

การจำลองสภาพการจราจรภายใต้ภาวะการล้นของแถวคอย โดยประยุกต์ใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับตัว

Traffic Simulation under Queue Spillover Conditions with introduction of Adaptive Signal Control (ASC)

นายเดชธร ยืนยงสวัสดิ์, นายณพงศ์ธัญ ลิ้มกาญจน์โชติ, นางสาวปัทม แสงเรืองอ่อน
และ รศ.ดร.สรวีศ นฤปิติ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการจำลองสภาพการจราจรในกรณีที่เกิดสภาวะรถติดอย่างหนักและเกิดเหตุการณ์การล้นของแถวคอย (Spillover) ซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น การศึกษานี้ใช้เทคนิคการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม VISSIM ในการจำลองสภาพการจราจรในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของยานพาหนะสูง รวมถึงการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะรถติดอย่างรุนแรง เช่น ความยาวของแถวคอย เวลาการเดินทาง ความหนาแน่นของการจราจร และความสามารถของระบบสัญญาณไฟจราจรแบบดั้งเดิมที่มีประสิทธิภาพอย่างจำกัด

ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการใช้โปรแกรม VISSIM ร่วมกับการปรับเปลี่ยนระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรมีประสิทธิภาพในการลดความยาวของแถวคอยและบรรเทาความแออัดของการจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วน ซึ่งสามารถลดผลกระทบต่อความต่อเนื่องของการจราจรในบริเวณใกล้เคียง การศึกษานี้จึงเน้นไปที่การปรับปรุงระบบการจัดการจราจรโดยใช้เทคนิคการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่มีความยืดหยุ่น รวมถึงเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาแนวทางการกระจายปริมาณรถให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ เพื่อช่วยลดผลกระทบจากการจราจรติดขัดและลดปัญหาการเกิด Spillover ในอนาคต

คำสำคัญ: การจำลองการจราจร, รถติด, Spillover, การควบคุมสัญญาณไฟจราจร, ความหนาแน่นของการจราจร

Abstract

The goal of this research is to investigate the modeling of traffic conditions in the event of spillover incidents and severe traffic congestion, which are frequent issues in bustling cities. This study simulates traffic situations in a high-density region using computer simulation techniques and the VISSIM simulation program. This involves taking into account variables including travel duration, traffic density, queue length, and the capacity of traffic signal systems to regulate high traffic levels, all of which have an impact on the likelihood of experiencing severe traffic congestion.

According to the simulation results, using the VISSIM program to simulate the scenario and altering it by controlling the duration of the traffic lights will shorten lines and ease traffic during rush hour, which can lessen the effect on local traffic continuity. Therefore, the goal of this study is to enhance the traffic management system through the use of adaptable traffic signal control approaches, such as a guide for creating a vehicle volume distribution strategy that is suitable for each area's environment to lessen the effects of traffic jams and prevent future spillover issues.

Keywords: Traffic simulation, congestion, spillover, traffic signal regulation, traffic density

1 บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันปัญหาการจราจรหนาแน่นถือเป็นหนึ่งในประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อเมืองขนาดใหญ่ โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วนหรือเทศกาล การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองสภาพการจราจรในสถานการณ์ติดขัดรุนแรงที่เกิดการล้นของแถวคอยท้ายแถวบ่อยครั้ง ด้วยการใช้โปรแกรม VISSIM เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่ และทดสอบการใช้ไฟจราจรแบบ Adaptive Signal Control ผลการศึกษาคาดว่าจะช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถวางแผนและควบคุมสัญญาณไฟจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดความแออัดและปรับปรุงการไหลของการจราจรในระยะยาว

2 การทบทวนวรรณกรรม

2.1 An Adaptive Signal Control Scheme to Prevent Intersection Traffic Blockage

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายพัฒนาแผนควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนได้ เพื่อลดปัญหาแถวคอยของรถล้นและปิดกั้นทางแยกในพื้นที่จราจรหนาแน่น โดยใช้ข้อมูลความเร็วรถแทนการวัดความยาวของแถวคอย เพื่อสั่งตัดหรือคืนไฟเขียวอย่างเหมาะสม การจำลองด้วยข้อมูลจริงเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟแบบเดิมพบว่าระบบ ASC สามารถป้องกันการล้นของแถวคอยได้ทั้งหมด ลดเวลารอในช่วงการทำงานรอง 40% ลดความแปรปรวนของ delay 70% และเพิ่ม throughput รวม 1.3% โดยช่วงการทำงานรองมีปริมาณรถผ่านเพิ่มขึ้นถึง 8% แสดงถึงประสิทธิภาพของแผนควบคุมใหม่นี้อย่างชัดเจน [1]

2.2 Optimizing the integrated off-ramp signal control to prevent queue spillback to the freeway mainline

งานวิจัยนี้ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองควบคุมสัญญาณไฟทางออกทางด่วนแบบบูรณาการ (IOSC) เพื่อลดปัญหาการล้นของแถวคอยย้อนกลับไปยังทางด่วนสายหลัก โดยใช้การจำลองในพื้นที่จริงด้วยโปรแกรม VISSIM เปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบเดิม TRANSYT-7F จุดเด่นของ IOSC คือมีโมดูลประเมินผลกระทบล้นของแถวคอย (OQI) และใช้อัลกอริทึม Genetic Algorithm ในการออกแบบสัญญาณไฟ ผลการทดลองพบว่า IOSC ช่วยเพิ่มปริมาณรถผ่านได้สูงสุด 9% ลดความล่าช้าเฉลี่ย 56% และลดความยาวของแถวคอยบริเวณทางออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยืนยันว่า IOSC เหมาะสมสำหรับการจัดการจราจรที่จุดเชื่อมต่อทางด่วน [2]

2.3 Adaptive signal control for reducing the effect of queue spillback

งานวิจัยนี้พัฒนาและประเมินระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับตัว (ASC) เพื่อแก้ปัญหาการล้นของแถวคอยในพื้นที่จราจรหนาแน่น โดยใช้การจำลองด้วย VISSIM และ VisVAP พร้อมฝัง queue detector และอัลกอริทึมควบคุมแบบ Real time ทดลองเปรียบเทียบระหว่างระบบ fixed-time กับ ASC ที่ตรวจจับแถวคอย

ในระยะ 30 และ 60 เมตร ผลลัพธ์พบว่า ASC ช่วยลดการล้นของแถวคอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใน Scenario 4 ลดเหตุการณ์การล้นของแถวคอยเหลือศูนย์ ลดระยะเวลาแถวคอยล้นจาก 22 นาทีเหลือ 0 นาที และเพิ่ม throughput ได้ถึง 14.46% พร้อมลดเวลารอและควบคุมความหนาแน่นจราจรได้ดี เหมาะสำหรับพื้นที่เสี่ยงการล้นของแถวคอย [3]

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การศึกษาข้อมูลสัญญาณไฟจราจรและการเดินทางที่เกิดขึ้นจริง

วัตถุประสงค์หลักของโครงการนี้คือเพื่อทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสถานการณ์จริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ในกรุงเทพมหานครที่มีการจราจรคับคั่ง และเกิดการล้นของแถวคอยบ่อยครั้ง โดยพื้นที่ที่เลือกคือแยกราชประสงค์ ถึง แยกชิดลม ซึ่งเป็นบริเวณทางแยกในเมืองทั่วไปที่มีการจราจรหนาแน่น ทำให้เหมาะเป็นสถานที่ทดสอบระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เสนอ

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลไฟจราจร

ระยะเวลาของวงจรสัญญาณไฟจราจรเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการจราจรและการจัดการล้นของแถวคอยของแยกราชประสงค์ ถึงแยกชิดลม โดยทางที่มจัดทำได้บันทึกระยะเวลาของแต่ละช่วงการทำงานไฟจราจรอย่างแม่นยำ ได้แก่ ไฟเขียว ไฟเหลือง และไฟแดง เพื่อวิเคราะห์ว่าเวลาสัญญาณไฟจราจรส่งผลต่อปริมาณจราจร ความยาวแถวคอย และความถี่ของการล้นของแถวคอยอย่างไร การเก็บข้อมูลดำเนินการในช่วงเวลา 17:00 – 18:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่การจราจรหนาแน่นสูงสุด

3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการจราจร

การเก็บข้อมูลปริมาณจราจรอย่างถูกต้องและแม่นยำถือเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ระดับความแออัดและความต้องการใช้งานของถนน ทีมวิจัยบันทึกวิดีโอจากมุมที่ครอบคลุมช่องทางเข้าและการเคลื่อนไหวทั้งหมดเพื่อติดตามการไหลของรถอย่างละเอียด ข้อมูลที่ได้ถูกนำมานับจำนวนและตรวจสอบซ้ำโดยอ้างอิงจากภาพวิดีโอ เพื่อเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ จากนั้นนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟจราจรเพื่อระบุช่วงเวลาที่เกิดแถวคอยล้น โดยจัดเรียงข้อมูลให้สอดคล้องกับลำดับของช่วงการทำงานสัญญาณไฟจราจร เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองการจราจรด้วยโปรแกรม VISSIM และประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนตามสภาพการจราจร (Adaptive Signal Control)

3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการล้นของแถวคอยและการกระจายตัวข้อมูล

ปรากฏการณ์แถวคอยล้น (spillover) ถือเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของระดับความหนาแน่นและความอึดตัวของทางจราจร การศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความยาวและการกระจายตัวของแถวคอยในช่วงเวลาการจราจรหนาแน่น (ชั่วโมงเร่งด่วน) อย่างเป็นระบบ โดยใช้กล้องวิดีโอและการสังเกตจากทีมงาน เพื่อวัดความยาวแถวคอยอย่างแม่นยำ ข้อมูลเหล่านี้ใช้ประเมินประสิทธิภาพของระบบสัญญาณไฟแบบปรับตัว (ASC) ในการลดปัญหาแถวคอยล้น รวมถึงใช้เป็นข้อมูลประกอบการพัฒนากลยุทธ์การควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสมกับสภาพจราจรในพื้นที่จริง [6] เพื่อส่งเสริมความต่อเนื่องของการจราจรและลดความแออัดบริเวณทางแยก

3.3 การรวบรวมข้อมูลและการทำความสะอาดข้อมูล (Cleaning data)

3.3.1 ปริมาณจราจร (Traffic Volume)

การเก็บข้อมูลปริมาณการจราจรอย่างถูกต้องและแม่นยำถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการวิเคราะห์รูปแบบของความแออัดในการจราจร โครงการนี้ใช้กล้องวิดีโอที่ติดตั้งในตำแหน่งซึ่งสามารถครอบคลุมช่องทางจราจรและทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เพื่อบันทึกการเคลื่อนไหวของจราจรในแต่ละช่วงช่วงการทำงานของสัญญาณไฟจราจร พร้อมจดบันทึกจังหวะไฟเขียว ไฟเหลือง และไฟแดง เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณยานพาหนะ วิธีการดังกล่าวช่วยให้สามารถวิเคราะห์การสะสมและการระบายของยานพาหนะในแต่ละรอบของสัญญาณจราจรได้อย่างชัดเจนและเป็นระบบ และใช้เป็นข้อมูลหลักในการจำลองและตรวจสอบในโปรแกรมจำลองการจราจร

3.3.2 ระยะเวลาหนึ่งรอบของสัญญาณไฟจราจร (Cycle Time of Traffic Lights)

ระยะเวลาของหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจรมีอิทธิพลต่อการไหลของการจราจรและความยาวของแถวคอยยานพาหนะ งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการบันทึกระยะเวลาของแต่ละช่วงการทำงานของสัญญาณไฟเขียว ไฟเหลือง และไฟแดง [4] เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรและการเกิดปรากฏการณ์แถวคอยล้น (spillover) ข้อมูลถูกรวบรวมจากการบันทึกวิดีโอควบคู่กับการสังเกตการณ์ภาคสนาม เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ข้อมูลดังกล่าวถูกนำไปใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองในโปรแกรม VISSIM เพื่อให้สามารถจำลองพฤติกรรมจราจรที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง และใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนตามสภาพการจราจร (Adaptive Signal Control: ASC) ในการบรรเทาปัญหาการจราจรติดขัด

3.3.3 การล้นของแถวคอยและการกระจายแถวคอย

ปรากฏการณ์การล้นของแถวคอย (Queue Spillover) เป็นภาวะที่ความยาวของยานพาหนะที่รอสัญญาณไฟจราจรเกินขีดความสามารถในการรองรับของทางแยก จนล้นออกไปยังถนนช่วงก่อนถึงแยก ส่งผลกระทบต่อความต่อเนื่องของการจราจรในทิศทางอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ถือเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่สะท้อนระดับความรุนแรงของปัญหาการจราจรติดขัด

การวิเคราะห์ขอบเขตและระยะเวลาของการเกิด Spillover จึงมีความสำคัญต่อการประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยเฉพาะในบริบทของการทดสอบระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับตัว (Adaptive Signal Control: ASC) การเก็บข้อมูลในครั้งนี้เน้นการวัดความยาวของแถวคอย และติดตามการขยายตัวของแถวคอยในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน โดยใช้กล้องวิดีโอที่ติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อตรวจสอบเหตุการณ์ล้นแถว [5]

ข้อมูลที่ได้อาจถูกนำไปใช้ในการสนับสนุนการพัฒนาและปรับปรุงกลยุทธ์การควบคุมสัญญาณไฟให้เหมาะสมกับลักษณะจราจรในแต่ละจุด เพิ่มประสิทธิภาพในการระบายรถ ลดความแออัด และส่งเสริมความคล่องตัวของการจราจรในเขตเมือง

3.4 การวางแผนการจำลองการจราจร

3.4.1 การดำเนินการจำลอง

เมื่อแบบจำลองได้รับการตรวจสอบความถูกต้องแล้วโดยใช้ซอฟต์แวร์จำลองการจราจร PTV VISSIM 2024 จึงได้นำแบบจำลองดังกล่าวไปใช้ในการจำลองสถานการณ์โดยประยุกต์ใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนตามสภาพการจราจร (Adaptive Signal Control: ASC) โดยประเมินประสิทธิภาพจากค่าความล่าช้า ความยาวแถวคอย ปริมาณรถที่ผ่านแยก (Throughput) และจำนวนเหตุการณ์ Spillover พร้อมวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเสนอแนะแนวทางแก้ไขที่เหมาะสมต่อไป

3.5 การจำลองการจราจรด้วยโปรแกรม VISSIM

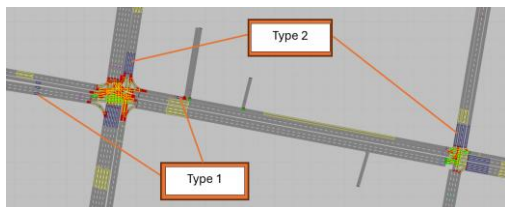
3.5.1 การพัฒนาแบบจำลอง VISSIM

ในการจำลองสถานการณ์การจราจรบริเวณแยกทางประสงค์ ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองได้รับการปรับปรุงเพื่อให้สะท้อนสภาพจราจรจริงได้อย่างแม่นยำที่สุด จึงได้มีการเก็บข้อมูลการจราจรเพิ่มเติมจากบริเวณแยกชิดลม โดยรวบรวมข้อมูลในด้านทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ความหนาแน่นของจราจรในแต่ละช่วงเวลา และรายละเอียดของการทำงานของระบบสัญญาณไฟจราจร รูปแบบการจัดการเส้นทางการจราจรในลักษณะที่แตกต่างกัน ถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองการจราจร และใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากการจัดการจราจรในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.5.2 Model for Control Logic for Adaptive Signal Control (ASC)

เพื่อให้การจำลองสถานการณ์จราจรบริเวณแยกราชประสงค์และแยกชิดลมสอดคล้องกับสภาพการจราจรจริงอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบปรับตัว (Adaptive Signal Control: ASC) ซึ่งสามารถปรับระยะเวลาไฟเขียว/แดงแบบทันทีตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยอาศัยข้อมูลจากเครื่องตรวจจับ (Detector) จำนวน 2 ประเภท ดังนี้

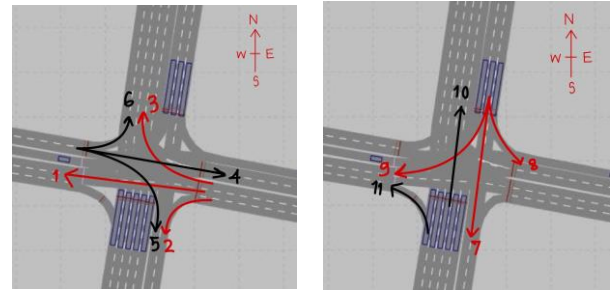
1. Detector Type 1 (ยาว 5 เมตร): ตรวจจับการหยุดนิ่งของรถบริเวณจุดหยุด เพื่อประเมินระดับการสะสมของรถบนรอไฟแดง
2. Detector Type 2 (ยาว 25 เมตร): ตรวจจับจำนวนรถที่เคลื่อนผ่านก่อนถึงแยก เพื่อหลีกเลี่ยงการเปิดไฟเขียวโดยไม่จำเป็น



รูปที่ 1 ลักษณะ Detector ที่บริเวณเส้นทางถนนในบริเวณแยกราชประสงค์และแยกชิดลม

การบูรณาการข้อมูลจากเครื่องตรวจจับทั้งสองประเภทช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณและปรับระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรในระบบ ASC ส่งผลให้สามารถลดความยาวของแถวรอและระยะเวลาความล่าช้า รวมถึงส่งเสริมความต่อเนื่องในการไหลของการจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

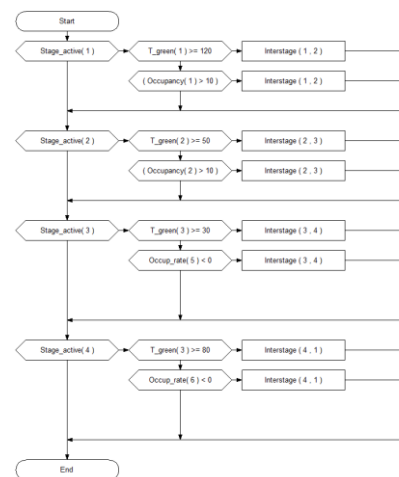
ในการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร ได้เริ่มต้นจากการนำรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบดั้งเดิมที่ใช้งานในภาคสนามมาเป็นกรณีศึกษา และเปรียบเทียบกับระบบควบคุมสัญญาณแบบปรับเปลี่ยนตามสภาพการจราจร (Adaptive Signal Control: ASC) เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของสภาพการจราจรในแต่ละช่วงเวลา ได้จัดทำแผนผังลำดับขั้นตอน (Flow Diagram) เพื่อแสดงกระบวนการทำงานของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร การเปลี่ยนสถานะของสัญญาณในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงเงื่อนไขในการเข้าสู่สัญญาณไฟเขียวของแต่ละทิศทาง โดยเชื่อมโยงกับข้อมูลจากเครื่องตรวจจับทั้งสองประเภทที่ติดตั้งจริงในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ บริเวณแยกราชประสงค์และแยกชิดลม



รูปที่ 2 เส้นทางถนนบริเวณแยกราชประสงค์

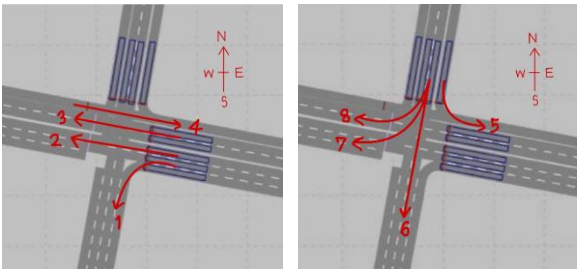
ตาราง 1 การกำหนดช่วงการทำงาน (Stage) ของไฟจราจรที่ใช้ในแต่ละถนนของแยกราชประสงค์ทั้งในภาคสนามจริงและปรับค่าเพื่อนำมาจำลองในโปรแกรม

Stage	Path	Real-World (s)	Simulator (s)
1	1, 2, 3	177	212
2	4, 5, 6	89	94
3	7, 8, 10, 11	64	54
4	7, 8, 9	77	90
	Cycle Time	407	450



รูปที่ 3 แสดงถึง Flow Diagram ของการทำงานของ ASC ที่แยกราชประสงค์

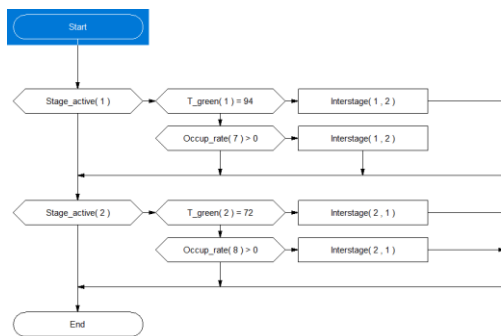
แผนผังลำดับการทำงาน (Flow Diagram) ของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนตามสภาพการจราจร (Adaptive Signal Control: ASC) สำหรับแยกราชประสงค์ ถูกออกแบบให้ประกอบด้วย 4 ช่วงการทำงาน (Stage) โดยในแต่ละช่วงจะมีการกำหนดระยะเวลาสูงสุดของสัญญาณไฟเขียวที่แตกต่างกันตามลักษณะของการจราจรในแต่ละทิศทาง ระบบจะประมวลผลข้อมูลจากเครื่องตรวจจับทั้งสองประเภทเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่วงการทำงานแบบทันที และสามารถปรับเปลี่ยนได้ทันทีโดยไม่ต้องรอให้ครบระยะเวลาที่ตั้งไว้ ส่งผลให้ระบบสามารถปรับตัวต่อสภาพการจราจรจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยช่วยลดระยะเวลาการรอคอยในช่องทางที่ไม่มีจราจร และเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายยานพาหนะในทิศทางที่มีความหนาแน่นสูง



รูปที่ 4 แสดงถึงเส้นทางถนนบริเวณแยกชิดลม

ตาราง 2 การกำหนดช่วงการทำงาน (Stage) ของไฟจราจรที่ใช้ในแต่ละถนนของแยกชิดลมทั้งในภาคสนามจริงและปรับค่าเพื่อนำมาจำลองในโปรแกรม

Stage	Path	Real-World (s)	Simulator (s)
1	1, 2, 3	118	94
2	4, 5, 6	90	75
	Cycle Time	208	169



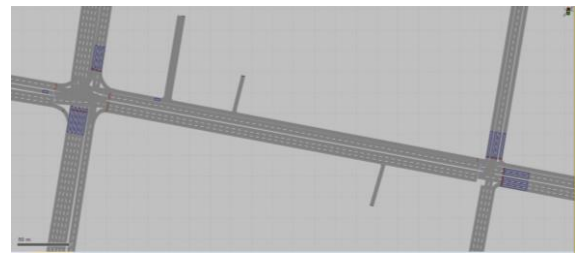
รูปที่ 5 แสดงถึง Flow Diagram ของการทำงานของ ASC ที่ชิดลม

แผนผังลำดับขั้นตอน (Flow Diagram) ของแยกชิดลม แสดงกระบวนการทำงานในช่วงที่ 1 (Stage 1) โดยมีการกำหนดระยะเวลาสูงสุดของสัญญาณไฟเขียวซึ่งได้จากการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับสภาพจำลองการจราจร ในกรณีที่ระบบไม่ตรวจพบความผิดปกติจากเครื่องตรวจจับ (Detector) ระบบจะอนุญาตให้สัญญาณไฟเขียวทำงานจนครบระยะเวลาที่กำหนดตามแผน อย่างไรก็ตาม หากเครื่องตรวจจับประเภทที่ 2 ตรวจพบว่าไม่มียานพาหนะในช่องทางดังกล่าว ระบบจะดำเนินการเปลี่ยนเข้าสู่ช่วงที่ 2 (Stage 2) โดยทันที เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายยานพาหนะ เงื่อนไขในการควบคุมดังกล่าวช่วยให้ระบบสัญญาณไฟจราจรสามารถปรับเปลี่ยนตามสภาพการจราจรจริงได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

4. ผลดำเนินโครงการ

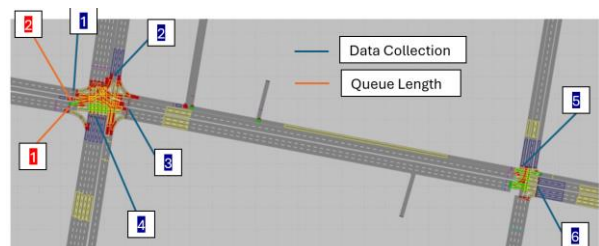
4.1 ผลดำเนินการจากการจำลองโปรแกรมและการวิเคราะห์ข้อมูล

การจำลองระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรในพื้นที่ศึกษา มีการประเมินประสิทธิภาพผ่านตัวชี้วัดหลักจำนวน 3 รายการ ได้แก่ ปริมาณการจราจรที่ผ่านเข้าสู่แยก (Throughput), ระยะเวลาความล่าช้าของแถวคอย (Queue Delay) และความยาวของแถวคอยที่ล้นออกจากทางแยก (Queue Spillover Length) โดยข้อมูลของตัวชี้วัด Throughput และ Queue Delay ได้รับการเก็บรวบรวมผ่านชุดเครื่องตรวจจับข้อมูล (Data Collection Detectors) ที่ติดตั้งบริเวณปลายช่องทางขาเข้าก่อนถึงทางแยก สำหรับข้อมูลของตัวชี้วัด Queue Spillover Length มีการติดตั้งเครื่องตรวจจับแถวรอ (Queue Detector) เพิ่มเติมในตำแหน่งต้นทางของช่องทางจราจร เพื่อใช้ในการตรวจวัดความยาวของแถวรอที่ล้นออกจากทางแยก



รูปที่ 6 แสดงถึงการจำลองสภาพถนนจากภาคสนามในโปรแกรมจำลอง

โปรแกรมจำลองการศึกษาเปรียบเทียบกับระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบดั้งเดิมกับระบบควบคุมแบบปรับเปลี่ยนตามสภาพการจราจร (Adaptive Signal Control: ASC) ซึ่งสามารถปรับระยะเวลาสัญญาณให้สอดคล้องกับสภาพการจราจรจริงในแต่ละช่วงเวลา ข้อมูลถูกจัดเก็บจากเครื่องตรวจจับ (Detector) ที่ติดตั้งไว้ในตำแหน่งยุทธศาสตร์บริเวณพื้นที่ศึกษา ตัวชี้วัด Throughput ใช้ในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะที่ผ่านทางแยกในแต่ละรอบของสัญญาณไฟจราจร ตัวชี้วัด Queue Delay ใช้ในการวัดระยะเวลาที่รถหยุดนิ่งก่อนที่จะเคลื่อนผ่านทางแยก และตัวชี้วัด Queue Spillover Length ใช้ในการวัดความยาวของแถวรอที่ล้นออกนอกขอบเขตที่กำหนดไว้ ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ASC ในการลดความล่าช้าและปรากฏการณ์แถวคอยล้น เมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบดั้งเดิม



รูปที่ 7 แสดงถึง Detector แต่ละชนิดในการเก็บข้อมูล

4.1.1 ปริมาณรถที่ไหลผ่าน (Throughput)

ตารางที่ 3 แสดงถึงปริมาณรถที่ไหลผ่านในแยกราชประสงค์และแยกชิดลม

Throughput (Veh)	Detector	fixed	ASC	Compare (%)
แยกราชประสงค์	1	244	243	-0.41
	2	465	503	8.17
	3	1535	1545	0.65
	4	476	531	11.55
	sum	2720	2822	3.75
แยกชิดลม	5	698	776	11.17
	6	1285	1371	6.69
	sum	1983	2147	8.27

จากผลการจำลองเปรียบเทียบระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบดั้งเดิมกับระบบ Adaptive Signal Control (ASC) พบว่า ASC มีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณการระบายรถ (Throughput) อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่แยกราชประสงค์มีปริมาณรถที่ผ่านได้เพิ่มขึ้นจาก 2,720 คัน เป็น 2,822 คัน หรือคิดเป็นร้อยละ 3.75 ขณะที่แยกชิดลมซึ่งมีปริมาณจราจรน้อยกว่าและลักษณะพื้นที่ downstream เชื่อมต่อการระบายรถ พบว่า Throughput เพิ่มขึ้นจาก 1,983 คัน เป็น 2,147 คัน หรือคิดเป็นร้อยละ 8.27 ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า ASC สามารถปรับเวลาสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณยานพาหนะที่ตรวจวัดได้แบบทันทีทันใด ส่งผลให้การสะสมของรถย่นและเพิ่มความต่อเนื่องในการจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.1.2 ระยะเวลาที่รถต้องรอในแถวคอย (Queue Delay)

ตารางที่ 4 แสดงถึงระยะเวลาที่รถต้องรอในแถวคอยที่แยกราชประสงค์ และแยกชิดลม

Queue Delay (Sec)	Detector	fixed	ASC	Compare (%)
แยกราชประสงค์	1	1,329.330	959.229	-27.841
	2	367.474	267.116	-27.310
	3	501.923	1037.801	106.765
	4	1467.155	112.472	-92.334
	sum	3665.881	2376.617	-35.169
แยกชิดลม	5	972.081	844.829	-13.091
	6	83.519	471.964	465.098
	sum	1055.600	1316.793	24.744

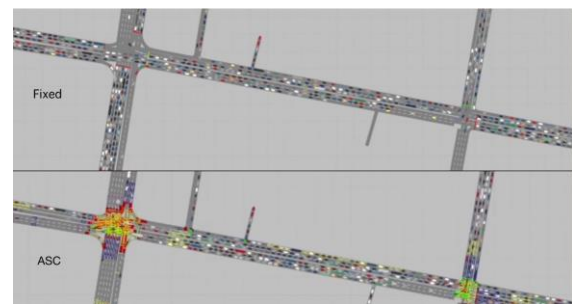
ผลการจำลองระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบ Adaptive Signal Control (ASC) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการลดความล่าช้าของแถวคอย (Queue Delay) ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะบริเวณแยกราชประสงค์ ซึ่งค่าเฉลี่ยของความล่าช้าลดลงจาก 3,666 วินาที เหลือ 2,377 วินาที หรือคิดเป็นการลดลงร้อยละ 35.17 สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบ ASC ในการปรับเวลาสัญญาณไฟเขียวให้สอดคล้องกับปริมาณยานพาหนะที่ตรวจวัดได้ในขณะนั้น อันส่งผลต่อการลดการสะสมของแถวคอย

อย่างไรก็ดี ที่บริเวณแยกชิดลมพบว่าค่าความล่าช้าของแถวคอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แม้ปริมาณการระบายรถ (Throughput) จะเพิ่มขึ้นก็ตาม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่ระบบ ASC ลดระยะเวลาการปล่อยรถจากแยกชิดลม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาการล้น

สะสมของรถ (Spillover) บริเวณ downstream ที่แยกราชประสงค์ สถานการณ์ดังกล่าวสะท้อนถึงความซับซ้อนและข้อแลกเปลี่ยน (trade-off) ที่ต้องพิจารณาในการออกแบบการควบคุมสัญญาณแบบ ASC ซึ่งควรดำเนินการอย่างสมดุลระหว่างพื้นที่ต้นทาง (upstream) และปลายทาง (downstream) เพื่อให้ระบบจราจรโดยรวมสามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

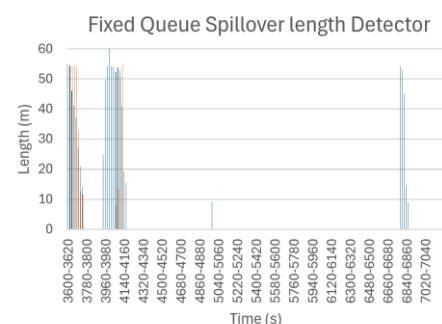
4.1.3 ระยะเวลาของแถวคอยที่ล้นออกไปยังช่องทางหรือพื้นที่อื่น (Queue Spillover Length)

ความยาวแถวคอยล้น (Queue Spillover Length) ถือเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยสะท้อนถึงระดับความแออัดเมื่อปริมาณยานพาหนะสะสมเกินขีดความสามารถของพื้นที่รองรับ ส่งผลให้แถวคอยล้นออกไปยังช่องทางจราจรอื่น และก่อให้เกิดผลกระทบต่อความต่อเนื่องของการจราจรโดยรวม การเกิดแถวคอยล้นดังกล่าวถือเป็นสัญญาณที่ชี้ให้เห็นว่าระบบควบคุมสัญญาณไม่สามารถบริหารจัดการปริมาณยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอาจจำเป็นต้องมีการปรับระยะเวลาไฟเขียวหรือลำดับการให้สัญญาณใหม่ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

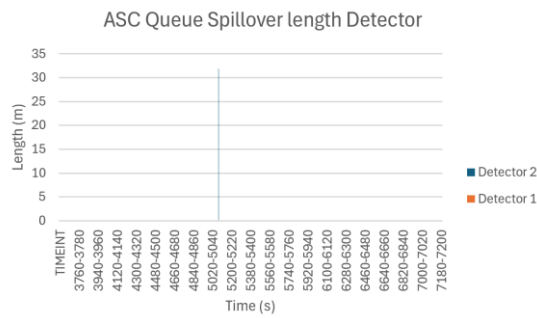


รูปที่ 8 เปรียบเทียบการจำลองการเกิด Spillover ของไฟจราจรแบบ Fixed และ ASC

ในการศึกษาดังกล่าวได้มีการใช้เครื่องตรวจจับแถวคอย (Queue Detectors) เพื่อตรวจวัดและเปรียบเทียบความยาวของแถวคอยระหว่างระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบดั้งเดิม (Fixed) กับระบบ Adaptive Signal Control (ASC) โดยผลการจำลองถูกนำเสนอในรูปแบบกราฟ เพื่อใช้ในการประเมินว่า ASC มีประสิทธิภาพในการลดปัญหาการเกิดแถวคอยล้นได้ดีกว่าระบบเดิมเพียงใด



รูปที่ 9 กราฟแสดงความยาวของแถวคอย จาก Fixed Signal Control Detector



รูปที่ 10 กราฟแสดงความยาวของแถวคอย จาก ASC Signal Control Detector

ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบดั้งเดิมมี (Fixed) แนวโน้มที่จะเกิดปัญหาการล้นของแถวคอย (Queue Spillover) บ่อยครั้ง โดยแถวของยานพาหนะมีความยาวเกินขอบเขตพื้นที่รองรับ และใช้ระยะเวลานานในการสลายแถวคอย ส่งผลกระทบต่อการจราจรในช่องทางอื่นที่เกี่ยวข้อง ในทางกลับกัน ระบบควบคุมสัญญาณแบบ Adaptive Signal Control (ASC) พบการเกิด Spillover เพียงครั้งเดียวตลอดช่วงเวลารจำลอง และสามารถสลายแถวคอยได้อย่างรวดเร็ว โดยความยาวของแถวคอยไม่เกินพื้นที่สะสมที่กำหนดไว้ ซึ่งคาดการณ์ว่าเกิดจากช่องทางการระบายของ Detector 2 ตรวจพบนั้น มี downstream ที่จำกัด แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการจำลองนั้นจะเห็นได้ว่ามีความยาวน้อยแถวคอยไม่มากและใช้เวลาสลายแถวคอยได้รวดเร็ว

ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบ ASC ในการบริหารจัดการปริมาณยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนเวลาสัญญาณให้สอดคล้องกับสภาพจราจรในขณะนั้น ซึ่งช่วยลดโอกาสในการเกิดความล่าช้า และเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของการจราจรสูง เช่น บริเวณแยกในเขตเมือง

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองสภาพการจราจรที่เกิดปรากฏการณ์แถวคอยล้นแยก (Queue Spillover) โดยอิงจากข้อมูลจริงในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ผลของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนได้ (Adaptive Signal Control: ASC) และการควบคุมจราจรแบบดั้งเดิม (Fixed) โดยมุ่งเน้นการประเมินผลผ่านตัวชี้วัดหลัก ได้แก่ ความยาวของแถวคอย (Queue Length), ระยะเวลาความล่าช้า (Delay) และ ปริมาณยานพาหนะที่สามารถผ่านแยกได้ (Throughput)

ผลลัพธ์จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ระบบ ASC มีศักยภาพในการยกระดับประสิทธิภาพการบริหารจัดการจราจรบริเวณทางแยกได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบดั้งเดิมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

5.1.1 ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบ Adaptive Signal Control (ASC) มีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณการจราจรที่สามารถเคลื่อนผ่านบริเวณทางแยกได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนระยะเวลาไฟเขียวให้สอดคล้องกับปริมาณยานพาหนะในแต่ละทิศทางแบบทันทีทันใด ส่งผลให้การเคลื่อนตัวของจราจรเป็นไปอย่างสมดุลและมีประสิทธิภาพ

5.1.2 ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบ Adaptive Signal Control (ASC) มีบทบาทสำคัญในการลดความล่าช้าในการเดินทาง โดยสามารถปรับระยะเวลาไฟเขียวให้เหมาะสมกับปริมาณยานพาหนะในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน ซึ่งระบบสามารถจัดสรรเวลาไฟเขียวให้กับทิศทางที่มีปริมาณรถมากได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้การระบายยานพาหนะเป็นไปอย่างคล่องตัว

5.1.3 การนำระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบ Adaptive Signal Control (ASC) มาใช้งานสามารถลดความยาวของแถวคอยยานพาหนะและลดโอกาสการเกิดแถวคอยล้นแยก (Spillover) ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยระบบสามารถควบคุมความยาวของแถวคอยให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่ล้นเกินพื้นที่รองรับของทางแยก และสามารถปรับการทำงานเพื่อตอบสนองต่อสภาพจราจรที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การจำลองสภาพการจราจรภายใต้ภาวะการล้นของแถวคอย โดยประยุกต์ใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับตัว (Spillover) Traffic Simulation under Queue Spillover Conditions through the Integration of Adaptive Signal Control (ASC) เพื่อการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สรวิศ นฤปิติ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อย ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยชิ้นนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Yilong Ren, Yunpeng Wang, Guizhen Yu./ An Adaptive signal Control Scheme to Prevent Intersection Traffic Blockage./ The IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems./ <https://ieeexplore.ieee.org/document/7579171>
- [2] Yen-Yu Chen./ Optimizing the integrated off – ramp signal control to prevent queue spillback to the freeway mainline./ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X21002345>
- [3] Eamlong Tang./ Adaptive signal control for reducing the effect of queue spillback./ Chulalongkorn University./ <https://digital.car.chula.ac.th/cgi/viewcontent.cgi?article=13239&context=chulaetd>
- [4] Gazis, D. C. (1979). Traffic flow theory. *IMA Journal of Applied Mathematics*, 8(2), 164–176./ <https://doi.org/10.1093/imamat/8.2.164>
- [5] City of Grapevine. (n.d.). *Adaptive signal control*. Retrieved May 12, 2025, from <https://www.grapevinetexas.gov/534/Adaptive-Signal-Control>
- [6] Center for Urban Policy Research. (n.d.). *Adaptive signal control technology*. Rutgers University. Retrieved May 12, 2025, from <https://cupr.rutgers.edu/adaptive-signal-control-technology/>