



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์การจัดการความปลอดภัยของการออกแบบทาง
แยกทางเลือกใหม่: กรณีศึกษาการออกแบบทางแยก
ที่มีเกาะกลางสำหรับโครงข่ายถนน
ในจังหวัดเชียงใหม่

โดย นายณพดล กรประเสริฐ และคณะ

พฤษภาคม 2561

สัญญาเลขที่ MRG5980074

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์การจัดการความปลอดภัยของการออกแบบทาง
แยกทางเลือกใหม่: กรณีศึกษาการออกแบบทางแยก
ที่มีเกาะกลางสำหรับโครงข่ายถนน
ในจังหวัดเชียงใหม่

คณะผู้วิจัย

สังกัด

นายณพดล กรประเสริฐ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

นายปรีดา พิษยาพันธ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

นายประพทธี ทรงจิตรักษา Texas A&M Transportation Institute

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและ
ต้นสังกัด

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย
สกว.และต้นสังกัดไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

รูปแบบ Abstract (บทคัดย่อ)

Project Code : MRG5980074

Project Title :

การวิเคราะห์การจัดการและความปลอดภัยของการออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่: กรณีศึกษา
การออกแบบทางแยกที่มีเกาะกลางสำหรับโครงข่ายถนนในจังหวัดเชียงใหม่

Operational and Safety Analyses of Alternative Intersection Designs: A Case Study of
Median Intersection Design for Road Network in Chiang Mai

Investigator : นายนพดล กรประเสริฐ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail Address : nopkron@eng.cmu.ac.th

Project Period : 2 ปี (2 พฤษภาคม 2559 ถึง 1 พฤษภาคม 2561)

การออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (Restrict Crossing U-Turn Intersection: RCUT) ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางเพื่อนำไปปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยบริเวณทางแยกที่เกาะกลางที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร มีปริมาณจราจรสูงประกอบกับยานพาหนะขับด้วยความเร็วสูงบนถนนสายหลัก ซึ่งทางแยกดังกล่าวนี้จะจำกัดไม่ให้ถนนสายรองเลี้ยวขวาตัดกับกระแสจราจรบนถนนสายหลักได้โดยตรง ซึ่งยานพาหนะที่ออกจากถนนสายรองถูกบังคับเลี้ยวซ้ายเท่านั้น เพื่อลดการตัดกันของกระแสจราจร อย่างไรก็ตามสำหรับการออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ ยังไม่มีเงื่อนไขในการกำหนดระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม หากระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางมีระยะมากเกินไปจะส่งผลต่อเวลาในการเดินทางของผู้ขับขี่ที่มาจากถนนสายรอง หากระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางมีระยะน้อยเกินไปจะส่งผลให้มีความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุสูง สำหรับการออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยของทางแยก งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์หาระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมของการออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยของทางแยก โดยทบทวนงานวิจัยที่มีอยู่ในปัจจุบัน จากนั้นพัฒนาแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคที่ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่แตกต่างกันหลายสถานการณ์ วิเคราะห์และเปรียบเทียบมูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้นและการมูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้นในแต่ละสถานการณ์

กำหนดระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากมูลค่าใช้จ่ายรวมระหว่างมูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้นและการมูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้นที่ต่ำสุด และในขั้นตอนสุดท้ายแสดงผลเป็นของรูปแบบตารางและกราฟในระยะเวลาที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่า การออกแบบทางแยกดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรบนถนนสายหลัก สายรอง ความเร็ว และสัดส่วนของประเภทยานพาหนะ (โดยเฉพาะสัดส่วนรถบรรทุก) ดังนั้นระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมนั้นอาจให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่

คำสำคัญ: การออกแบบทางแยก ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ ช่องเปิดเกาะกลาง แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค ความปลอดภัยบนท้องถนน

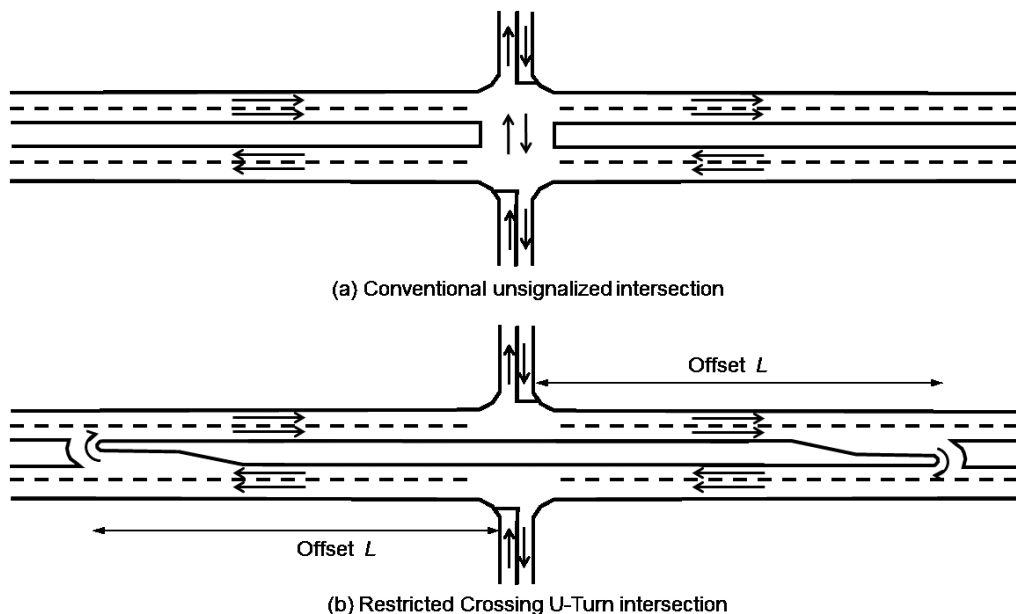
A restricted crossing U-turn (RCUT) intersection design is widely gaining acceptance to improve operational and safety efficiency at unsignalized intersections on high-speed divided multilane highways. RCUT prohibits vehicles from a minor road from making a direct crossing at the intersection and guides them to turn and make a U-turn downstream and return to the main intersection. However, for RCUT design, there is no general rule and consensus among highway engineers about the distance between the median U-turn opening and the main intersection (called median U-turn offset). Too far median U-turn offset will increase travel time of minor-road traffic, while too short offset will result in harsh lane-change conflict for minor-road traffic. For RCUT design, the distance between the median U-turn opening and the main intersection is the most important design parameter that impacts the operating efficiency and safety. This paper develops the analytical processes for determining the optimal offset of median opening for a restricted crossing U-turn (RCUT) intersection design. It applies traffic simulation models to evaluate operational and safety performances of intersection design. The paper reviews the available literature and practices, develops traffic simulation models for different offsets, examines excess travel time and traffic conflict reduction of each scenario compared, determines the optimal median U-turn off-sets based on minimum marginal total costs comprising travel time cost and accident cost savings, and finally develops a set of tables and charts of the recommended offsets. The proposed median U-turn offsets is varied based on traffic volumes on major and minor roads, vehicle speed, and the proportion of vehicle types (especially large vehicles and motorcycles) in a case study. Therefore, it is necessary to implement median U-turn offset consistent with local conditions.

Keywords: intersection design restricted crossing u-turn median u-turn
opening · traffic simulation · highway safety

รายงานฉบับผู้บริหาร

บริเวณทางแยกที่ตัดกันระหว่างถนนสายหลักแบบมีเกาะกลางที่ใช้ความเร็วสูงและถนนสายรองที่ออกจากชุมชน นับเป็นบริเวณทางแยกที่สร้างปัญหาการจราจรติดขัดและปัญหาอุบัติเหตุทางถนนเป็นประจำ ในช่วงเวลาเร่งด่วนกระแสจราจรจากทางสายรองเกิดการจราจรติดขัดไม่สามารถเคลื่อนตัวผ่านทางแยกได้อย่างคล่องตัว และกระแสการจราจรจากทางสายรองมักเกิดอุบัติเหตุการชนบริเวณทางแยกเนื่องจากตัดกรแสจราจรทางสายหลักที่ใช้ความเร็วสูง ด้วยเหตุนี้ หน่วยงานทางหลวงที่เกี่ยวข้องจึงได้เสนอแนวคิดในการออกแบบปรับปรุงทางแยกเพื่อบรรเทาปัญหาดังกล่าว เรียกว่า การออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่ (Alternative Intersection Design) ซึ่งจะปรับปรุงลักษณะทางกายภาพบริเวณทางแยกโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดจุดขัดแย้งการจราจร (Conflict point) อันเป็นสาเหตุหนึ่งของความล่าช้าในการเดินทางและการเกิดอุบัติเหตุ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยบริเวณทางแยกให้สูงขึ้น

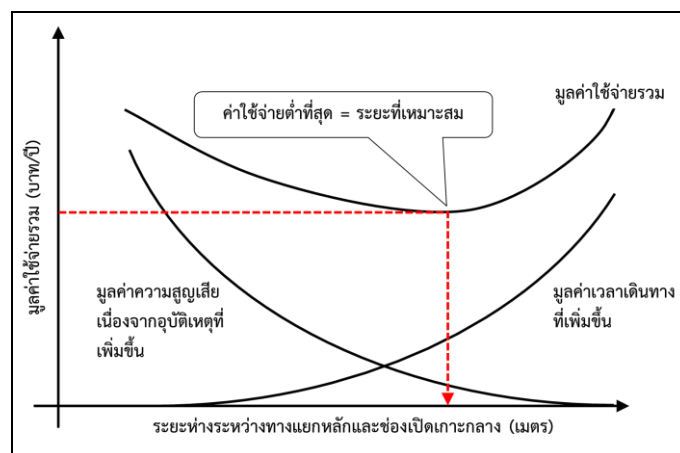
เป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้ คือ การเสนอแนะรูปแบบการออกแบบทางแยกที่มีเกาะกลาง โดยอาศัยหลักการออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่ (Alternative Intersection Design) ในงานวิจัยนี้รูปแบบทางแยกที่นำเสนอ ได้แก่ การออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (Restricted Crossing U-Turn, RCUT) ซึ่งทางแยกนี้จะแตกต่างจากทางแยกโดยทั่วไป คือ จำกัดการเข้าออกของกระแสจราจรบนถนนสายรองโดยจำกัดไม่ให้รถที่ออกจากสายรองเลี้ยวขวาโดยตรงบริเวณทางแยก แต่จะให้รถที่ออกจากสายรองเลี้ยวซ้ายแล้วกลับรถบริเวณจุดกลับรถบนถนนสายหลักเพื่อวิ่งกลับสู่บริเวณทางแยก ดังแสดงในรูปที่ 1 งานวิจัยนี้มุ่งเน้นประเมินประสิทธิภาพด้านการจัดการจราจรและด้านความปลอดภัยของรูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถนี้ และประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจราจรติดขัดและอุบัติเหตุบริเวณทางแยกบนทางหลวง



รูปที่ 1 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม (Optimal Spacing)

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Simulation) และแบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง (Surrogate Safety Assessment Model, SSAM) เพื่อออกแบบและประเมินประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยของรูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ วัตถุประสงค์ของการศึกษาประกอบด้วย (1) เพื่อศึกษาสภาพการจราจรและลักษณะทางกายภาพบริเวณทางแยกในเขตพื้นที่ศึกษา (2) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยบริเวณทางแยกและนำเสนอการออกแบบและควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกให้มีประสิทธิภาพ และ (3) พัฒนาแบบจำลองที่สามารถประเมินประสิทธิภาพการจัดการและความปลอดภัยและเสนอแนะแนวทางการออกแบบทางแยกแบบมีเกาะกลางที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัย

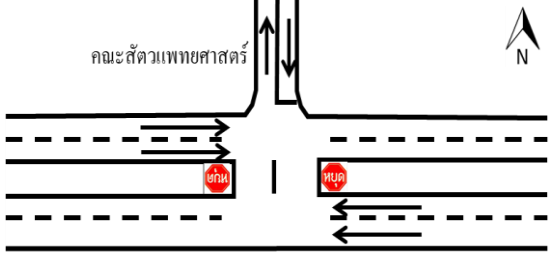
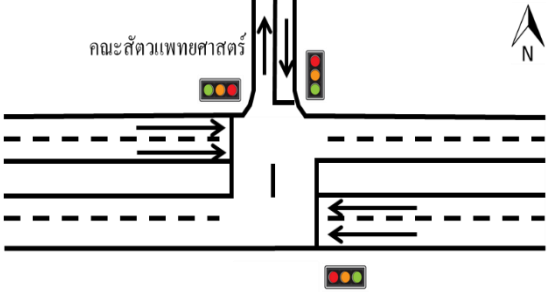
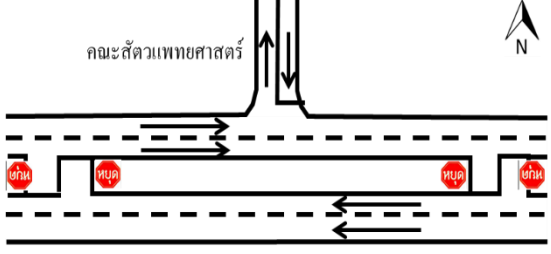
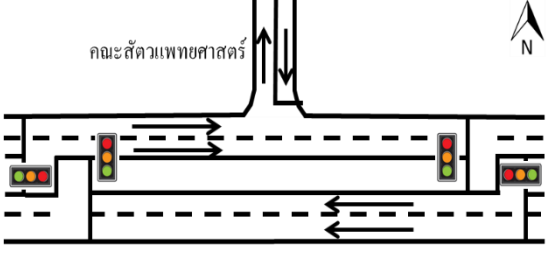
ระเบียบวิธีวิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (Restricted Crossing U-Turn, RCUT) โดยพัฒนาแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคเพื่อวิเคราะห์หาระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลาง (Median U-turn Offset) สำหรับการออกแบบทางแยกทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ ซึ่งระยะห่างนี้ถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเคลื่อนตัวและความปลอดภัยของการออกแบบทางแยกนี้ ระยะทางที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้รถมีระยะทางในการตัดสินใจเปลี่ยนช่องจราจรเพื่อเข้าสู่ช่องเปิดกลับรถได้ปลอดภัยขึ้น แต่ระยะทางที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้ต้องเสียเวลาในการเดินทางเพิ่มขึ้น ระยะทางที่เหมาะสมที่สุดจะพิจารณาจากมูลค่าความสูญเสียที่น้อยที่สุด ซึ่งคิดจากค่าใช้จ่ายจากระยะเวลาการเดินทางและค่าใช้จ่ายจากความสูญเสียของการเกิดอุบัติเหตุ ดังแสดงในรูปที่ 2 ผลลัพธ์ที่ได้เป็นระยะทางที่เหมาะสมที่สุดภายใต้สภาพการจราจรที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม (Optimal Spacing)

ส่วนงานที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการออกแบบทางแยกในกรณีศึกษา โดยกำหนดพื้นที่ศึกษาอยู่บนทางหลวงหมายเลข 121 จังหวัดเชียงใหม่ โดยแบ่งออกเป็นรูปแบบทางแยกทางเลี้ยวต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยจาก

ตัวชี้วัดด้านการจราจร เช่น เวลาในการเดินทาง ความล่าช้า ระดับการให้บริการบนทางแยก รวมถึงจำนวนความขัดแย้งการจราจรแต่ละประเภท จากนั้นระบุรูปแบบทางแยกที่มีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับพื้นที่ศึกษา

	
ทางเลือกที่ 1 ทางแยกที่ควบคุมด้วยป้ายหยุด	ทางเลือกที่ 2 ทางแยกติดตั้งสัญญาณไฟ
	
ทางเลือกที่ 3 ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ	ทางเลือกที่ 4 ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ พร้อมติดตั้งสัญญาณไฟ

รูปที่ 3 รูปแบบทางเลือกในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ผลที่ได้พบว่า การปรับปรุงรูปแบบทางแยกให้เป็นรูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถมีประสิทธิภาพด้านการจัดการจราจรและความปลอดภัยสูงขึ้น

**การวิเคราะห์การจัดการและความปลอดภัยของการออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่:
กรณีศึกษาการออกแบบทางแยกที่มีเกาะกลางสำหรับโครงข่ายถนนในจังหวัด
เชียงใหม่**

**Operational and Safety Analyses of Alternative Intersection Designs:
A Case Study of Median Intersection Design for Road Network in Chiang Mai**

1 ที่มาและความสำคัญ

1.1 ความเป็นมา

ปัญหาการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงที่ใช้ความเร็วสูงถือเป็นปัญหาหลักที่ควรตระหนักสำหรับเหล่าผู้ใช้ถนนเป็นประจำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณทางแยกที่ตัดกันระหว่างถนนสายหลักที่มีเกาะกลางและใช้ความเร็วสูงกับถนนสายรองที่ออกจากชุมชน มีการเดินทางของยานพาหนะหลายประเภท ตั้งแต่จักรยานจนถึงรถบรรทุกขนาดใหญ่ รวมไปถึงบริเวณช่องเปิดบริเวณเกาะกลางสำหรับกลับรถ ทางแยกดังกล่าวนี้ นับเป็นจุดเสี่ยงอันตรายที่เกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง นำมาซึ่งการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินจำนวนมาก โดยที่ปัญหาเหล่านี้อาจเกิดขึ้นจากลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของทางแยกในปัจจุบันบางพื้นที่อาจมีประสิทธิภาพและความปลอดภัยไม่เพียงพอ ประกอบกับข้อมูลจากสำนักบริหารการทะเบียนกรมการปกครอง ให้ข้อมูลว่าจำนวนประชากรมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้มีปริมาณความต้องการในการเดินทางมากขึ้น ดังนั้นความจุของถนนและทางแยกจึงไม่สามารถรองรับปริมาณการใช้นยานพาหนะ และส่งผลให้การจราจรติดขัด ความล่าช้าในการเดินทาง และเกิดอุบัติเหตุขึ้นได้มากที่สุด

หน่วยงานทางหลวงที่เกี่ยวข้องได้เสนอแนวคิดในการออกแบบปรับปรุงทางแยกเพื่อลดปัญหาดังกล่าว เป็นการออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่ (Alternative Intersection Design) คือการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพและรูปแบบการจราจรใหม่ การออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่นั้นได้ประสบความสำเร็จแล้วในประเทศสหรัฐอเมริกาและแถบทวีปยุโรป ตัวอย่างของทางแยกทางเลือกใหม่ประกอบด้วย วงเวียน (Roundabout), วงเวียนขนาดเล็ก (Mini-Roundabout), ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (Restricted Crossing U-Turn Intersection), ทางแยกแบบย้ายช่องจราจรเลี้ยวขวา (Displaced Right-Turn Intersection) ทางแยกกระแสจราจรต่อเนื่อง (Continuous flow intersection) และทางแยกแบบใช้ถนนจุดภาคสำหรับเลี้ยว (Quadrant Roadway Intersection) โดยรูปแบบทางแยกดังกล่าวนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดจุดขัดแย้งการจราจร (conflict point) อันเป็นสาเหตุหนึ่งของความล่าช้าในการเดินทางและการเกิดอุบัติเหตุ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยบริเวณทางแยกให้สูงขึ้น

จังหวัดเชียงใหม่เป็นจังหวัดศูนย์กลางในภาคเหนือของประเทศไทย มีการพัฒนาด้านต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการอยู่อาศัย เช่น ด้านการคมนาคมขนส่ง ด้านเศรษฐกิจ และด้านการท่องเที่ยว

เป็นต้น จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้ผู้คนนิยมมาท่องเที่ยวและมาตั้งถิ่นฐานในจังหวัดเชียงใหม่ ประกอบกับเป็นที่ตั้งของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งเป็นสถาบันอุดมศึกษาแห่งแรกในภาคเหนือ จำนวนนักศึกษาจึงไม่ได้เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มจำนวนประชากรของจังหวัดเชียงใหม่เพียงอย่างเดียว แต่ยังเพิ่มขึ้นจากจำนวนนักเรียนในจังหวัดอื่น ๆ ที่เข้ามาศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่อีกด้วย การศึกษานี้จึงได้พิจารณาทางหลวงหมายเลข 121 เป็นกรณีศึกษา ถนนรอบเมืองเชียงใหม่ มีคลองชลประทานทำหน้าที่เสมือนเกาะกลางแบ่งทิศทางการจราจร เป็นถนนสายหลักที่ต่อเชื่อมจากชุมชนต่าง ๆ ไปยังบริเวณมหาวิทยาลัย และศูนย์ราชการ จึงเกิดปัญหาความล่าช้าบริเวณทางแยกและอุบัติเหตุบ่อยครั้ง โดยศึกษาเพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยของทางแยกที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยนำหลักการออกแบบทางแยกแบบทางเลือกใหม่มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว คือทางแยกที่มีเกาะกลาง (Median Intersection) และนำมาพัฒนาด้วยแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Simulation) เพื่อวิเคราะห์ความจุบริเวณทางแยกในพื้นที่ศึกษา จากนั้นพัฒนาแบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง (Surrogate Safety Assessment Model, SSAM) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยของทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษาด้วยตัวชี้วัดต่าง ๆ โดยแสดงเป็นลักษณะของจำนวนจุดขัดแย้งการจราจรบริเวณทางแยก 3 ประเภท ประกอบด้วย จุดขัดแย้งที่เกิดจากการชนท้าย (Rear-end conflict) เปลี่ยนช่องจราจร (Lane change conflict) และจุดขัดแย้งแบบมุมฉาก (Crossing conflict) จากนั้นเสนอแนวคิดไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องพิจารณาในขั้นตอนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

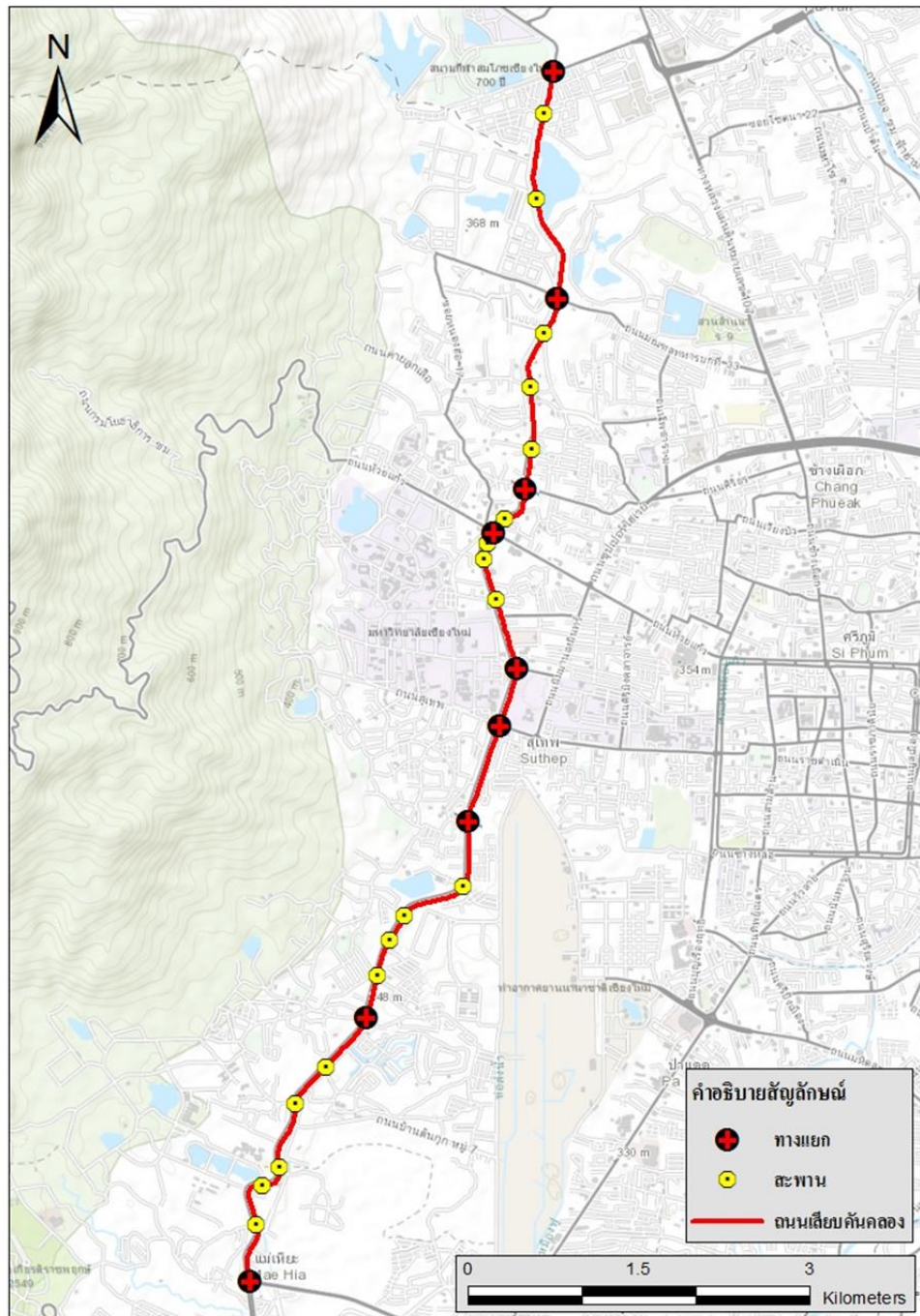
เป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้เพื่อนำเสนอการออกแบบทางแยกที่มีเกาะกลาง (Median Intersection Design) โดยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่ (Alternative Intersection Design) บริเวณพื้นที่ศึกษา เพื่อประเมินประสิทธิภาพด้านการดำเนินงานและความปลอดภัยของทางแยกแบบมีเกาะกลาง มีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1) เพื่อศึกษาสภาพการจราจรและลักษณะทางกายภาพบริเวณทางแยกในเขตพื้นที่ศึกษา
- 2) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการจัดการจราจรและความปลอดภัยบริเวณทางแยกในเขตพื้นที่ศึกษา และนำเสนอการออกแบบและควบคุมจราจรบริเวณทางแยกให้มีประสิทธิภาพ
- 3) เพื่อพัฒนาแบบจำลองที่สามารถประเมินประสิทธิภาพการจัดการและความปลอดภัยและเสนอแนะแนวทางการออกแบบทางแยกแบบมีเกาะกลางที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้มีความประสงค์ที่จะวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการออกแบบทางแยกที่มีเกาะกลางบริเวณพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นถนนสายหลักที่มีเกาะกลาง และตัดกับถนนสายรองซึ่งมียานพาหนะเข้า-ออกจากชุมชนเป็นจำนวนมาก โดยสำรวจข้อมูลด้านจราจรภาคสนาม จากนั้นพัฒนาแบบจำลองโดยใช้

แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Model) และแบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง (Surrogate Safety Assessment Model, SSAM) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยของทางแยกด้วยตัวชี้วัดต่าง ๆ โดยแสดงเป็นลักษณะความจุของทางแยก อันประกอบด้วยระดับการให้บริการ ความยาวแถวคอย ความล่าช้า และจำนวนจุดขัดแย้งการจราจรบริเวณทางแยก 3 ประเภท ประกอบด้วย จุดขัดแย้งที่เกิดจากการชนท้าย (Rear-end conflict) เปลี่ยนช่องจราจร (Lane change conflict) และจุดขัดแย้งแบบมุมฉาก (Crossing conflict) โดยแสดงพื้นที่ศึกษาดังรูปที่ 1.3-1



รูปที่ 1.3-1 พื้นที่ศึกษา

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิเคราะห์การจัดการและความปลอดภัยของการออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่ กรณีศึกษาการออกแบบทางแยกที่มีเกาะกลางสำหรับโครงข่ายถนนในจังหวัดเชียงใหม่ คือ สามารถระบุปัญหาและลักษณะทางกายภาพบริเวณพื้นที่ศึกษา จากนั้นสามารถนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยพัฒนาแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคและแบบจำลองประเมินความปลอดภัยเสมือนจริงให้มีประสิทธิภาพ ตลอดจนสามารถเสนอรูปแบบทางแยกที่เหมาะสมที่สุดเป็นแผนปรับใช้ในอนาคต

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาส่วนนี้กล่าวถึงทฤษฎีและการศึกษาที่เกี่ยวข้องสำหรับคุณลักษณะของทางแยก การออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่ ส่วนประกอบหลักของการออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง การประเมินประสิทธิภาพจราจร การวิเคราะห์การยอมรับช่องว่าง แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค และแบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 คุณลักษณะของทางแยก

คุณลักษณะของทางแยก ประกอบด้วยประเภทของทางแยก และสถิติอุบัติเหตุบริเวณทางแยก มีรายละเอียด ดังนี้

2.1.1 ประเภทของทางแยก

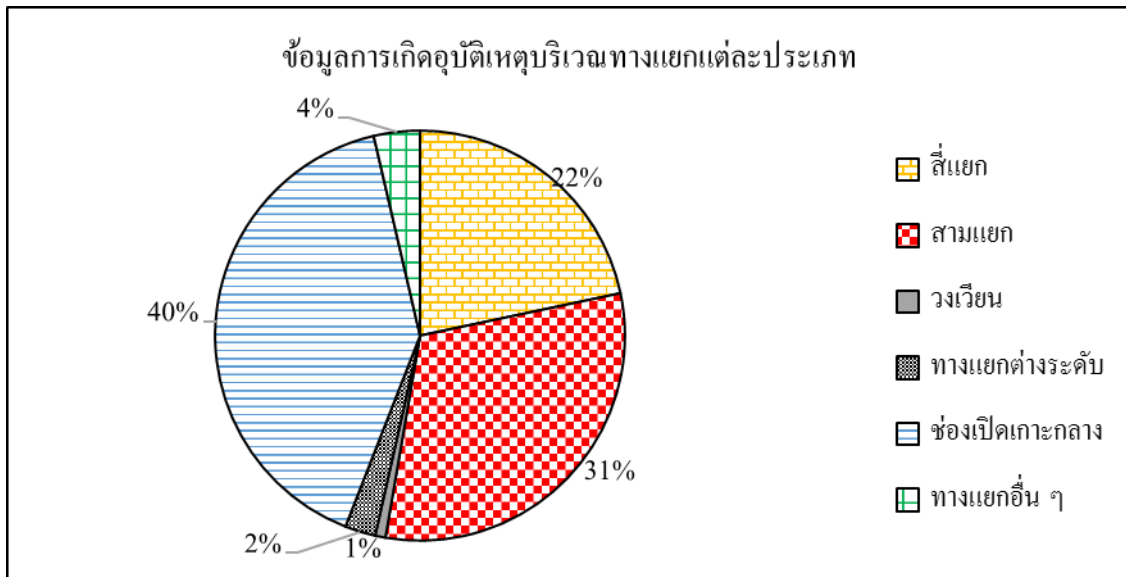
ทางแยก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ประกอบด้วย ทางแยกในระดับเดียวกัน (At-grade Intersection) และทางแยกต่างระดับ (Interchange) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) **ทางแยกในระดับเดียวกัน (At-grade Intersection)** หมายถึง จุดตัดสำหรับถนน 2 สาย หรือมากกว่า ที่มาตัดข้ามกันหรือบรรจบกัน สามารถควบคุมการจราจรโดยการติดตั้งเครื่องหมายหรือป้ายจราจร ตลอดจนการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร เพื่อลดอุบัติเหตุบริเวณทางแยกลงได้
- 2) **ทางแยกต่างระดับ (Interchange)** หมายถึง ทางแยกที่มีการแยกระดับของถนนตั้งแต่หนึ่งระดับขึ้นไป สำหรับทางแยกต่างระดับ สามารถแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดได้ดีที่สุด แต่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ และมูลค่าก่อสร้างสูง

สำหรับงานศึกษานี้จะมุ่งเน้นการออกแบบทางแยกในระดับเดียวกัน สำหรับขอบเขตพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยทางแยก 3 ประเภท คือ สามแยก สี่แยก และทางแยกช่องเปิดเกาะกลาง

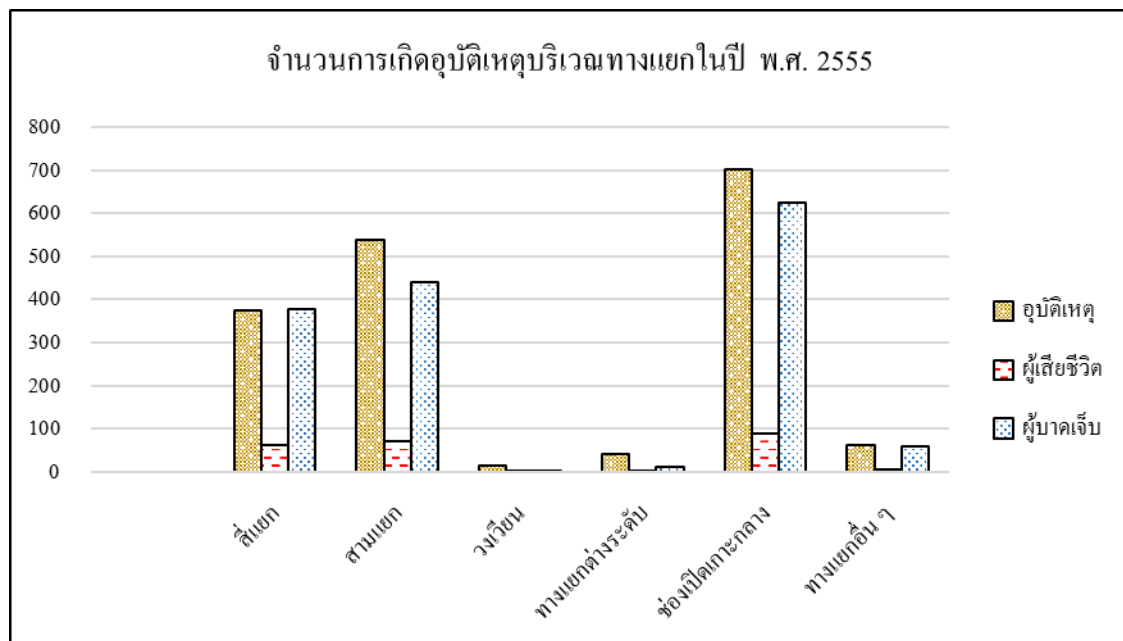
2.1.2 สถิติอุบัติเหตุบริเวณทางแยก

ในประเทศไทย อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยกและช่องเปิดเกาะกลางนับว่ามีอัตราการเกิดอุบัติเหตุที่สูงและนำมาซึ่งการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก กรมทางหลวงได้แสดงข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุบริเวณทางแยกแต่ละประเภทและจำนวนการเกิดอุบัติเหตุบริเวณทางแยกในปี พ.ศ. 2555 ดังรูปที่ 2.1-1 และรูปที่ 2.1-2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1-1 ข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุบริเวณทางแยกแต่ละประเภท

ที่มา: กรมทางหลวง (2555)



รูปที่ 2.1-2 จำนวนการเกิดอุบัติเหตุบริเวณทางแยกในปี พ.ศ. 2555

ที่มา กรมทางหลวง (2555)

จากสถิติข้อมูลอุบัติเหตุจากบริษัทกลางคุ้มครองประกันภัย ในปี พ.ศ. 2559 เกิดอุบัติเหตุบนช่วงทางหลวงหมายเลข 121 ที่ครอบคลุมเขตพื้นที่ศึกษา 111 ครั้ง (www.thairsc.com) พื้นที่ดังกล่าวจึงเป็นพื้นที่เสี่ยงอันตรายที่เกิดอุบัติเหตุขึ้นบ่อยครั้ง

2.2 การออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่ (Alternative Intersection Design)

การออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่ (Alternative Intersection Design) เป็นแนวคิดที่ถูกคิดค้นโดย Federal Highway Administration (FHWA) หลักการออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่จะถูกพิจารณาปรับใช้ก็ต่อเมื่อมีปริมาณจราจรบริเวณทางแยกสูงมาก โดยที่การติดตั้งสัญญาณไฟไม่สามารถบรรเทาปัญหาการจราจรได้ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรและการปรับปรุงทางแยก โดยมีการออกแบบลักษณะทางกายภาพบริเวณทางแยกและจัดรูปแบบการจราจร มีความประสงค์เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยบริเวณทางแยก ตลอดจนถึงปัญหาค่าลงทุนในการสร้าง หลังจากที่มีการเสนอแนวคิดดังกล่าว จำนวนของทางแยกที่ออกแบบโดยใช้แนวคิดการออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วประเทศสหรัฐอเมริกาภายในปี 2015 กว่า 100 ทางแยก ในปัจจุบันการออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่เป็นที่แพร่หลายอย่างมากในประเทศสหรัฐอเมริกา ประกอบด้วย วงเวียน (Roundabout) ทางแยกแบบมีเกาะกลาง (Median U-Turn Intersection) ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (Restricted Crossing U-Turn Intersection) ทางแยกแบบย้ายช่องจราจรเลี้ยวขวา (Displace Right Turn Intersection) และทางแยกแบบกระแสจราจรต่อเนื่อง (Continuous Flow Intersection) เป็นต้น (Hummer et al, 2014) สำหรับการศึกษาที่เน้นพิจารณาใน 2 รูปแบบ คือ ทางแยกแบบมีเกาะกลางและทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ โดยมีรายละเอียดดังนี้

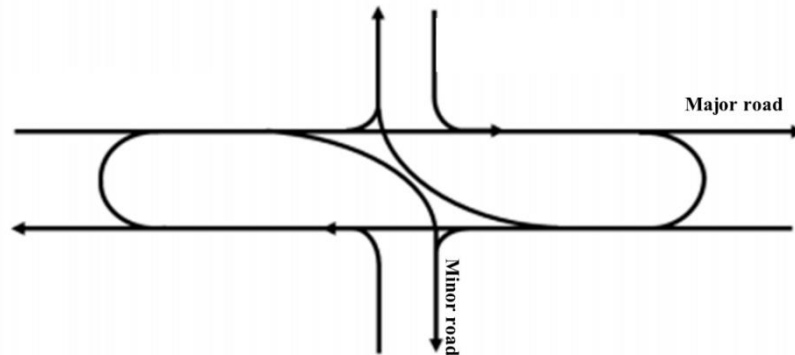
2.2.1 ทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง (Median U-Turn Intersection Design)

ทางแยกแบบมีเกาะกลาง เป็นการออกแบบทางแยกรูปแบบหนึ่งของการออกแบบทางแยกทางเลือกใหม่ ซึ่งมีลักษณะของการเคลื่อนที่ผ่านทางแยกแบบมีเกาะกลาง คือ ยานพาหนะบนถนนสายหลักไม่สามารถเลี้ยวตัดกระแสจราจรในทิศตรงข้ามเพื่อไปยังถนนสายรองได้โดยตรง จำเป็นต้องแล่นผ่านทางแยกหลักเสียก่อน แล้วจึงกลับรถบริเวณช่องเปิดเกาะกลางถัดไป เพื่อที่จะเข้าสู่ถนนสายรอง แต่ยานพาหนะที่อยู่บนถนนสายรองสามารถแล่นตรงผ่านทางแยกหลักไปยังถนนสายรองอีกฝั่งได้ ทั้งนี้อาจมีการปรับสภาพการจราจรตามความเหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ได้ ทางแยกดังกล่าวนี้สามารถลดจำนวนเฟสของสัญญาณไฟจราจร และจุดตัดบริเวณทางแยก (Conflict Point) ได้ มีผลให้ทางแยกมีประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2-1 (Hummer et al, 2014)

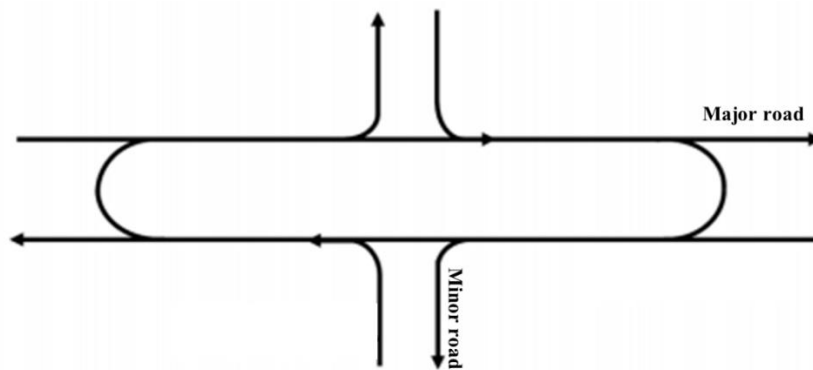
2.2.2 ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (Restricted Crossing U-Turn Intersection: RCUT)

ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ เป็นทางแยกรูปแบบหนึ่งของทางแยกแบบมีเกาะกลาง (Median U-Turn Intersection) เป็นที่รู้จักกันในประเทศสหรัฐอเมริกาว่า Superstreet หรือ J-Turn Intersection มีลักษณะเป็นทางแยกที่ตัดกันระหว่างถนนสายหลักความเร็วสูงที่มีปริมาณจราจรสูง และถนนสายรองที่เข้า – ออก จากชุมชน ทางแยกดังกล่าวนี้จะจำกัดการเข้าออกของกระแสจราจรบนถนนสายรองโดยจำกัดไม่ให้รถที่ออกจากสายรองเลี้ยวขวาโดยตรงบริเวณทางแยก แต่จะให้รถที่ออกจากสาย

รองเลี้ยวซ้ายแล้วกลับรถบริเวณจุดกลับรถบนถนนสายหลักเพื่อวิ่งกลับสู่บริเวณทางแยก ส่วนรถจากถนนสายหลักที่เลี้ยวขวาเข้าสู่ทางสายรองจะยังสามารถเลี้ยวขวาได้ตามปกติบริเวณช่องรถเลี้ยวขวาดังแสดงในรูปที่ 2.2-1(ก) และอีกรูปแบบหนึ่งคือ ปิดไม่ให้ถนนสายหลักและสายรองตัดกระแสรถได้ ต้องไปกลับรถบริเวณที่กำหนดให้เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2-1(ข) (Hummer et al, 2010)



(ก) ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถกรณีที่ถนนหลักสามารถเลี้ยวขวาได้



(ข) ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถกรณีที่ถนนหลักไม่สามารถเลี้ยวขวาได้

รูปที่ 2.2-1 รูปแบบของทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (RCUT)

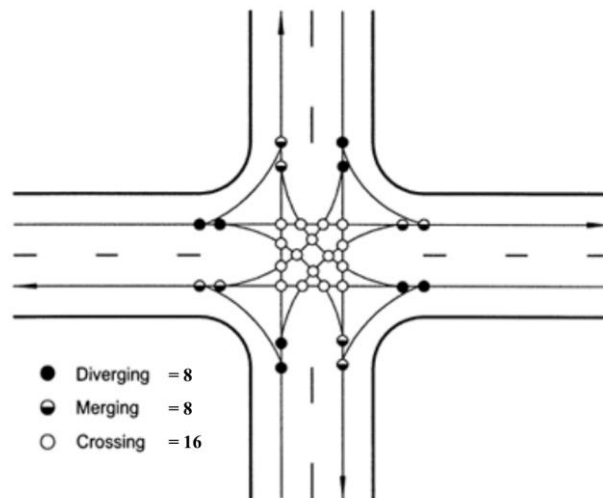
ที่มา: ดัดแปลงจาก Hummer et al (2010)

สำหรับการศึกษานี้ใช้ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถกรณีที่ถนนหลักไม่สามารถเลี้ยวขวาได้ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพบริเวณพื้นที่ศึกษามีทางโค้งเป็นจำนวนมากจึงไม่เหมาะสำหรับการตัดกระแสรถของถนนสายหลัก

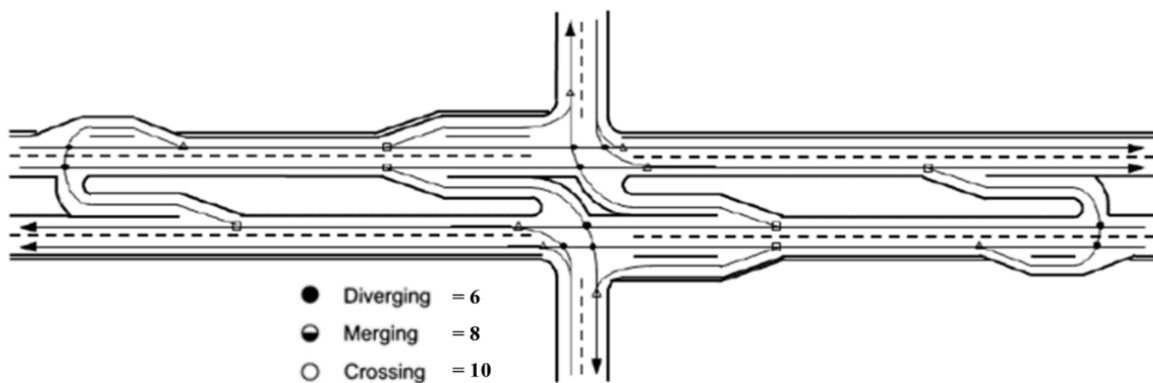
1) ลักษณะเฉพาะของทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ

การออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ มีความประสงค์เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพในด้านเวลาการเดินทาง ความล่าช้าในการเดินทาง ตลอดจนลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งทางแยกรูปแบบดังกล่าวนี้มีจำนวนจุดขัดแย้งการจราจร (Conflict Point) น้อยกว่าทางแยก

แบบธรรมดาซึ่งมี 32 จุด โดยเฉพาะจุดขัดแย้งการจราจรที่เกิดจากการชนมุมฉาก (Crossing Point) ดังแสดงในรูปที่ 2.2-2 (Zhang and Kronprasert: 2013)



(ก) จำนวนจุดขัดแย้งการจราจรของทางแยกแบบทั่วไป



(ข) จำนวนจุดขัดแย้งการจราจรของทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ

รูปที่ 2.2-2 จำนวนจุดขัดแย้งการจราจรของทางแยกทั่วไปและทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ

ที่มา: Zhang and Kronprasert (2013)

2) ข้อกำหนดสำหรับการติดตั้งทางแยกจำกัดการข้ามและกลับรถ

สำหรับการออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถจำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดพื้นที่เป็นหลัก เพื่อออกแบบเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับทางเดินเท้าและจักรยาน ส่วนรายละเอียดอื่น ๆ มีรายละเอียด ดังนี้ (Hummer et al, 2014)

- ถนนสายหลักควรมีจำนวนช่องจราจรระหว่าง 4 ช่องจราจร ถึง 8 ช่องจราจร
- ถนนสายรองควรมีขนาดไม่เกิน 4 ช่องจราจร

- ช่องกลับรถควรมี 1 ถึง 2 ช่องจราจร
- ระยะห่างระหว่างจุดกลับรถต้องมีไม่ต่ำกว่า 120 เมตร
- ถนนด้านหนึ่งควรมีความกว้างไม่ต่ำกว่า 21 เมตร และมากที่สุดที่ 60 เมตร
- ต้องมีความกว้างของเกาะกลางมากพออำนวยความสะดวกสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่

3) ข้อดีและข้อจำกัดของทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ

การออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถมีข้อดีในด้านการลดจุดขัดแย้งบริเวณทางแยกเป็นส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามอาจส่งผลให้เกิดเวลาในการเดินทางเพิ่มขึ้นสำหรับบางทิศทาง ข้อดีและข้อเสียของทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2-1

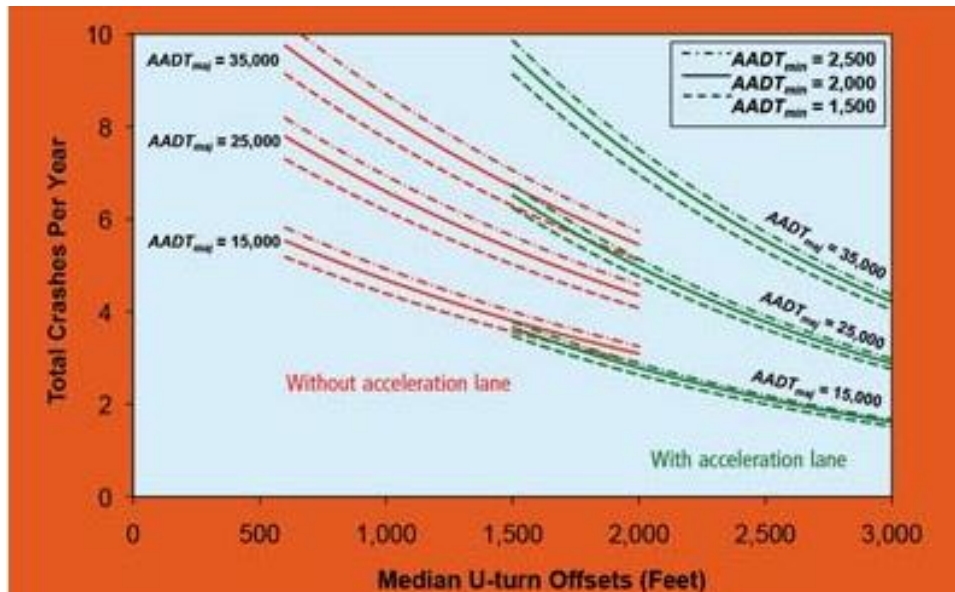
ตารางที่ 2.2-1 ข้อดีและข้อเสียของทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ

ข้อดี	ข้อเสีย
- ลดจุดขัดแย้งบริเวณทางแยก - รูปแบบทางข้ามสะดวกมากขึ้น - ลดปัญหาการชนมุมฉาก - ลดเวลาในการเดินทางและความล่าช้าสำหรับถนนสายหลัก - จำนวนรอบสัญญาณไฟลดลง	- เพิ่มเวลาในการเดินทางสำหรับถนนสายรอง - ต้องเพิ่มสัญญาณข้ามบริเวณทางเท้าเพื่อความปลอดภัย - เพิ่มโอกาสการชนแบบขนาน - เพิ่มระยะการเดินทางสำหรับถนนสายรองที่ต้องการเลี้ยวขวา - ต้องการความกว้างเกาะกลางที่เพียงพอสำหรับกลับรถ

ที่มา : Hummer et al (2014)

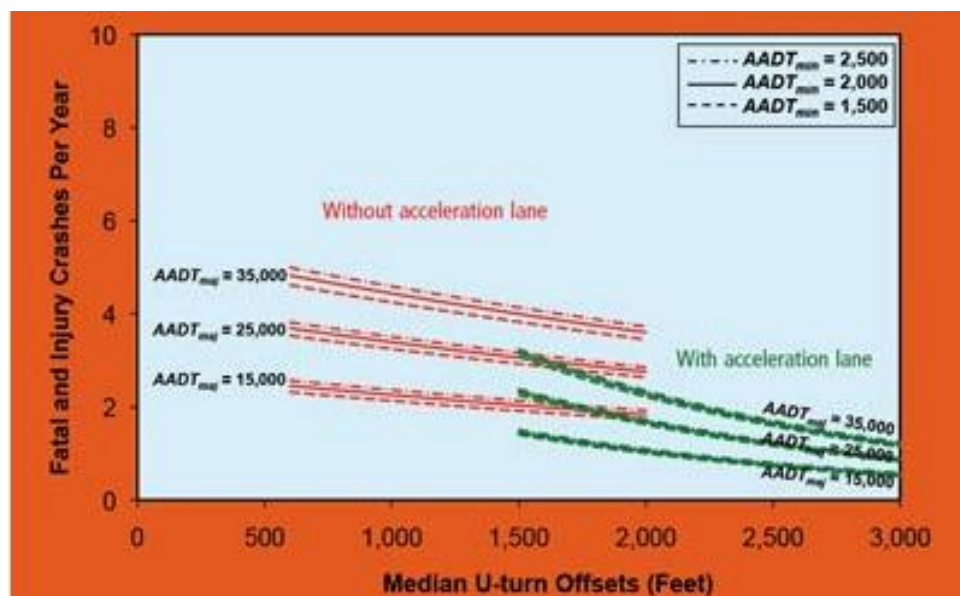
4) ประโยชน์เบื้องต้นของทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ

Zhang and Kronprasert (2014) ได้ศึกษาเกี่ยวกับประโยชน์เบื้องต้นของการออกแบบทางแยกแบบจำกัดทางข้ามและกลับรถในด้านความปลอดภัย โดยการสร้างแบบจำลองทางสถิติคาดการณ์จำนวนอุบัติเหตุที่เกิดและจำนวนอุบัติเหตุระดับรุนแรง (Crash Prediction Model) จากค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรรายวันตลอดปีของทางสายหลักและสายรอง และระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลาง จากนั้นสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2-3 และ รูปที่ 2.2-4



รูปที่ 2.2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอุบัติเหตุและระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลาง

ที่มา : Zhang and Kronprasert (2014)



รูปที่ 2.2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บและระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลาง

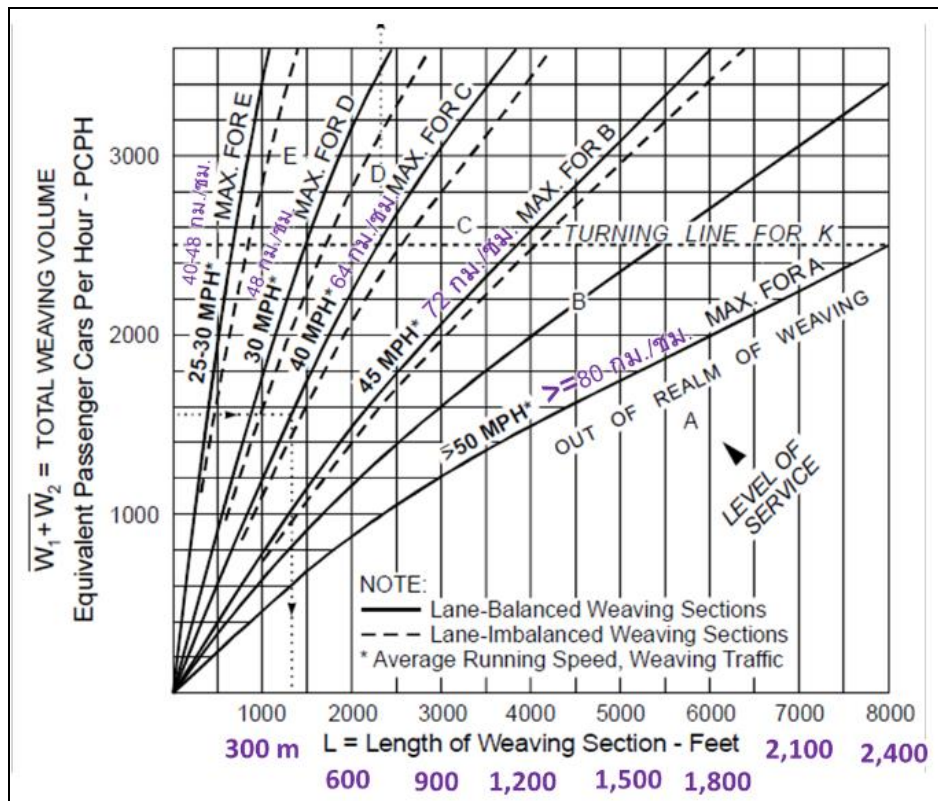
ที่มา : Zhang and Kronprasert (2014)

5) ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางสำหรับต่างประเทศ

ในปัจจุบันระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางสำหรับทางแยกในหลาย ๆ แห่งมีระยะไม่เหมาะสม ทั้งนี้ การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมของระยะดังกล่าวนั้นอาจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร เช่น ปริมาณจราจรและความเร็วของยานพาหนะบนถนนสายหลัก และสายรอง สัดส่วนยานพาหนะ

เป็นต้น สำหรับต่างประเทศ มีการกำหนดระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

Leisch and Leisch (1984) ได้กำหนดวิธีการหาระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลาง โดยพิจารณาจากปริมาณจราจรที่ตัดสลับ (Weaving) ในหน่วยของ PCU จากนั้นลากเส้น ณ จุดที่เท่ากับผลรวมปริมาณจราจรที่ตัดสลับ มาตัดกับเส้นโค้งที่แสดงถึงความเร็วของยานพาหนะ แล้วจึงลากเส้นแนวดิ่งลงมาตัดแกนแนวนอน จะได้ระยะทางสำหรับการตัดสลับที่เพียงพอ ดังแสดงในรูปที่ 2.2-5



รูปที่ 2.2-5 กราฟวิเคราะห์ระยะทางตัดสลับ (Weaving Section) ที่เหมาะสม

ที่มา: Leisch and Leisch (1984)

Koupke and Levinson (1992) จากสำนักทางหลวงกลางในประเทศสหรัฐอเมริกา (Federal Highway Administration) ได้กำหนดระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางสำหรับพื้นที่ชานเมืองควรมีระยะตั้งแต่ 100 เมตร ถึง 800 เมตร โดยจุดเปิดแบบไม่มีสัญญาณไฟจราจรควบคุมควรมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 113 เมตร สำหรับความเร็ว 48 กม./ชม. และไม่น้อยกว่า 278 เมตร สำหรับความเร็ว 88 กม./ชม.

Maze et al (2010) ได้กล่าวว่า ทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลางมีระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่ระยะ 200 เมตร มีความเหมาะสมที่สุด และสำหรับกรณีทางแยกดังกล่าวมีการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร ควรมีระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางอยู่ในช่วง 120 – 180 เมตร

2.2.3 ส่วนประกอบหลักสำหรับการออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

การออกแบบทางแยกแบบมีเกาะกลางประกอบด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังนี้

1) ความกว้างของเกาะกลางสำหรับการกลับรถ

Land et al (2011) ได้กำหนดมาตรฐานการออกแบบความกว้างเกาะกลางที่ต่ำสุดสำหรับการกลับรถอย่างปลอดภัย ดังแสดงในตารางที่ 2.2-2

ตารางที่ 2.2-2 ความกว้างของเกาะกลางขั้นต่ำสำหรับยานพาหนะในการกลับรถ

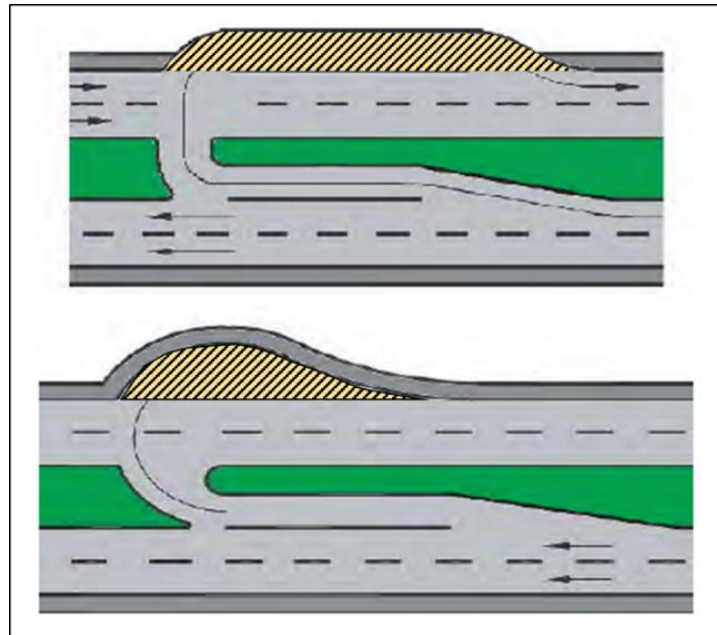
ลักษณะของการกลับรถ	ความกว้างขั้นต่ำของเกาะกลางถนนสำหรับยานพาหนะออกแบบ (เมตร)						
	P	WB-12	SU-9	BUS	SU-12	WB-19	WB-20
จากช่องจราจรขวาไปยังขวา	9	18	19	19	23	21	21
จากช่องจราจรขวาไปซ้าย	5	15	15	16	19	17	17
จากช่องจราจรขวาไปยังไหล่ทาง	2	12	12	12	16	14	14

หมายเหตุ: P = รถยนต์นั่งส่วนบุคคล, WB-12 = รถบรรทุกกึ่งพ่วง, WB-19 = รถบรรทุกกึ่งพ่วงที่มีความยาว 14.63 เมตร, WB-20 = รถบรรทุกกึ่งพ่วงที่มีความยาว 16.15 เมตร, SU-9 = รถบรรทุก 6 ล้อ, SU-12 = รถบรรทุก 10 ล้อ, BUS = รถโดยสารขนาดใหญ่

ที่มา: Land et al (2011)

2) ความกว้างของส่วนขยายไหล่ทางบริเวณจุดกลับรถ (Loon)

เพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับยานพาหนะขนาดใหญ่ที่ต้องการกลับรถ หรือขนาดความกว้างของเกาะกลางมีจำกัด จึงอาจจำเป็นต้องมีการขยายไหล่ทางบริเวณจุดกลับรถเพื่อให้ยานพาหนะขนาดใหญ่สามารถกลับรถได้คล่องตัวและเพิ่มความปลอดภัย ดังรูปที่ 2.2-6 โดยมีเกณฑ์แนะนำความกว้างของส่วนขยายไหล่ทางบริเวณจุดกลับรถที่เหมาะสมสำหรับทางหลวง 4 ช่องจราจรพร้อมเกาะกลางถนน ดังตารางที่ 2.2-3



รูปที่ 2.2-6 ส่วนที่ขยายไหล่ทางบริเวณจุดกลับรถ (Loons)

ที่มา: Land et al (2011)

ตารางที่ 2.2-3 ความกว้างของส่วนขยายไหล่ทางบริเวณจุดกลับรถ (Loons) สำหรับถนน 4 ช่องจราจร

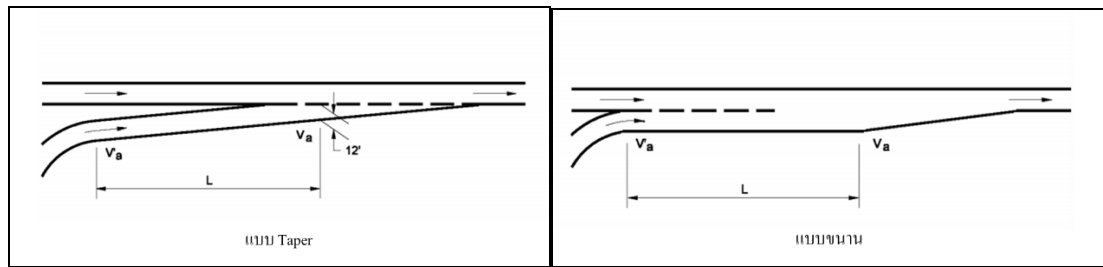
ความกว้างเกาะกลาง (ฟุต)	ยานพาหนะออกแบบ		
	P-19 ft	SU-30 ft, BUS-40 ft	WB-55 ft, WB - 65 ft
0	16.4	49.21	59.06
16.4	0	32.81	42.65
32.81	0	16.4	26.25
49.21	0	0	9.84
65.62	0	0	0

หมายเหตุ: P = รถยนต์นั่งส่วนบุคคล, SU = รถบรรทุก, BUS = รถโดยสารขนาดใหญ่, WB - 50 = รถบรรทุกกึ่งพ่วง

ที่มา: Land et al (2011)

3) ระยะทางสำหรับเร่งความเร็ว (Acceleration Length)

Land et al (2011) ระยะเร่งความเร็วที่ 2 รูปแบบ ประกอบด้วย แบบผาย Taper และแบบขนาน ดังรูปที่ 2.2-7 โดยได้กำหนดระยะเร่งความเร็วเพื่อที่จะให้ถนนสายรองที่เลี้ยวสามารถเร่งความเร็วเข้าสู่จุดร่วม (Merge point) บนถนนสายหลัก ดังแสดงในตารางที่ 2.2-4



รูปที่ 2.2-7 ระยะเร่งความเร็ว (Acceleration Length)

ที่มา: Land et al (2011)

ตารางที่ 2.2-4 ระยะเร่งความเร็วขั้นต่ำเมื่อเข้าสู่ถนนสายหลัก

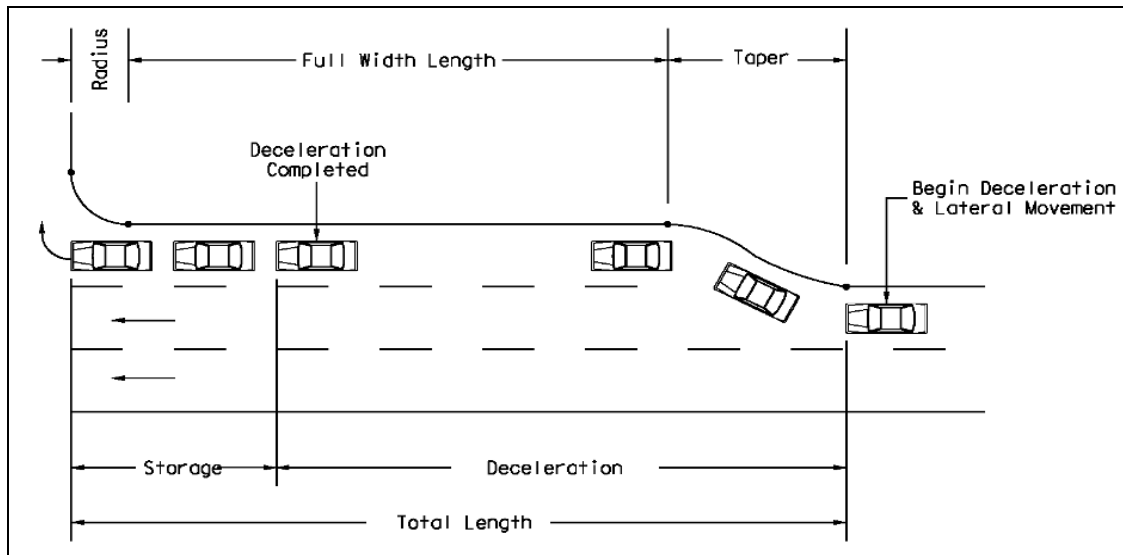
ระยะเร่งความเร็วสำหรับเข้าสู่จุดรวม (เมตร)									
ความเร็วบนทางหลวง		0	20	30	40	50	60	70	80
ความเร็ว ออกแบบ (กม/ชม)	ความเร็วปกติ (กม/ชม)	ความเร็วหลังการเร่งความเร็ว							
		0	20	28	35	42	51	63	70
50	37	60	50	30	-	-	-	-	-
60	45	95	80	65	45	-	-	-	-
70	53	150	130	110	90	65	-	-	-
80	60	200	180	165	145	115	65	-	-
90	67	260	245	225	205	175	125	35	-
100	74	345	325	305	285	255	205	110	40
110	81	430	410	390	370	340	290	200	125
120	88	545	530	515	490	460	410	325	245

หมายเหตุ: V'_o = ความเร็วปกติ, V_o = ความเร็วหลังการเร่งความเร็ว

ที่มา: Land et al (2011)

4) ระยะทางสำหรับชะลอความเร็ว (Deceleration Length)

Land et al (2011) ได้กำหนดระยะชะลอความเร็ว (Deceleration Length) ซึ่งมี 3 ระยะ ประกอบด้วย ระยะสำหรับเริ่มชะลอความเร็ว (Begin deceleration) ระยะชะลอความเร็วจนกระทั่งหยุด (Deceleration) และระยะสำหรับรองรับยานพาหนะ (Storage) ดังรูปที่ 2.2-8 และแสดงระยะทางขั้นต่ำสำหรับระยะชะลอความเร็วดังตารางที่ 2.2-5



รูปที่ 2.2-8 ส่วนประกอบของระยะชะลอความเร็ว

ที่มา: Land et al (2011)

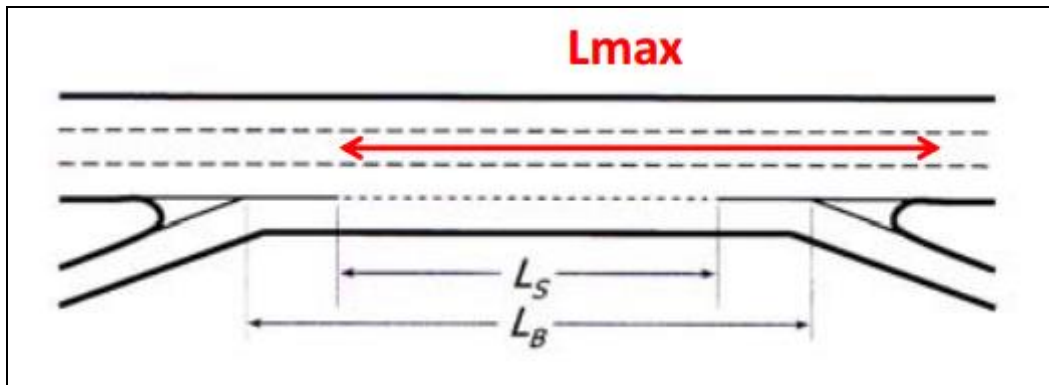
ตารางที่ 2.2-5 ตารางออกแบบระยะชะลอความเร็ว (Deceleration Length)

เมตริก		U.S.	
ความเร็ว, กิโลเมตร/ชั่วโมง	ระยะทาง, เมตร	ความเร็ว, ไมล์/ชั่วโมง	ระยะทาง, ฟุต
30	20	20	70
50	45	30	160
65	85	40	275
80	130	50	425
95	185	60	605
110	245	70	820

ที่มา: Land et al (2011)

5) ความยาวของระยะตัดสลับ (Weaving Length)

ในประเทศสหรัฐอเมริกา Highway Capacity Manual (2010) ได้กำหนดแนวทางการวิเคราะห์หา ระยะตัดสลับ (Weaving Length) บนทางดวนที่มีกระแสจราจรจากทางขึ้นลงตัดกับกระแสจราจรหลัก โดยจะมีการเคลื่อนที่ไขว้กันของการไหลของกระแสจราจร 2 กระแสหรือมากกว่าบนทางดวน ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อพื้นที่เข้าและพื้นที่ออก (On-ramp และ Off-ramp) อยู่ติดกันหรือมีการเชื่อมด้วยช่องจราจรเสริมชนิดต่อเนื่องเพื่อช่วยระบายการจราจร ดังรูปที่ 2.2-9 โดยที่ L_B = Base Length และ L_s = Short Length; $L_s = 0.77 L_B$



รูปที่ 2.2-9 ระยะตัดสลับ (Weaving Length)

ที่มา: Highway Capacity Manual (2010)

การคำนวณหาความยาวสูงสุดของระยะตัดสลับ (L_{max}) แสดงดังสมการที่ 2.1

$$L_{max} = [5,728 (1+VR)^{1.6}] - [1,556 N_{WL}] \text{ (ft.)} \quad (2.1)$$

โดยที่ L_{max} = ความยาวสูงสุดของระยะตัดสลับ

VR = Volume ratio

$$= \frac{v_w}{v} = \frac{v_{rf} + v_{fr}}{(v_{rf} + v_{fr}) + (v_{rr} + v_{ff})} \quad (2.2)$$

v = ปริมาณจราจรทั้งหมด

v_{rf} = ปริมาณจากทางร่วมเข้าสู่ทางหลัก

v_{fr} = ปริมาณจากทางหลักไปยังทางร่วม

v_w = ปริมาณจราจรที่ตัดสลับ

v_{rr} = ปริมาณจราจรทางร่วม

v_{ff} = ปริมาณจราจรทางหลัก

N_{WL} = จำนวนช่วงจราจรที่อยู่ระหว่างการตัดสลับ

2.3 การประเมินประสิทธิภาพการจราจร

การประเมินประสิทธิภาพการจราจร ได้ศึกษาจากคู่มือมาตรฐาน Highway Capacity Manual (HCM: 2010) ซึ่งสามารถประเมินตามดัชนีวัดประสิทธิภาพได้ดังนี้

2.3.1 ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time)

ความล่าช้าในการเดินทางเป็นเกณฑ์ที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของการจราจรที่มีสิ่งรบกวนการเคลื่อนตัวของยานพาหนะ โดยความล่าช้าสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท เช่น ความล่าช้าจากการควบคุม (Control Delay) ถือเป็นเกณฑ์ในการประเมินระดับการให้บริการ (Level of Service) ของทั้งทางแยกมีสัญญาณไฟจราจรและทางแยกไม่มีสัญญาณไฟจราจรควบคุม

ความล่าช้าจากการควบคุมมีความเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวด้วยความเร็วที่ต่ำและการหยุดรถบนทางแยก เมื่อรถเคลื่อนตัวเข้าสู่แถวคอยผู้ขับซึ่งจะลดความเร็วลงเมื่อยังคงมีแถวคอยอยู่บนทางเข้าสู่ทางแยกในทิศทางนั้น ๆ ความล่าช้าจากการควบคุมสามารถวัดจากค่าความเร็วเฉลี่ยที่เป็นจริงสำหรับทุก ๆ ทิศทางบนทางเข้าสู่ทางแยก

2.3.2 ความจุบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟ

การวิเคราะห์หาความจุของทางแยกจะพิจารณาจากกลุ่มของช่องจราจรที่เมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว แล้วสามารถเคลื่อนที่ไปได้พร้อมกันซึ่งเรียกว่า Lane Group โดยความจุของแต่ละกลุ่มช่องจราจร (lane group) สามารถคำนวณดังสมการที่ 2.5

$$C_i = S_i \left(\frac{G_i}{C} \right) \quad (2.5)$$

โดยที่ C_i = ความจุของกลุ่มช่องจราจร i
 S_i = อัตราการไหลอิ่มตัวของกลุ่มช่องจราจร i
 g_i = ระยะเวลาไฟเขียวที่ใช้ประโยชน์ได้ของกลุ่มช่องจราจร i
 C = ค่ารอบของเวลา (วินาที)

อัตราส่วนระหว่างปริมาณจราจรต่อความจุจะใช้ในการบ่งบอกถึงระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation) ของแต่ละกลุ่มช่องจราจร ซึ่งสามารถคำนวณดังสมการที่ 2.6

$$X_i = \left(\frac{V_i}{C_i} \right) = \left(\frac{V_i C}{S_i G_i} \right) \quad (2.6)$$

โดยที่ X_i = ระดับความอิ่มตัวของกลุ่มช่องจราจร i
 V_i = ปริมาณจราจรของกลุ่มช่องจราจร i

กลุ่มช่องจราจรจะถูกจำแนกเป็น 2 ลักษณะ โดยแบ่งเป็น ลักษณะที่อยู่ต่ำกว่าระดับอิ่มตัว (Under Saturated) ถ้า X_i ต่ำกว่า 1.0 และลักษณะที่อยู่สูงกว่าระดับอิ่มตัว (Oversaturated) ถ้า X_i สูง

กว่า 1.0 ระดับความอึดตัวของทั้งทางแยกจะพิจารณาจากระดับความอึดตัววิกฤต X_c ซึ่งจะพิจารณาจากกลุ่มช่องจราจรที่มีค่าอัตราส่วนปริมาณจราจรต่ออัตราการไหลอึดตัวสูงสุดในแต่ละเฟส ในกรณีของทางแยกที่มี 2 จังหวะสัญญาณไฟ เช่น ทิศเหนือและทิศใต้เคลื่อนที่พร้อมกันก็ให้พิจารณาอัตราส่วนดังกล่าวของกลุ่มช่องจราจรที่สูงกว่าดังนั้นในแต่ละเฟสหรือจังหวะสัญญาณไฟก็จะมีกลุ่มช่องจราจรที่มีระดับความ อึดตัววิกฤตสำหรับระดับความอึดตัววิกฤตของทั้งทางแยก สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.7

$$X_c = \sum (V_i / S_i) \times \left[\frac{C}{C - L} \right] \quad (2.7)$$

โดยที่ X_c = อัตราส่วนระดับอึดตัวของทางแยก
 (V/S) = อัตราส่วนระหว่างปริมาณจราจรและอัตราการไหลอึดตัวของช่องจราจร i
 L = ค่าเวลาสูญเสีย (วินาที)
 C = ค่ารอบของเวลา (วินาที)

ถ้าระดับความอึดตัววิกฤตของทางแยกน้อยกว่า 1.0 นั้นแสดงว่า ทางแยกสามารถรองรับปริมาณการจราจรที่ต้องการผ่านทางแยกได้ตามค่ารอบของเวลาที่กำหนดไว้ ถ้าระดับความอึดตัววิกฤตของทางแยกสูงกว่า 1.0 นั้นหมายความว่าทางแยกอยู่ในสภาพการจราจรแบบสูงกว่าอึดตัว (Oversaturated)

2.3.3 ความจุบริเวณทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟ

การวิเคราะห์ความจุบริเวณทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟ จะขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรจากทิศทางอื่นที่ขัดแย้งและช่องว่างระหว่างยานพาหนะในทิศทางที่ขัดแย้ง ซึ่งสามารถคำนวณความจุได้ดังสมการที่ 2.8

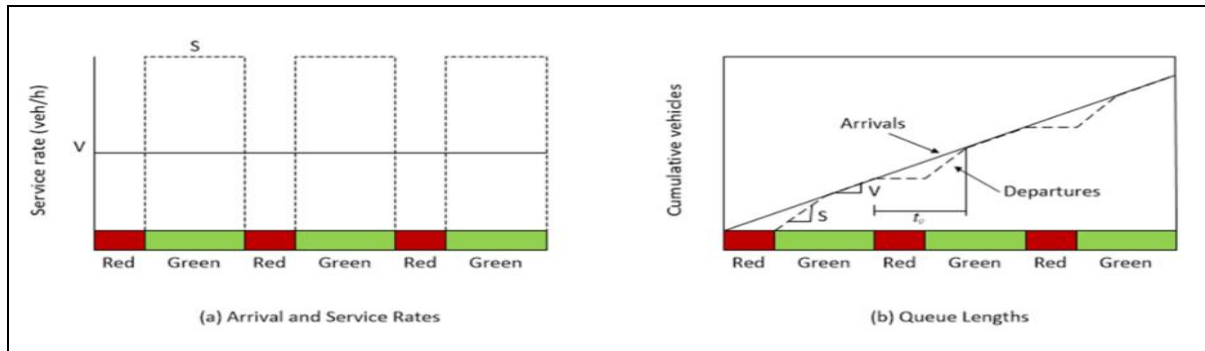
$$C_{px} = \left[\frac{e^{-(v_{cx} t_{cx} / 3,600)}}{1 - e^{-(v_{cx} t_{fx} / 3,600)}} \right] \quad (2.8)$$

โดยที่ C_{px} = ความจุของ movement x : คัน/ชั่วโมง
 v_{cx} = จำนวนการตัดกันของกระแสจราจรสำหรับ movement x : จำนวน/ชั่วโมง
 t_{cx} = ช่องว่างระหว่างคันของ movement x : วินาที
 t_{fx} = เวลาในการของ movement x: วินาที

2.3.4 แถวคอย (Queuing)

แถวคอยเกิดจากปริมาณจราจรบนทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรมีค่ามากกว่าความจุของถนนซึ่งยานพาหนะในบางคันไม่สามารถผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียวก่อนหน้านี้ได้ทั้งหมด แถวคอยจะเกิดขึ้นกรณีสภาพการจราจรแบบสูงกว่าอึดตัว (Oversaturated) หมายถึง ปริมาณพาหนะที่เข้าสู่ทางแยกมีค่ามากกว่าอัตราการให้บริการ หากเป็นกรณีสภาพการจราจรแบบต่ำกว่าอึดตัว (Under -

Saturated) หมายถึง ปริมาณยานพาหนะที่เข้าสู่ทางแยกจะน้อยกว่าอัตราการให้บริการ รถจึงผ่านทางแยกได้ตามรอบเวลาสัญญาณไฟ จึงไม่เกิดแถวคอย ดังรูปที่ 2.3-1



รูปที่ 2.3-1 ไดอะแกรมของระบบแถวคอยสำหรับทางแยกมีสัญญาณไฟจราจรควบคุม

ที่มา: Highway Capacity Manual (2010)

รูปที่ 2.3-1 (รูปซ้าย) หมายถึงปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก (V) ในหน่วยคันต่อชั่วโมง และมีอัตราคงที่ตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา อัตราการให้บริการ (s) จะประกอบด้วย 2 สภาวะ ได้แก่สภาวะ s เท่ากับศูนย์เมื่ออยู่ในช่วงเวลาสัญญาณไฟแดง และมีอัตราการไหลเกือบเท่าอัตราการไหลอิ่มตัวเมื่ออยู่ในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว กล่าวคืออัตราการให้บริการจะเท่ากันกับอัตราการไหลอิ่มตัวเมื่อมีแถวคอยเท่านั้น

รูปที่ 2.3-1 (รูปขวา) ความยาวแถวคอย คือ ระยะแนวตั้งของรูปสามเหลี่ยม ที่ตำแหน่งเริ่มต้นของช่วงสัญญาณไฟแดงความยาวแถวคอยจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าความยาวแถวคอยสูงสุดที่จุดสิ้นสุดของช่วงสัญญาณไฟแดง ความยาวแถวคอยจึงลดลงจนเหลือศูนย์เมื่อเส้น Arrival มาตัดกับเส้น Departure โดยรูปสามเหลี่ยมแต่ละรูปแสดงถึงรอบสัญญาณไฟ 1 รอบและสามารถนำไปวิเคราะห์หาช่วงเวลาก่อเกิดแถวคอย ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเริ่มต้นจากช่วงแรกของสัญญาณไฟแดงจนกระทั่งแถวคอยหมดไป ค่าช่วงเวลาก่อเกิดแถวคอยจะแปรผันอยู่ระหว่างระยะเวลาสัญญาณไฟแดง ประสิทธิภาพและระยะเวลารอบสัญญาณไฟ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9

2.3.5 ระดับการให้บริการบริเวณทางแยก

ตามมาตรฐานทางหลวง Highway Capacity Manual (2010) การวิเคราะห์ระดับการให้บริการบริเวณทางแยก (Intersection Level-of-Service) จะพิจารณาจากค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยก (Intersection Delay) เป็นเกณฑ์ในการประเมินระดับการให้บริการ ซึ่งความล่าช้าบริเวณทางแยกสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายส่วน ได้แก่

เมื่อได้ค่าความล่าช้าของทางแยก (d) สามารถหาระดับการให้บริการตามหลักเกณฑ์ของ Highway Capacity Manual (HCM :2010) ดังแสดงในตารางที่ 2.3-1

ตารางที่ 2.3-1 ระดับการให้บริการบริเวณทางแยก

ระดับ การ ให้บริการ	ความล่าช้า		คำอธิบาย
	ทางแยก มีสัญญาณไฟจราจร	ทางแยก ไม่มีสัญญาณไฟจราจร	
A	ไม่เกิน 10 วินาที	ไม่เกิน 10 วินาที	เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ
B	10–20 วินาที	10–15 วินาที	กระแสจราจรอยู่ในเกณฑ์ดี (มีความล่าช้าเล็กน้อย)
C	20–35 วินาที	15–25 วินาที	กระแสจราจรอยู่ในเกณฑ์ดี (มีความล่าช้าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้)
D	35–55 วินาที	25–35 วินาที	กระแสจราจรอยู่ในเกณฑ์พอใช้ (มีความล่าช้ามากกว่า 1 รอบสัญญาณไฟ)
E	55–80 วินาที	35–50 วินาที	กระแสจราจรติดขัด (มีความล่าช้ามาก)
F	มากกว่า 80 วินาที	มากกว่า 50 วินาที	กระแสจราจรแออัด

ที่มา: Highway Capacity Manual (HCM : 2010)

2.3.6 อัตราส่วนระหว่างจำนวนอุบัติเหตุและความขัดแย้งการจราจร

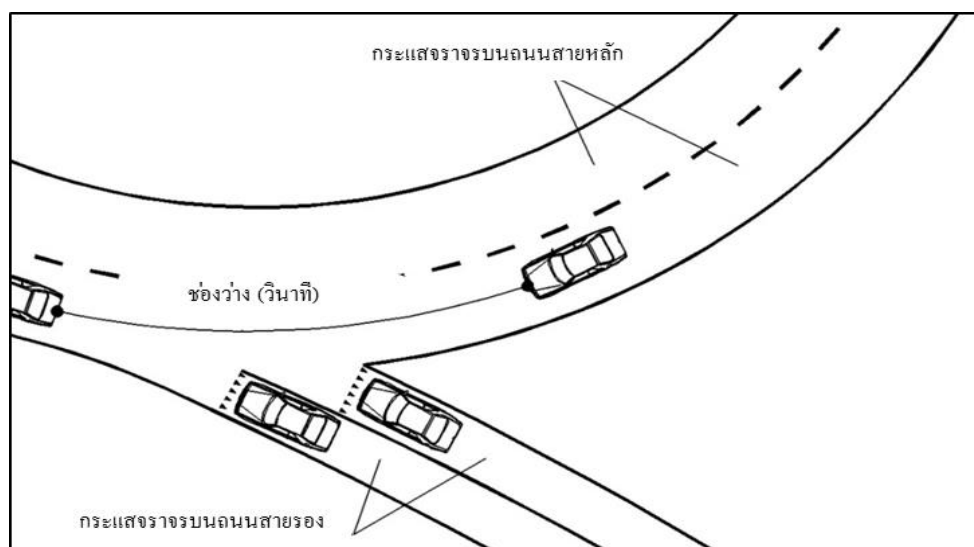
อัตราส่วนการเปรียบเทียบจำนวนจุดขัดแย้งการจราจรและจำนวนอุบัติเหตุ เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวิเคราะห์ความปลอดภัยเสมือนจริง โดยการเทียบเท่าจำนวนจุดขัดแย้งที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละสภาพการจราจรในแต่ละสถานการณ์กับจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจริง เพื่อคาดการณ์ความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น Migletz et al (1985) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความขัดแย้งการจราจรและอัตราการเกิดอุบัติเหตุ โดยใช้การสำรวจข้อมูลภาคสนาม ประกอบกับข้อมูลอุบัติเหตุในช่วงเวลา 3 ปี ดำเนินการโดยใช้วิธีการตั้งกล้องวิดีโอ เพื่อนับจำนวนความขัดแย้งการจราจรที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยก โดยจำแนกออกเป็นประเภทต่าง ๆ รวมถึงความขัดแย้งการจราจรที่เกิดจากการเปลี่ยนช่องจราจร ในเวลา 1 วัน จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนระหว่างการเกิดอุบัติเหตุต่อจำนวนความขัดแย้งการจราจร มีค่าเท่ากับ 1/10,220 ครั้ง/ปี

2.4 การวิเคราะห์การยอมรับช่องว่าง (Gap Analysis)

2.4.1 การยอมรับช่องว่าง (Gap Acceptance)

การขับขี่ยานพาหนะบริเวณทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร รวมถึงการตัดสินใจในการกลับรถบริเวณช่องเปิด ผู้ขับที่จะต้องพิจารณาประกอบกับการตัดสินใจในการยอมรับช่องว่างที่ปลอดภัยในกระแสจราจรหลักเพื่อพิจารณาสำหรับผ่านทางแยก และการตัดกระแสจราจร ซึ่งการยอมรับช่องว่างที่ผู้ขับที่จะต้องพิจารณา คือช่องว่างระหว่างยานพาหนะ 2 คัน โดยมีระยะห่างระหว่างท้ายของยานพาหนะคันแรกถึงหน้าของยานพาหนะคันที่สอง โดยมีหน่วยเป็น วินาที ดังแสดงในรูปที่ 2.4-1 เมื่อผู้ขับขี

ยานพาหนะที่ต้องการจะตัดหรือรวมเข้าสู่กระแสจราจร ผู้ขับขี่จะต้องพิจารณาว่าระยะดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะตัดหรือเข้าสู่กระแสจราจรหรือไม่ เมื่อผู้ขับขี่ตัดสินใจในการตัด หรือรวมกับกระแสจราจร เรียกว่า การยอมรับช่องว่าง (Gap Acceptance) หากผู้ขับขี่รอให้ผู้ที่อยู่ในเส้นทางหลักผ่านไปก่อน ช่องว่างที่เกิดขึ้นในขณะที่ผู้ขับขี่หยุดรอช่องว่างที่ปลอดภัย เรียกว่า การปฏิเสธช่องว่าง (Reject Gap) (Johan and Simon, 2010)



รูปที่ 2.4-1 ช่องว่างระหว่างยานพาหนะ 2 คัน

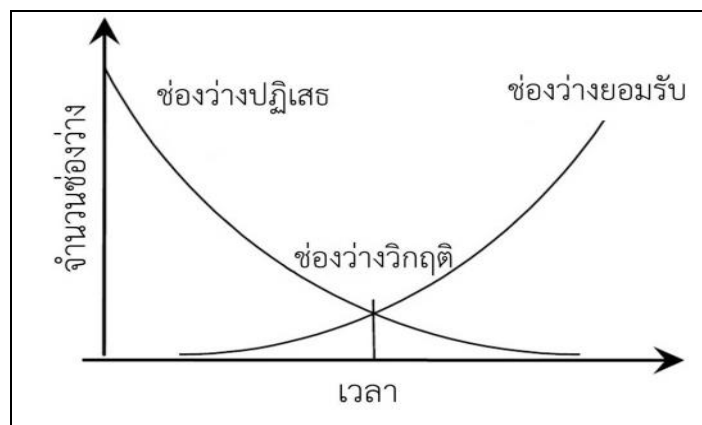
ที่มา : Johan and Simon (2010)

2.4.2 ช่องว่างวิกฤติ (Critical Gap)

สำหรับการศึกษาการยอมรับช่องว่าง หรือการปฏิเสธช่องว่าง ซึ่งการพิจารณาช่องว่างดังกล่าวเป็นพฤติกรรมที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับผู้ขับขี่ จึงไม่สามารถระบุช่องว่างที่น้อยที่สุดที่ผู้ขับขี่สามารถยอมรับได้ หรือช่องว่างที่ควรปฏิเสธ ดังนั้นจึงมีการวิเคราะห์ช่องว่างวิกฤติ โดยที่ช่องว่างวิกฤติ หมายถึงช่องว่างที่น้อยที่สุดที่ผู้ขับขี่สามารถยอมรับและสามารถตัดหรือรวมกับกระแสจราจรได้ หากช่องว่างมีค่าน้อยกว่าช่องว่างวิกฤติจะถูกปฏิเสธ โดยการวิเคราะห์ช่องว่างวิกฤติ ประกอบด้วยวิธีดังต่อไปนี้

- วิธีช่องว่างวิกฤติของ Raff (Raff's Critical Gap Method)

การวิเคราะห์ช่องว่างวิกฤติโดยวิธีช่องว่างวิกฤติของ Raff กำหนดว่าช่องว่างวิกฤติ คือ ผลจากการพิจารณาจุดตัดบนเส้นกราฟของการยอมรับ และปฏิเสธช่องว่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.4-2 ซึ่งจากรูปอธิบายได้ว่า ช่องว่างวิกฤติ คือระยะเวลาที่ผู้ขับขี่ยอมรับช่องว่างมีค่าเท่ากับระยะเวลาที่ผู้ขับขี่ปฏิเสธช่องว่าง

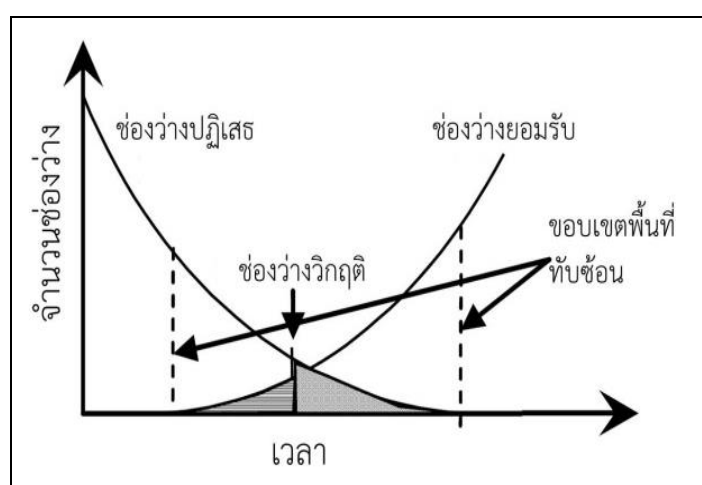


รูปที่ 2.4-2 วิธี Raff's Critical Gap

ที่มา : ดัดแปลงจาก Noel et al (2006)

- วิธีพื้นที่ทับซ้อนเท่ากัน (Equal Overlapping Area Method)

การวิเคราะห์ช่องว่างวิกฤติโดยวิธีพื้นที่ทับซ้อนเท่ากัน จะต้องพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการยอมรับและปฏิเสธช่องว่าง โดยพิจารณาส่วนพื้นที่ทับซ้อนกันระหว่างเส้นกราฟทั้งสอง โดยที่ส่วนพื้นที่ทับซ้อนทั้งสองต้องมีค่าเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4-3 ในทางปฏิบัติจริงอาจผู้ขับขี้อาจมีการตัดสินใจผิดพลาด ดังนั้นสามารถกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า ช่องว่างวิกฤติคือ ช่องว่างเวลาที่จำนวนช่องว่างที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาดเท่ากับจำนวนช่องว่างที่ยอมรับอย่างผิดพลาด จากการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ช่องว่างวิกฤติทั้งสองวิธีระหว่างวิธีช่องว่างวิกฤติของ Raff และวิธีพื้นที่ทับซ้อนเท่ากัน พบว่า วิธีการวิเคราะห์ช่องว่างวิกฤติของ Raff จะเหมาะสมกับกรณีที่มีการยอมรับ หรือปฏิเสธช่องว่างที่ผิดพลาดเพียงกรณีใดกรณีหนึ่งมากกว่า สำหรับการยอมรับ หรือปฏิเสธช่องว่างที่มีความผิดพลาดทั้งสองกรณี การวิเคราะห์ช่องว่างวิกฤติโดยวิธีพื้นที่ทับซ้อนเท่ากัน มีความเหมาะสมมากกว่า

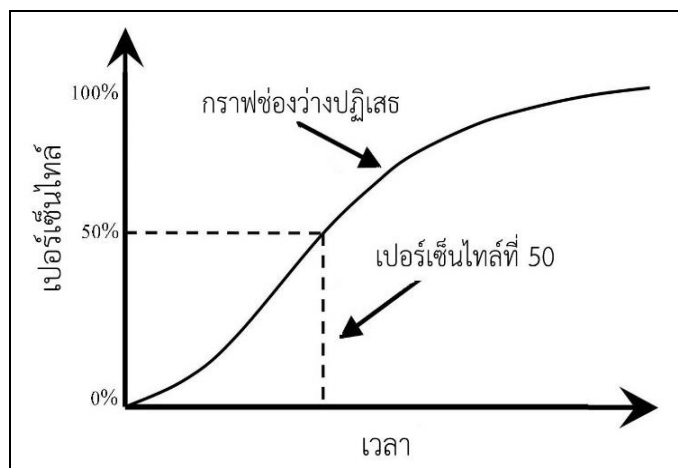


รูปที่ 2.4-3 วิธีพื้นที่ทับซ้อนเท่ากัน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Noel et al (2006)

- วิธีกราฟเปอร์เซ็นต์ไทล์ของช่องว่างปฏิเสธ (Reject Gap Percentile Curve Method)

วิธีดังกล่าวจะวิเคราะห์โดยข้อมูลการปฏิเสธช่องว่างของผู้ขับขี่ ณ ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 50 ซึ่งพิจารณาจากการปฏิเสธช่องว่างหลาย ๆ ช่องว่าง และแสดงเป็นเส้นกราฟของช่องว่างที่ปฏิเสธ ดังแสดงในรูปที่ 2.4-4 จากรูปแสดงให้เห็นว่า ทุกช่องว่างที่อยู่ทางซ้ายของตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 50 โดยส่วนใหญ่แล้วจะถูกปฏิเสธ และทุกช่องว่างที่อยู่ทางขวาของตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 50 ผู้ขับขี่จะยอมรับช่องว่าง



รูปที่ 2.4-4 วิธีกราฟเปอร์เซ็นต์ไทม์ของช่องว่างปฏิเสธ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Noel et al (2006)

2.5 การวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์

มูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐกิจต่อหน่วยสามารถหาได้หลายวิธี เช่น Human Capital Approach (HCA), Willingness-to-Pay (WTP), Net Output Approach, Life Insurance Approach, และ Court Award Approach ฯลฯ แต่วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดจะเป็นสองวิธีแรก โดยวิธี HCA จะนิยมใช้ในประเทศไทยมากที่สุด การศึกษาในรายงานฉบับนี้จะนำมูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐกิจจากอุบัติเหตุจราจรทางบกที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมาใช้ในการวิเคราะห์ความรุนแรงของอุบัติเหตุ ดังแสดงในตารางที่ 2.4-1

ตารางที่ 2.5-1 มูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐกิจในประเทศไทยจากงานวิจัยในอดีต

งานวิจัย	มูลค่าความสูญเสีย (บาท)	วิธี
โครงการศึกษามูลค่าอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย (2007)	มูลค่าเสียชีวิต=5,315,556	HCA
	มูลค่าพิการ=6,167,061	
	มูลค่าบาดเจ็บสาหัส=147,023	
	มูลค่าบาดเจ็บเล็กน้อย=34,761	
	มูลค่าทรัพย์สินเสียหาย=45,898	
ความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุจราจรทางบก ในประเทศไทย (2005)	มูลค่าเสียชีวิต=3,149,784	HCA
	มูลค่าพิการ=3,496,235	
	มูลค่าบาดเจ็บเล็กน้อย=8,990	
Determination of Economic Losses due to Road Crashes in Thailand (2005)	มูลค่าเสียชีวิต=3,050,112	HCA
	มูลค่าบาดเจ็บสาหัส=193,648	
	มูลค่าบาดเจ็บเล็กน้อย=25,400	
	มูลค่าทรัพย์สินเสียหาย=18,508	

การศึกษานี้ได้เลือกใช้ผลการศึกษางานวิจัยโครงการศึกษามูลค่าอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย (2007) ของกรมทางหลวง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เป็นมูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุ เพื่อเป็นเกณฑ์ประกอบในการพิจารณาออกแบบวิเคราะห์ทางแยกรูปแบบกลับรถที่เกาะกลาง

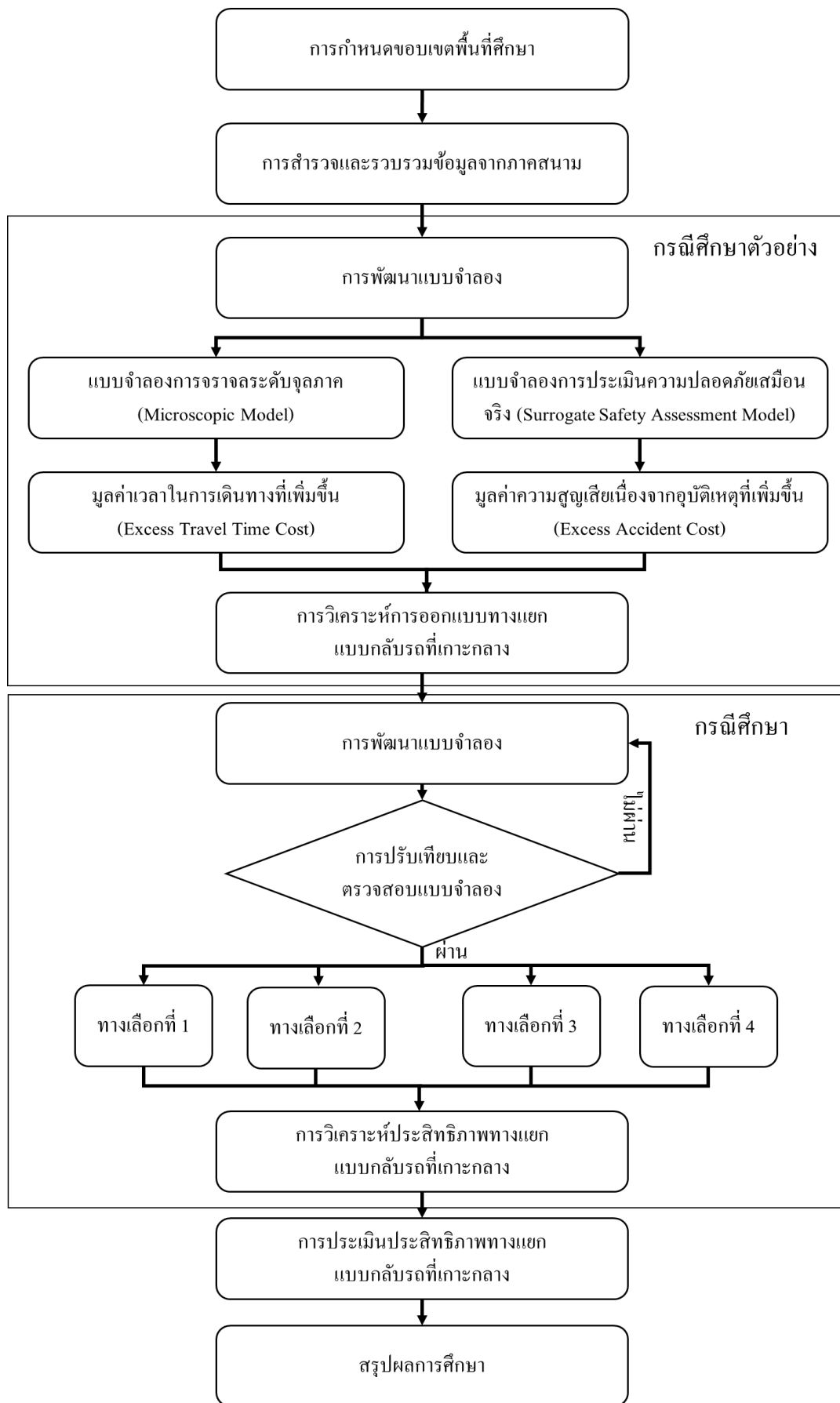
3 ระเบียบวิธีวิจัย

เนื้อหาภายในบทนี้จะเสนอขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเพื่อบรรลุตามวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ ประกอบด้วย การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา การสำรวจและรวบรวมข้อมูลจากภาคสนาม การพัฒนาแบบจำลอง การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง การประเมินประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง และการสรุปผล การวิเคราะห์ โดยรายละเอียดแสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง บนทางหลวงหมายเลข 121 จังหวัดเชียงใหม่ มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.1-1 ประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

- การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา
- การสำรวจและรวบรวมข้อมูลจากภาคสนาม
- การพัฒนาแบบจำลอง
- การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง
- การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง
- การประเมินประสิทธิภาพของทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง
- การสรุปผลการศึกษา



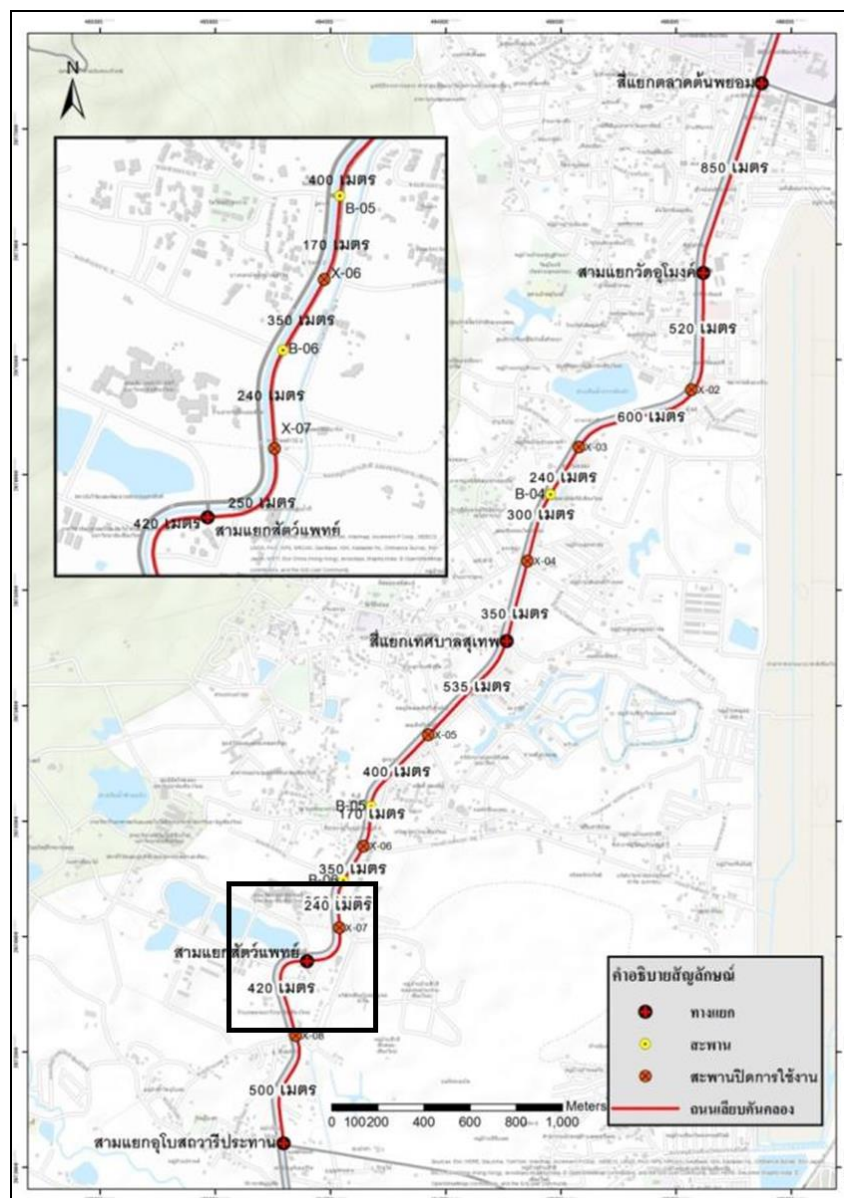
รูปที่ 3.1-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ขอบเขตพื้นที่ศึกษาอยู่บนทางหลวงหมายเลข 121 ถนนรอบเมืองเชียงใหม่ เป็นถนน 2 ช่องจราจร/ทิศทาง โดยมีคลองชลประทานทำหน้าที่เป็นเกาะกลาง (Median) แบ่งทิศทางการจราจร มีระยะทางตลอดพื้นที่ศึกษาประมาณ 5.6 กิโลเมตร ถนนดังกล่าวสามารถรองรับปริมาณจราจรได้สูงถึง 1,600 คัน ในชั่วโมงเร่งด่วน ปัจจุบันประสบปัญหาการตัดกันของทางร่วม/ทางแยกไม่เหมาะสมเนื่องจากถนนสายนี้มีลักษณะที่คดเคี้ยวไปตามลักษณะทางกายภาพของคลอง รวมถึงความกว้างของสะพานไม่เพียงพอส่งผลให้การรองรับปริมาณจราจรของยานพาหนะทั่ว ๆ ไป เป็นไปได้ยาก และระยะการมองเห็น (Sight Distance) ไม่เพียงพอ จึงถือเป็นจุดเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุที่รุนแรง ดังแสดงในรูปที่

3.2-1



รูปที่ 3.2-1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

3.2.2 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลจากภาคสนาม

การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนามจะนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจบริเวณพื้นที่ศึกษา จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามรวบรวมไปกำหนดเป็นค่าที่สำคัญต่าง ๆ สำหรับนำไปประกอบเป็นข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลอง ตลอดจนถึงการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการสำรวจในช่วงเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 สำรวจในช่วงเวลาเร่งด่วน (ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า 07.00 – 10.00 น. ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น 15.00 – 18.00 น.) ในวันทำงาน และแบ่งประเภทยานพาหนะที่สำรวจออกเป็น 3 ประเภท ประกอบด้วย รถจักรยานยนต์ (Motorcycle) รถยนต์ส่วนบุคคล (Car) และรถบรรทุก (Truck) โดยมีรายละเอียดการรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1) ลักษณะทางกายภาพบริเวณพื้นที่ศึกษา (Geometry Survey)

การสำรวจลักษณะทางกายภาพจะสามารถทราบลักษณะทางกายภาพโดยรวมของทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย ความกว้าง และจำนวนช่องจราจรบริเวณทางแยก ลักษณะเครื่องหมายจราจรบริเวณทางแยก และป้ายจราจร สำรวจโดยใช้ล้อวัดระยะ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปประกอบเป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.2-2



รูปที่ 3.2-2 การสำรวจลักษณะทางกายภาพบริเวณพื้นที่ศึกษา

2) ปริมาณจราจรบนทางแยก (Turning Movement Count)

การสำรวจปริมาณจราจรบนทางแยกสำรวจโดยการบันทึกจากกล้องวิดีโอ และนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไป โดยบันทึกข้อมูลปริมาณของยานพาหนะแต่ละประเภทในทุก ๆ 15 นาที และแยกทิศทาง โดยมีตัวอย่างการสำรวจปริมาณจราจรบนทางแยกดังแสดงในรูปที่ 3.2-3



รูปที่ 3.2-3 ตัวอย่างการสำรวจปริมาณจราจรบนทางแยก

3) ความเร็วยานพาหนะบนทางสายหลัก (Vehicular Speed)

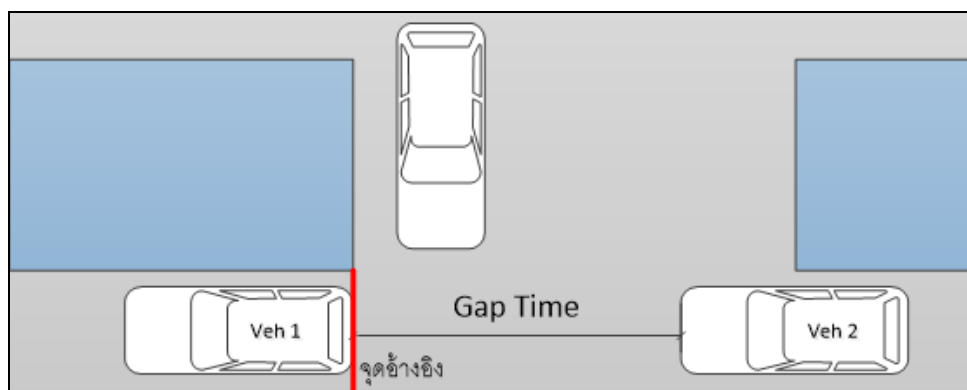
การสำรวจความเร็วยานพาหนะสายหลักดำเนินการโดยใช้อุปกรณ์วัดความเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 3.2-4 สุ่มสำรวจตัวอย่างเพื่อวัดความเร็วยานพาหนะประเภทในแต่ละประเภท โดยแยกสำรวจในแต่ละทิศทาง จากนั้นจดบันทึกค่าความเร็วของยานพาหนะเพื่อนำไปประกอบเป็นข้อมูลในการกำหนดการกระจายตัวของความเร็วการขับขี่ (Desired Speed Distribution) ในขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง



รูปที่ 3.2-4 ตัวอย่างการสำรวจความเร็วบนถนนสายหลัก

4) พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่ (Gap Acceptance)

การสำรวจข้อมูลพฤติกรรมของผู้ขับขี่เมื่อกลับรถที่บริเวณช่องเปิดเกาะกลาง เพื่อที่จะเข้าสู่ถนนหลัก โดยกำหนดจุดอ้างอิงบริเวณช่องเปิดเกาะกลางในช่วงขอบเขตพื้นที่ศึกษา 100 ตัวอย่าง ต่อ 1 ประเภท จากนั้นพิจารณาการยอมรับหรือปฏิเสธช่องว่างของยานพาหนะแต่ละประเภท โดยกำหนดให้ระยะเวลาของช่องว่างระหว่างยานพาหนะ 2 คัน คือระยะระหว่างกันชนท้ายของยานพาหนะคันแรก (t_1) ถึง กันชนหน้าของยานพาหนะคันที่สอง (t_2) โดยมีจุดอ้างอิงเดียวกัน ผู้วิจัยสำรวจพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่โดยตั้งกล้องเพื่อบันทึกวิดีโอ และนำไปประมวลผลจากกล้องวิดีโอในขั้นตอนต่อไป เพื่อบันทึกข้อมูลเป็นเวลาที่ยานพาหนะยอมรับ หรือปฏิเสธช่องว่าง เพื่อวิเคราะห์ช่องว่างวิกฤต ดังแสดงในรูปที่ 3.2-5



รูปที่ 3.2-5 ช่องว่างของกระแสรถบริเวณถนนหลัก

3.2.3 การพัฒนาแบบจำลอง

การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการศึกษาค้นคว้านี้ได้ใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Simulation) และแบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง (Surrogate Safety Assessment Model: SSAM) สำหรับการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง และวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลางในรูปแบบทางเลือกต่าง ๆ โดยแบบจำลองทั้งสองที่ได้กล่าวข้างต้นมีรายละเอียดดังนี้

1) แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Simulation)

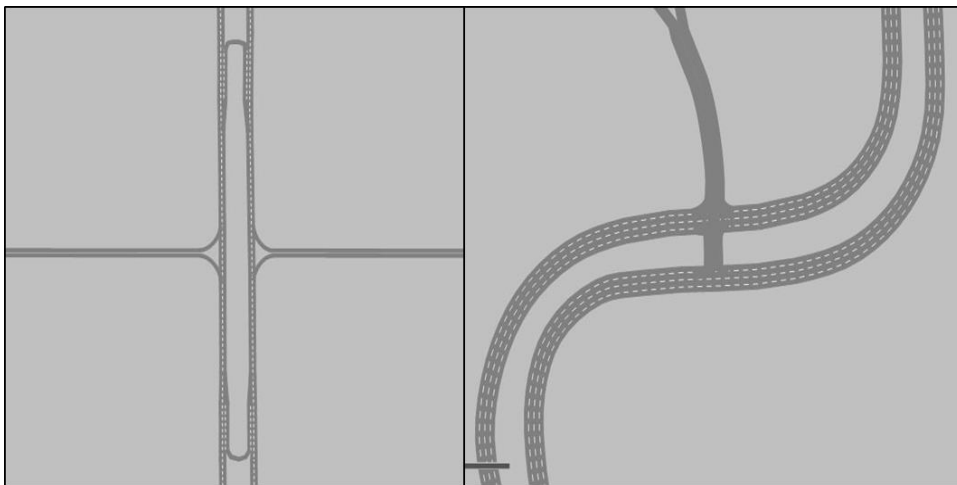
การพัฒนาแบบจำลองจะใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค VISSIM ในการวิเคราะห์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากภาคสนามมาสร้างเป็นสถานการณ์เสมือนจริง ดังแสดงในรูปที่ 3.2-6 และสามารถประยุกต์สร้างเป็นกรณีทางเลือกรูปแบบอื่น ๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพในหลาย ๆ รูปแบบทางเลือก โดยการประเมินประสิทธิภาพจากจากตัวชี้วัดต่าง ๆ ประกอบด้วย เวลาในการเดินทาง ความล่าช้า และระดับการให้บริการบริเวณทางแยก โดยมีขั้นตอนการสร้างแบบจำลองดังนี้



รูปที่ 3.2-6 การพัฒนาแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค

- การสร้างโครงข่าย

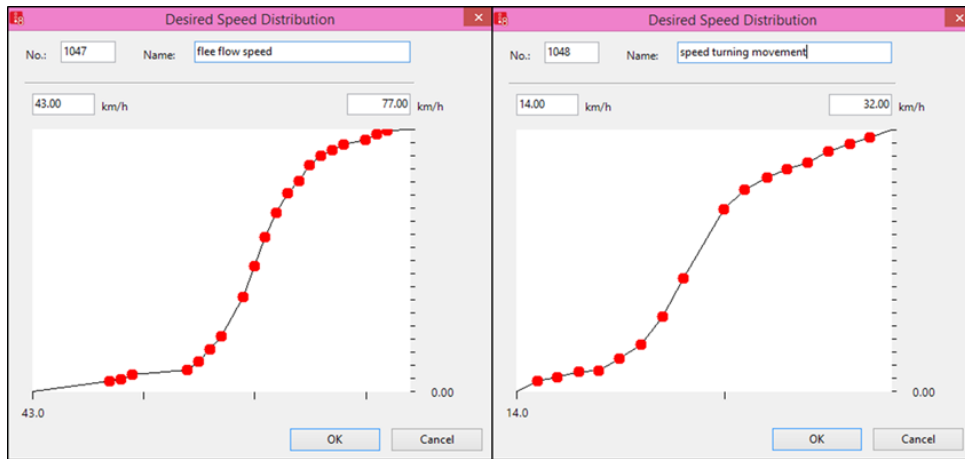
การสร้างโครงข่ายพื้นที่ศึกษาถือเป็นการเริ่มต้นสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง โดยนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการสำรวจภาคสนามมาสร้างแบบทางแยกบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2-7



รูปที่ 3.2-7 การสร้างโครงข่าย

- การกำหนดความเร็วในแบบจำลอง

การกำหนดความเร็วในแบบจำลองจะกำหนดจากข้อมูลความเร็วจุด (Spot-Speed) ของยานพาหนะ โดยแบ่งออกเป็นความเร็วอิสระ และความเร็วบริเวณทางแยก ที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบความถี่สะสม จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาระบุลงในโปรแกรมเพื่อให้ความเร็วของยานพาหนะในแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด ดังแสดงขั้นตอนดังรูปที่ 3.2-8



รูปที่ 3.2-8 การกำหนดความเร็วในแบบจำลอง

- การกำหนดปริมาณจราจร

นำข้อมูลปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกำหนดเป็นค่าในแบบจำลอง เพื่อมีความประสงค์ให้ปริมาณจราจรในแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับสภาพจริง โดยข้อมูลที่จำเป็นต้องกำหนดประกอบด้วย ปริมาณยานพาหนะที่เข้าสู่ระบบ (Vehicle Input) สัดส่วนยานพาหนะในระบบ (Traffic Composition) และสัดส่วนการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ (Vehicle Route)

- การปรับเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลองคือการปรับเทียบข้อมูลประสิทธิภาพที่ได้จากแบบจำลองให้มีสภาพการจราจรใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด โดยการพิจารณาจากความล่าช้าในการเดินทาง ปริมาณจราจรบนช่วงถนน หรือปริมาณจราจรบริเวณทางแยก เป็นต้น หลังจากนั้นดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง จากนั้นจึงสามารถนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพสำหรับสถานการณ์อื่น ๆ ได้ในภายหลัง

- การประเมินผลแบบจำลอง

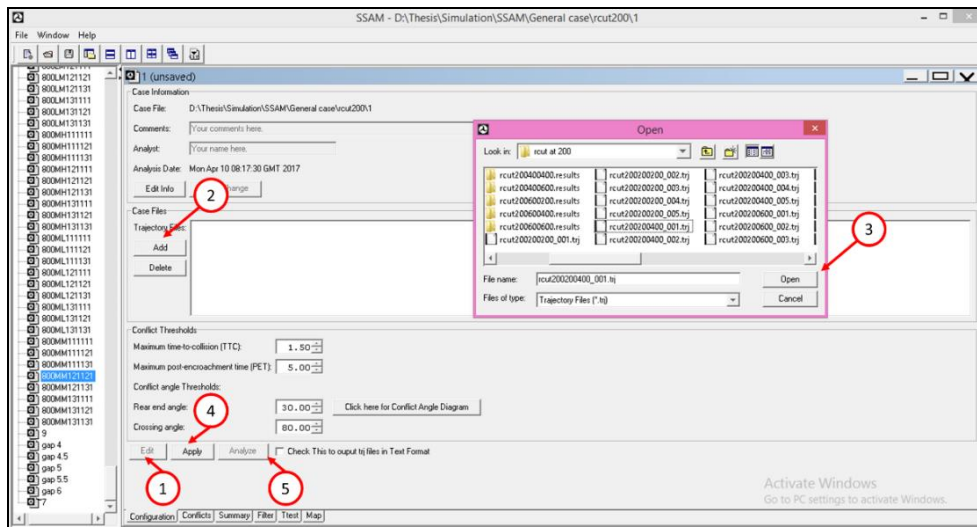
สำหรับการประเมินผลแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้บันทึกข้อมูลเป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อหนึ่งรอบประเมินผลในแต่ละสถานการณ์ การประเมินผลจะบันทึกข้อมูลตั้งแต่วินาทีที่ 600 ถึง 4,200 วินาที โดยกำหนดให้ช่วง 600 วินาทีแรกเป็นช่วงเวลาเริ่มต้นของแบบจำลอง ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองดังกล่าว คือ เวลาในการเดินทาง (Travel Time) ความล่าช้า (Delay) เพื่อสามารถระบุเป็นระดับการให้บริการบริเวณทางแยก (Intersection Level of Service)

2) แบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง (Surrogate Safety Assessment Model)

แบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับวิเคราะห์จำนวนความขัดแย้งการจราจร จากแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค ซึ่งจำนวนความขัดแย้งดังกล่าวได้ถูกพิจารณาจากตัวชี้วัดต่าง ๆ ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 แสดงดังขั้นตอนต่อไปนี้

- การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง

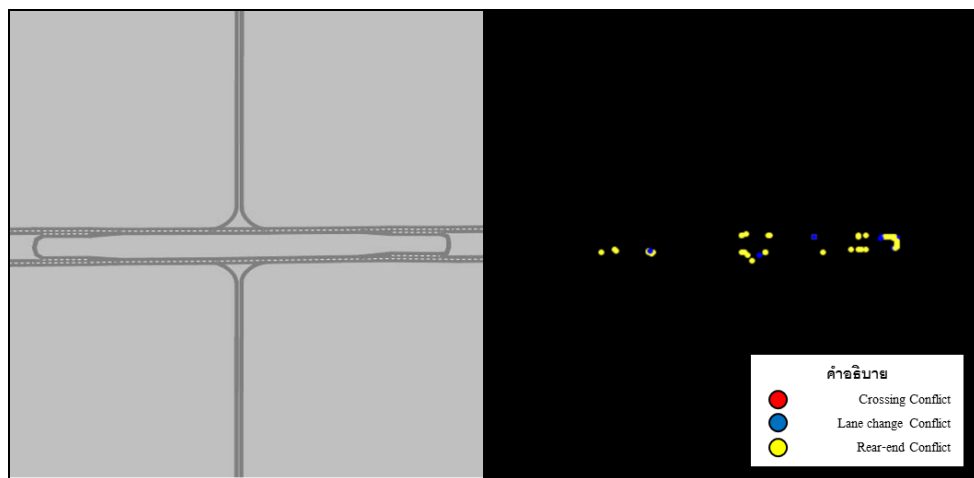
การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริงจะต้องการข้อมูล Trajectory File (.trj) ที่ได้จากข้อมูลส่งออกจากแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค ได้แก่ VISSIM, PARAMICS, AIMSUN และ TEXAS สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลส่งออกจากแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค VISSIM ซึ่งความแม่นยำในการวิเคราะห์จำนวนความขัดแย้งการจราจรขึ้นอยู่กับผลการเปรียบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองของแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค ดังแสดงกระบวนการวิเคราะห์แบบจำลองในรูปที่ 3.2-9



รูปที่ 3.2-9 กระบวนการวิเคราะห์แบบจำลอง

- การประเมินผลแบบจำลอง

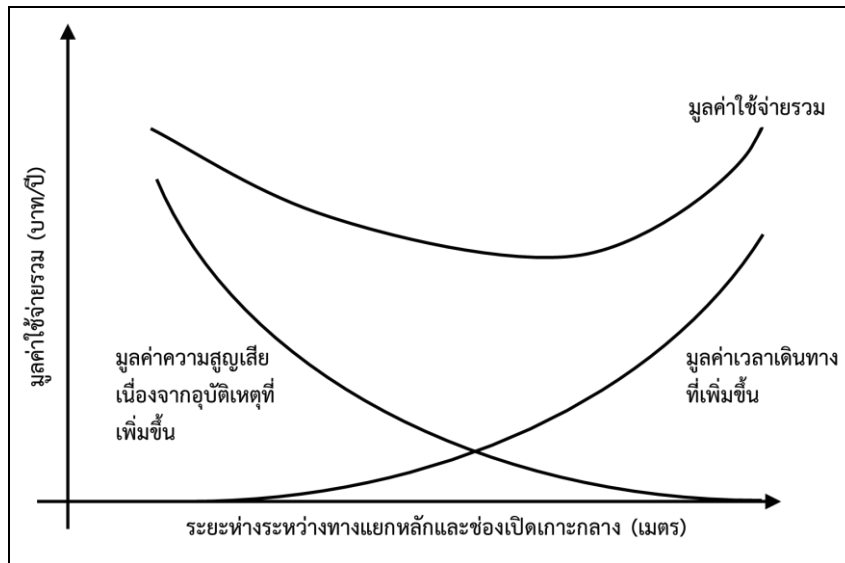
ผลของแบบจำลองจะแสดงให้เห็นถึงจำนวนความขัดแย้งการจราจรทั้ง 3 ประเภท ประกอบด้วย ความขัดแย้งที่เกิดจากการชนท้าย (Rear-End Conflict) เปลี่ยนช่องจราจร (Lane Change Conflict) และความขัดแย้งแบบมุมฉาก (Crossing Conflict) และแสดงค่าของตัวชี้วัดต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2-10



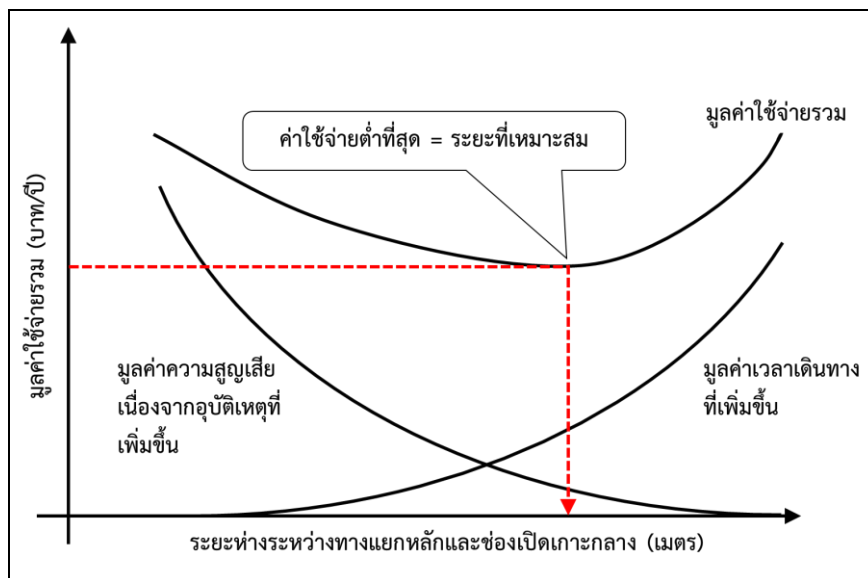
รูปที่ 3.2-10 การประเมินผลแบบจำลอง SSAM

3.2.4 การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริดจ์ที่เกาะกลาง

การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริดจ์ที่เกาะกลาง เป็นการวิเคราะห์เพื่อระบุระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม (Optimal Spacing) โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (Travel Time Cost) และความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น (Accident Cost) เพื่อพิจารณาเป็นผลรวมมูลค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด (Minimum Total Cost) และสามารถระบุระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 3.2-11 และ รูปที่ 3.2-12



รูปที่ 3.2-11 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุและเวลาการเดินทางที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.2-12 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม (Optimal Spacing)

1) มูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุ (Accident Cost)

สำหรับการวิเคราะห์ความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น สามารถพิจารณาจากแบบจำลอง ประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวจะนำข้อมูลนำเข้า (Out Put) ที่ได้จากแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค เพื่อนำมาจำลองสถานการณ์เสมือนจริง และแสดงผลข้อมูลในรูปแบบจำนวนความขัดแย้งการจราจร (Conflict Point) 3 ประเภท ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 สำหรับการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลาง จะพิจารณาเฉพาะความขัดแย้งการจราจรที่เกิดจากการเปลี่ยนช่องจราจร (Lane Change Conflict) เท่านั้น เนื่องจากมีความสอดคล้องกับระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางมากที่สุด จากนั้นนำข้อมูลความขัดแย้งการจราจรไปวิเคราะห์เป็นมูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น (บาท/ปี)

2) มูลค่าเวลาในการเดินทาง (Travel Time Cost)

สำหรับการวิเคราะห์มูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น สามารถพิจารณาได้จากแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค และประเมินผลในลักษณะของเวลาในการเดินทาง (วินาที) จากนั้นนำไปวิเคราะห์เป็นค่าใช้จ่ายสำหรับเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (บาท/ปี)

3) มูลค่าใช้จ่ายรวม (Total Cost)

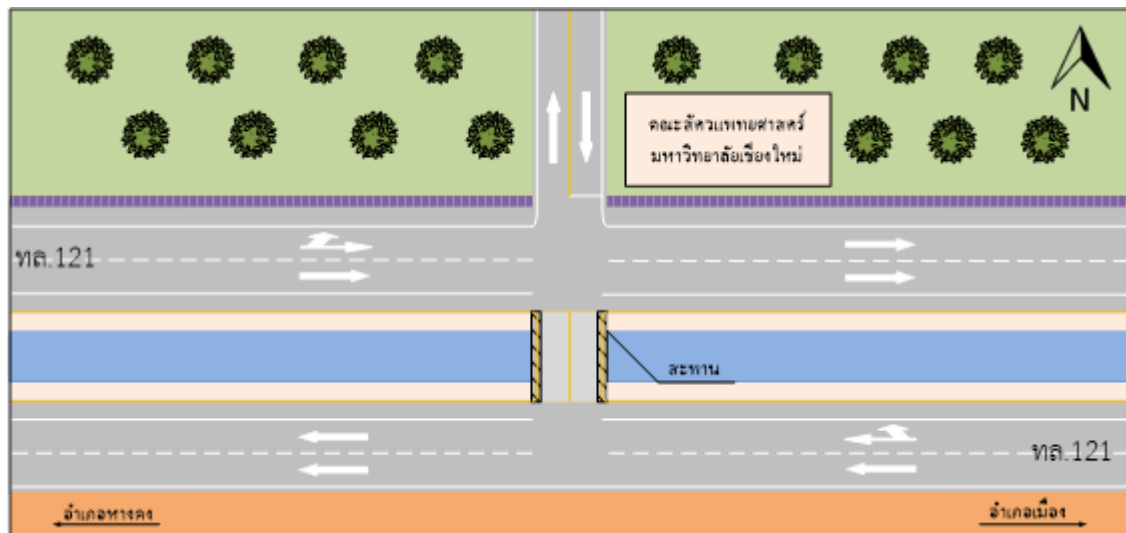
เป็นมูลค่าที่ได้จากการรวมกันระหว่าง 2 ค่า ประกอบด้วย มูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้นและมูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น จากนั้นพิจารณามูลค่าใช้จ่ายรวม ซึ่งมูลค่าใช้จ่ายรวมที่น้อยที่สุดและระบุเป็นระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม

3.2.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลาง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลางเป็นกรณีศึกษา โดยกำหนดพื้นที่ศึกษาอยู่บนทางหลวงหมายเลข 121 จังหวัดเชียงใหม่ โดยแบ่งออกเป็นรูปแบบทางเลือกต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการเคลื่อนที่และความปลอดภัยจากตัวชี้วัดด้านการจราจร เช่น เวลาในการเดินทาง ความล่าช้า ระดับการให้บริการบนทางแยก รวมถึงจำนวนความขัดแย้งการจราจรแต่ละประเภท จากนั้นระบุรูปแบบทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

1) พื้นที่ศึกษาสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลาง

การศึกษานี้กำหนดทางแยกคณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีปริมาณจราจรบนถนนสายหลักมากและซับซ้อนความเร็วสูง ตัดกับถนนสายรองที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่า เมื่อเทียบสัดส่วนระหว่างปริมาณจราจรบนถนนสายหลักและสายรอง ซึ่งถือเป็นจุดเสี่ยงอันตรายเนื่องจากมีทางแยกเพื่อเข้าสู่สถานศึกษาตั้งอยู่บริเวณตำแหน่งทางโค้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.2-13



รูปที่ 3.2-13 พื้นที่ศึกษาคณะสัตวแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2) รูปแบบทางเลือกในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทางแยก

การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดรูปแบบทางเลือกสำหรับในไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพออกเป็น 4 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.2-14 ซึ่งประกอบด้วย

ทางเลือกที่ 1 ทางแยกที่ควบคุมด้วยป้ายหยุด	ทางเลือกที่ 2 ทางแยกติดตั้งสัญญาณไฟ
ทางเลือกที่ 3 ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ	ทางเลือกที่ 4 ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ พร้อมติดตั้งสัญญาณไฟ

รูปที่ 3.2-14 รูปแบบทางเลือกในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

- รูปแบบทางแยกที่ควบคุมด้วยป้ายหยุด (ที่มีอยู่ในปัจจุบัน)
- รูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟ (Signalized Intersection)
- รูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (Restrict Crossing U-Turn Intersection)
- รูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถพร้อมติดตั้งสัญญาณไฟ (Signalized Restrict Crossing U-Turn Intersection)

3.2.6 การประเมินประสิทธิภาพของทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

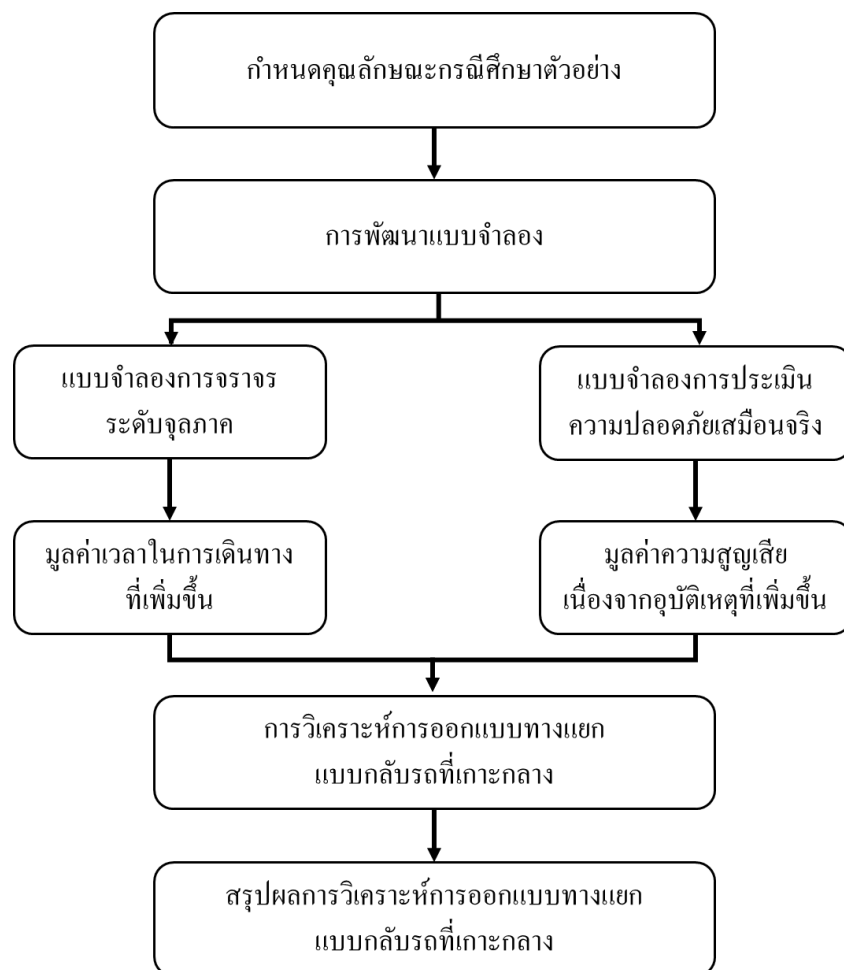
ประเมินประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบทางแยกทั้ง 4 รูปแบบทางเลือก โดยพิจารณา เวลาในการเดินทาง (Travel Time) ความล่าช้า (Delay) ระดับการให้บริการบริเวณทางแยก (Intersection Level Of Service) และจำนวนความขัดแย้งการจราจร (Conflict Point) หากค่าที่กล่าวข้างต้นมีค่าเฉลี่ยในโครงข่ายน้อยที่สุด จะถือว่าทางแยกมีประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยสูงสุด

3.2.7 การสรุปผลการวิเคราะห์

สรุปผลการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลางและสรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง ทั้ง 4 รูปแบบทางเลือก พร้อมเสนอแนวคิดรูปแบบทางแยกทางเลือกใหม่ที่มีประสิทธิภาพด้านการจัดการและความปลอดภัยสูงสุด

4 การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ

การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ มีขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ การกำหนดคุณลักษณะของกรณีศึกษาตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง การวิเคราะห์ความอ่อนไหว และสรุปผลการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง ดังรูปที่ 4-1

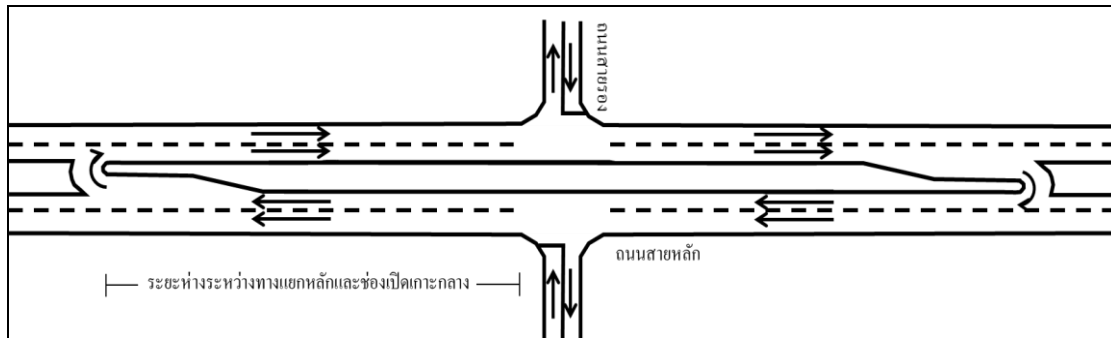


รูปที่ 4-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

4.1 การกำหนดคุณลักษณะสำหรับการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

สำหรับการศึกษานี้ได้กำหนดทางแยกเป็นทางแยกรูปแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ ทั้งสิ้น 9 กรณี เป็นทางแยกที่ตัดกันระหว่างถนนสายหลักสองช่องจราจรต่อทิศทาง และถนนสายรองขนาดหนึ่งช่องจราจรต่อทิศทาง โดยกำหนดระยะห่างระหว่างทางแยกหลักถึงช่องเปิดเกาะกลาง (Spacing) ตั้งแต่

100 เมตร ถึง 800 เมตร และกำหนดปริมาณจราจรเริ่มตั้งแต่ 200 คันต่อช่องจราจร และปรับเพิ่มทีละ 200 คันต่อช่องจราจร สูงสุดที่ปริมาณจราจร 600 คันต่อช่องจราจร ดังแสดงในรูปที่ 4.1-1



รูปที่ 4.1-1 คุณลักษณะสำหรับการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลาง

สำหรับการกำหนดคุณลักษณะสำหรับการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลาง เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการพัฒนาแบบจำลอง และระบุระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม มีการกำหนดส่วนประกอบต่าง ๆ แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 การกำหนดตัวแปรสำหรับแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค

ตัวแปรสำหรับแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค แบบจำลองดังกล่าวสามารถนำไปใช้วิเคราะห์เวลาในการเดินทางสำหรับโครงข่ายกรณีศึกษาตัวอย่างในแต่ละกรณี เพื่อนำไปวิเคราะห์เป็นมูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (Travel Time Cost) ในขั้นตอนต่อไป โดยตัวแปรต่าง ๆ สำหรับการประเมินผลแสดงดังตารางที่ 4.1-1

ตารางที่ 4.1-1 ตัวแปรสำหรับแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
จำนวนยานพาหนะเข้าสู่ระบบ (ถนนสายหลัก)	200,400 และ 600 คัน/ชั่วโมง/ช่องจราจร
จำนวนยานพาหนะเข้าสู่ระบบ (ถนนสายรอง)	200,400 และ 600 คัน/ชั่วโมง/ช่องจราจร
สัดส่วนยานพาหนะ ¹	0.40 0.49 และ 0.11
การยอมรับช่องว่าง ¹	3,5 และ 6 วินาที
ความเร็วยานพาหนะออกแบบ ¹	50 60 และ 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง
สัดส่วนการเลี้ยวบนทางแยก ² (ถนนสายหลัก)	1/5 3/5 และ 1/5
สัดส่วนการเลี้ยวบนทางแยก ² (ถนนสายรอง)	1/3 1/3 และ 1/3
ช่วงเวลาดำเนินงานแบบจำลอง	3600 วินาที
ช่วงเวลาก่อนเริ่มการประเมินผลในแบบจำลอง	600 วินาที
จำนวนครั้งของการดำเนินการประเมินผลแบบจำลอง	10 ครั้ง

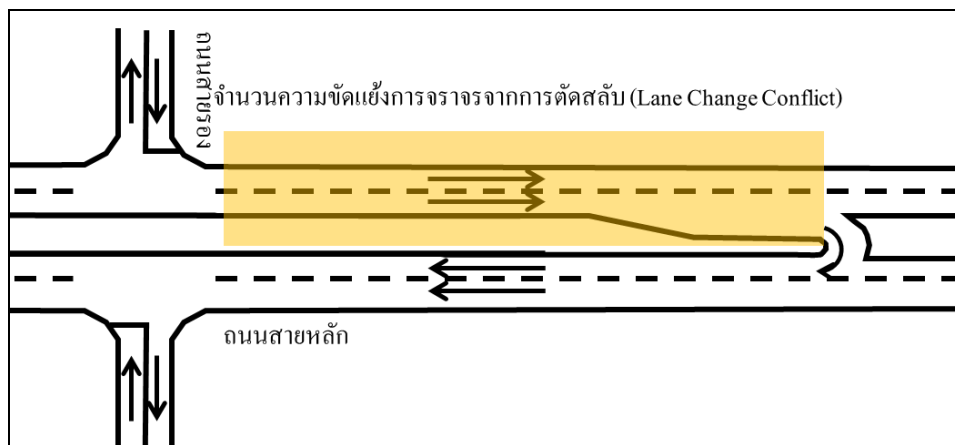
หมายเหตุ: สัดส่วนยานพาหนะ การยอมรับช่องว่าง ความเร็วยานพาหนะออกแบบ และสัดส่วนการเลี้ยว ได้จากการสำรวจข้อมูลภาคสนาม

¹ จักรยานยนต์, รถยนต์ส่วนบุคคล, รถบรรทุก

² เลี้ยวซ้าย, ตรง, เลี้ยวขวา

4.1.2 การกำหนดตัวแปรสำหรับแบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง

ตัวแปรสำหรับแบบจำลองการจราจรการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง จะต้องใช้ข้อมูลนำออก (Output) ที่ได้จากแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ จำนวนความขัดแย้งการจราจร (Conflict Point) รูปแบบต่าง ๆ สำหรับการศึกษานี้พิจารณาเฉพาะความขัดแย้งการจราจรที่เกิดจากการตัดสลับ (Lane-Change Conflict) เพียงด้านเดียวเท่านั้น สำหรับการนำไปวิเคราะห์มูลค่าการสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุ ดังแสดงในรูปที่ 4.1-2 โดยตัวแปรต่าง ๆ ที่กำหนดสำหรับการประเมินผล แสดงดังตารางที่ 4.1-2



รูปที่ 4.1-2 ตำแหน่งการเกิดความขัดแย้งการจราจรจากการตัดสลับ

ตารางที่ 4.1-2 ตัวแปรสำหรับแบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
Trajectory File (.trj) จากแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค	5 รอบ
Maximum time-To-Collision (TTC)	1.5 วินาที
Maximum Post-Encroachment Time (PET)	5 วินาที
Rear-End Conflict Angle	น้อยกว่า 30 องศา
Lane-Change Conflict Angle	ระหว่าง 30 - 80 องศา
Crossing Conflict Angle	มากกว่า 80 องศา

4.1.3 การกำหนดตัวแปรสำหรับวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลาง

ตัวแปรสำหรับวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลาง เป็นตัวแปรสำหรับนำไปคำนวณมูลค่าเวลาการเดินทางที่เพิ่มขึ้น และมูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น เพื่อนำไประบุระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่

4.1-3

ตารางที่ 4.1-3 ตัวแปรสำหรับวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลาง

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
Accident/Conflict ratio	1/10000
มูลค่าการบาดเจ็บ	35,000 บาท/ครั้ง
มูลค่าการเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น ^{*1}	86.41 240.3 และ 142.98 บาท/ชั่วโมง

หมายเหตุ: Accident/Conflict ratio อ้างอิงจาก FHWA (1985)

มูลค่าการบาดเจ็บอ้างอิงจากโครงการศึกษามูลค่าอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย (2007)

มูลค่าการประหยัดเวลาการเดินทางอ้างอิงจากข้อมูลในจังหวัดเชียงใหม่

*1 จักยานยนต์, รถยนต์ส่วนบุคคล, รถบรรทุก

4.2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลาง

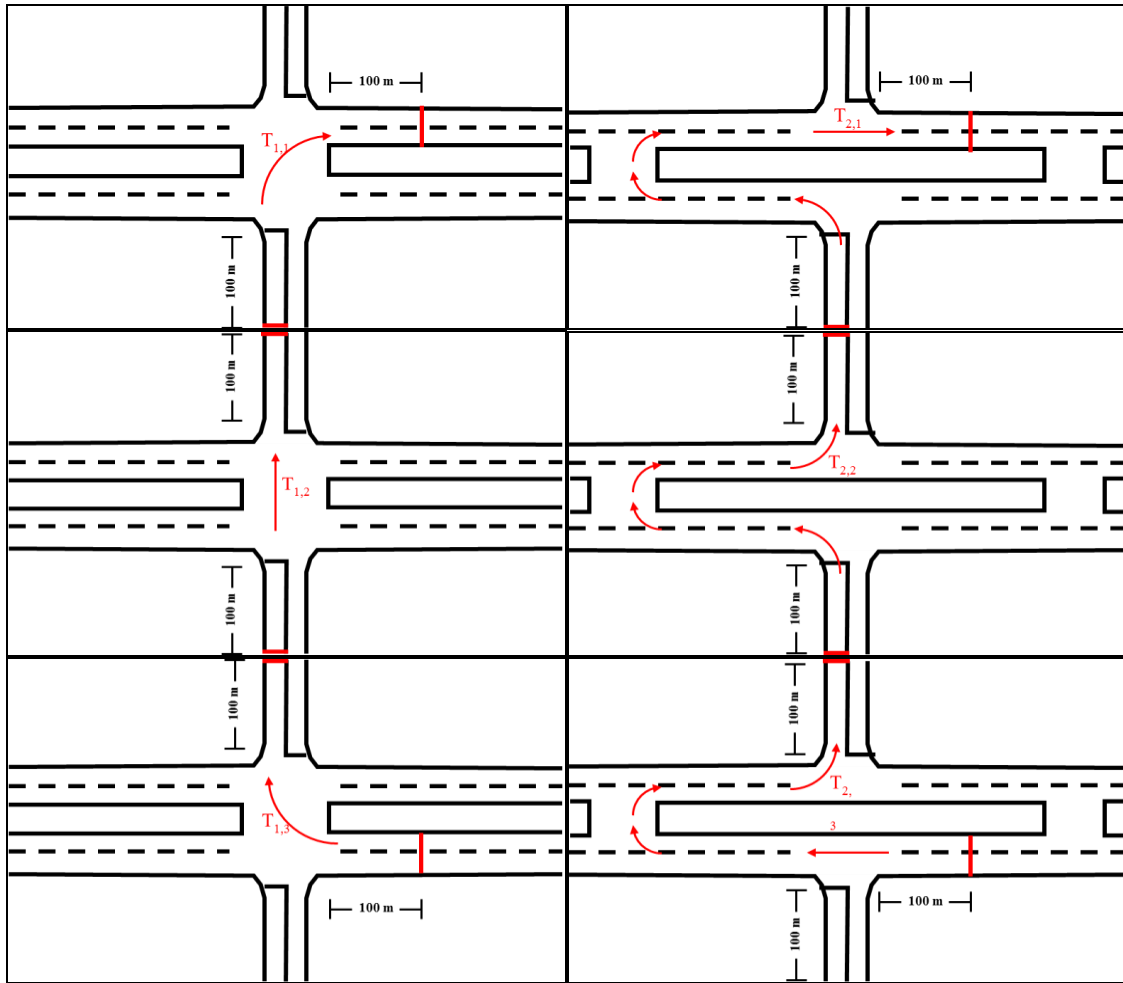
การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริกที่เกาะกลางจะวิเคราะห์หาระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากมูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น และมูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น และรวมเป็นมูลค่าใช้จ่ายทั้งหมด เมื่อพิจารณามูลค่าใช้จ่ายทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้จากมูลค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่มีค่าต่ำสุดคือระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม แสดงผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์มูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (Excess Travel Time Cost)

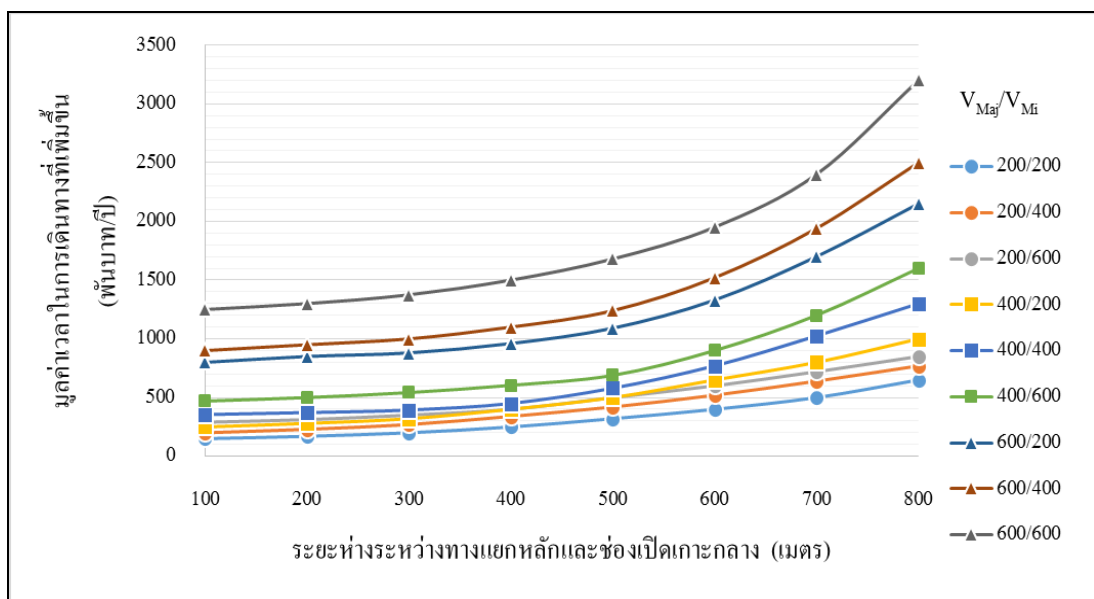
การวิเคราะห์มูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น ดำเนินการโดยใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค เริ่มจากการสร้างโครงข่าย ตลอดจนกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อดำเนินการพัฒนาแบบจำลอง ประเมินผลการวิเคราะห์แบบจำลองโดยพิจารณาเวลาในการเดินทางในโครงข่าย จากนั้นวิเคราะห์มูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น ดังสมการที่ 4.1 โดยมีหลักการพิจารณาผลต่างของเวลาในการเดินทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.2-1 และแสดงผลการวิเคราะห์มูลค่าการประหยัดเวลาการเดินทางในกรณีต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.2-2

$$ETC = \sum_{i=1}^n (T_{2,i} - T_{1,i}) \times V \times VOT \times DF \times YF \quad (4.1)$$

โดยที่	ETC	มูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (บาท/ปี)
	$(T_{2,i} - T_{1,i})$	ผลต่างของเวลาในการเดินทาง ที่ทิศทางการเคลื่อนที่ i (ชั่วโมง)
	V	ปริมาณจราจร (คัน)
	VOT	มูลค่าเวลาในการเดินทาง (บาท/คัน/ชั่วโมง)
	DF	ตัวคูณขยายรายวัน เท่ากับ 24
	YF	ตัวคูณขยายรายปี เท่ากับ 260 (จำนวนวันทำงาน)



รูปที่ 4.2-1 หลักการพิจารณาผลต่างของเวลาในการเดินทาง



รูปที่ 4.2-2 ผลการวิเคราะห์มูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น

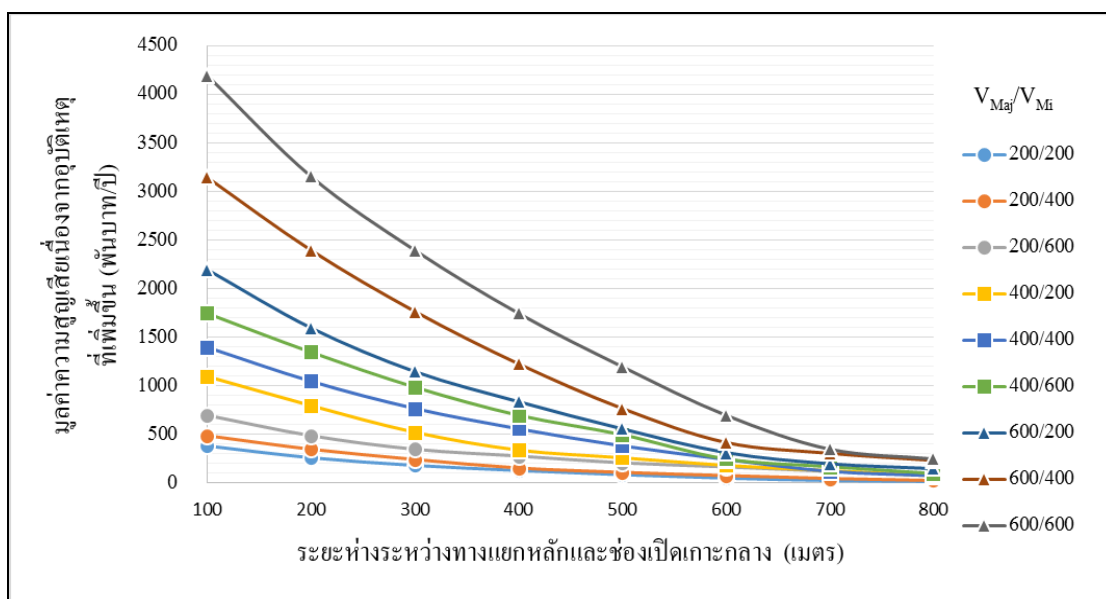
จากรูปที่ 4.2-2 จากกรณีที่ 1 ถึงกรณีที่ 9 แสดงให้เห็นว่ามูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้นมีมูลค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากมีปริมาณจราจรที่กำหนดสูงขึ้น ประกอบกับระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางมีระยะมากขึ้น จึงส่งผลต่อมูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น

4.2.2 ผลการวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น (Excess Accident Cost)

การวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น ดำเนินการโดยพัฒนาแบบจำลองประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง ซึ่งจะแสดงผลเป็นจำนวนความขัดแย้งการจราจรที่เกิดจากการตัดสลับ (Lane-change conflict) ในหน่วยครั้ง/ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์เป็นมูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุ (บาท/ปี) ดังสมการที่ 4.2 และแสดงผลการวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุ ดังรูปที่ 4.2-3

$$EAC = LCC \times (A/C) \times AUC \times DF \times YF \quad (4.2)$$

โดยที่	EAC	มูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น (บาท/ปี)
	LCC	จำนวนความขัดแย้งการจราจร (ครั้ง/ชั่วโมง)
	(A/C)	อัตราส่วนระหว่างจำนวนอุบัติเหตุและความขัดแย้งการจราจร
	AUC	มูลค่าการบาดเจ็บ (บาท/ครั้ง)
	DF	ตัวคูณขยายรายวัน เท่ากับ 24
	YF	ตัวคูณขยายรายปี เท่ากับ 260 (จำนวนวันทำงาน)



รูปที่ 4.2-3 ผลการวิเคราะห์มูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น

4.2.3 ผลการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบ์รถที่เกาะกลาง

การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบ์รถที่เกาะกลาง เป็นการวิเคราะห์หาระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลาง ดำเนินการโดยนำผลรวมของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ประกอบด้วย มูลค่าการประหยัดเวลาในการเดินทาง และมูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุ จากนั้นพิจารณาดำแหน่งที่มีมูลค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด ดังสมการที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวคือระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Spacing) ดังแสดงในตารางที่ 4.2-1 และ รูปที่ 4.2-4

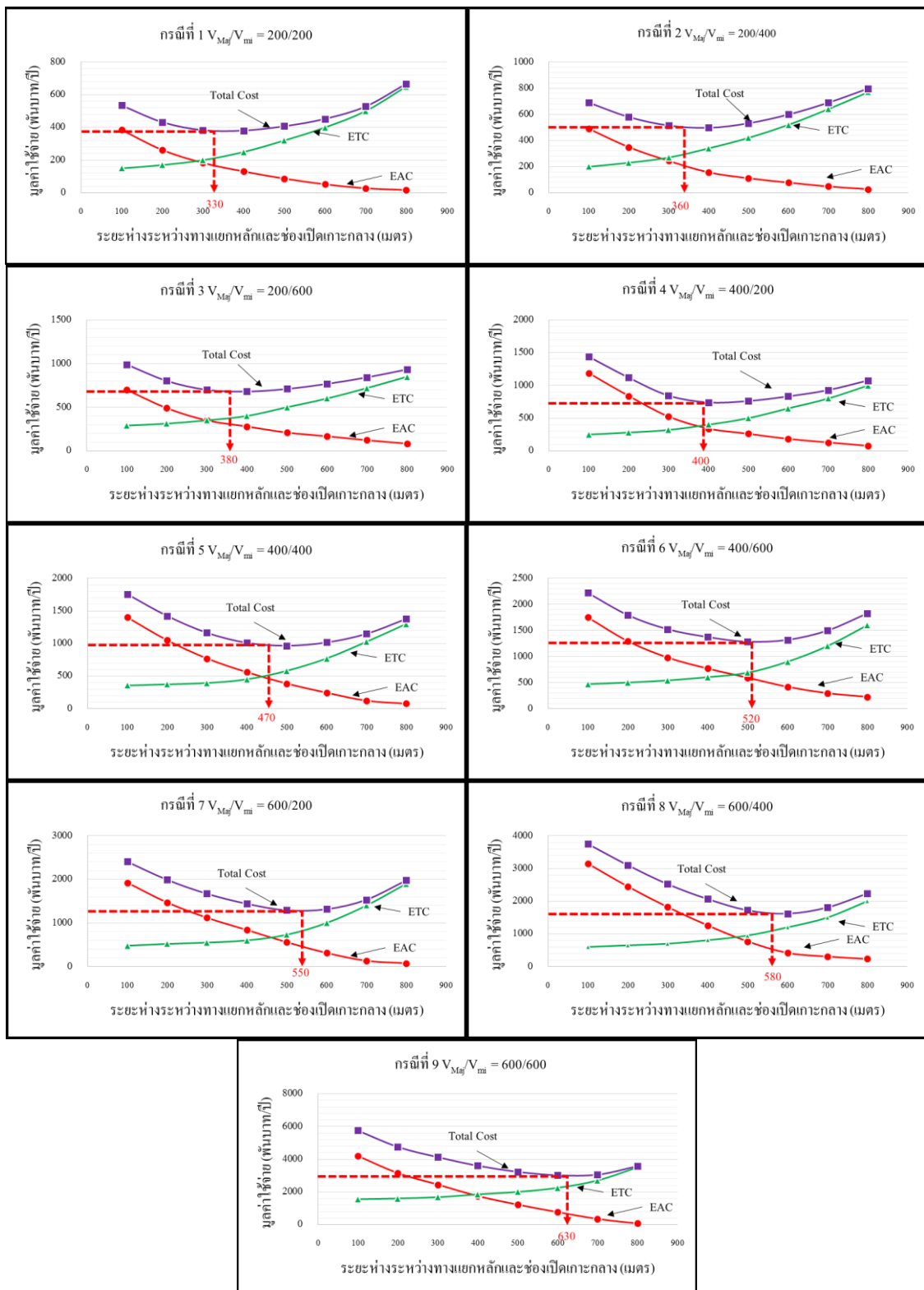
$$Total\ Cost = ETC + EAC \quad (4.3)$$

$$Optimal\ Spacing = Spacing\ at\ minimum\ Total\ Cost \quad (4.4)$$

ตารางที่ 4.2-1 สรุปผลการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบ์รถที่เกาะกลาง

กรณีที่	ปริมาณจราจร (คัน/ช่องจราจร/ชั่วโมง)		ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี)	ระยะช่องเปิดเกาะกลางที่ เหมาะสม (เมตร)
	ถนนสายหลัก	ถนนสายรอง		
1.	200	200	390,000	330
2.	200	400	450,000	360
3.	200	600	680,000	380
4.	400	200	700,000	400
5.	400	400	1,000,000	470
6.	400	600	1,250,000	520
7.	600	200	1,250,000	550
8.	600	400	1,750,000	580
9.	600	600	3,000,000	630

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าระยะห่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางเมื่อพิจารณาจากปริมาณจราจรบนถนนสายหลักและสายรอง มีความเหมาะสมในช่วง 330 ถึง 630 เมตร ทั้งนี้ระยะดังกล่าวจะต้องขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม เช่น ไม่ตรงกับตำแหน่งทางโค้ง หรือเข้า-ออก ชุมชน รวมถึงพิจารณาระยะมองเห็น เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด



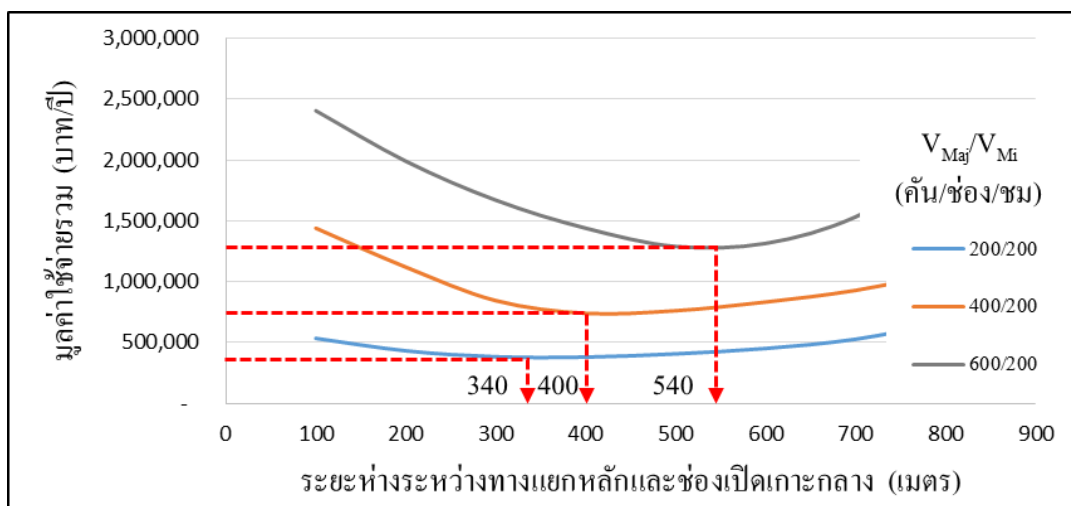
รูปที่ 4.2-4 ผลการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบ์รถที่เกาะกลาง

4.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวจะดำเนินการโดยปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อผลระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลาง สำหรับการศึกษาได้ปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ประกอบด้วย ปริมาณจราจรบนถนนสายหลัก ปริมาณจราจรบนถนนสายรอง อัตราส่วนระหว่างอัตรา การเกิดอุบัติเหตุและความขัดแย้งการจราจร มูลค่าการบาดเจ็บ มูลค่าเวลาการเดินทาง ความเร็วของ ยานพาหนะบนถนนสายหลัก และสัดส่วนรถบรรทุก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการปรับเปลี่ยนปริมาณจราจรบนถนนสายหลัก

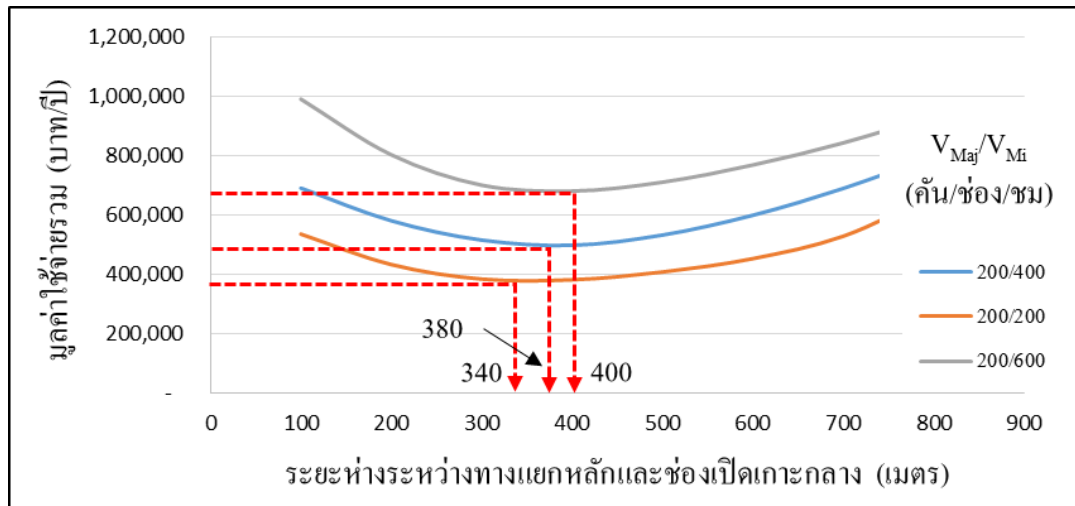
เมื่อพิจารณาปรับเปลี่ยนปริมาณจราจรบนถนนสายหลักที่ค่าต่าง ๆ โดยกำหนดให้ปริมาณจราจร บนถนนสายรองเท่ากับ 200 คัน/ช่องจราจร/ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.3-1 ผลที่ได้พบว่า ที่ปริมาณบนถนนสาย หลักเท่ากับ 200 คัน/ช่องจราจร/ชั่วโมง มีระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางเท่ากับ 340 เมตร หากเพิ่มปริมาณบนถนนสายหลักเป็น 600 คัน/ช่องจราจร/ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างทางแยก หลักและช่องเปิดเกาะกลางจะมากขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 540 เมตร



รูปที่ 4.3-1 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลาง
เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณจราจรบนถนนสายหลัก

4.3.2 ผลการปรับเปลี่ยนปริมาณจราจรบนถนนสายรอง

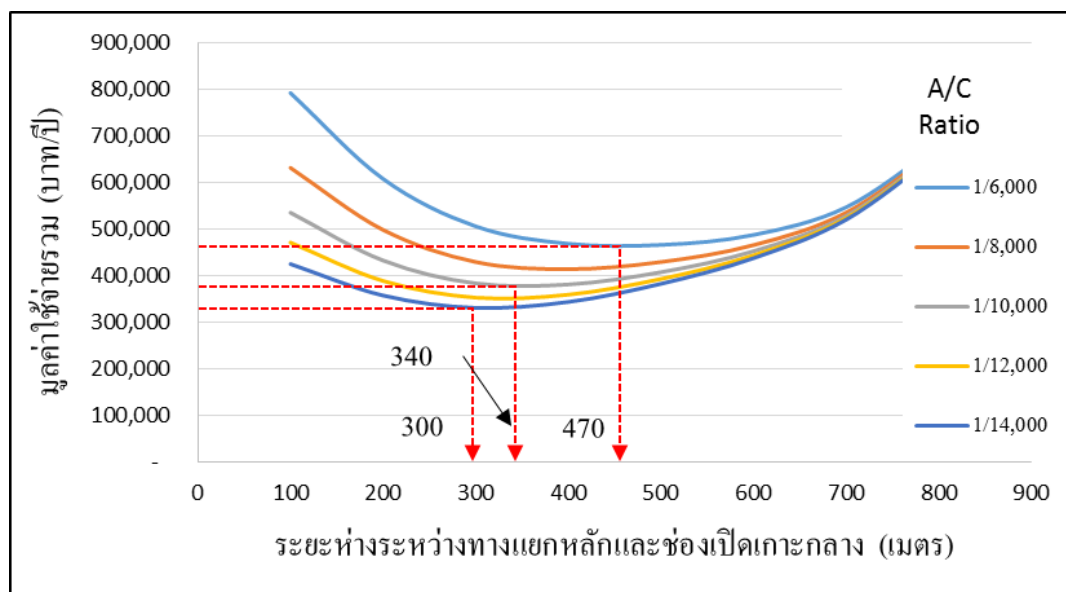
เมื่อพิจารณาปรับเปลี่ยนปริมาณจราจรบนถนนสายรองที่ค่าต่าง ๆ โดยกำหนดให้ปริมาณจราจร บนถนนสายหลักเท่ากับ 200 คัน/ช่องจราจร/ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.3-2 ผลที่ได้พบว่า ที่ปริมาณบนถนนสาย หลักเท่ากับ 200 คัน/ช่องจราจร/ชั่วโมง มีระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางเท่ากับ 340 เมตร หากเพิ่มปริมาณบนถนนสายรองเป็น 600 คัน/ช่องจราจร/ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างทางแยก หลักและช่องเปิดเกาะกลางจะมากขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 400 เมตร



รูปที่ 4.3-2 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลาง
เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณจราจรบนถนนสายรอง

4.3.3 ผลการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างจำนวนการเกิดอุบัติเหตุและความขัดแย้งการจราจร

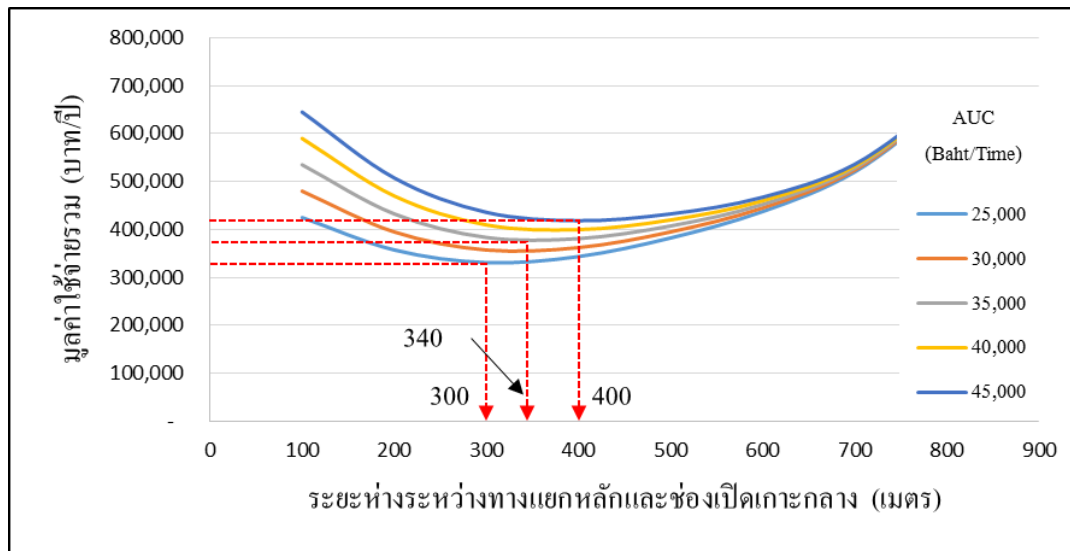
เมื่อพิจารณาปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างจำนวนการเกิดอุบัติเหตุและความขัดแย้งการจราจรที่ค่าต่าง ๆ โดยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1/10,000 ดังรูปที่ 4.3-3 ผลที่ได้พบว่า เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างจำนวนการเกิดอุบัติเหตุและความขัดแย้งการจราจรเป็น 1/14,000 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางจะเท่ากับ 300 เมตร หากเพิ่มอัตราส่วนระหว่างจำนวนการเกิดอุบัติเหตุและความขัดแย้งการจราจรเป็น 1/6,000 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางจะมากขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 470 เมตร



รูปที่ 4.3-3 ผลการวิเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างจำนวนการเกิดอุบัติเหตุ
และความขัดแย้งการจราจร

4.3.4 ผลการปรับเปลี่ยนมูลค่าการบาดเจ็บ

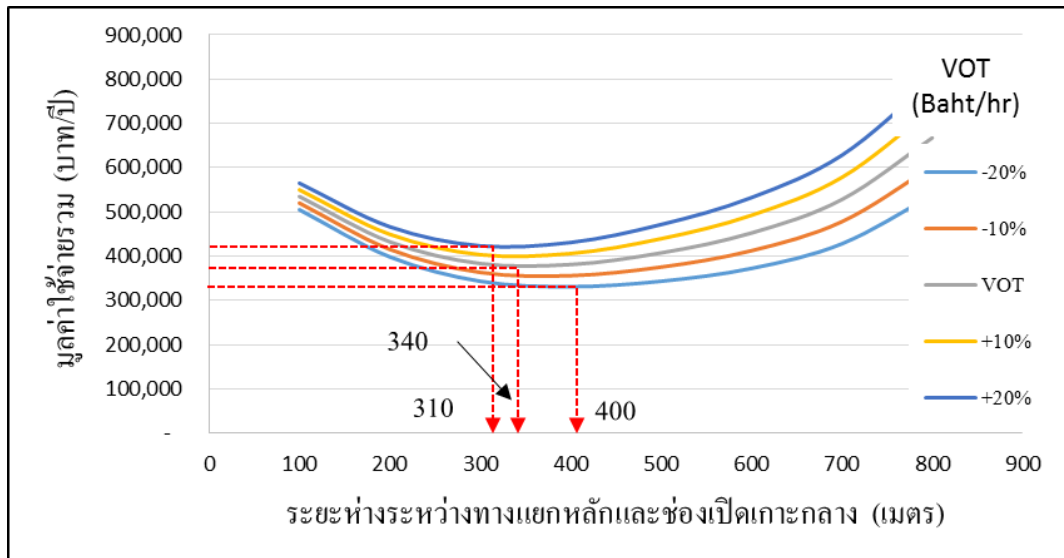
เมื่อพิจารณาปรับเปลี่ยนมูลค่าการบาดเจ็บที่ค่าต่าง ๆ โดยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 35,000 บาท/ครั้ง (อ้างอิงจากตารางที่ 4.1-3) ดังรูปที่ 4.3-4 ผลที่ได้พบว่า เมื่อปรับเปลี่ยนมูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุเป็น 25,000 บาท/ครั้ง ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางจะเท่ากับ 300 เมตร หากเพิ่มมูลค่าการบาดเจ็บเป็น 45,000 บาท/ครั้ง ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางจะมากขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 400 เมตร



รูปที่ 4.3-4 ผลการวิเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนมูลค่าการบาดเจ็บ

4.3.5 ผลการปรับเปลี่ยนมูลค่าเวลาในการเดินทาง

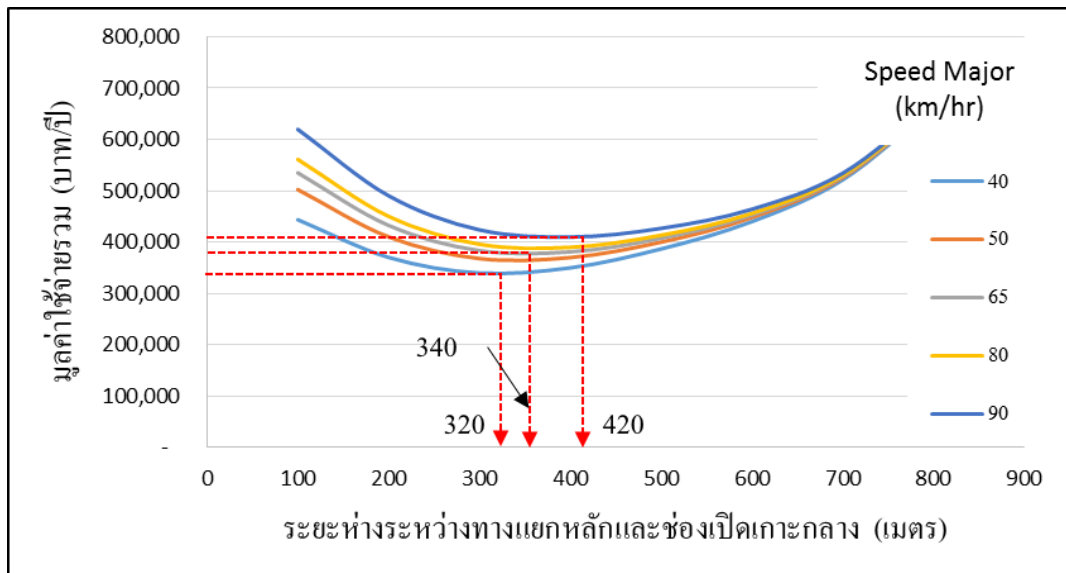
เมื่อพิจารณาปรับเปลี่ยนมูลค่าเวลาในการเดินทางที่ค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.3-5 ผลที่ได้พบว่า เมื่อปรับเปลี่ยนมูลค่าเวลาในการเดินทาง โดยลดมูลค่าลงร้อยละ 20 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางจะเท่ากับ 400 เมตร หากเพิ่มมูลค่าเวลาในการเดินทางเพิ่มขึ้น ร้อยละ 20 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางจะน้อยลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 310 เมตร



รูปที่ 4.3-5 ผลการวิเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนมูลค่าเวลาการเดินทาง

4.3.6 ผลการวิเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วของยานพาหนะบนถนนสายหลัก

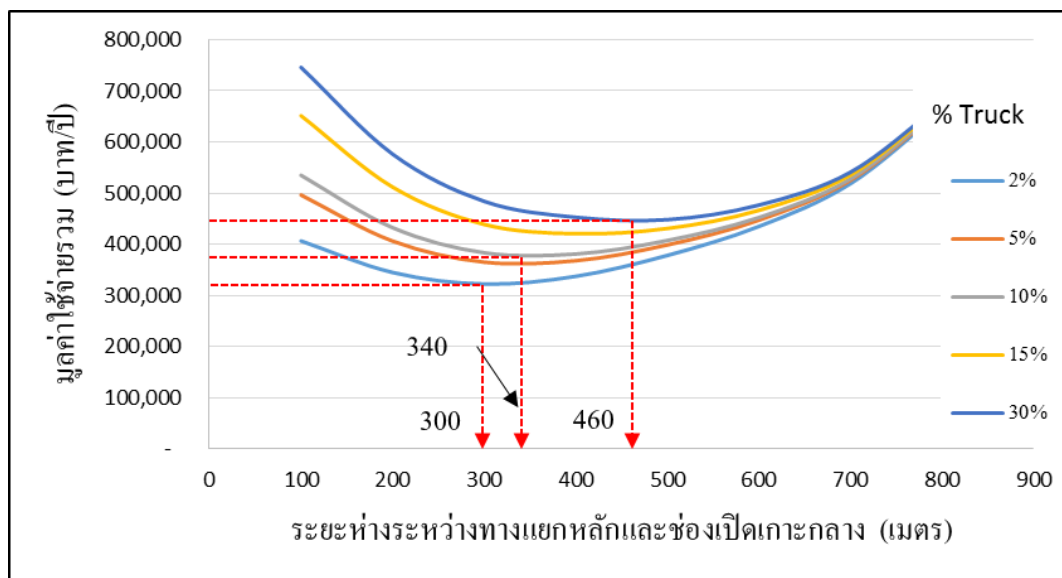
เมื่อพิจารณาปรับเปลี่ยนความเร็วของยานพาหนะบนถนนสายหลักที่ค่าต่าง ๆ โดยมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 65 กิโลเมตร/ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.3-6 ผลที่ได้พบว่า เมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วของยานพาหนะบนถนนสายหลักเป็น 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางจะเท่ากับ 320 เมตร หากเพิ่มความเร็วของยานพาหนะบนถนนสายหลักเป็น 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางจะมากขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 420 เมตร



รูปที่ 4.3-6 ผลการวิเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วของยานพาหนะสายหลัก

4.3.7 ผลการวิเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนของรถบรรทุก

เมื่อพิจารณาปรับเปลี่ยนสัดส่วนของรถบรรทุกที่ค่าต่าง ๆ โดยมีค่าเริ่มต้นร้อยละ 10 ดังรูปที่ 4.3-7 ผลที่ได้พบว่า เมื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนของรถบรรทุกเป็นร้อยละ 2 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางจะเท่ากับ 300 เมตร หากเพิ่มสัดส่วนรถบรรทุกเป็นร้อยละ 30 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางจะมากขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 460 เมตร



รูปที่ 4.3-7 ผลการวิเคราะห์เมื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนรถบรรทุก

4.4 สรุปผลการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริดจ์ที่เกาะกลาง

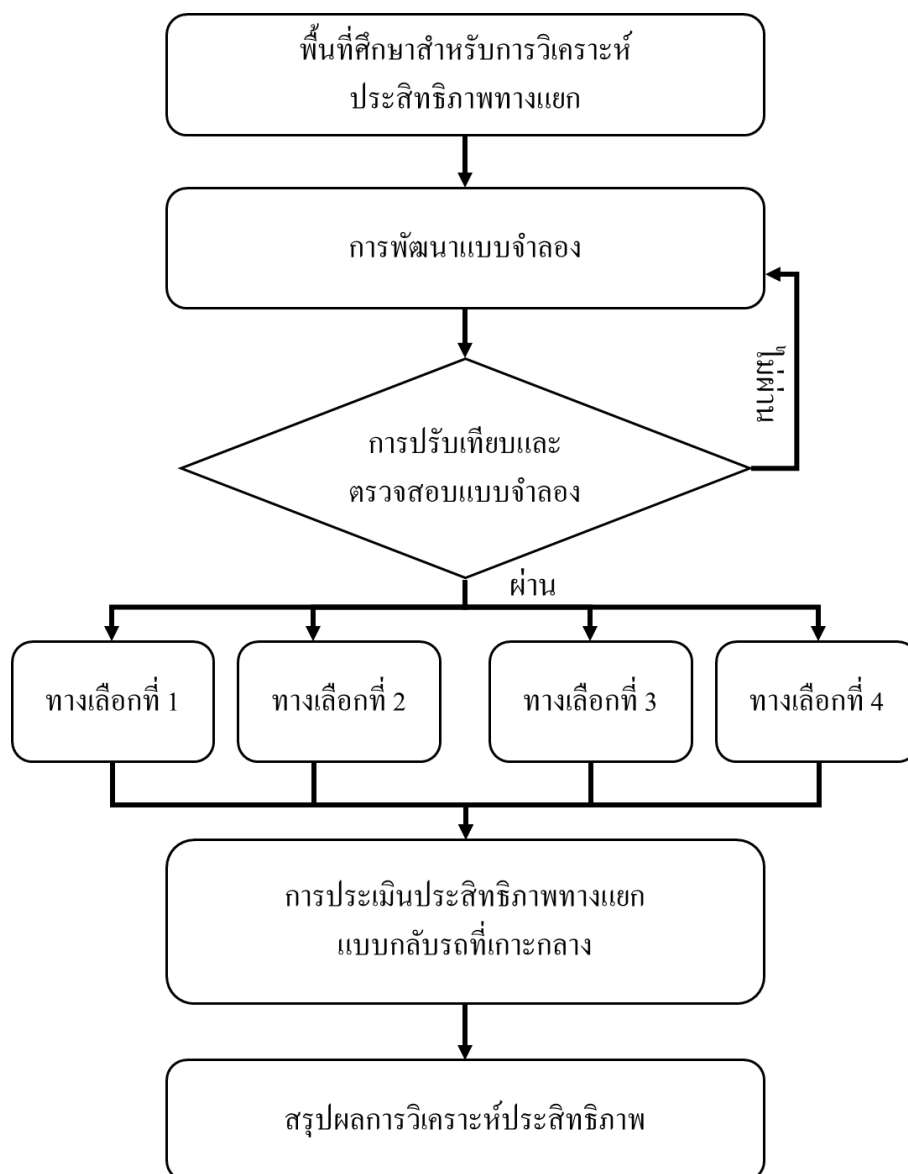
การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกัลบริดจ์ที่เกาะกลาง เป็นการวิเคราะห์หาระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลาง (Spacing) ดำเนินการโดยพัฒนาแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (VISSIM) สำหรับพิจารณามูลค่าความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น (บาท/ปี) และแบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง (SSAM) สำหรับพิจารณามูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (บาท/ปี) เพื่อระบุระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม (Optimal Spacing) โดยการพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด (Minimum Total Cost) ซึ่งได้ข้อสรุปดังนี้

- ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม มีระยะอยู่ในช่วงระหว่าง 330 – 630 เมตร ภายใต้ปริมาณจราจรและเงื่อนไขที่กำหนดในการวิเคราะห์
- หากปรับเปลี่ยนปริมาณจราจรบนถนนสายหลักเป็น 200, 400 และ 600 คัน/ช่องจราจร/ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 340, 400 และ 540 เมตร ตามลำดับ

- หากปรับเปลี่ยนปริมาณจราจรบนถนนสายรองเป็น 200, 400 และ 600 คัน/ช่องจราจร/ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 340, 380 และ 400 เมตร ตามลำดับ
- หากปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างจำนวนการเกิดอุบัติเหตุและความขัดแย้งการจราจรเป็น 1/14,000, 1/10,000 และ 1/6,000 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 300, 340 และ 470 เมตร ตามลำดับ
- หากปรับเปลี่ยนมูลค่าการบาดเจ็บโดยคิดเป็น 25,000, 35,000 และ 45,000 บาท/ครั้ง ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 300, 340 และ 400 เมตร ตามลำดับ
- หากปรับเปลี่ยนมูลค่าเวลาการเดินทางโดยคิดเป็นมูลค่าที่วิเคราะห์ในจังหวัดเชียงใหม่ ตามสัดส่วน จักรยานยนต์ รถยนต์ และรถบรรทุก เท่ากับ 86.41, 240.3 และ 142.98 บาท/ชั่วโมง ตามลำดับจากนั้นปรับลดลงร้อยละ 20 และปรับเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 340, 400 และ 310 เมตร ตามลำดับ
- หากปรับเปลี่ยนความเร็วของยานพาหนะสายหลักที่ความเร็ว 40, 65 และ 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 320, 340 และ 420 เมตร ตามลำดับ
- หากปรับเปลี่ยนสัดส่วนของรถบรรทุกโดยมีสัดส่วนร้อยละ 2, 10 และ 30 ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 300, 340 และ 460 เมตร ตามลำดับ

5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง เริ่มตั้งแต่การระบุพื้นที่ศึกษา ผลการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาคสนามภาคสนาม ตลอดจนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกรูปแบบทางเลือกต่าง ๆ 4 รูปแบบทางเลือก และประเมินผลในเชิงเปรียบเทียบจากตัวชี้วัดที่สำคัญด้านการจราจรและความปลอดภัย เพื่อระบุทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งในบทนี้จะนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง (หัวข้อที่ 4) มาปรับใช้เป็นกรณีรูปแบบทางเลือกเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลางดังแสดงในรูปที่ 5-1



รูปที่ 5-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

5.1 พื้นที่ศึกษาสำหรับการวิเคราะห์ทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

พื้นที่ศึกษาจะพิจารณาทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง (Median U-Turn Intersection) โดยมีตำแหน่งตั้งอยู่บนทางหลวงหมายเลข 121 ซึ่งเป็นทางสามแยกที่ถูกควบคุมโดยป้ายจราจรเพื่อเข้าสู่สถานศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 5.1-1 นับเป็นจุดเสี่ยงอันตรายเนื่องจากผู้ขับขี่จากถนนสายหลักใช้ความเร็วสูง ประกอบกับการตัดกระแสดูจราจรจากถนนสายรองเพื่อเข้าสู่สถานศึกษาจำนวนมากบริเวณทางโค้ง



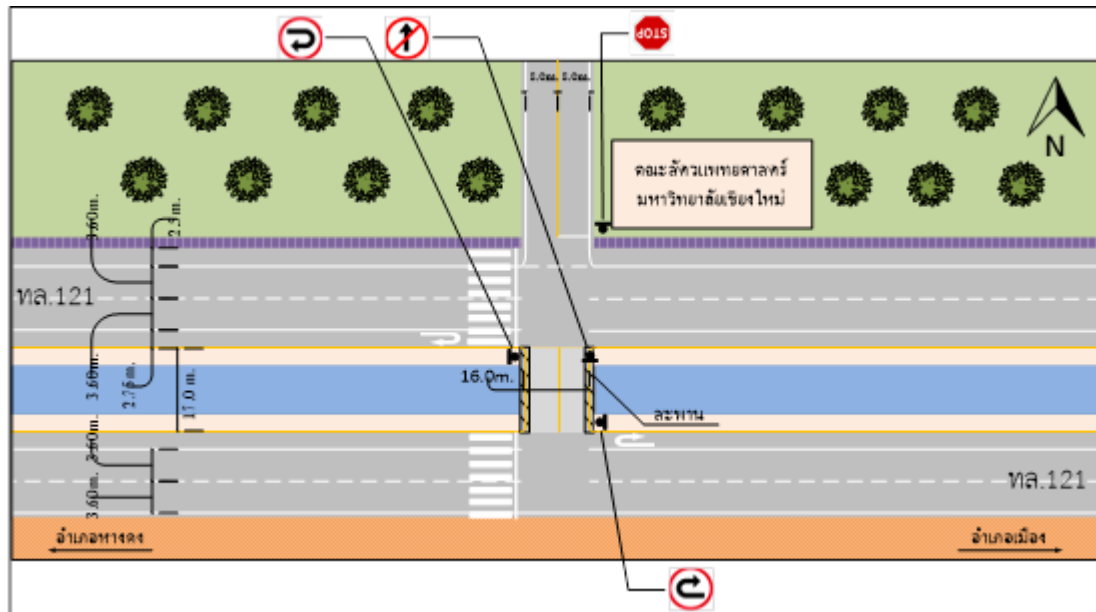
รูปที่ 5.1-1 พื้นที่ศึกษาสำหรับการวิเคราะห์ทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

5.2 ผลการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม

ผลที่ได้จากการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามจะนำไปประกอบเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 ผลการสำรวจลักษณะทางกายภาพ

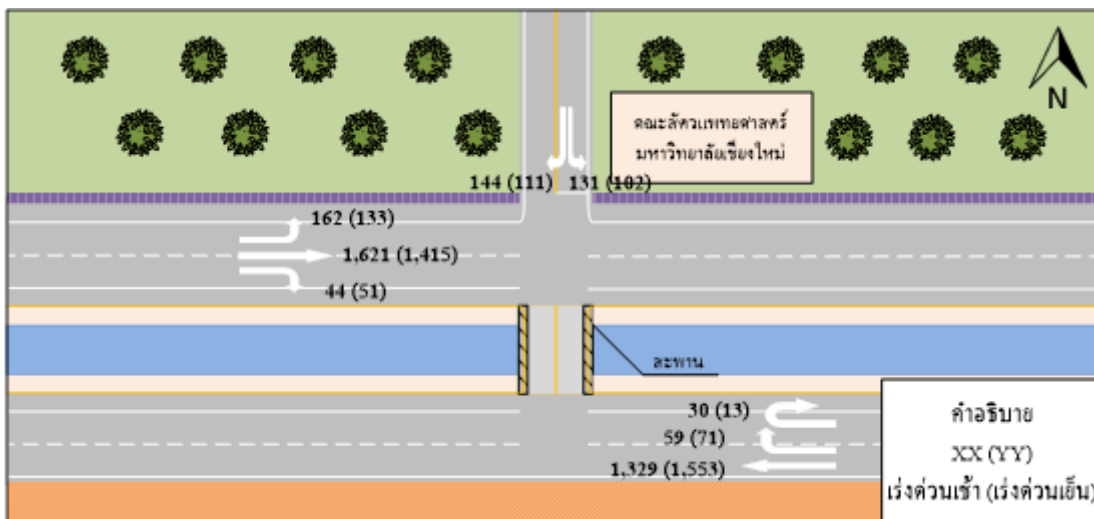
จากการสำรวจลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นบริเวณพื้นที่ศึกษาพบว่า บริเวณทางแยกคณะสัตวแพทยศาสตร์ เป็นทางแยกที่ตัดกันระหว่างถนนสายหลักที่ใช้ความเร็วสูงขนาด 4 ช่องจราจร มีความกว้าง 3.5 เมตรต่อหนึ่งช่องจราจร และถนนสายรองที่มีการเข้า – เป็นจำนวนมากขนาด 2 ช่องจราจร มีความกว้างทั้งหมด 12.25 เมตร มีคลองชลประทานทำหน้าที่เสมือนเกาะกลางแบ่งทิศทางจราจร มีช่องเปิดบริเวณทางแยกหลักกว้าง 12 เมตร บริเวณทางโค้ง มีไหล่ทางประกอบกับเครื่องหมายจราจรเพื่ออำนวยความสะดวกชัดเจน แสดงดังรูปที่ 5.2-1



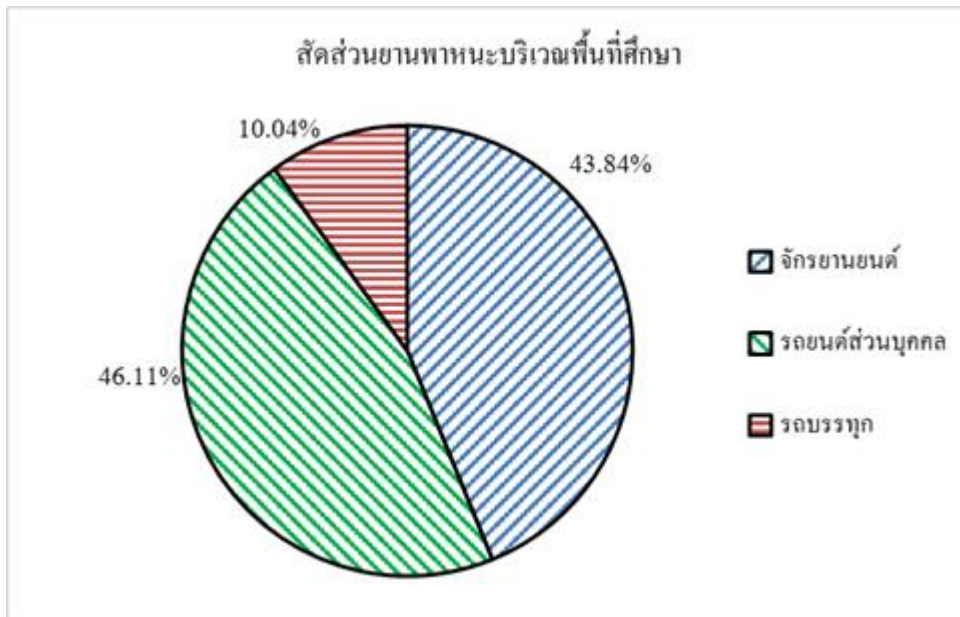
รูปที่ 5.2-1 ลักษณะทางกายภาพจากการสำรวจภาคสนาม

5.2.2 ผลการสำรวจปริมาณจราจร

จากการสำรวจปริมาณจราจรของทางแยกสี่ทางแยกในชั่วโมงเร่งด่วนเช้า (07.00 -10.00 น.) และชั่วโมงเร่งด่วนเย็น (15.00 – 18.00 น.) ในวันธรรมดา พบว่าปริมาณสูงสุดเท่ากับ 1,621 และ 1,553 ดังแสดงในรูปที่ 5.2-2 โดยมีสัดส่วนของยานพาหนะอันประกอบด้วย จักรยานยนต์ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถบรรทุก คิดเป็นสัดส่วนดังแสดงในรูปที่ 5.2-3



รูปที่ 5.2-2 ปริมาณจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็น

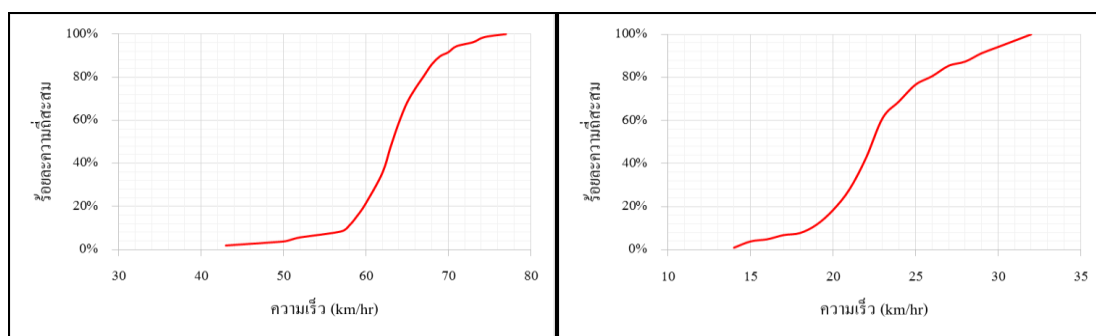


รูปที่ 5.2-3 สัดส่วนยานพาหนะบริเวณพื้นที่ศึกษา

5.2.3 ผลการสำรวจความเร็ว

สำหรับการศึกษานี้ได้แบ่งความเร็วออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของผู้ขับขี่ ประกอบด้วย ความเร็วอิสระของยานพาหนะ และความเร็วบริเวณทางแยก โดยที่ผลจากการสำรวจความเร็วภาคสนาม พบว่า ความเร็วอิสระของยานพาหนะอยู่ระหว่าง 42 ถึง 76 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเร็วบริเวณทางแยกของยานพาหนะอยู่ระหว่าง 14 ถึง 32 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยแสดงร้อยละความถี่สะสมของความเร็วอิสระและความเร็วบริเวณทางแยกของยานพาหนะจากการสำรวจข้อมูลภาคสนามดังรูปที่

5.2-4

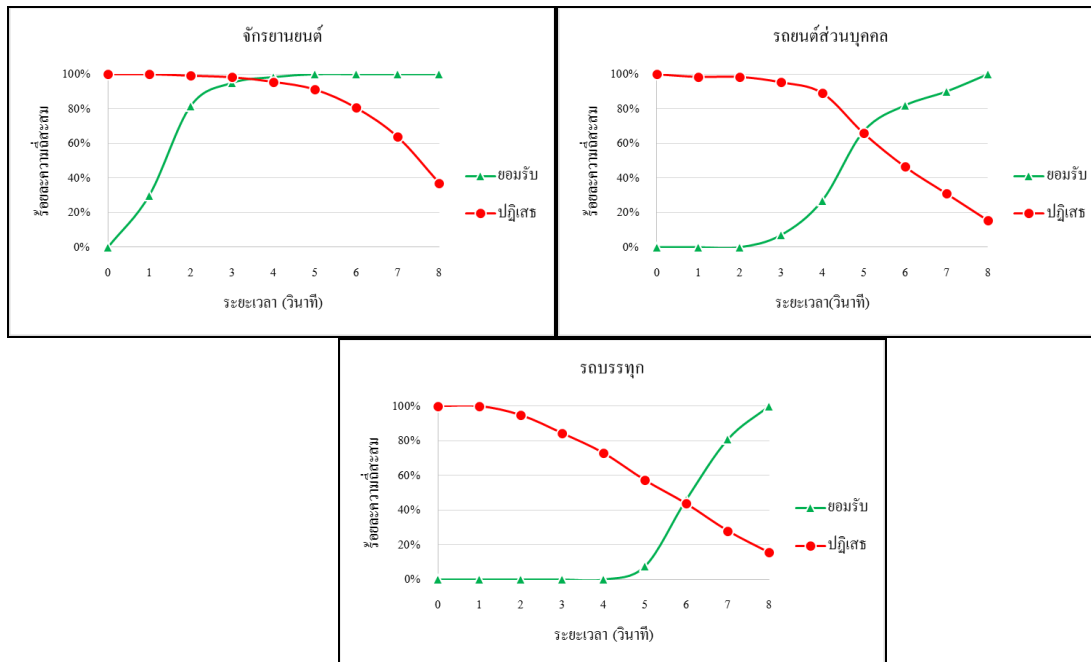


รูปที่ 5.2-4 ร้อยละความถี่สะสมความเร็วอิสระและบริเวณทางแยกของยานพาหนะ

5.2.4 ผลการสำรวจพฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง

ผลการสำรวจข้อมูลพฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่ยานพาหนะที่เข้าสู่กระแสจราจรบนเส้นทางหลัก ดังแสดงในรูปที่ 5.2-5 ผลจากการสำรวจพบว่า การยอมรับช่องว่างของผู้ขับขี่จักรยานยนต์

รถยนต์ส่วนบุคคล และรถบรรทุก มีระยะเวลาเท่ากับ 3 5 และ 6 วินาที ตามลำดับ และแสดงข้อมูลจากการสำรวจการยอมรับและปฏิเสธช่องว่าง



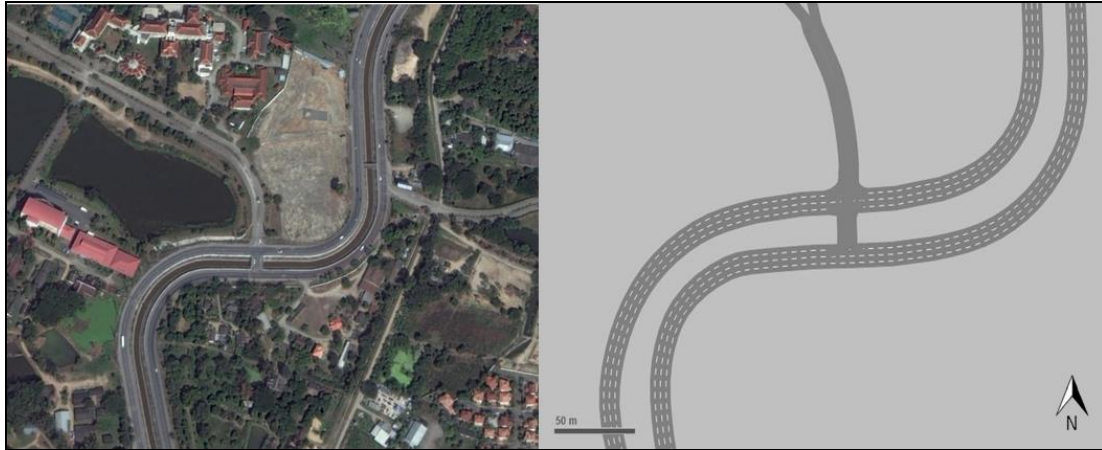
รูปที่ 5.2-5 กราฟความสัมพันธ์ของการยอมรับช่องว่างและการปฏิเสธช่องว่าง

5.3 ผลการพัฒนาแบบจำลอง

นำข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลภาคสนาม ประกอบด้วย ลักษณะทางกายภาพ ปริมาณจราจร ความเร็วของยานพาหนะ รวมถึงพฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง มาประกอบเป็นข้อมูลในการสร้างโครงข่ายแบบจำลองเพื่อให้คล้ายคลึงกับสภาพจริง แสดงรายละเอียด ดังนี้

5.3.1 ลักษณะทางกายภาพในแบบจำลอง

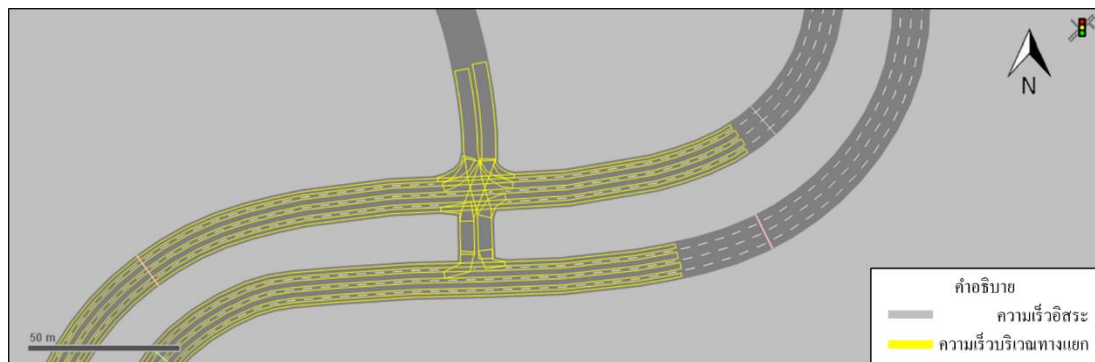
ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาเป็นทาง 3 แยก ขนาด 4 ช่องจราจรบนถนนสายหลัก และ 2 ช่องจราจรบนถนนสายรอง และขนาดความกว้างช่องเปิดเกาะกลาง 12 เมตร จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวไปสร้างโครงข่ายในแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.3-1



รูปที่ 5.3-1 ลักษณะของโครงข่ายในแบบจำลอง

5.3.2 ความเร็วที่กำหนดในแบบจำลอง

ประมวลผลข้อมูลความเร็วอิสระและความเร็วบริเวณทางแยก ที่ได้จากการสำรวจข้อมูลภาคสนาม จากนั้นนำไปกำหนดความเร็วในแบบจำลอง โดยกำหนดความเร็วอิสระ (Design Speed) ของยานพาหนะ อยู่ในช่วง 42 ถึง 76 กิโลเมตร/ชั่วโมง และกำหนดความเร็วบริเวณทางแยก โดยใช้ Reduced Speed Area อยู่ในช่วง 14 ถึง 32 กิโลเมตร/ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5.3-2



รูปที่ 5.3-2 ความเร็วที่กำหนดในแบบจำลอง

5.3.3 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง

การเปรียบเทียบแบบจำลอง ผู้ศึกษาได้ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ให้มีความใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด สำหรับการศึกษานี้ได้นำข้อมูลปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วนเช้า ที่สำรวจได้จากภาคสนาม เป็นข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบผลต่างระหว่างปริมาณจราจรที่ได้จากแบบจำลอง และปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจข้อมูลภาคสนาม หากผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองมี ค่า GEH ไม่เกิน 5 ซึ่งถือว่าแบบจำลองมีความสอดคล้องกันกับข้อมูลภาคสนาม ดังแสดงผลการเปรียบเทียบแบบจำลองดังตารางที่ 5.3-1 จากตารางสรุปได้ว่า ผลที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5 และค่า GEH เฉลี่ย 0.8 กล่าวคือ มีความสอดคล้องกับข้อมูลภาคสนาม อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับข้อมูลปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วนเช้า

ตารางที่ 5.3-1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในชั่วโมงเร่งด่วนเช้า

ทิศทาง การจราจร	ปริมาณจราจร จากการสำรวจ (คัน)	ปริมาณจราจร จากแบบจำลอง (คัน)	ความ แตกต่าง	ร้อยละความ แตกต่าง	GEH	ผลการ เปรียบเทียบ
EBL	162	151	11	7%	0.88	ผ่าน
EBT	1,621	1,502	119	7%	3.01	ผ่าน
EBU	44	42	2	5%	0.30	ผ่าน
SBL	144	134	10	7%	0.85	ผ่าน
SBR	131	128	3	2%	0.26	ผ่าน
WBT	1,329	1,324	5	0%	0.14	ผ่าน
WBR	59	55	4	7%	0.53	ผ่าน
WBU	30	31	1	3%	0.18	ผ่าน
เฉลี่ย			19	5%	0.8	ผ่าน

5.3.4 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

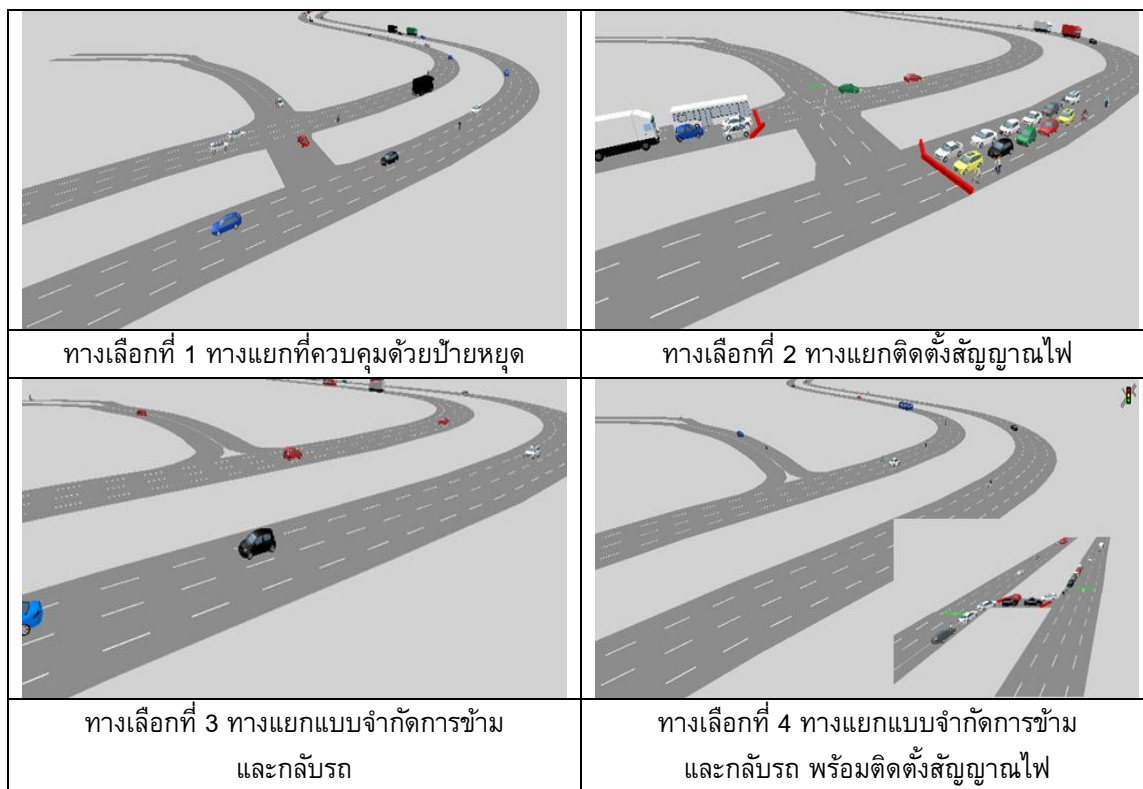
หลังจากการเปรียบเทียบแบบจำลอง ต้องดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง โดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม และปริมาณจราจรที่ได้จากแบบจำลองในช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าแบบจำลองดังกล่าวมีความสอดคล้องกับสถานการณ์จริง ดังแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องดังตารางที่ 5.3-2 จากตารางสรุปได้ว่า ผลที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 6 และค่า GEH เฉลี่ย 0.8 กล่าวคือ มีความสอดคล้องกับข้อมูลภาคสนาม อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับข้อมูลปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วนเย็น

ตารางที่ 5.3-2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในชั่วโมงเร่งด่วนเย็น

ทิศทาง การจราจร	ปริมาณจราจร จากการสำรวจ (คัน)	ปริมาณจราจร จากแบบจำลอง (คัน)	ความ แตกต่าง	ร้อยละความ แตกต่าง	GEH	ผลการ ตรวจสอบ
EBL	133	122	11	8%	0.97	ผ่าน
EBT	1,415	1,302	113	8%	3.07	ผ่าน
EBU	51	47	4	8%	0.57	ผ่าน
SBL	111	109	2	2%	0.19	ผ่าน
SBR	102	104	2	2%	0.20	ผ่าน
WBT	1,553	1,551	2	0%	0.05	ผ่าน
WBR	71	67	4	6%	0.48	ผ่าน
WBU	13	15	2	15%	0.53	ผ่าน
เฉลี่ย			18	6%	0.8	ผ่าน

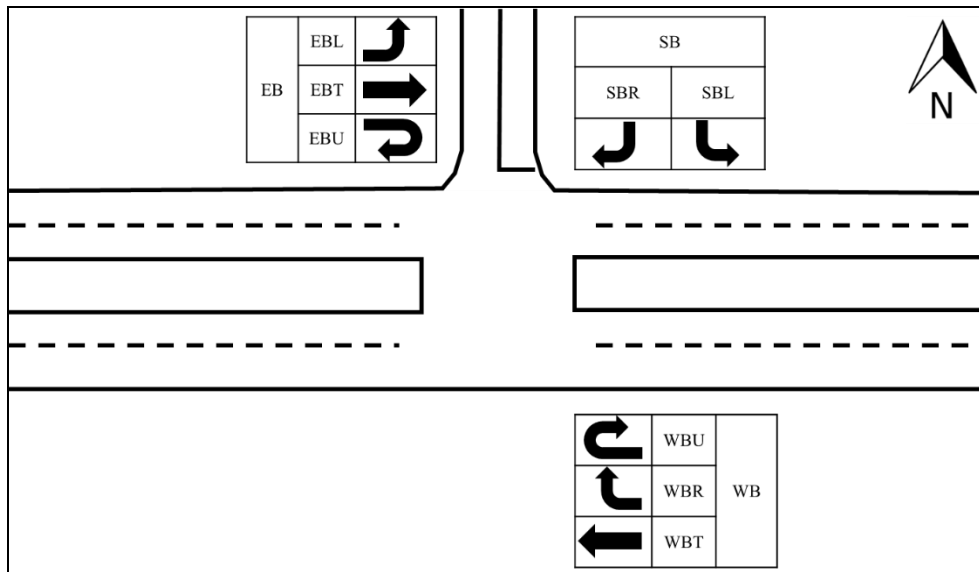
5.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลางจะนำผลการวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง มาปรับใช้เป็นกรณีทางเลือก โดยแบ่งรูปแบบทางเลือกออกเป็น 4 รูปแบบทางเลือก ประกอบด้วย 1) รูปแบบทางแยกที่ควบคุมด้วยป้ายหยุด (ปัจจุบัน) 2) การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร 3) รูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ และ 4) รูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถพร้อมติดตั้งสัญญาณไฟจราจร ดังแสดงในรูปที่ 5.4-1 ซึ่งกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 5.4-2 สำหรับทางแยกทั่วไป และรูปที่ 5.4-3 สำหรับทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ จากนั้นนำผลที่ได้มาพิจารณาเปรียบเทียบในแต่ละรูปแบบทางเลือก โดยพิจารณาจากเวลาในการเดินทางเฉลี่ย ความล่าช้าเฉลี่ย ระดับการให้บริการบริเวณทางแยก ตลอดจนถึงจำนวนความขัดแย้งการจราจรบริเวณทางแยก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

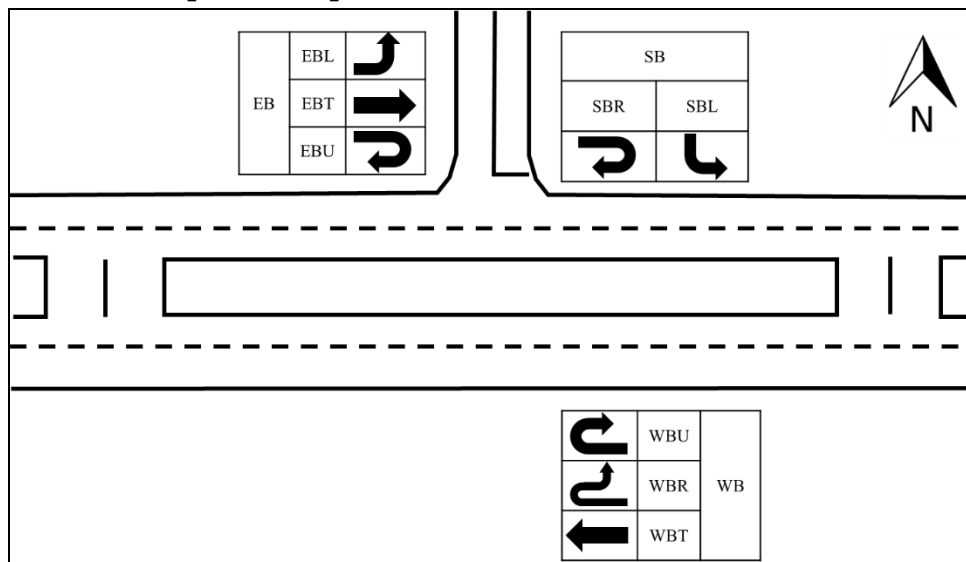


รูปที่ 5.4-1 การพัฒนาแบบจำลองรูปแบบทางเลือกที่ต่างกัน

จากรูปที่ 5.4-1 สำหรับทางเลือกที่ 3 และทางเลือกที่ 4 ทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่นำมากำหนดในแบบจำลอง ทางผู้วิจัยได้ลงพื้นที่เพื่อระบุระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม พบว่ามีระยะ 340 เมตร สำหรับทิศตะวันตก และ 540 เมตร สำหรับทิศตะวันออก ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 330 – 630 เมตร (จากการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4)



รูปที่ 5.4-2 รูปแบบการเคลื่อนที่ของทางแยกปกติ



รูปที่ 5.4-3 รูปแบบการเคลื่อนที่ของทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ

5.4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกคณะสัตวแพทยศาสตร์ในแต่ละรูปแบบทางเลือก

รูปแบบทางเลือกที่ 1 เป็นรูปแบบที่ควบคุมโดยป้ายหยุด ซึ่งเป็นทางแยกที่มีอยู่ในปัจจุบัน ผลการวิเคราะห์พบว่า เวลาในการเดินทางและความล่าช้ามีค่ามากที่สุดคือทิศทางที่มุ่งสู่ทิศใต้เลี้ยวซ้าย (SBL) รองลงมาคือทิศทางที่มุ่งสู่ทิศใต้เลี้ยวขวา (SBR) เนื่องจากทั้งสองทิศทางนี้ต้องอาศัยการตัดกระแสจราจรจำนวนมากและมีความเร็วสูงบริเวณถนนสายหลัก สำหรับรูปแบบทางเลือกที่ 1 มีเวลาในการเดินทางเฉลี่ยและความล่าช้าเฉลี่ยของทางแยกเท่ากับ 75 วินาที และ 47 วินาที/คัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.4-1

ตารางที่ 5.4-1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทางแยกในรูปแบบทางเลือกที่ 1

ทิศทางการจราจร	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาในการเดินทาง (วินาที)	ความล่าช้า (วินาที/คัน)
SBL	134	189	127
SBR	128	156	133
EBL	150	15	0
EBT	1,503	43	0
EBU	42	28	12
WBT	1,324	35	1
WBR	55	65	50
WBU	31	67	54
เฉลี่ย		75	47

รูปแบบทางเลือกที่ 2 เป็นรูปแบบปัจจุบันที่ปรับปรุงโดยเพิ่มสัญญาณไฟจราจร โดยใช้การวิเคราะห์จำนวนรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) จากโปรแกรม Sidra Intersection ผลการวิเคราะห์พบว่า เวลาในการเดินทางและความล่าช้ามีค่ามากที่สุดคือทิศทางที่มุ่งสู่ทิศตะวันออกกลับรถ (EBU) รองลงมาคือทิศทางที่มุ่งสู่ทิศตะวันตกกลับรถ (WBU) ซึ่งทิศทางเป็นถนนสายหลักที่ต้องการกลับรถและมีปริมาณน้อย ส่งผลให้เวลาไฟเขียว (Green Time) น้อย สำหรับรูปแบบทางเลือกที่ 2 มีเวลาในการเดินทางเฉลี่ยและความล่าช้าเฉลี่ยของทางแยกเท่ากับ 63 วินาที และ 35 วินาที/คัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.4-2

ตารางที่ 5.4-2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทางแยกในรูปแบบทางเลือกที่ 2

ทิศทางการจราจร	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาในการเดินทาง (วินาที)	ความล่าช้า (วินาที/คัน)
SBL	141	74	14
SBR	132	78	54
EBL	151	23	7
EBT	1,508	61	19
EBU	41	74	58
WBT	1,333	48	16
WBR	53	70	57
WBU	30	72	57
เฉลี่ย		63	35

รูปแบบทางเลือกที่ 3 เป็นรูปแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (Restrict Crossing U-Turn Intersection) ผลการวิเคราะห์พบว่า เวลาในการเดินทางและความล่าช้ามีค่ามากที่สุดคือทิศทางที่มุ่งสู่

ทิศตะวันตกเฉียงขวา (WBR) รองลงมาคือทิศทางที่มุ่งสู่ทิศใต้เฉียงขวา (SBR) ซึ่งทิศทางดังกล่าวมีเวลาในการเดินทางสูงเนื่องจากเป็นเป็นการตัดกระแสรถจากถนนสายหลักไปยังถนนสายรองหรือถนนสายรองไปยังถนนสายหลัก ซึ่งรูปแบบทางเลือกที่ 3 ซึ่งเป็นการปิดสะพานข้ามเพื่อตัดกระแสรถ จึงจำเป็นต้องไปกลับรถบริเวณที่กำหนดให้เท่านั้น สำหรับรูปแบบทางเลือกที่ 3 มีเวลาในการเดินทางเฉลี่ยและความล่าช้าเฉลี่ยของทางแยกเท่ากับ 101 วินาที และ 8 วินาที/คัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.4-3

ตารางที่ 5.4-3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทางแยกในรูปแบบทางเลือกที่ 3

ทิศทางการจราจร	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาในการเดินทาง (วินาที)	ความล่าช้า (วินาที/คัน)
SBL	178	136	12
SBR	134	126	14
EBL	138	59	3
EBT	907	53	1
EBU	193	107	5
WBT	805	50	1
WBR	53	191	16
WBU	215	89	7
เฉลี่ย		101	8

รูปแบบทางเลือกที่ 4 เป็นรูปแบบจำกัดการข้ามและกลับรถและติดตั้งสัญญาณไฟจราจร (Signalize Restrict Crossing U-Turn Intersection) ผลการวิเคราะห์พบว่า เวลาในการเดินทางและความล่าช้ามีค่ามากที่สุดคือทิศทางที่มุ่งสู่ทิศใต้เฉียงขวา (SBR) รองลงมาคือทิศทางที่มุ่งสู่ทิศตะวันตกเฉียงขวา (WBR) สำหรับรูปแบบทางเลือกที่ 4 มีเวลาในการเดินทางเฉลี่ย และความล่าช้าเฉลี่ยของทางแยกเท่ากับ 112 วินาที และ 36 วินาที/คัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.4-4

ตารางที่ 5.4-4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทางแยกในรูปแบบทางเลือกที่ 4

ทิศทางการจราจร	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	เวลาในการเดินทาง (วินาที)	ความล่าช้า (วินาที/คัน)
SBL	194	152	35
SBR	134	158	50
EBL	139	26	5
EBT	1236	55	7
EBU	187	136	53
WBT	1138	50	8
WBR	19	188	76
WBU	194	131	54
เฉลี่ย		112	36

5.4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพทางแยกคณะสัตวแพทยศาสตร์ในแต่ละรูปแบบทางเลือก

ผลจากการประเมินประสิทธิภาพของทางแยกโดยพิจารณาเวลาในการเดินทางสำหรับรูปแบบทางเลือกรูปแบบที่ 1 (รูปแบบทางแยกในปัจจุบัน) ไปเปรียบเทียบกับรูปแบบทางเลือกอื่น ๆ พบว่า เวลาในการเดินทางเฉลี่ยที่น้อยที่สุดคือรูปแบบทางเลือกที่ 2 เท่ากับ 63 วินาที รองลงมาเป็นรูปแบบทางเลือกรูปแบบที่ 1 เท่ากับ 75 วินาที ตามมาด้วย รูปแบบทางเลือกที่ 3 และ 4 เท่ากับ 101 และ 112 วินาที ตามลำดับ หากพิจารณาร้อยละการเปลี่ยนแปลงจากรูปแบบทางเลือกที่ 1 กับรูปแบบทางเลือกอื่น ๆ พบว่า รูปแบบทางเลือกที่ 2 มีเวลาการเดินทางลดลงร้อยละ 16 ส่วนรูปแบบทางเลือกที่ 3 และ 4 มีเพิ่มขึ้นร้อยละ 36 และ 50 ตามลำดับ แสดงผลดังตารางที่ 5.4-5

ตารางที่ 5.4-5 เวลาการเดินทางในแต่ละรูปแบบทางเลือก

ทิศทางการจราจร	เวลาในการเดินทาง (วินาที/ทิศทาง)			
	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3	ทางเลือกที่ 4
SBL	189	74	136	152
SBR	156	78	126	158
EBL	15	23	59	26
EBT	43	61	53	55
EBU	28	74	107	136
WBT	35	48	50	50
WBR	65	70	191	188
WBU	67	72	89	131
เฉลี่ย	75	63	101	112
%การเปลี่ยนแปลง	-	-0.16	0.36	0.5

สำหรับการพิจารณาความล่าช้าและระดับการให้บริการบริเวณทางแยกพบว่า ระดับการให้บริการบริเวณทางแยกในรูปแบบทางเลือกที่ 3 มีระดับการให้บริการอยู่ในระดับดีที่สุด อยู่ที่ระดับ A ในขณะที่รูปแบบทางเลือกที่ 4 2 และรูปแบบทางเลือกที่ 1 มีระดับการให้บริการระดับ C D และ E ตามลำดับ แสดงผลดังตารางที่ 5.4-6

ตารางที่ 5.4-6 ความล่าช้าและระดับการให้บริการในแต่ละรูปแบบทางเลือก

ทิศทางการเคลื่อนที่	ทางเลือกที่ 1		ทางเลือกที่ 2		ทางเลือกที่ 3		ทางเลือกที่ 4	
	ความล่าช้า (วินาที)	LOS	ความล่าช้า (วินาที)	LOS	ความล่าช้า (วินาที)	LOS	ความล่าช้า (วินาที)	LOS
SBL	127	F	14	B	12	B	35	C
SBR	133	F	54	D	14	B	50	D
EBL	0	A	7	A	3	A	5	A
EBT	0	A	19	B	1	A	7	A
EBU	12	B	58	E	5	A	53	D
WBT	1	A	16	B	1	A	8	A
WBR	50	D	57	E	16	C	76	E
WBU	54	D	57	E	7	A	54	D
ทางแยก	47	E	35	D	8	A	36	C

จากการพิจารณาจำนวนความขัดแย้งการจราจรรวมทั้ง 3 ประเภท พบว่า รูปแบบทางเลือกที่ 3 มีจำนวนจุดขัดแย้งการจราจรน้อยที่สุด เท่ากับ 76.8 ครั้ง/ชั่วโมง รองลงมาคือ รูปแบบทางเลือกที่ 1 2 และรูปแบบทางเลือกที่ 4 มีจำนวนจุดขัดแย้งการจราจรเท่ากับ 136.8, 369 และ 754.2 ครั้ง/ชั่วโมง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.4-7

ตารางที่ 5.4-7 จำนวนความขัดแย้งการจราจรในแต่ละรูปแบบทางเลือก

ประเภทของจุดขัดแย้งการจราจร	จำนวนความขัดแย้งการจราจร (ครั้ง/ชั่วโมง)			
	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3	ทางเลือกที่ 4
Crossing	37.2	0	12.6	56.4
Rear-end	71.4	313.8	41.4	559.2
Lane-change	28.2	54	22.8	138.6
Total	136.8	369	76.8	754.2

5.5 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง โดยแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบทางเลือก ประกอบด้วย รูปแบบทางแยกที่มีอยู่ในปัจจุบัน การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร รูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ และรูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถพร้อมติดตั้งสัญญาณไฟจราจร ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง ดังแสดงในตารางที่ 5.5-1 และได้ข้อสรุปดังนี้

ตารางที่ 5.5-1 สรุปผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

ตัวชี้วัด รูปแบบ ทางเลือก	เวลาในการ เดินทาง (วินาที)	ความล่าช้า (วินาที/คัน)	ระดับการ ให้บริการ (LOS)	จำนวนความขัดแย้ง การจราจรรวม (ครั้ง/ชั่วโมง)
ทางเลือกที่ 1	75	47	E	136.8
ทางเลือกที่ 2	63	35	D	369
ทางเลือกที่ 3	101	8	A	76.8
ทางเลือกที่ 4	112	36	C	754.2

- ทางเลือกที่ 3 มีระดับการให้บริการบริเวณทางแยกดีที่สุดที่ระดับ A รองลงมาคือทางเลือกที่ 4, 2 และทางเลือกที่ 1 มีระดับการให้บริการบริเวณทางแยกที่ระดับ C D และ E ตามลำดับ
- ทางเลือกที่ 3 มีความล่าช้าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 8 วินาที/คัน รองลงมาคือทางเลือกที่ 2, 4 และทางเลือกที่ 1 มีความล่าช้าเฉลี่ยเท่ากับ 35, 36 และ 47 วินาที/คัน ตามลำดับ
- ทางเลือกที่ 3 มีจำนวนจุดขัดแย้งการจราจรรวมน้อยที่สุด เท่ากับ 76.8 ครั้ง/ชั่วโมง รองลงมาคือทางเลือกที่ 1, 2 และทางเลือกที่ 4 มีจำนวนจุดขัดแย้งการจราจรรวมเท่ากับ 136.8, 369 และ 754.2 ครั้ง/ชั่วโมง ตามลำดับ
- ทางเลือกที่ 3 ใช้เวลาในการเดินทางสูงขึ้นเมื่อเทียบกับทางแยกแบบทั่วไป ร้อยละ 36 ซึ่งใช้เวลาการเดินทางสูงกว่าทางเลือกที่ 2 ซึ่งใช้เวลาในการเดินทางลดลงเมื่อเทียบกับทางแยกแบบทั่วไป ร้อยละ 16 แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาด้านความปลอดภัยพบว่าจำนวนจุดขัดแย้งการจราจรรวม ทางเลือกที่ 2 มีจำนวนสูงกว่าทางเลือกที่ 3 ดังนั้นทางเลือกที่ 2 จึงไม่เหมาะสำหรับการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

6 สรุปผลการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้ได้สรุปผลการศึกษาเรื่องการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลางบนทางหลวงหมายเลข 121 จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง รวมถึงการแนะนำข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการศึกษาต่อไป มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 สรุปผลการศึกษา

6.1.1 การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

การวิเคราะห์การออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง เป็นการวิเคราะห์หาระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม (Optimal Spacing) โดยกำหนดคุณลักษณะของกรณีตัวอย่างเป็นทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ (Restrict Crossing U-Turn:RCUT) ที่ตัดกันระหว่างถนนสายหลักสี่ช่องจราจร และถนนสายรองสองช่องจราจร ที่ระดับปริมาณจราจรแตกต่างกัน รวมทั้งสิ้น 9 กรณี กำหนดพฤติกรรมจราจรและส่วนประกอบต่าง ๆ สำหรับการสร้างแบบจำลองจากการสำรวจข้อมูลภาคสนาม จากนั้นพัฒนาแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Simulation) และแบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง (Surrogate Safety Assessment Model: SSAM) เพื่อพิจารณามูลค่าความสูญเสียเนื่องจากเกิดอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น (Excess Accident Cost: EAC) และมูลค่าเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น (Excess Travel Time Cost: ETC) และระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางจากค่ามูลค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำสุด (Minimum Total Cost) ผลจากการศึกษาพบว่า ระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสม (Optimum Spacing) อยู่ในช่วงระหว่าง 330 – 630 เมตร ภายใต้ปริมาณจราจรและเงื่อนไขที่กำหนดในการวิเคราะห์

6.1.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง

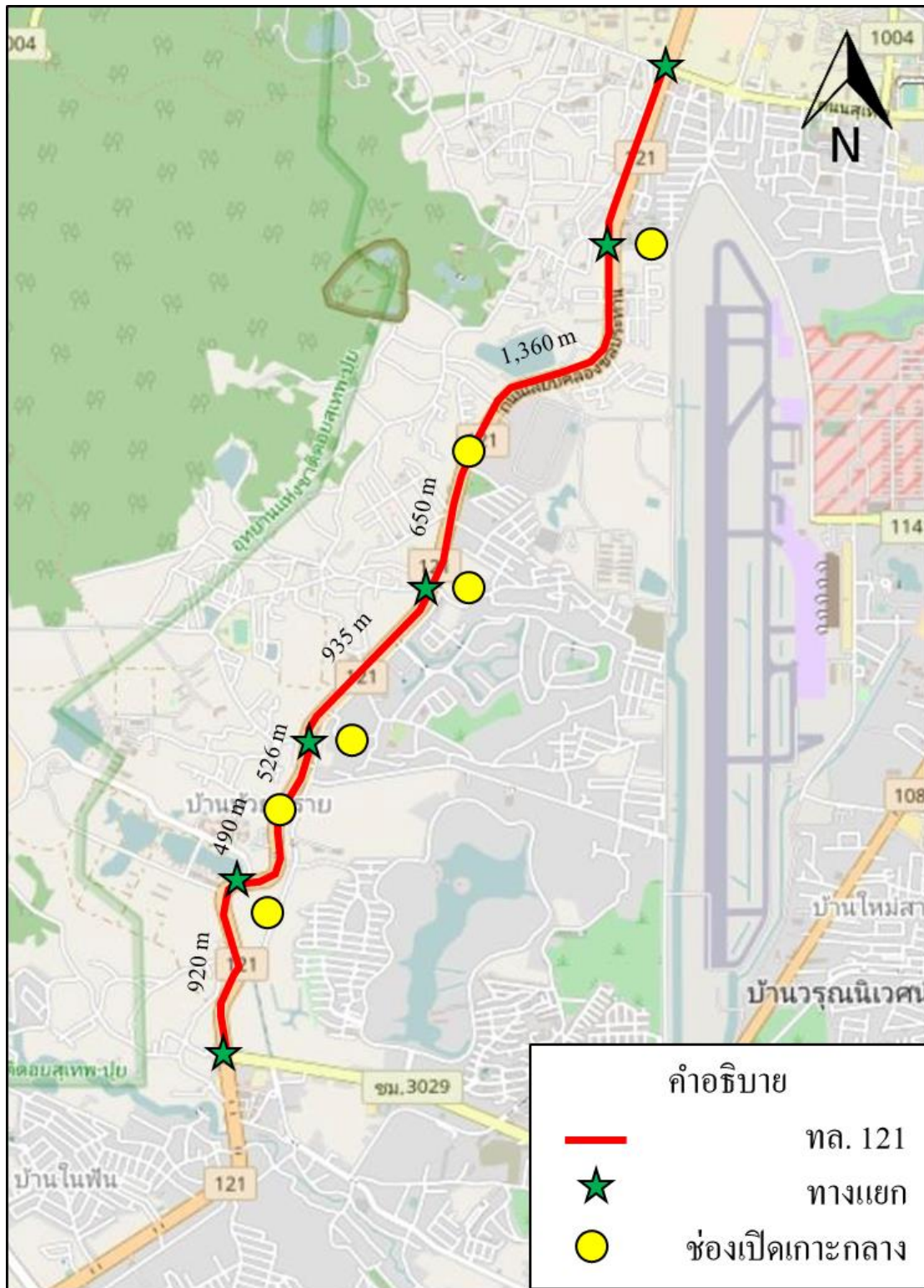
การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง ดำเนินการโดยกำหนดพื้นที่ศึกษาเป็นทางสามแยกที่ถูกควบคุมโดยป้ายหยุด ตั้งอยู่บนทางหลวงหมายเลข 121 จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นทางแยกที่ตัดกันระหว่างถนนสายหลักสี่ช่องจราจรที่ใช้ความเร็วสูงและถนนสายรองสองช่องจราจรที่เข้า-ออกสถานศึกษา ดำเนินการสำรวจข้อมูลภาคสนามเพื่อนำไปประกอบสำหรับการสร้างโครงข่ายแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Simulation) รวมถึงดำเนินการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเพื่อให้มีสภาพคล้ายสถานการณ์จริงที่สุด จากนั้นประเมินประสิทธิภาพทางแยกโดยแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบทางเลือก ประกอบด้วย รูปแบบทางแยกที่ควบคุมด้วยป้ายหยุด การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร รูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ และรูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถพร้อมติดตั้งสัญญาณไฟจราจร จากนั้นประเมินในเชิงเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพในแต่ละรูปแบบทางเลือก จากตัวชี้วัดต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ได้จากการพัฒนาแบบจำลอง การจราจรระดับจุลภาค ประกอบด้วย เวลาในการเดินทาง ความล่าช้า ระดับการให้บริการบนทางแยก ตลอดจนจำนวนความขัดแย้งการจราจรที่ดำเนินการวิเคราะห์จากแบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง ผลจากการศึกษาพบว่า รูปแบบทางเลือกที่ 3 รูปแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ เป็นรูปแบบทางแยกที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยพิจารณาจากตัวชี้วัดดังกล่าว

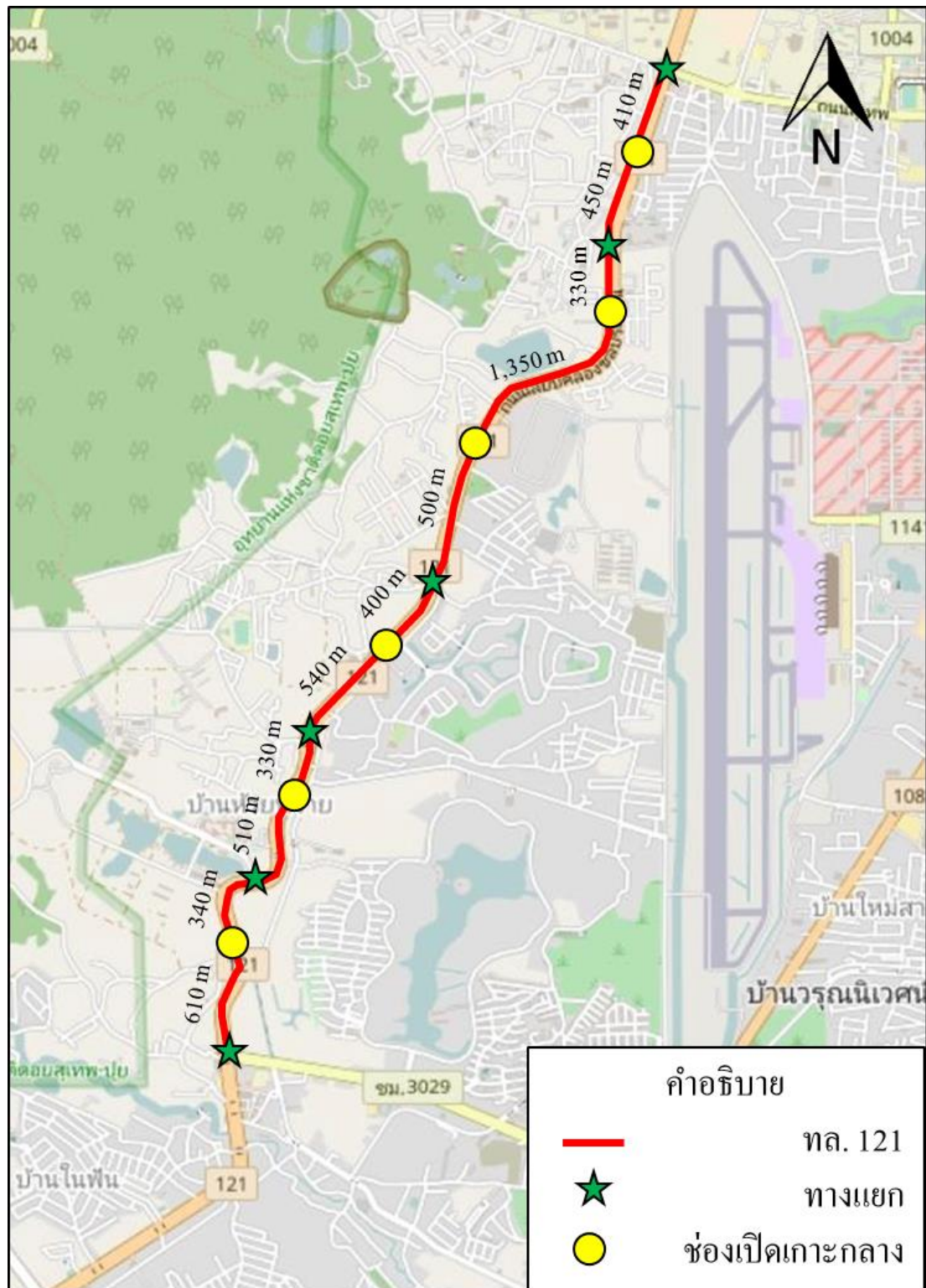
6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการศึกษาในอนาคต

สำหรับการศึกษานี้เป็นการนำเสนอการออกแบบวิเคราะห์ทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง โดยนำระยะห่างระหว่างทางแยกหลักและช่องเปิดเกาะกลางที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง จากนั้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลาง ระบุรูปแบบทางแยกที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยมีข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะศึกษาต่อไปดังนี้

1. การศึกษานี้มีข้อจำกัดด้านมูลค่าการบาดเจ็บ ผู้วิจัยได้กำหนดว่าสำหรับการเกิดอุบัติเหตุในแต่ละครั้งมีระดับความเสียหายเล็กน้อย หากดำเนินการศึกษาต่อไปควรแยกระดับความเสียหายตามสภาพความรุนแรงของอุบัติเหตุ
2. ควรเพิ่มตัวแปรในการออกแบบวิเคราะห์ทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลางเพิ่มเติม เพื่อให้การออกแบบวิเคราะห์ทางแยกมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
3. ควรวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลางในรูปแบบทางเลือกอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อความหลากหลายในการวิเคราะห์
4. ควรพิจารณาลักษณะทางกายภาพของสะพาน เพื่อให้ตอบรับกับรัศมีความโค้งของยานพาหนะทั่วไป โดยที่ไม่ส่งผลกับกระแสจราจรบนถนนสายหลัก
5. ควรวิเคราะห์มูลค่าก่อสร้างในแต่ละรูปแบบทางเลือก เพื่อประกอบการตัดสินใจในการปรับปรุงทางแยก
6. หากเสนอแนะไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง สามารถระบุตำแหน่งช่องเปิดเกาะกลางใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 6.2-1



รูปที่ 6.2-1 ตำแหน่งของช่องเปิดเกาะกลางในปัจจุบัน



รูปที่ 6.2-2 ตำแหน่งของช่องเปิดเกาะกลางหลังการเสนอปรับเปลี่ยน

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) หรือผลงานตามที่คาดไว้ในสัญญาโครงการ
 - Kronprasert, N., Sutheerakul, C., and Kuwiboon, P. Simulation Analysis for Optimal Median U-Turn Offset of Restricted Crossing U-Turn Intersection, Submitted to IEEE ITSC Conference, Las Vegas, November 7-9, 2018 (กำลังอยู่ระหว่างการทบทวนบทความ)
2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์
 - เชิงนโยบาย (มีการกำหนดนโยบายอิงงานวิจัย/เกิดมาตรการใหม่/เปลี่ยนแปลงระเบียบข้อบังคับหรือวิธีทำงาน)
 - มีการนำเสนอแนวคิดหลักการออกแบบทางแยกแบบทางแยกแบบจำกัดการข้ามและกลับรถ เพื่อปรับปรุงปัญหาการจราจรและอุบัติเหตุบนสายทางในเขตพื้นที่ศึกษา โดยได้ประสานงานและให้คำปรึกษาร่วมกับหน่วยงานทางในจังหวัดเชียงใหม่
 - เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยใหม่)
 - มีการพัฒนาองค์ความรู้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรมาช่วยในการออกแบบถนนและปรับปรุงแก้ไขปัญหาการจราจรและอุบัติเหตุ และถ่ายทอดความรู้ผ่านการเรียนการสอนหลักสูตรบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 - มีการพัฒนานักศึกษาและนักวิจัยตลอดจนวิทยานิพนธ์ภายใต้หัวข้อโครงการวิจัย
 - ปวีร์ คูวิบูลย์ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการออกแบบทางแยกแบบกลับรถที่เกาะกลางบนทางหลวงหมายเลข 121 จังหวัดเชียงใหม่ วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2560)
3. อื่น ๆ (เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ หนังสือ การจดสิทธิบัตร)
 - มีการเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ และตีพิมพ์บทความทางวิชาการในวารสารวิชาการ

- ณฤตล ศรีตะระโส, ปวีร์ คูวิบูลย์ และ นพดล กรประเสริฐ “การวัดประสิทธิภาพการจัดการจราจรในช่วงเหตุการณ์พิเศษด้วยทางแยกแบบจำกัดทางข้ามและกลับรถ” งานประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 จังหวัดสงขลา, 28-30 มิถุนายน พ.ศ. 2559
- Pravee Kuwiboon, Nopadon Kronprasert. and Naruedol Sreetaraso Analysis of Safety Performance for Median U-Turn Intersection Design Using Surrogate Safety Assessment Model 9th ATRANS Annual Symposium: Young Researcher's Forum 2016 Bangkok Thailand 19 August 2559

ภาคผนวก

กิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

(1) การนำเสนอผลงานทางวิชาการในการประชุมระดับชาติ (Conference) ในหัวข้อ “การวัดประสิทธิภาพการจัดการจราจรในช่วงเหตุการณ์พิเศษด้วยทางแยกแบบจำกัดทางข้ามและกัลบรต” ณ งานประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 จังหวัดสงขลา ในวันที่ 28-30 มิถุนายน พ.ศ. 2559

(2) การนำเสนอผลงานทางวิชาการในการประชุมระดับชาติ (Conference) ในหัวข้อ Analysis of Safety Performance for Median U-Turn Intersection Design Using Surrogate Safety Assessment Model การวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยสำหรับการออกแบบทางแยก โดยใช้แบบจำลองการประเมินความปลอดภัยเสมือนจริง ในงาน 9th ATRANS ANNUAL CONFERENCE (SYMPOSIUM): YOUNG RESEARCHER'S FORUM 2016 โรงแรม Lebua ในวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งบทความที่นำเสนอได้รับรางวัล Best Paper and Presentation จากงานประชุมนี้ด้วย (ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2)



รูปที่ 1 การนำเสนอผลงานทางวิชาการ



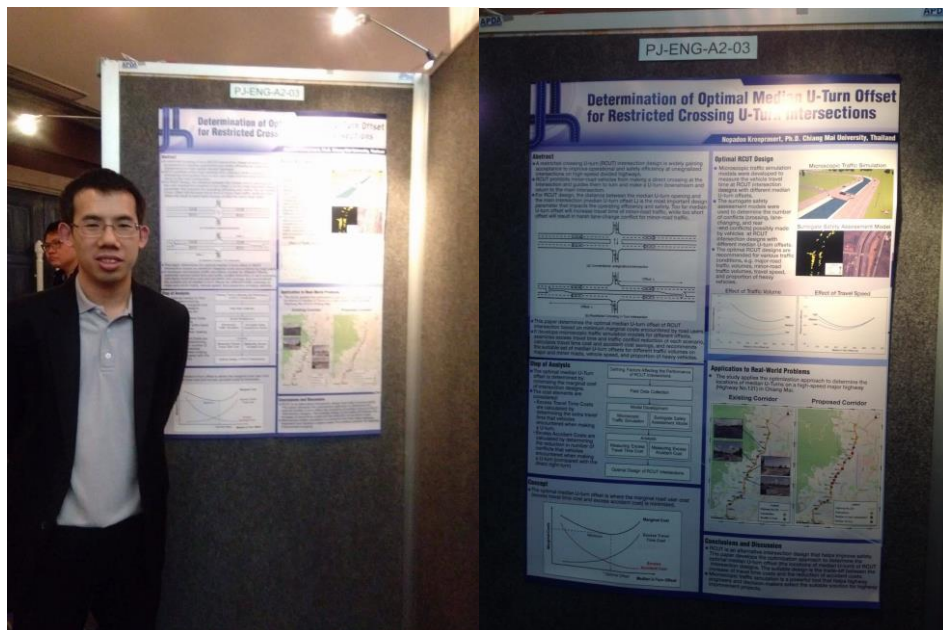
รูปที่ 2 รางวัลการนำเสนอผลงานทางวิชาการ

(3) การประชุมหารือร่วมกับบุคลากรหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการปรับปรุงทางแยกในพื้นที่ศึกษา โดยสัมภาษณ์นายช่างโยธาชำนาญงาน หัวหน้าฝ่ายแผนงาน สำนักงานแขวงทางหลวงเชียงใหม่ที่ 2 ซึ่งได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นมาของโครงการ ระบุข้อจำกัด สภาพปัญหาด้านการจัดการจราจรและความปลอดภัยบริเวณพื้นที่ศึกษาในปัจจุบัน รวมถึงการนำเสนอแนวคิดการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับทางแยกในพื้นที่ศึกษา (ดังรูปที่ 3)



รูปที่ 3 สัมภาษณ์นายช่างโยธาชำนาญการ

(4) การนำเสนอผลงานในงานประชุมนักวิจัยรุ่นใหม่ พบ เมธีวิจัยอาวุโส สกว. ในหัวข้อ Determination of Optimal Median U-Turn Offset for Restricted Crossing U-Turn Intersections ในงาน “นักวิจัยรุ่นใหม่ พบ เมธีวิจัยอาวุโส สกว.” ครั้งที่ 17 ระหว่างวันที่ 10 – วันศุกร์ที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2561 ณ โรงแรมเดอะรีเจนท์ ซะอ่า บีช รีสอร์ท จังหวัดเพชรบุรี (ดังรูปที่ 4)



รูปที่ 4 การนำเสนอผลงานในงานประชุมนักวิจัยรุ่นใหม่ พบ เมธีวิจัยอาวุโส สกว.

Simulation Analysis for Optimal Median U-Turn Offset of Restricted Crossing U-Turn Intersection

Nopadon Kronprasert, Ph.D.
ExCITE Research Center
Dept. of Civil Engineering, Chiang Mai
University
Chiang Mai, THAILAND
nopkron@eng.cmu.ac.th

Chomphunut Sutheerakul
ExCITE Research Center
Dept. of Civil Engineering, Chiang Mai
University
Chiang Mai, THAILAND
chompunutsu.25@gmail.com

Pavee Kuwiboon
ExCITE Research Center
Dept. of Civil Engineering, Chiang Mai
University
Chiang Mai, THAILAND
pa.v6266@gmail.com

Abstract—A restricted crossing U-turn (RCUT) is an alternative intersection design that is widely gaining acceptance to improve mobility and safety at unsignalized intersections along high-speed divided highways. RCUT restricts vehicles from making a direct crossing at the main intersection and guides them to make a U-turn at the downstream median U-turn opening and return to the main intersection. For RCUT design, the distance between the median U-turn opening and the main intersection (called median U-turn offset) is the most important design parameter that influences the operating and safety efficiency. Too far median U-turn offset will increase vehicle travel time, while too short offset will result in harsh lane-change conflict for minor-road traffic. This paper develops traffic simulation models to determine the optimal median U-turn offset of RCUT intersection. The study presents simulation models for different offsets, examines excess travel time and traffic conflict reduction, recommends the suitable set of median U-turn offsets based on minimum user costs, and applies to the real-world highway improvement project. The optimal designs are varied with respect to traffic volumes on major and minor roads, vehicle speed, and vehicle composition.

Keywords—traffic simulation, safety, traffic management

I. INTRODUCTION

Managing traffic mobility and safety at intersections is one of the most challenging tasks for highway engineers. At major intersections, road users often experience travel delay during peak periods and suffer serious accident risks. To solve the problems, various alternative intersection designs have recently been proposed among highway authorities, such as roundabouts, median U-turn intersections, and interchanges. The basic premise of such designs is to separate different traffic movements, provide more uninterrupted flow, and minimize severe traffic conflicts.

A Restricted Crossing U-turn (RCUT) intersection is an alternative intersection design that helps improve mobility and safety at an intersection where a minor road intersects a high-speed multilane road. RCUT design has two elements: the main intersection and the downstream median U-turn openings. This design prohibits vehicles from a minor road to directly cross the main intersection, but lead them to make a U-turn at the downstream median U-turn opening and return to the intersection. [1-2] Conceptually, RCUT design has two forms; the RCUT with and without direct turns for vehicles from a

major road. The design features of RCUT intersection without direct turns and conventional intersection are illustrated in Fig.1.

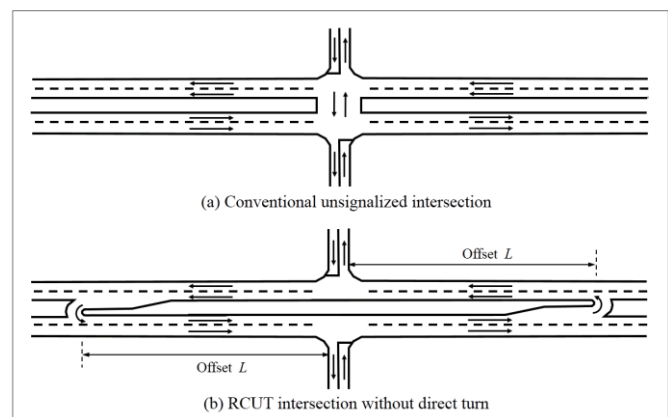


Fig. 1. RCUT intersection configuration

For RCUT design, the distance between the median U-turn opening and the main intersection, called median U-turn offset or L in Fig.1 is the most important design parameter that influences the operating and safety efficiency. Too far median U-turn offset will increase vehicle travel time, while too short offset will result in harsh lane-change conflict for minor-road traffic.

The goal of this study is to propose the methodological framework that can rationally recommend the optimal median U-turn offset of RCUT intersections. In other words, the new approach to determine the optimal locations of downstream median U-turn openings of RCUT intersections is presented. The specific objectives of the study are as follows. First, the study develops the simulation models that recommend a set of median U-turn offsets for RCUT intersection design under different circumstances. Second, the study applies the models to suggest the locations of median U-turn openings for the real-world highway improvement projects.

II. LITERATURE REVIEW

A. Restricted Crossing U-Turn Intersection

A restricted crossing U-turn (RCUT) intersection design is one of the alternative intersection designs, which has been

widely implemented. Typically, there are two major forms of RCUT intersection design. First, an unsignalized RCUT intersections also called J-turn is suitable for alleviating severe crashes at rural two-way stop-controlled intersections. Second, a signalized RCUT intersections also called superstreet is suitable for improving efficiency and safety at intersections along urban corridors. [3] Highway engineers have been aware of its operational and safety effects.

Past studies on this subject mainly focused on analyzing the operational and safety performance of RCUT intersection design. For the operational analysis, microscopic traffic simulation models were used [4-5]. They found that the RCUT design performs better than the conventional intersection design in terms of average delay, average queue length, and total throughputs. Drivers on a minor road seek for a shorter gap in one direction at a time. For the safety analysis, RCUT design theoretically reduces the number of conflicts by half. It eliminates the crossing conflicts, which are the most severe conflict types at the main intersection. The before-and-after studies showed that the numbers of crashes significantly decrease. [5-7]

By its geometric design, there are various factors affecting the safety and efficiency of RCUT intersections, such as number of traveled lanes, the presence of acceleration lane, the U-turn opening configuration, and the location of median U-turn openings.

In practice, the location of median U-turn openings varies among different forms of RCUT. For unsignalized RCUT intersections, the median U-turn offsets range from 100 to 900 m. [2, 9] For signalized RCUT, the median U-turn openings are relatively short. Minor-road traffic can enter the U-turn without conflict due to the signal control at the main intersection. The openings are located closer to the main intersection, typically 100 to 180 m based signal timing [8]

B. Microscopic Traffic Simulation

A microscopic traffic simulation (or a microsimulation) is a powerful tool that can analyze the complex traffic flow and represent traffic movement under various scenarios. It is used to simulate and replicate several driving behaviors. In highway and traffic engineering, a microscopic traffic simulation is widely accepted and used as a reliable decision tool.

In general, the development of microscopic traffic simulation model involves the following steps: network coding, model calibration, and model calibration. The first step is to construct geometric features and input traffic data into the model. The second step is to adjust and fine-tune the model parameters as realistic and reasonable as possible. The last step is to compare the model results and the observed outcomes. [9]

C. Surrogate Safety Assessment Model

The surrogate safety assessment model is to identify conflict events by assessing surrogate safety measures, such as time to collision, post encroachment time, deceleration rate, maximum speed, and speed difference. The model analyzes the frequency of conflict events (or traffic crash avoidance) in a traffic network using vehicle trajectories recorded in

microscopic traffic simulation. There are three categories of conflict events being recorded based on accident types: rear-end conflict events, lane-change conflict events, and path-crossing conflict events. [10]

III. METHODOLOGY

A. Methodological Framework

To analyze the optimal RCUT design, the study proposes the framework as shown in Fig. 2. The details are as follows.

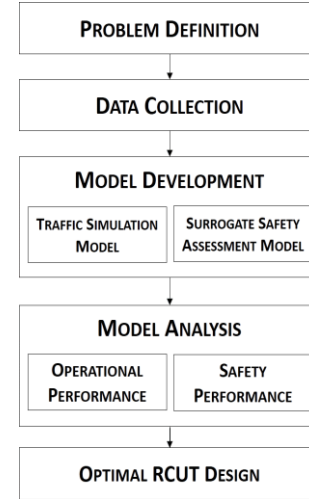


Fig. 2. Methodological framework

B. Data Collection

This study focuses on recommending the optimal median U-turn offsets of RCUT intersections located on a 4-lane divided major road intersecting with a 2-lane minor road (or driveway). Although the scope of the study is limited to this intersection configuration, the proposed method can be applied to other intersection configurations.

Next, the parameters required to develop traffic simulation models were identified. These parameters include road network geometry, input traffic on major and minor road, turning movement on all intersection approaches, traffic composition, desired vehicle speed, and gap acceptance for all types of vehicle and movement. Model development

All necessary data were collected from the intersections on a high-speed corridor. The relevant data are road geometry (i.e. the configuration of intersections and U-turn openings), traffic data (i.e. traffic volume, speed, traffic composition, gap acceptance), and socio-economic data (i.e. value of time, unit cost of accident)

C. Model Development

The study developed traffic simulation models using microscopic traffic simulation (PTV Vissim) and surrogate safety assessment model (SSAM) for evaluating operational and safety performances, respectively. [11, 12] The models were built for various sets of input variables including traffic

volume ranges from 200 to 600 vehicles per hour per lane; the median U-turn offset ranges from 100 to 800 m.

D. Model Analysis

The optimal median U-Turn offsets were determined by minimizing the total cost of the road users at an intersection. Road user costs represent the operational and safety effects of traffic flows at an intersection. Travel Time Costs (TC) and Excess Accident Costs (AC). Evaluation of EAC and ETC will be described as follows.

1) *Operational Performance* is measured by the travel time cost. Travel time that all vehicles used to maneuver through the intersection for both conventional intersection and RCUT intersection was recorded. The travel time cost of RCUT intersection can be expressed as:

$$TC = \sum_{i=1}^n (\Delta T)_i \times V \times VOT \quad (1)$$

where TC = Travel time cost)per year(, T_i = travel time difference between the case of RCUT intersection at offset i and the case of intersection, V = traffic volume (veh/hr), and VOT = value of time)\$/hour(

2) *Safety Performance* is calculated by determining the reduction in number of conflicts that vehicles encountered when making a U-turn (compared with the direct turn at the intersection) The accident cost is then calculated by the accident to onflict ratio and the unit cost of accident. The accident cost of RCUT intersection at different offsets can be expressed as:

$$AC = N_C \times (A/C) \times UC \quad (2)$$

where AC = accident cost (per year), N_C = number of lane-change conflict (times/hour), A/C = accident-to-conflict ratio, and UC = unit cost of accident

E. Optimal Median U-Turn Offset

The optimal median U-turn offsets are then determined based on minimum total (marginal) cost concept as shown in Fig. 3. In this study, the optimal median U-turn offsets for RCUT designs are recommended for various traffic conditions.

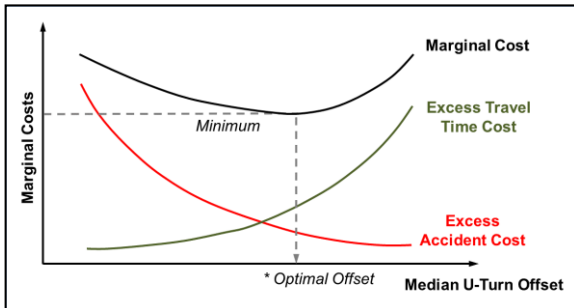


Fig. 3. Concept of minimum total cost

IV. APPLICATION TO INTERSECTION DESIGN

The proposed framework is applied to a real-world highway improvement project in Chiang Mai, Thailand. The existing corridor is a 12-kilometer 4-lane divided high-speed highway in a suburban area. There are many intersections and U-turn openings along this corridor as shown in Fig.4; and as a result, there are many road crashes at these locations. The goal of the improvement project is to relocate the median U-turn openings by introducing RCUT intersection design concept along this corridor. This study applies the simulation analysis to determine the locations of median U-turn openings.

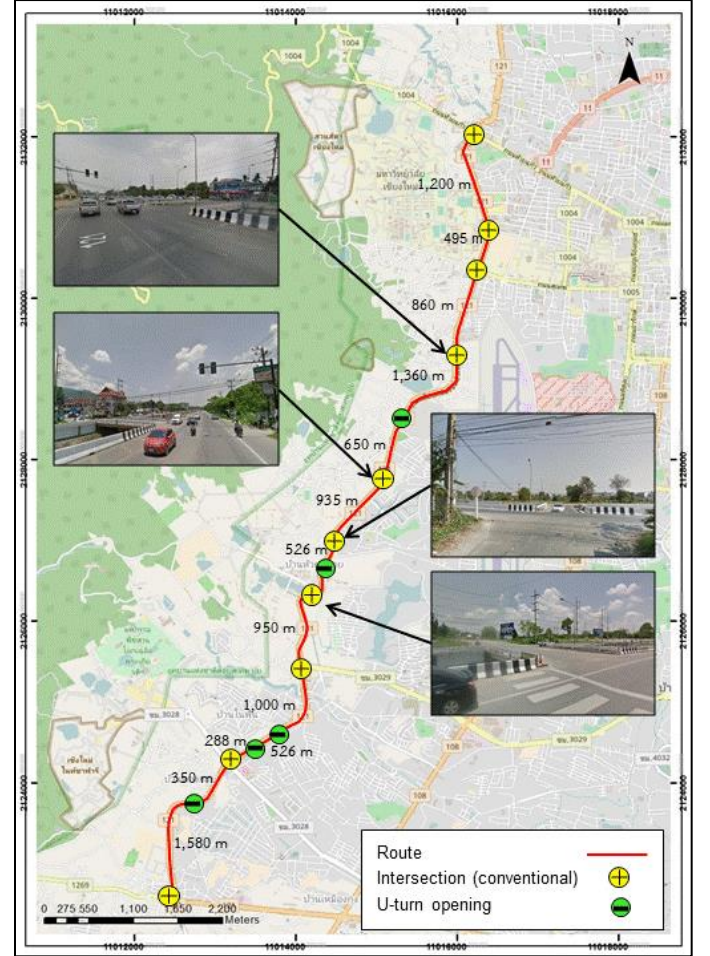


Fig. 4. Existing corridor

Fig. 4 illustrates the snapshot of traffic simulation model developed for evaluating the operational performance of this study. Fig. 5 shows the conflict points associated with the T-intersection in the case study. Different colors are used to represent different conflict types: red is for crossing conflict, green is for lane-change conflict, and yellow is for rear-end conflict.



Fig. 5. Snapshot of simulation model



Fig. 6. Conflict points by surrogate safety assessment

A. Operational Analysis

Fig. 7 illustrates the increase in travel time cost accrued when replacing the conventional intersection with the RCUT intersection design at different median U-turn offsets. The figure plots for high, medium, and low traffic volume on both major- and minor roads. The results show that the travel time costs increase significantly when the median U-turn offset increase greater than 500 m.

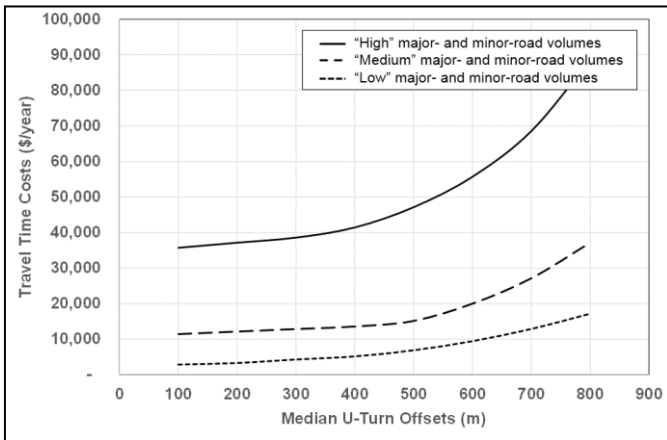


Fig. 7. Travel time costs with respect to different median U-turn offsets

B. Safety Analysis

Fig. 8 illustrates the decrease in accident cost when replacing the conventional intersection with the RCUT

intersection design at different median U-turn offsets. The figure also plots for high, medium, and low traffic volume on both major- and minor roads. The results show that the longer median U-turn offsets of RCUT intersection can reduce the loss of accident.

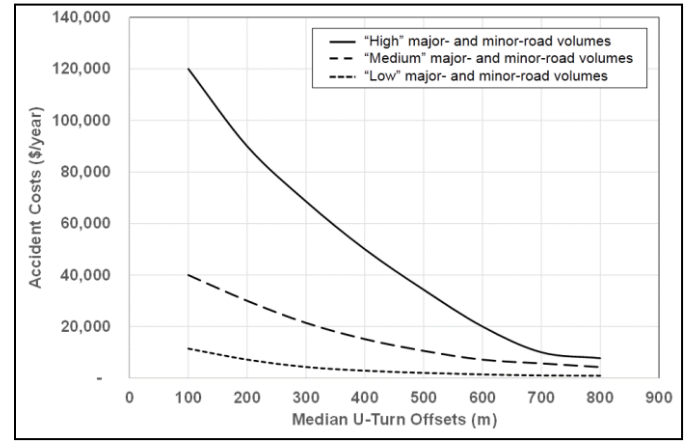


Fig. 8. Accident costs with respect to different median U-turn offsets

C. Optimal Median U-Turn Offset

The optimal median U-turn offsets can be determined by the minimum total cost (including travel time costs and accident costs) Fig. 9 illustrates the relationship of total user costs and median U-turn offsets. The results show that for a given traffic volume, there is an optimal value of RCUT median U-turn offset. Too short offset may cause low travel time cost with very high accident cost, while too long offset may cause very high travel time cost with low accident cost.

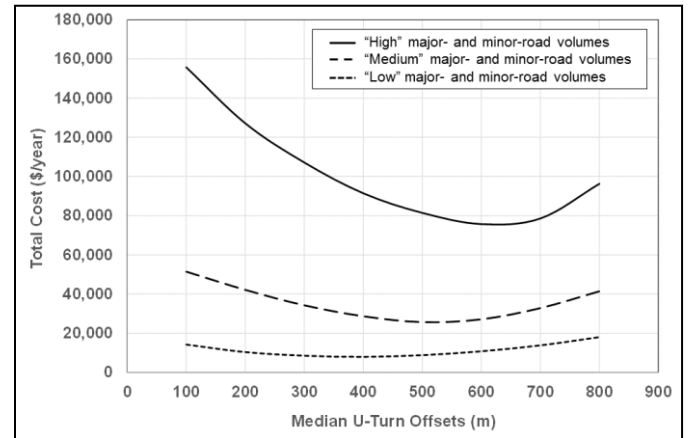


Fig. 9. Optimal median U-turn offsets based on minimum costs

D. Recommended Median U-Turn Offsets of RCUT Intersection

Table I presents the recommended median U-turn offsets in meter for different sets of the traffic volumes on major and minor roads (100 to 600 vehicles per hour per lane). The offsets are based on the minimum total costs including travel time costs and accident costs.

Fig. 10 plots the recommended offsets for different combination of major-road and minor-road traffic volumes. The higher traffic volumes, the longer median U-turn offsets are. Table I and Fig. 10 are complementary; the former shows in specific values, while the latter is a look-up chart for practitioners. The recommended offsets can be determined if traffic volume on a major- and a minor road are given.

TABLE I. OPTIMAL MEDIAN U-TURN OFFSETS FOR DIFFERENT TRAFFIC VOLUMES

Traffic Volumes on a major road (veh/hr/ln)	Traffic Volume on a minor road (veh/hr)					
	100	200	300	400	500	600
100	270	295	310	330	340	345
200	310	330	347	360	370	380
300	345	370	390	410	430	445
400	390	420	435	470	495	520
500	445	475	495	520	550	570
600	535	550	565	580	595	630

a.

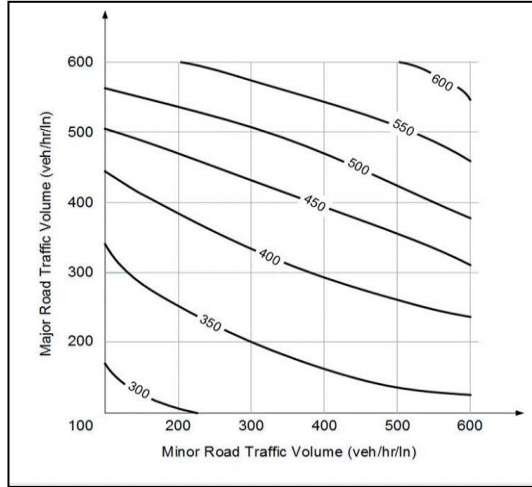


Fig. 10. Look-up chart on optimal median U-turn offsets for different sets of major-road and minor-road traffic volumes

E. Sensitivity Analysis

The study conducts the sensitivity analyses to determine which parameters are significant and should be taken into account to the proposed model. The parameters used as input of the proposed model were tested including vehicular speed, and heavy vehicle, accident to conflict ratio, accident unit cost, and value of time. The effects of other parameters on the median U-turn offsets are discussed below.

- Effect of percentage of heavy vehicles. The heavy vehicles require longer gap to merge the traffic and change lanes than other vehicles. The proposed model suggests the need to consider the percentage of heavy vehicles. The median U-turn offset should be longer than what is proposed in Fig. 10 by 15-20% for every 5% increase of heavy vehicles as shown in Fig.11.

- Effect of vehicle operating speed. The operating speed on a major road significantly affect the optimal distance between median U-turn opening and the main intersection. The higher operating speed on a major road creates difficulties for vehicles to enter the major road, and at the same time force them to the risky situation.
- Effect of socio-economic factors. The economic factors that used to convert operational and safety performance to single comparable performance have insignificant effect on the optimal median U-turn offsets. For example, the value of time and unit of accident cost will proportionally shift the total costs.

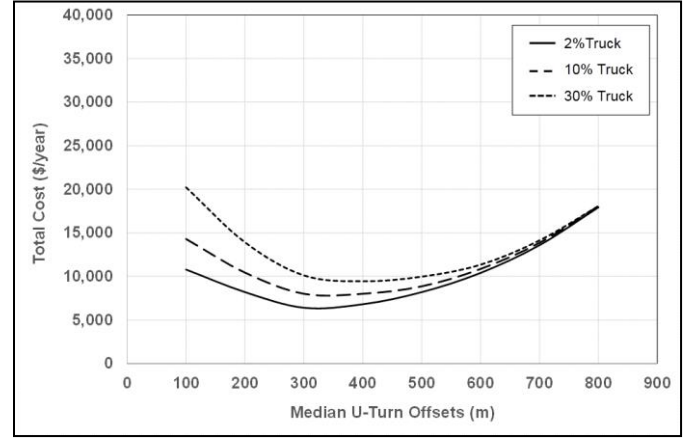


Fig. 11. Sensitivity analysis of vehicle operating speed on a major road

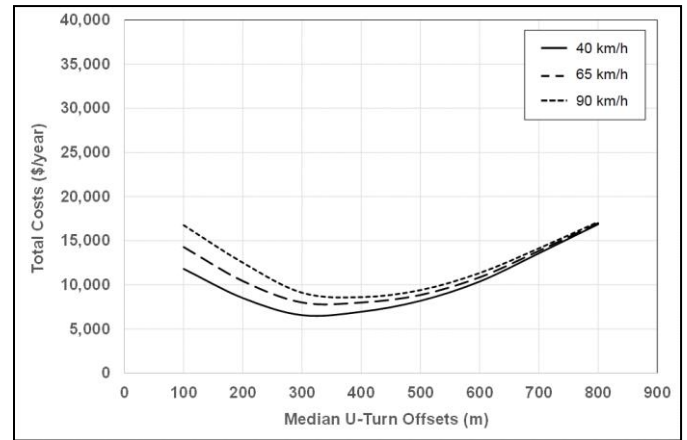


Fig. 12. Sensitivity analysis of vehicle operating speed on a major road

F. Proposed Median U-turn Offsets

To apply the simulation analysis to search for the optimal median U-turn offsets in the real-world situations, the recommended offsets from Table I and Fig. 10 can be used. It is however noted that the recommended offsets are proposed based on typical simulation models. When multiple intersections are considered or the intersections are varied from the typical one, the simulation model of the entire corridor may be necessary. Fig. 13 presents the locations of the median U-turn offsets proposed for the improvement project.

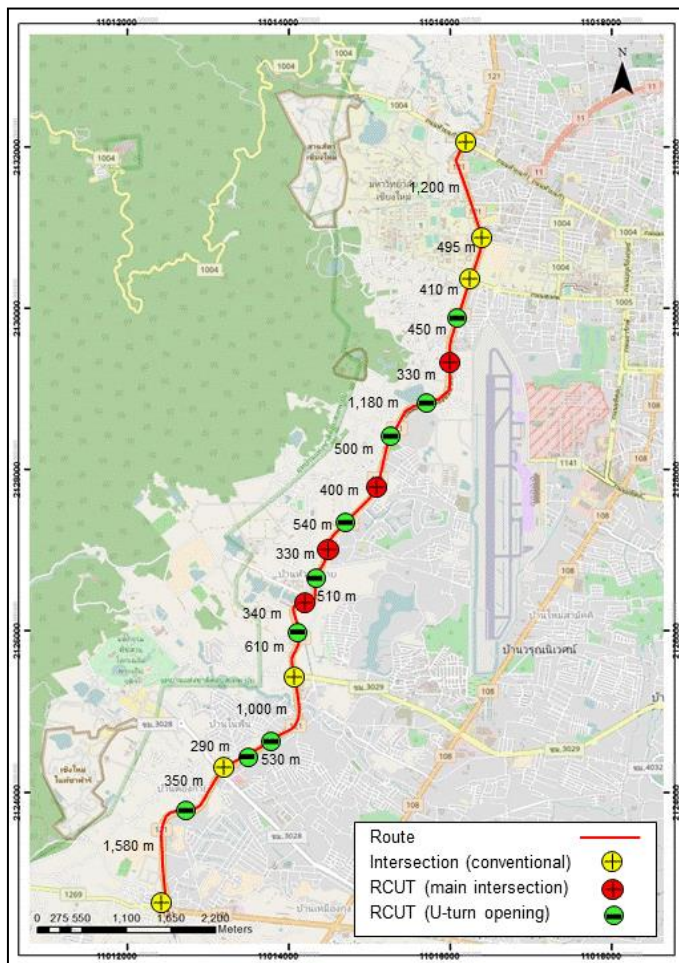


Fig. 13. Proposed RCUT intersections and their median U-turn offsets

V. CONCLUSIONS

A restricted crossing U-turn (RCUT) intersection is an innovative design that helps improve safety at major unsignalized intersections by eliminating conflicts at the main intersection and converting severe crossing conflicts into merging and weaving. For RCUT design, the distance between the main intersection and the downstream U-turn opening (or median U-turn offset) is the critical design parameter influencing efficiency and safety of the intersection.

This paper develops a methodological framework for determining the optimal median U-turn offsets of RCUT intersection design using simulation analysis. The analysis considers the trade-off between the increase of travel time

required to make a U-turn downstream and the reduction of potential accident costs due to fewer number of conflicts. The study recommends the median U-turn offset which minimizes the cost of road users including the travel time cost and accident cost. The results also show that the median U-turn offsets are sensitive to the major-road and minor-road traffic volumes, vehicle composition, and vehicle operating speed.

The proposed models and the exhibits allow the engineers to examine the proper locations of median U-turns for RCUT intersection design. Therefore, traffic simulation models are useful for both practitioners and researchers in real-world highway improvement projects.

REFERENCES

- [1] R.P. Kramer, "New combination of old techniques to rejuvenate jammed suburban arterials" Proc. of ITE Nat. Conf., pp.139-148, 1987
- [2] T.H. Maze, J.L. Hochstein, R.R. Souleyrette, H. Preston, and R. Storm, Median Intersection Design for Rural High-Speed Divided Highways, NCHRP Report 650. Washington, D.C., Transportation Research Board, 2010.
- [3] J. Hummer, B. Ray, A. Daleides, P. Jenior, and J. Knudsen, Restricted crossing U-turn intersection: information guide, Washington, D.C., FHWA, 2014.
- [4] R.L. Haley, S.E. Ott, J.E. Hummer, J.E. Foyle, C.M. Cunningham, and B.J. Schroeder, "Operational Effects of Signalized Superstreets in North Carolina" Trans. Res. Rec., vol. 2223, pp.72-79, 2011.
- [5] W. Zhang, N. Kronprasert, and J.G. Bared, "Restricted Crossing U-Turn Intersection Design for Improving Safety and Mobility at High Speed Stop Controlled Intersections" Road Safety & Sim, Italy, 2013.
- [6] S.E. Ott, R.L. Haley, J.E. Hummer, R.S. Foyle, and C.M. Cunningham, "Safety effects of unsignalized superstreet in North Carolina" Acc. Anal. & Prev., vol. 45, pp.572-579, 2012.
- [7] W. Zhang, and N. Kronprasert, "The ABCs of designing RCUTs" Public Roads, vol.78, no.2, 2014.
- [8] F. Koupke, and H. Levinson, Access management guidelines for activity centers. NCHRP Report 348, Washington, D.C., Transportation Research Board, 1992.
- [9] R. Dowling, A. Skabardonis, and V. Alexiadis, Traffic analysis toolbox volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation software. FHWA-HRT-04-040, Washington, D.C., 1994.
- [10] F. Huang, P. Liu, H. Yu., and W. Wang, Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections. Acc. Anal. & Prev. vol.50, pp.1014-1024, 2013.
- [11] Planung Transport Verkehr AG, Vissim 8.0 User Manual. (PTV), Karlsruhe, 2015.
- [12] D. Gettman, and L. Head, Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models. FHWA-RD-03050, Washington, D.C., 2003.