก่น และสถานีตำรวจภูธรท่าพระ จังหวัดขอนแก่น และเจ้าหน้าที่แขวงทางหลวงขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] โครงการศึกษาแนวทางการปรับปรุงระบบสัญญาณไฟจราจรบนเส้นทางคมนาคมสายหลัก เพื่อลดการใช้พลังงานในภาคขนส่ง. รายงานฉบับสมบูรณ์, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.), 2557.
- [2] ข้อมูลอุบัติเหตุจากรถที่ทางแยกท่าพระ. สถานีตำรวจภูธรเมืองขอนแก่น, 2559.
- [3] Jengsupakarn, A. , Kanitpong, K. , and Jiwattanakulpaisarn, P. Factors Influencing Red Light Running Behavior: A Study of SocioEconomic Characteristics and Geometry of Intersections. Master of Engineering in Transportation Engineering, School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, 2013.
- [4] ธนากรณ์ ดิยะบุตร, วิชา เสถียรนาม และธนศ เสถียรนาม. การประยุกต์ใช้ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผนเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ในการฝ่าไฟแดงที่ทางแยกภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น. การประชุมวิชาการการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 10 เรื่อง การเชื่อมโยงการขนส่งอย่างปลอดภัยในอาเซียน, โรงแรมดิเอ็มเพรส จ.เชียงใหม่, 18 ธันวาคม 2558.
- [5] ธนพล พรหมรักษา, ธนศ เสถียรนาม และวิชา เสถียรนาม. การศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟประเภทกำหนดเวลาแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจรสำหรับกลุ่มทางแยก. การประชุมวิชาการการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 10 เรื่อง การเชื่อมโยงการขนส่งอย่างปลอดภัยในอาเซียน, โรงแรมดิเอ็มเพรส จ.เชียงใหม่, 18 ธันวาคม 2558.
- [6] โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการจราจรบริเวณทางแยกปริมณฑลและเมืองหลักเพื่อรองรับประชาคมอาเซียน (AEC). รายงานฉบับสมบูรณ์, กรมทางหลวง, 2558.
- [7] Roess, R. P. , Prassas, E. S. and McShance, W. P. Traffic Engineering. 3rd edition, Pearson Education, Inc., USA, 2004.
- [8] Dowling, R. , Skabardonis, A. , and Alexiadis, V. Traffic Analysis Toolbox Volume III. Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software, CA: Dowling Associates, 2004.
- [9] โครงการศึกษาพัฒนาปรับปรุงบำรุงรักษาระบบฐานข้อมูล ข้อเสนอแนะและแบบจำลอง เพื่อบูรณาการพัฒนาระบบขนส่งและจราจรการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและระบบโลจิสติกส์ (TDL). รายงานฉบับสมบูรณ์, กระทรวงคมนาคมสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข), 2558.
- [10] Federation Highway Administration. Traffic analysis toolbox volume iii: guideline for applying traffic micro simulation modeling software. Washington, D.C., U.S.A., 2004.
- [11] PTV, VISSIM 6.00 User Manual. Germany Federation Highway Administration FHWA. Washington, D.C., U.S.A., 2014.