การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของจุดเปิดเกาะกลางกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะ โดยใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค

Performance Analysis of Restricted U-Turn Vehicles at Median Openings Using Microscopic Traffic Simulation

พิกุล ผาหลัก*[1] และ นพดล กรประเสริฐ[2]

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
E-mail address: pikulpalak2527@gmail.com

บทคัดย่อ

จุดเปิดเกาะกลางกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะ หรือจุดกลับรถที่แยกไว้เฉพาะสำหรับรถจักรยานยนต์และรถยนต์ เป็นการออกแบบรูปแบบจุดเปิดเกาะกลางรูปแบบใหม่ที่ได้รับความสนใจและนำไปประยุกต์ใช้เพิ่มมากขึ้นบนถนนสายหลัก เพื่อแก้ไขปัญหาการจราจรและความปลอดภัยบริเวณจุดเปิดเกาะกลาง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการดำเนินงานของจุดเปิดเกาะกลางกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะนี้ โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของรูปแบบจุดเปิดเกาะกลางกลับรถรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ (1) จุดเปิดเกาะกลางกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยว (2) จุดเปิดเกาะกลางกลับรถแบบมีช่องรอเลี้ยว (3) จุดเปิดเกาะกลางกลับรถแบบแยกรถจักรยานยนต์กับรถยนต์ และ (4) จุดเปิดเกาะกลางกลับรถแบบแยกรถจักรยานยนต์และรถยนต์และมีสัญญาณไฟจราจร งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์ ความยาวแถวคอย เวลาที่ใช้ในการเดินทาง และระดับการให้บริการบริเวณจุดเปิดเกาะกลางกลับรถบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 101 กิโลเมตรที่ 364+356 จังหวัดน่าน ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของรูปแบบจุดเปิดเกาะกลางกลับรถแต่ละรูปแบบช่วยแนะนำถึงสภาพการจราจรที่เหมาะสมกับรูปแบบจุดเปิดเกาะกลางกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะนี้ และสามารถใช้เป็นเครื่องมือคัดเลือกรูปแบบจุดเปิดเกาะกลางกลับรถที่เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ในปัจจุบันและอนาคต

คำสำคัญ: การกลับรถ, จุดเปิดเกาะกลาง, การออกแบบถนน, ประสิทธิภาพ, แบบจำลองการจราจระดับจุลภาค

Abstract

A median opening with restricted U-Turn vehicles (or a median U-turn separating between motorcycles and cars) is a new median opening design that has been paid attention and gradually applied on the main road to address traffic and safety problems. The objective of this paper was to analyze the performance of the median openings with restricted U-Turn vehicles and comparing the operational efficiency of the various patterns of median openings including (1) median opening without storage U-turn lane; (2) median opening with storage U-turn lane; (3) median opening with separate motorcycle U-turn opening; and (4) median opening with separate motorcycle U-turn opening and signal control. This paper applied the microscopic traffic simulation model to analyze the performance in terms of queue length, travel time, and level of service to the median opening with restricted U-Turn vehicles on the National Highway Number 101 at km 364+ 356 in Nan Province. The simulation results presented the performance of individual median opening and the traffic condition for which median opening is suitable. The simulation can be used as a tool to recommend highway engineers the suitable type of median opening in different current and future circumstances.

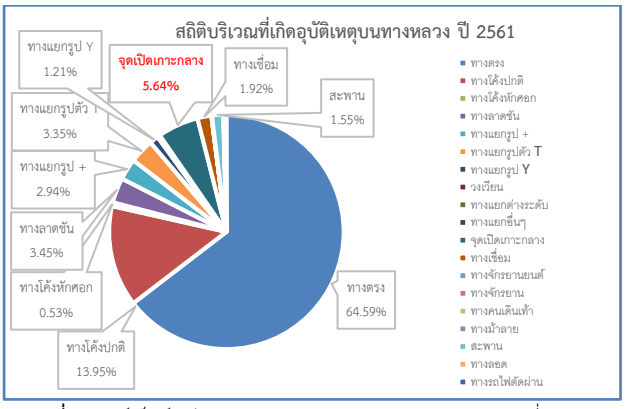
Keywords: U-turn, Median Opening, Road design, efficiency, Microscopic Traffic Simulation

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาที่สำคัญของประเทศไทยที่ต้องป้องกันอย่างเร่งด่วนและเป็นระบบ คือ “อุบัติเหตุทางถนน” ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นทำให้สูญเสียทรัพย์สินและทรัพยากรบุคคล ปัจจัยสำเหตุหลักในการเกิดอุบัติเหตุทางถนนสามารถแยกพิจารณาตามองค์ประกอบของระบบขนส่งทางถนน อันได้แก่ คน ยานพาหนะ และถนนและสิ่งแวดล้อม จากสถิติคดีจราจรของสำนักงานตำรวจแห่งชาติพบว่าถนนและสิ่งแวดล้อมเป็นสาเหตุของการเกิด

อุบัติเหตุทางถนนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญรองลงมาจากปัจจัยด้านคน [1] ดังนั้นการคำนึงถึงมาตรการความปลอดภัยระหว่างการออกแบบถนนและการประเมินความปลอดภัยของถนนอย่างสม่ำเสมอแล้วปรับปรุงถนนด้วยระบบที่เอื้อต่อความปลอดภัย (Safe System) เพื่อรองรับความผิดพลาดอันเกิดจากมนุษย์ จึงเป็นแนวทางสำคัญที่จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ถนนในแง่ของความปลอดภัย และลดปัญหาอุบัติเหตุทางถนน [2]

เมื่อจำแนกอุบัติเหตุบนทางหลวงตามบริเวณที่เกิดเหตุพบว่า อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในบริเวณจุดเปิดเกาะกลางเกิดขึ้น 961 ครั้ง จากจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนถนนทางหลวงทั้งหมด 17,045 ครั้ง ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุมากสุดเป็นอันดับที่ 3 รองจาก ทางตรงและทางโค้งปกติ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 5.64 ของสถิติบริเวณที่เกิดเหตุทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ รูปที่ 1



รูปที่ 1 เปอร์เซ็นต์อุบัติเหตุบนทางหลวง จำแนกตามสภาพบริเวณที่เกิดเหตุในปี 2561

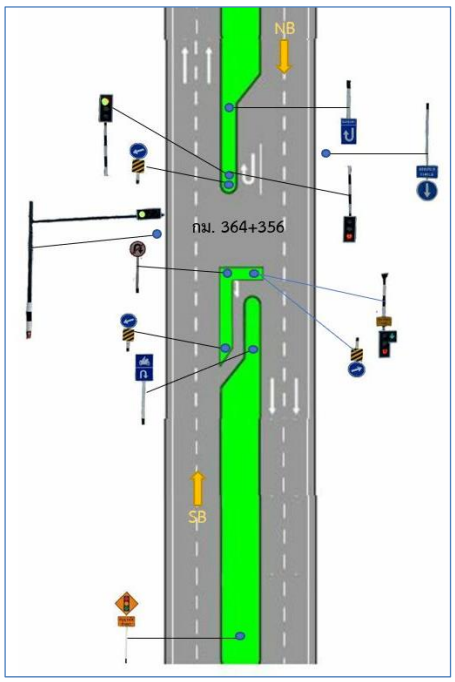
เมื่อรวบรวมสถิติการเกิดอุบัติเหตุบริเวณจุดเปิดเกาะกลางจากรายงานการเกิดอุบัติเหตุจราจรบนทางหลวงแผ่นดินย้อนหลัง 8 ปี (พ.ศ. 2554-2561) พบว่ามีแนวโน้มที่จะเกิดอุบัติเหตุบริเวณจุดเปิดเกาะกลางในแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น [3] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ **1** สถิติการเกิดอุบัติเหตุบริเวณจุดเปิดเกาะกลางบนทางหลวงแผ่นดิน พ.ศ. **2554 - 2561**

Accident Location	อุบัติเหตุ							
	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561
ทางตรง	6,751	7,054	7,026	8,515	8,937	10,505	10,375	11,009
ทางโค้งปกติ	1,184	1,183	1,274	1,556	1,751	2,017	2,299	2,377
ทางโค้งหักศอก	58	62	79	81	85	74	92	90
ทางลาดชัน	115	248	251	277	320	413	463	588
ทางแยกรูป +	337	376	376	431	395	444	436	501
ทางแยกรูปตัว T	350	416	402	479	411	478	478	571
ทางแยกรูป Y	128	122	129	121	102	144	138	207
วงเวียน	7	14	10	11	12	13	21	14
ทางแยกต่างระดับ	39	42	40	37	58	44	39	51
ทางแยกอื่น ๆ	110	63	48	45	8	43	41	-
จุดเปิดเกาะกลาง	690	701	727	884	811	839	901	961
ทางเชื่อม	194	163	172	205	185	192	241	327
ทางจักรยานยนต์	129	92	116	169	168	-	20	4
ทางจักรยาน	9	13	6	4	8	-	2	2
ทางคนเดินเท้า	50	48	47	46	30	-	8	6
ทางม้าลาย	2	6	3	4	8	6	6	-
สะพาน	239	209	225	237	168	259	239	265
ทางลอด	9	7	6	13	11	7	8	11
ทางรถไฟตัดผ่าน	4	6	7	8	10	5	3	2
จุดกลับรถต่างระดับ	63	31	54	64	29	38	28	46
เปลี่ยนความกว้างช่องจราจร	139	157	127	72	68	57	98	13
อุบัติเหตุรวม	10,607	11,013	11,125	13,259	13,575	5,578	15,936	17,045

ปัญหาจุดกลับรถบนทางหลวงหมายเลข101 กม. 364.356 (ไทยประกันชีวิต) เดิมทีเป็นถนน 2 เลนต่อ 1 ช่องจราจร มีไหล่ทาง ไม่มีช่องรอกลับรถ และเพิ่มเป็นมีช่องรอกลับรถตามกาลเวลา แต่ในปัจจุบันพบว่า ปริมาณยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จุดกลับรถดังกล่าวไม่ตอบโจทย์การใช้งาน อีกทั้งยังก่อให้เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง เนื่องจากรัศมีวงเลี้ยวของรถบรรทุกและรถโดยสารประจำทางที่ไม่เพียงพอซึ่งต้องรออยู่เลนนอกสุดเพื่อตีวงเลี้ยว อีกทั้งยังต้องใช้ไหล่ทางในการเลี้ยวทุกครั้ง และการจัดให้มีรถยนต์เลี้ยวสองด้านพร้อมกันเป็นการบดบังรถทางตรงที่วิ่งมาด้วยความเร็ว และมักจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุ ในปัจจุบัน กรมทางหลวงโดยแขวงทางหลวงน่านที่ 1 ได้ออกแบบแก้ไขปัญหาจุดกลับรถตำแหน่งดังกล่าวให้เป็นจุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะ กล่าวคือ ทิศทาง NB สามารถกลับรถได้ทั้งรถยนต์และจักรยานยนต์ ส่วนทิศทาง SB สามารถกลับรถได้แค่รถจักยานยนต์และตำแหน่งต่อไปก็สลับการกำจัดยาหนะกันไปอีกประมาณ 5 ตำแหน่งจุดกลับรถ อีกทั้งยังมีการใช้สัญญาณไฟบังคับ ให้รถในทิศทางตรงข้าม 1 ช่องจราจรหยุดให้ทางสำหรับรถอีกทิศทางที่ต้องการกลับรถใน กม.ที่ 364.356 (ไทยประกันชีวิต) ดังรูปที่ 2

การแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นสามารถตอบสนองการใช้งานด้านการลดอุบัติเหตุเมื่อเทียบกับสถิติก่อนและหลังการดำเนินงานแก้ไข ผู้วิจัยจึงต้องการจะทราบว่าการออกแบบจุดกลับรถในรูปแบบที่ปรับปรุงดังกล่าวมีความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้นได้มากน้อยเพียงใด เมื่อเทียบจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นที่กำหนด จึงจัดทำแบบจำลอง VISSIM เพื่อเปรียบเทียบค่า



รูปที่ 2 จุดกลับรถที่มีการแก้ไขแล้วในปัจจุบัน

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 จุดกลับรถ

จุดกลับรถ คือบริเวณที่จัดไว้สำหรับให้เลี้ยวกลับรถ เพื่อให้ความสะดวกและปลอดภัยในการเลี้ยวกลับรถ AASHTO [4] ได้แนะนำเกี่ยวกับการเลือกสถานที่และการออกแบบจุดกลับรถแบบเปิดเกาะกลาง โดยใช้พื้นที่จากเกาะกลาง มีข้อควรพิจารณา ดังนี้

- รูปแบบการเปิดเกาะกลางสำหรับใช้กลับรถจะต้องพิจารณาขนาดความกว้างของเกาะกลางและรัศมีเลี้ยวตามชนิดของรถที่ต้องการกลับรถ
- ทำเลที่อยู่ใกล้ทางแยกที่มีปริมาณจราจรต่ำไม่ต้องเปิดเกาะกลางโดยให้รถที่ต้องการกลับรถไปกลับรถที่ทางแยกรวมกับรถที่ต้องการเลี้ยวขวา ส่วนทำเลที่อยู่ใกล้ทางแยกที่มีปริมาณการจราจรสูงจะต้องมีการเปิดเกาะกลางและจะต้องจัดช่องจราจรให้รถที่ต้องการกลับรถแยกออกจากช่องจราจรหลักโดยใช้พื้นที่จากตรงกลางซึ่งการเปิดเกาะกลางจะต้องพิจารณาเกี่ยวกับความเร็ว ปริมาณจราจรของรถทางตรงและรถที่ต้องการกลับรถ รวมทั้งรัศมีเลี้ยวของรถที่ต้องการกลับรถจะต้องมีความสัมพันธ์กับระยะการเปิดเกาะกลางและความกว้างของช่องจราจร

จุดกลับรถเป็นจุดที่มีศักยภาพที่จะเกิดอุบัติเหตุสูงโดยเฉพาะจุดกลับรถที่ไม่มีช่องรอเลี้ยว รูปที่ 2 แสดง ลักษณะการชนที่อาจเกิดขึ้นที่จุดกลับรถอันประกอบด้วย

(1) การชนขณะรถตัดสลับ
(2) ชนท้ายรถที่เปลี่ยนเข้าช่องจราจรขวา
(3) ชนท้ายรถรอเลี้ยวขวา
(4) ชนขณะตัดกระแสรถทางตรง
(5) ถูกรถทางตรงชนท้าย

นอกจากนั้นเนื่องจากรถที่เกี่ยวข้องมีหลายประเภท ได้แก่ รถบรรทุกและรถโดยสารซึ่งเป็นรถขนาดใหญ่ รถยนต์สี่ล้อทั่วไปและรถขนาดเล็ก เช่น รถจักรยานยนต์ เป็นต้น ทำให้เกิดความขัดแย้งได้หลายลักษณะ รถเล็กอาจตัดสินใจเลี้ยวตัดหน้ารถทางตรงเพราะคิดว่ารถเล็กมีความคล่องตัวสามารถตัดหรือแทรกในกระแสจราจรได้ง่าย หรือรถใหญ่อาจจะเลี้ยวไปโดยหวังว่ารถเล็กจะหยุดหรือหลบหลีกได้



รูปที่ 3 ลักษณะการชนที่จุดกลับรถ

2.2 ตำแหน่งจุดเปิดเกาะกลาง (Median Opening)

ทางหลวงแบบแยกทิศทางการจราจรจะช่วยให้เกิดความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการจราจร แต่ในการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงความสะดวกของผู้เดินทางในการกลับรถ โดยเฉพาะสำหรับผู้ที่อาศัยและธุรกิจข้างเคียง การกำหนดจุดเปิดเพื่อกลับรถหรือเลี้ยวขวาบริเวณเกาะกลางจึงมีความจำเป็นซึ่งจะต้องพิจารณารูปแบบและระยะห่างให้เหมาะสมไม่ให้กระทบกับการจราจรทางหลัก

จุดเปิดเกาะกลางควรออกแบบให้มีความยาวของช่องรอให้เพียงพอที่จะรองรับปริมาณรถยนต์ที่ต้องการเลี้ยวกลับรถหรือเลี้ยวขวา ควรมีความยาวไม่น้อยกว่า 30 เมตร และต้องมีระยะ Taper ให้เหมาะสมกับความเร็วในการออกแบบของเส้นนั้น

จุดเปิดเกาะกลางต้องพิจารณาให้มีช่องรอเลี้ยวที่เพียงพอและระยะห่างระหว่างจุดเปิดแต่ละจุดต้องไม่น้อยกว่า 100 เมตร และจะต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ระยะห่างระหว่างจุดเปิดเกาะกลาง
- ระยะมองเห็นเพื่อหยุดรถ
- ความเร็วขับขี่
- ความยาวของช่องรอเลี้ยว
- ประเภทและขนาดของยานพาหนะ

2.3 ผลกระทบของจุดกลับรถ

การกลับรถบนเกาะถนนจะเป็นรูปแบบที่สร้างผลกระทบจราจรสูงที่สุดในทั้งสองทิศทาง กล่าวคือทำให้เกิดคอขวดจากการไหลที่ลดลงของช่องจราจรที่ใช้กลับรถและการเปลี่ยนช่องจราจรก่อนถึงจุดกลับรถในทิศทางของยวดยานที่กลับรถ และกระทบต่อความจุของกระแสจราจรในทิศทางที่ถูกตัดกระแสจราจร ทั้งนี้ส่งผลกระทบจะแตกต่างกันตามขนาดของเกาะกลาง โดยจุดกลับรถบนเกาะกลางถนนที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลกระทบน้อยกว่าเนื่องจากการตัดกระแสจราจรน้อยกว่า

2.4 ระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างจุดกลับรถที่ไม่มีสัญญาณไฟ

ในกรณีที่มีทางแยกที่มีระยะห่างกันมากและปริมาณการกลับรถสูง ทำให้เกิดความจำเป็นในการเพิ่มจุดกลับรถระหว่างช่วงทางแยก การเปิดเกาะกลางให้กลับรถเป็นทางเลือกที่สะดวกและปลอดภัยและประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด แต่ก็เป็นรูปแบบที่ทำให้เกิดการตัดกระแสจราจรมากขึ้น จึงอาจกลายเป็นคอขวดส่งผลกระทบด้านการจราจรและเสี่ยงต้องการเกิดอุบัติเหตุอีกด้วย ดังนั้นการเปิดเกาะกลางจึงจำเป็นต้องจัดให้มีด้วยในระยะที่เหมาะสมลำดับชั้นของถนนและความเร็วของกระแสจราจร[5] ดังแสดงในตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างจุดกลับรถที่ไม่มีสัญญาณไฟ

ความเร็วจำกัด (กม./ชม)	ระยะห่างที่น้อยที่สุด (ม.)
48.28	112.78
56.33	140.21
64.37	161.54
72.42	204.22
80.47	237.74
88.51	277.37

ตารางที่ 3 แนวทางสำหรับระยะห่างของจุดกลับรถ

ลำดับขั้นถนน	ระยะห่างของจุดกลับรถ (ม.)		
	เขตเมือง	ชานเมือง	ชนบท
ถนนสายหลัก	201.17	201.17	402.34
ถนนสายรอง	100.58	100.17	402.34

2.5 เกาะกลาง

เกาะกลางใช้ในการแยกการจราจรแต่ละทิศทางออกจากกัน โดยเป็นพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้สำหรับการวิ่งของรถ พื้นที่ของเกาะกลางจะรวมความกว้างของไหล่ทางและส่วนที่ติดเกาะกลาง โดยทั่วไปจะมีเกาะกลางในทางที่มีตั้งแต่ 4 ช่องจราจร หรือในบริเวณชุมชน วัตถุประสงค์ มีดังนี้

- เพื่อแยกกระแสจราจรแต่ละทิศทางออกจากกัน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการป้องกันรถวิ่งข้ามเกาะกลาง
- ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของทางหลักในการควบคุมการเชื่อมต่อของที่ดินข้างเคียงหรือทางที่ต่อเชื่อม
- ควบคุมให้มีการกลับรถในจุดที่เหมาะสม
- ใช้สำหรับเป็นช่องจราจรเสริมเพื่อการกลับรถ รอเลี้ยว หรือให้รถที่เลี้ยวออกมามีพื้นที่ปลอดภัยและเร่งความเร็วก่อนเข้าบรรจบรถทางตรง
- เป็นที่พักหลบของผู้ที่เดินทางข้ามถนน
- ใช้เป็นที่ติดตั้งอุปกรณ์อำนวยความปลอดภัยต่าง ๆ รวมทั้งสาธารณูปโภค เสาสะพานลอยคนเดินข้ามถนน เสาโครงสร้างทางกลับรถ เสาทางยกต่างระดับ ฯลฯ
- เป็นพื้นที่เผื่อสำหรับการขยายช่องจราจรในอนาคต
- เป็นพื้นที่ให้ผู้ขับขี่ได้แก้ไขและควบคุมรถในกรณีเกิดวิ่งออกนอกทางวิ่ง
- เป็นที่ติดตั้งราวกันชนและแผงป้องกันแสงบังตา

2.5.1 ขนาดความกว้างของเกาะกลาง

ปัจจัยด้านจำนวนช่องจราจรนั้นส่งผลต่อสมรรถภาพในการกลับรถบนทางหลวงแผ่นดิน เช่นถนนสายหลัก 4 ช่องจราจร อาจจำเป็นต้องมีการขยายช่องทางเผื่อในการกลับรถ ในช่องทางที่ติดกับช่องทางด้านนอกสุด หรือมีทางช่วยรูปที่จับเหยือก แต่ในกรณีถนนสาย 6 ช่องจราจรอาจไม่จำเป็นต้องพิจารณาความกว้างของเกาะกลางประกอบด้วย โดย U.S. Department of transportation: USDOT [6] ได้กำหนดความกว้างขั้นต่ำของเกาะกลางถนนสำหรับการกลับรถบนถนนสายหลักไว้ใน ตารางที่ 4 และ Florida Department of Transportation [7] ได้กำหนดความกว้างขั้นต่ำ(ฟุต) ของเกาะกลางกลับรถ 4 ช่องจราจร ไว้ในตาราง ที่ 5

ตารางที่ 4 ความกว้างขั้นต่ำของเกาะกลางถนนสำหรับการกลับรถบนถนนสายหลัก

Type of Maneuver	P	SU	BUS	WB-50	WB-60
	Length of Design Vehicle , m (ft.)				
	5.8 (19)	9.1 (30)	12.2 (40)	16.8 (55)	21.3 (70)
Left Lane to Inner Lane	13.4 (44)	23.2 (76)	24.4 (80)	25 (82)	25 (82)
Left Lane to 2nd Lane	9.8 (32)	19.5 (64)	20.7 (68)	21.3 (70)	21.3 (70)
Left Lane to 3rd Lane	6.7 (22)	16.5 (54)	17.7 (58)	18.3 (60)	18.3 (60)
Where P = passenger car SU = Single – unit truck WB-50 = Semitruck medium size WB-60 = Semitruck large size					

ตารางที่ 5 ความกว้างขั้นต่ำ(ฟุต) ของเกาะกลางกลับรถ **4** ช่องจราจร

	Measures in feet	Passenger P	Single Unit SU	Semi trailer WB-50
	Turn Lane to Inner Lane	42	75	83
	Turn Lane to Outer Lane	30	63	71
	Turn Lane to Shoulder	20	53	61

สำหรับมาตรฐานการออกแบบจุดกลับรถในประเทศไทย จากการสัมภาษณ์เก็บข้อมูลจากสำนักงานออกแบบพบว่า สำนักงานไม่มีมาตรฐานออกแบบจุดกลับรถของหน่วยงานเอง แต่จะออกแบบโดยอ้ ว

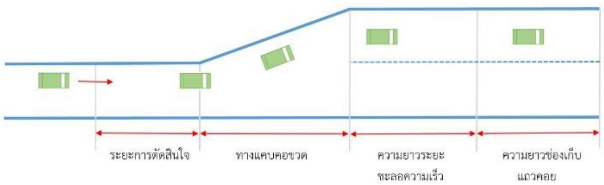
การประเมินสภาพการจราจรของทางแยกด้วย ระดับการให้บริการ (Level-of-Service) โดยใช้ค่าความล่าช้า (Control delay) เป็นเกณฑ์ในการแบ่ง สำหรับทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรที่จุดทางแยกสามารถหาระดับการให้บริการโดยใช้ค่าความล่าช้าเฉลี่ยทั้งหมดของทางแยกเป็นเกณฑ์ได้ดังนี้

ตารางที่ 7 ระดับการให้บริการของทางแยก

Level of Service	Average Control Delay (sec/veh)	General Description (Signalized Intersections)
A	≤ 10	รถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วอิสระ
B	> 10 - 20	รถยังสามารถเคลื่อนที่ได้คงที่ด้วยความเร็วอิสระ (เกิดความล่าช้าเล็กน้อย)
C	> 20 - 35	รถยังสามารถเคลื่อนที่ได้คงที่ด้วยความเร็วอิสระ (เกิดความล่าช้าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้)
D	> 35 - 55	ความเร็วในการสัญจรเริ่มลดลง (ความล่าช้าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้, อาจต้องรอสัญญาณไฟมากกว่า 1รอบ)
E	> 55 - 80	ความเร็วในการสัญจรไม่คงที่ กระแสการจราจรเริ่มติดขัด (ความล่าช้าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้)
F	> 80	สภาพการจราจรติดขัด (เกิดแถวคอย)

2.7 ความยาวแถวคอย (Queue Length)

ความยาวแถวคอย หมายถึง ความยาวที่เกิดจากจำนวนยานพาหนะเข้ามาใช้บริการ กำลังคอยเพื่อใช้บริการในช่องจราจร โดยทั่วไปมีหน่วยเป็นจำนวนคัน หรือ เมตร ซึ่งความยาวแถวคอยเป็นดัชนีที่สำคัญที่บอกถึงสภาพของติดขัดของกระแสจราจรที่เกิดขึ้น แสดงถึงสภาพความติดขัดในสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น บริเวณจุดกลับรถบนทางแยกที่มีและไม่มีสัญญาณไฟจราจร บนทางขึ้นและทางลงทางด่วน



รูปที่ 5 องค์ประกอบของทางแคบ [11]

ตารางที่ **8** องค์ประกอบของช่องทางเลี้ยวขวา **[11]**

ความเร็ว (กม./ช.ม.)	ความยาวช่องทางเลี้ยวขวา		
	ระยะชะลอความเร็วรถ (ม.)	ระยะทางแคบ (ม.)	ความยาวช่องเก็บแถวคอย
48	52	30	LT = 0.00315*TV + 00332*OV + 0.345*RTV – 0.149*Sp + 0.224*HVT + 0.629*HVR – 0.080*Gr
56	52	30	
64	84	40	
72	104	40	
80	125	40	
88	148	40	
96	148	40	
104	148	40	
112	148	40	

หมายเหตุ

Storage Length (LT)
= ความยาวช่องเก็บแถวคอย (เมตร)

Through Volume (TV)
= ปริมาณจราจรทิศทางตรง (คัน/ชั่วโมง)

Opposing Volume (OV)
= ปริมาณจราจรรถสวนทาง (คัน/ชั่วโมง)

Right Turn Volume (RTV)
= ปริมาณจราจรที่กลับรถ (คัน/ชั่วโมง)

Heavy Vehicle Through Percent (HVT)
= ร้อยละของปริมาณรถบรรทุกทิศทางตรงสูงสุด

Heavy Vehicle Right Turn Percent (HVR)
= ร้อยละของปริมาณรถบรรทุกทิศกลับรถสูงสุด

Speed (Sp)
= ความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

Grade (Gr)
= ความลาดชันของพื้นผิวถนน (ร้อยละ)

2.8 ความล่าช้า (Delay)

ความล่าช้า หมายถึง ระยะเวลาที่สูญเสียขณะเดินทาง เนื่องจากการติดขัดของจราจรหรือจากการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการจราจร มีหน่วยเป็นนาที หรือวินาทีต่อคัน (Transportation Research Board, 2010) ความล่าช้าเป็นดัชนีที่สำคัญที่บอกถึงสภาพติดขัดของการจราจรและเวลาที่สูญเสียไปในการเดินทาง ความล่าช้ามีหลายลักษณะ ได้แก่

2.8.1 ความล่าช้าคงที่ (Fixed Delay)

เกิดขึ้นกับรถไม่ว่าในขณะนั้นบนถนนจะมีปริมาณการจราจรมากน้อยเพียงใด หรือมีสิ่งอื่นใดมาขัดขวางหรือจอดแทรก

2.8.2 ความล่าช้าของการดำเนินการ (Operational Delay)

เกิดขึ้นจากการมีสิ่งกีดขวางในการจราจร เช่น การรอช่องว่างในกระแสจราจร การหยุดรถเพื่อรอเลี้ยว

2.8.3 ความล่าช้าหยุดนิ่ง (Speed Time Delay)

เป็นช่วงของระยะเวลาที่รถไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งอาจเกิดจากการติดขัดหรืออุบัติเหตุต่าง ๆ

2.8.4 ความล่าช้าจากการเดินทาง (Travel Time Delay)

เกิดขึ้นจากผลต่างระหว่างเวลาจริงที่ใช้เพื่อเดินทางกับความเร็วเฉลี่ยภายใต้การจราจรไม่แออัด รวมที่เกิดจากการเร่งความเร็ว และการลดความเร็ว โดยไม่รวมถึงการหยุดรถ

2.9 เวลาในการเดินทาง (Travel Time)

เวลาในการเดินทาง หมายถึง เวลาที่ยานพาหนะใช้ในการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งบนเส้นทางที่กำหนด ซึ่งรวมถึงความล่าช้าที่เกิดจากการหยุดรถ โดยส่วนใหญ่แล้วเวลาในการเดินทางและค่าความล่าช้า เป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพในการจัดการจราจร โดยการเปรียบเทียบการจัดการจราจรของระบบก่อนและหลังการปรับปรุง จำนวนครั้งในการเก็บข้อมูลเวลาในการเดินทาง สามารถคำนวณได้ดังสมการดังนี้

$$N = \frac{t(\alpha, n-1) * SD}{d} \quad (1)$$

โดยที่ N หมายถึง ขนาดตัวอย่าง

$t\alpha, N\text{-}1$ หมายถึง T Distribution at Significant Level α

SD หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

D หมายถึง ค่าคลาดเคลื่อนของความเร็วที่ยอมรับได้

2.10 แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค

แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค หมายถึง การจำลองพฤติกรรมการเคลื่อนที่ในลักษณะแบบพลวัต (Dynamic) ของยานพาหนะแต่ละประเภท แบบรายคันในโครงข่ายถนนแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค เป็นเครื่องมือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยจำลองสภาพการจราจรของรูปแบบการเดินทางประเภทต่าง ๆ ในสถานการณ์ต่าง ๆ และช่วยประเมินประสิทธิภาพการจราจรในเชิงเวลาและพื้นที่ ในสถานการณ์นั้น ๆ โปรแกรม PTV VISSIM เป็นแบบจำลองสภาพการจราจรที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท PTV ประเทศเยอรมัน ถือเป็นแบบจำลองที่กำลังได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยจุดเด่นของแบบจำลองนี้ คือความสามารถในการจำลองสภาพการจราจรในเขตเมืองที่มีรูปแบบการเดินทางหลายรูปแบบ ได้แก่รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ รถโดยสาร รถไฟ และคนเดินเท้า รวมทั้งความยืดหยุ่นในการปรับแก้ค่าตัวแปรพื้นฐานให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการเดินทาง และความสามารถในการแสดงผลของแบบจำลองเป็นภาพเคลื่อนไหวสามมิติ โปรแกรม PTV VISSIM เป็นแบบจำลองในระดับจุลภาคที่อาศัยพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่เป็นฐานในการจำลอง (Behavior Based) โดยทำการคำนวณพฤติกรรมและสถานะขององค์ประกอบต่าง ๆ ในแบบจำลองทุก ๆ ช่วงเวลา (Time Step) ในระดับวินาทีภายใต้เงื่อนไขสภาพการจราจร เช่น จำนวนช่องจราจร พฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่ สัดส่วนของยานพาหนะแต่ละประเภทในกระแสจราจร รอบสัญญาณไฟจราจร และรูปแบบการควบคุมจราจร เป็นต้น ดังนั้นโปรแกรม PTV VISSIM จึงถือเป็นเครื่องมือที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานด้านการจราจรของโครงการด้านการขนส่งและจราจรในเขตเมือง โดยโปรแกรม PTV VISSIM ประกอบด้วยโปรแกรมย่อยซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกัน 2 โปรแกรม (PTV, 2015) ได้แก่

- โปรแกรมสร้างการจำลองสภาพจราจร (Traffic Simulator) ซึ่งเป็นแบบจำลองสภาพการไหลของกระแสจราจรในระดับจุลภาคที่ประกอบด้วยตรรกะของการขับขี่ตามกัน (Car Following)และตรรกะของการเปลี่ยนช่องจราจร (Lane Change)

- โปรแกรมสร้างสภาวะสัญญาณไฟจราจร (Signal State Generator) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยโปรแกรมสร้างสภาวะสัญญาณไฟจราจรจะตรวจจับข้อมูลจากโปรแกรมสร้างการจำลองการจราจรแบบต่อเนื่องเป็นช่วง (Discrete) ในทุก ๆ วินาที (Time Step) จากนั้นจึงทำการกำหนดสภาวะของสัญญาณไฟจราจรของวินาทีถัดไป แล้วส่งกลับข้อมูลดังกล่าวนี้ไปยังโปรแกรมสร้างการจำลองสภาพการจราจร เพื่อใช้ในการสร้างภาพเคลื่อนไหวแบบต่อเนื่องของสภาพการจราจร และประเมินผลการจำลอง เช่น ความยาวแถวคอย ภายในช่วงเวลาที่กำหนด

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

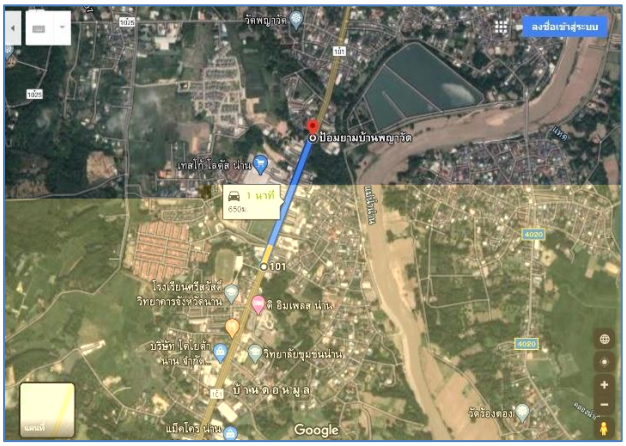
กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การกำหนดขอบเขตและระบุปัญหา

ทำการเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ ณ จุดกลับรถ ทางหลวงหมายเลข 101 กม. 364.356 (ไทยประกันชีวิต) ถึง กม. 364.963 (ป้อมพญาวัด) ระยะทาง 0.607 กิโลเมตร



รูปที่ 7 แสดงพื้นที่การศึกษา



รูปที่ 8 ทางหลวงหมายเลข 101 กม. 364.356 (ไทยประกันชีวิต)



รูปที่ 9 ทางหลวงหมายเลข 101 กม.364.963 (ป้อมพญาวัด)

โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลดังต่อไปนี้

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นที่ที่ทำการศึกษา

สามารถเก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษาได้ 4 หัวข้อดังนี้

3.2.1 การสำรวจข้อมูลทางกายภาพของถนน

การสำรวจข้อมูลทางกายภาพของถนนในโครงข่ายถนนจะใช้ข้อมูลภาพถ่ายถนนจากเทคโนโลยี Google Street View โดย Google Map ซึ่งสามารถแสดงภาพของถนนใน ที่ให้มุมมองภาพแบบพาโนรามาจากตำแหน่งต่าง ๆ ตามถนน เพื่อใช้สำหรับการประเมินข้อมูลทางกายภาพของถนนเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลช่องรอกลับรถในสายทางที่ทำการสำรวจสายทาง เช่น รหัสสายทาง ชื่อสายทาง รูปภาพอ้างอิง ช่วงที่ทำการตรวจสอบ ระยะทาง ความกว้างถนน ละติจูด ลองจิจูด ช่องรอกลับรถ ระยะรอกลับรถ การขยายไหล่ ป้ายเตือน ไฟกระพริบ ตลอดจนสัญญาณไฟจราจร

3.2.2 ชนิดของยาพาหนะบริเวณจุดกลับรถ

ทำการสำรวจชนิดของรถที่วิ่งในสายทางที่ทำการศึกษา มีดังนี้

- รถยนต์ส่วนบุคคล (Cars)
- รถบบรรทุก (HGV.)
- รถลากจูง (Semi – truck)
- รถโยสาร (Bus)
- รถจักรยานยนต์ (Motorcycle)

3.2.3 ปริมาณจราจรทางตรงและบริเวณจุดกลับรถ

ทำการเลือกกลุ่มปริมาณที่จะใช้ในการทดสอบข้อมูล โดยเริ่มปริมาณรถ ตั้งแต่ 1000 คัน , 1500 คัน , 2000 คัน และ 2500 คันต่อชั่วโมง กำหนดสัดส่วนของยานพาหนะจากการสำรวจ ดังตารางที่ 9

ตารางที่ **9** สัดส่วนยาพาหนะที่ใช้ในการออกแบบ

ชนิดของยาพาหนะ (Vehicle)	Volume (%)
รถยนต์ส่วนบุคคล (Cars)	55
รถบบรรทุกหนัก (HGV.)	5
รถลากจูง (Semi-truck)	2
รถโดยสาร (Bus)	3
รถมอเตอร์ไซค์ (Motorcycle)	35

โดย รถวิ่งทางตรง (Thru) = 70 %

รถกลับรถ (U-turn) = 30%

3.2.4 ความเร็วของยานพาหนะ

กำหนดความเร็วของยานพาหนะตามกฎหมายทางหลวงกำหนดในที่ชุมชน ดังตารางที่ 10

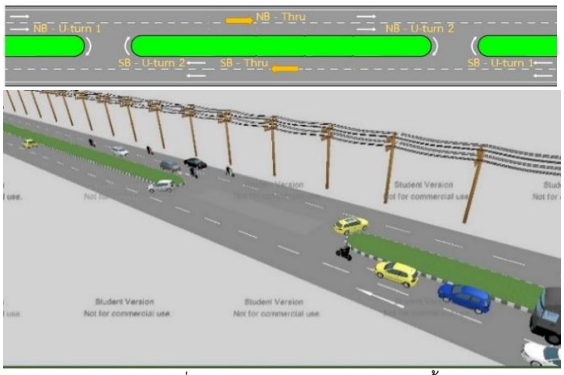
ตารางที่ **10** ความเร็วในที่ชุมชน ตามกฎหมายทางหลวงกำหนด

ชนิดของยาพาหนะ (Vehicle)	ความเร็ว (กม./ชั่วโมง)
รถยนต์ส่วนบุคคล (Cars)	60
รถบรรทุกหนัก (HGV.)	40
รถลากจูง (Semi-truck)	40
รถโดยสาร (Bus)	40
รถมอเตอร์ไซค์ (Motorcycle)	60

3.3 การสร้างแบบจำลองการการจราจรระดับจุลภาค PTV VISSIM

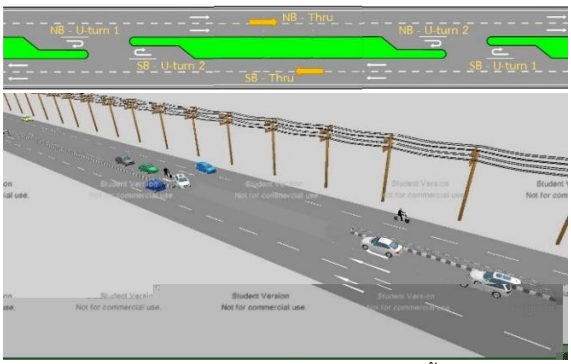
สร้างแบบจำลองจุดกลับรถเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพข้อมูลว่าสามารถรองรับและตอบสนองการใช้งานได้ระดับใด โดยเริ่มจากจุดกลับรถแบบเดิมที่ยังไม่มีการแก้ไขปัญหาจราจร (จุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยว) ตลอดจนแก้ไขปัญหาจุดกลับรถที่ปรับปรุงตามสภาพในรูปแบบต่าง ๆ (จุดกลับรถแบบมีช่องรอเลี้ยวและจุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะรอเลี้ยว) จนถึงปัจจุบันที่มีการแก้ไขปัญหาจราจรแล้วเสร็จ (จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะรอเลี้ยวและมีสัญญาณไฟจราจร) ทั้ง 4 รูปแบบดังนี้

3.3.1 จุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยว (U-turn , No U-turn lane)



รูปที่ **10** จุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยว

3.3.2 จุดกลับรถแบบมีช่องรอเลี้ยว (U-turn , with U-turn lane)



รูปที่ **11** จุดกลับรถแบบมีช่องรอเลี้ยว

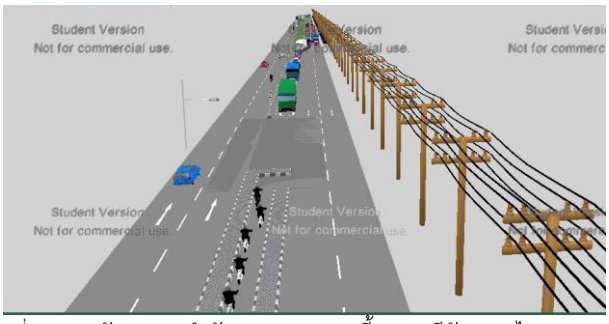
3.3.3 จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะรอเลี้ยว (Restricted U-turn Vehicle ; Cars/Bike)



รูปที่ **12** จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะรอเลี้ยว

3.3.4 จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะรอเลี้ยวและมีสัญญาณไฟจราจร (Signal Control ; Cars / MC.)





รูปที่ **13** จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะรอเลี้ยวและมีสัญญาณไฟจราจร

3.4 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

กำหนดค่าที่จะใส่เข้าไปในโปรแกรม VISSIM

- ค่า Input
- Input Speed : ตาม มทล.
- %Vehicle Type
- Reduced Speed zone
- Volume : 1000 , 1500 , 2000 และ 2500
- %Thru & %U-turn : Thru 70% ,U-turn 15% ทั้งสองทิศทาง
- Cap acceptance : Gap Base , -20% , -10% , +10% , +20%

การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม PTV VISSIM ประกอบด้วย 16 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

(1) กำหนดให้แบบจำลองเป็นแบบจำลองที่ยึดกฎการเดินรถทางซ้าย
(2) สร้างองค์ประกอบของทางแยกในแบบจำลองตามสภาพจริงของทางแยกก่อนปรับปรุง โดยกำหนดความกว้างของถนน จำนวนช่องทางการเดินรถ
(3) กำหนด Reduce Speed Area ในบริเวณที่ยานพาหนะมีการเลี้ยว และ ในขณะที่สัญจรผ่านบริเวณทางร่วมทางแยก
(4) กำหนดทิศทางการจราจรของยานพาหนะ
(5) กำหนดจุด Stop sign สำหรับทางรอง
(6) กำหนดรูปแบบของรถที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ รถยนต์ รถจักรยานยนต์ เป็นต้น
(7) กำหนดสัดส่วนจำนวนรถยนต์ และรถจักรยานยนต์
(8) กำหนดปริมาณรถที่จะเข้าสู่ทางร่วมทางแยก
(9) กำหนดสัดส่วนจำนวนรถเลี้ยวในแต่ละทิศทาง
(10) กำหนด Priority Rules และ Conflict Area บริเวณจุดตัดของยานพาหนะ
(11) กำหนดค่าตัวแปรด้านพฤติกรรมการขับขี่ของยานพาหนะ
(12) กำหนดตัวแปรการจำลองสภาพการจราจรเพื่อบันทึกผลแบบจำลอง
(13) เลือกใช้เครื่องมือในการประเมินผลจากแบบจำลอง

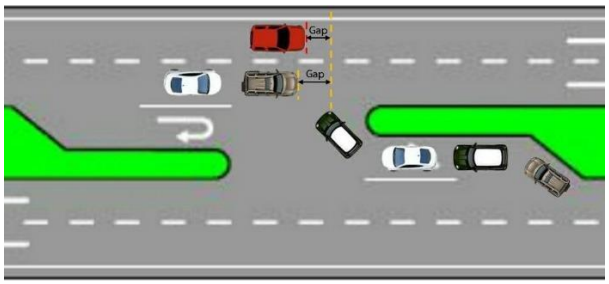
(14) ตรวจสอบความถูกต้องของการกำหนดค่า

(15) ทำการจำลองแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อหาค่า Average Queue, Max Queue, Delays, Vehicle Travel Times , Level-of-Service

เมื่อสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม PTV VISSIM ประกอบด้วย 16 ขั้นตอนหลักแล้วเสร็จ ต้องทำการ ทดสอบโดยการนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามมาประมวลผล โดยใช้ปัจจัยที่แตกต่างกันออกไปเป็นการตรวจสอบ (RECHECK) ให้แน่ใจในการเลือกรูปแบบที่จะใช้ในการแก้ไขปัญหาในจุดนั้น ๆได้ถูกต้องและตอบสนองการใช้งานจริง

3.5 การประเมินหาช่องว่างที่ยอมรับได้

ขนาดของช่องว่างในสายทางหลักวิเคราะห์ดังรูปที่ 14

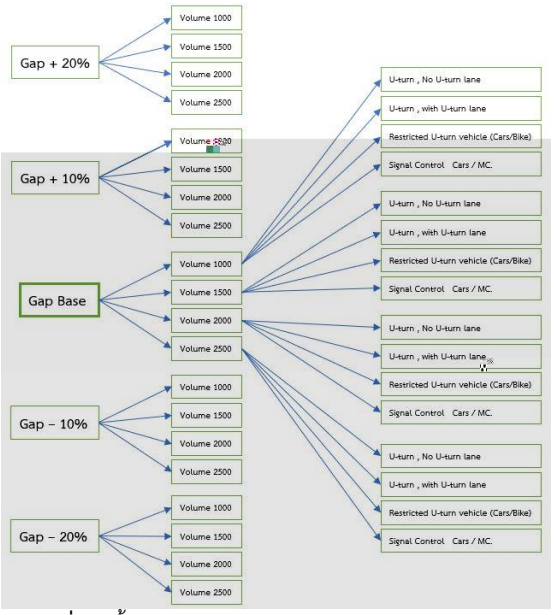


รูปที่ 14 ระยะอ้างอิง Gap Acceptance

โดยวัดจากจุดอ้างอิงของรถที่วิ่งจากทางตรงถึงจุดอ้างอิงของรถที่ต้องการกลับรถมีหน่วยเป็น วินาที โดยจะเริ่มการกำหนดจากระยะ Gap Acceptance Base ที่ได้จากการสำรวจหน้างานจริง ดังตารางที่ 11 และทำการประมวลผลตามขั้นตอนดังรูปที่ 15 แล้วทำการทดสอบจนครบทุกขั้นตอนเพื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถที่แตกต่าง

ตารางที่ 11 ค่า **Gap Acceptance** ที่ใช้ในการคำนวณ**Gap Acceptance Base**

Base	MC	Cars	HGV.
MC	1.5	2.5	4.5
Cars	2	3	5
HGV.	4.5	5	6



รูปที่ 15 ขั้นตอนในการการประมวลผลค่า Gap Base

4. วิเคราะห์ผลการศึกษา/การประเมิน

ผลการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของทางหลวงสายหลักที่ทำการศึกษา โดยแสดงผลเป็นค่าต่าง ๆ (Average Queue, Max Queue, Delays, Vehicle Travel Time , Level-of-Service) เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบที่เหมาะสมของจุดกรณีศึกษาตลอดจนค่าต่าง ๆถึงระดับความปลอดภัยและความสามารถของจุดกลับรถที่จำลองขึ้น ผู้วิจัยจะนำผลการวิจัยมาพิจารณาเพื่อเสนอแนวทางในการออกแบบ และแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความปลอดภัยในบริเวณจุดกลับรถ วางแผนและจัดลำดับความสำคัญการพัฒนาที่เหมาะสมเหมาะกับลักษณะทางกายภาพและปริมาณการจราจรในปัจจุบัน โดยมาตรการที่เสนอ จะตั้งอยู่บนหลักฐานที่เชื่อถือได้หากดำเนินการแล้วเกิดความคุ้มค่าและสามารถช่วยป้องกันชีวิต ทรัพย์สินและการบาดเจ็บสาหัสของผู้เดินทางในทางหลวงแผ่นดิน

จากการประมวลผลครบทุกขั้นตอนจะได้กลุ่มข้อมูลที่ได้จาก ค่า Gap Base และ Volume 1500 คัน ต่อชั่วโมง ต่อช่องจราจร ดังนี้

ตารางที่ **12** ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรม ที่ Gap Base และ Volume 1500 คัน / ชั่วโมง / ช่องจราจร

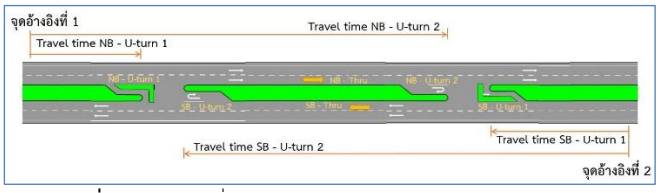
	ประเภทจุดกลับรถ	สายทาง	เวลาในการเดินทาง (วินาที)	ความล้าช้า (วินาที)	ความยาวแถวคอยเฉลี่ย (ม.)	ความยาวแถวคอยสูงสุด (ม.)	จำนวนพาหนะที่วิ่งได้เฉลี่ย (คัน/ชั่วโมง)
ปริมาณ 1500	จุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยว	ขาออก(NB) ทางตรง	45.84	3.67			3.67
		ขาออก(NB) จุดกลับรถที่1(Motorcycle +Cars)	19.57	11.14	1.77	36.06	11.47
		ขาออก(NB) จุดกลับรถที่2(Motorcycle +Cars)	46.54	12.09	0.05	5.01	12.09
		ขาเข้า(SB) ทางตรง	45.03	3.16			3.16

		ขาออก(SB) จุดกลับรถที่1(Motorcycle +Cars)	12.26	5.35	0.01	1.53	5.35
		ขาออก(SB) จุดกลับรถที่2(Motorcycle +Cars)	50.44	17.45	3.00	41.19	17.45
	จุดกลับรถแบบมีช่องรอเลี้ยว	ขาออก (NB) ทางตรง	62.70	0			0
		ขาออก(NB) จุดกลับรถที่1(Motorcycle +Cars)	17.99	2.3	2.45	22.25	2.3
		ขาออก(NB) จุดกลับรถที่2(Motorcycle +Cars)	57.18	4.23	2.92	20.17	4.23
		ขาเข้า(SB) ทางตรง	60.52	0			0
		ขาออก(SB) จุดกลับรถที่1(Motorcycle +Cars)	18.66	4.97	3.29	27.63	4.97
		ขาออก(SB) จุดกลับรถที่2(Motorcycle +Cars)	52.58	1.36	1.65	14.56	1.36
	จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะ	ขาออก (NB) ทางตรง	132.87	73.01			73.01
		ขาออก(NB) จุดกลับรถที่1(Motorcycle Only)	18.49	7.1	1.22	25.94	7.1
		ขาออก(NB)จุดกลับรถที่2 (Motorcycle +Cars)	232.29	182.59	290.61	504.64	182.59
		ขาเข้า(SB) ทางตรง	69.75	10.78			10.78
		ขาออก(SB) จุดกลับรถที่1(Motorcycle Only)	12	2.36	0.25	10.8	2.36
		ขาออกSB) จุดกลับรถที่2(Motorcycle +Cars)	212.90	167.86	214.31	510.19	167.86
	จุดกลับรถแบบมีสัญญาณไฟ	ขาออก(NB) ทางตรง	68.65	26.33			26.33
		ขาออก(NB) จุดกลับรถที่1(Motorcycle Only)	10.42	2.2	0.03	3.36	2.2
		ขาออก(NB) จุดกลับรถที่2(Motorcycle +Cars)	141.83	106.73	147.33	336.88	106.73
		ขาเข้า(SB) ทางตรง	72.44	30.27			30.27
		ขาออก(SB) จุดกลับรถที่1(Motorcycle Only)	47.21	40.42	4.85	23.36	40.42
		ขาออก(SB) จุดกลับรถที่2(Motorcycle +Cars)	126.21	93.47	100.56	336.88	93.47

หลังจากทำการประมวลผลทุกขั้นตอนจะได้ค่าความสามารถต่าง ๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

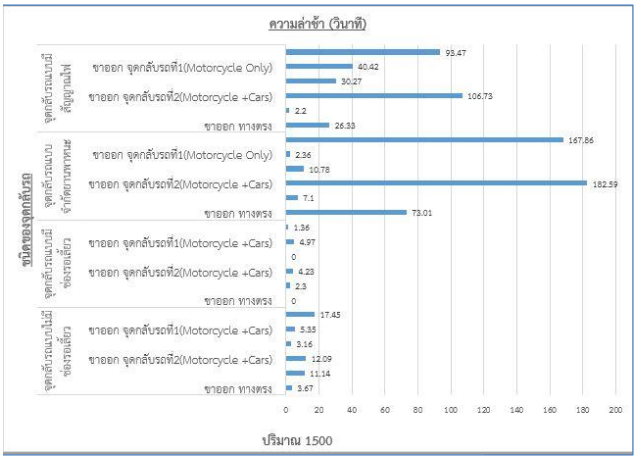
4.1 Delay (ค่าความล่าช้า)

ค่าความล่าช้าคือค่าที่แปรผันตามเวลาที่ใช้ในการเดินทาง (Travel Time) โดยวัดจากจุดอ้างอิงใด ๆไปยังจุดกลับรถที่ 1 และ 2 มีหน่วยเป็นวินาที ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ตำแหน่งที่ใช้อ้างอิงเวลาในการเดินทาง

จากข้อมูลตารางที่ 12 สามารถนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ Delay กับชนิดของจุดกลับรถที่ได้จาก Gap Base และ Volume 1500 ดังแสดงในรูปที่ 17



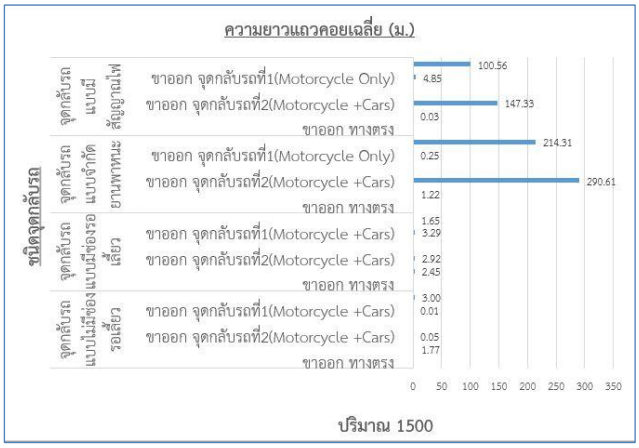
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความล่าช้า (Delay) กับชนิดของจุดกลับรถ (U-turn Type) ที่ได้จาก Gap Base และ Volume 1500

เวลาที่ใช้ในการเดินทางเมื่อเปรียบเทียบกับ ค่า Volume โดยวิเคราะห์เป็น U-turn Type จะเห็นว่าค่า Volume ที่ต่ำกว่า 1,500 คัน/วัน จะไม่ส่งผลกระทบให้การกับรถที่ต้องการกลับรถ แต่จะมีผลก็ต่อเมื่อ ปริมาณมากกว่า 1,500 คัน/วัน ที่จะส่งผลให้รถที่วิ่งทางตรงใช้เวลาในการเดินทางลดลง เมื่อเปรียบเทียบจากจุดกลับรถที่ไม่มีช่องรอเลี้ยว และมีช่องสำหรับกลับรถ ส่วนจุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะและแบบมีสัญญาณไฟจราจร ค่าการเดินทางจะแปรผันตามความจุในอัตราส่วนที่ลดลง คือ ที่ความจุ 1000

, 1500 , 2000 และ 2500 ค่าการเดินทางขาเข้า ในจุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะ (SB Thru) เท่ากับ 64.78 , 132.87 , 155.83 , 169.98 วินาที และค่าการเดินทางขาเข้า (SB Thru) จากจุดกลับรถแบบมีสัญญาณไฟ เท่ากับ 53.10 , 68.65 , 105.44 และ 115.37 วินาที ตามลำดับ (วิเคราะห์จาก GAP BASE)

4.2 *Average* Queue Counters (ค่าความยาวแถวคอยเฉลี่ย)

จากข้อมูลตารางที่ 12 สามารถนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวแถวคอย(Average Queue Counters) กับ ชนิดของจุดกลับรถ (U-turn Type) ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Queue Counters กับ ชนิดของจุดกลับรถ U-turn Type ที่ได้จาก Gap Base และ Volume 1500

ผลค่าความยาวแถวคอย

ความจุยานพาหนะต่ำกว่า 1,500 คัน/ชั่วโมง

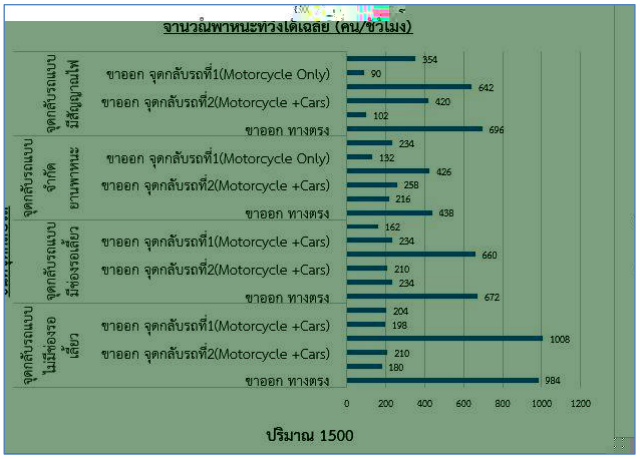
- จุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยวและจุดกลับรถแบบมีช่องรอเลี้ยว สามารถรองรับความยาวแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ 1.89 เมตร
- จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะ จุดกลับรถสำหรับรถจักรยานยนต์สามารถรองรับแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ 0.735 เมตร และจุดกลับรถสำหรับรถยนต์+รถจักรยานยนต์สามารถรองรับแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ 252.46 เมตร
- จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะมีสัญญาณไฟจราจร จุดกลับรถสำหรับรถจักรยานยนต์สามารถรองรับแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ 2.44 เมตร และจุดกลับรถสำหรับรถยนต์+รถจักรยานยนต์สามารถรองรับแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ 123.95 เมตร

และเมื่อเพิ่มปริมาณที่ 2,500 คัน/ชั่วโมง จะได้ผลดังนี้

- จุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยวและจุดกลับรถแบบมีช่องรอเลี้ยว สามารถรองรับความยาวแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ 42.92 เมตร
- จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะ จุดกลับรถสำหรับรถจักรยานยนต์สามารถรองรับแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ 0.48 เมตร และจุดกลับรถสำหรับรถยนต์+รถจักรยานยนต์สามารถรองรับแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ เมตร 301.82
- จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะมีสัญญาณไฟจราจร จุดกลับรถสำหรับรถจักรยานยนต์สามารถรองรับแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ 2.65 เมตร และจุดกลับรถสำหรับรถยนต์+รถจักรยานยนต์สามารถรองรับแถวคอยเฉลี่ยเท่ากับ 328.04 เมตร

4.3 Volume Thru กับ U-turn Type (จำนวณยานพาหนะที่วิ่งได้ กับ ชนิดของจุดกลับรถ)

จากข้อมูลตารางที่ 12 สามารถนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวณยานพาหนะที่วิ่งได้ (Volume Thru) กับ ชนิดของจุดกลับรถ U-turn Type ดังแสดงในรูปที่ 19



รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนพาหนะที่วิ่งได้ (Volume Thru) กับ ชนิดของจุดกลับรถ U-turn Type ที่ได้จาก Gap Base และ Volume 1500

ปริมาณรถที่วิ่งได้ทางตรง คัน/ชั่วโมง ใช้เกณฑ์กรมทางหลวงที่ระดับการให้บริการที่ระดับ C จะได้ค่า In put ที่ไม่เกิน 1,500 คัน/วัน ซึ่งสามารถแยกได้ดังต่อไปนี้

- จุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยวมีค่าเฉลี่ยรถวิ่งเท่ากับ 1,152 คัน/ชั่วโมง
- จุดกลับรถแบบมีช่องรอเลี้ยวมีค่าเฉลี่ยรถวิ่งเท่ากับ 1,031 คัน/ชั่วโมง
- จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะมีค่าเฉลี่ยรถวิ่งเท่ากับ 908 คัน/ชั่วโมง
- จุดกลับรถแบบมีสัญญาณไฟมีค่าเฉลี่ยรถวิ่งเท่ากับ 1,000 คัน/ชั่วโมง

ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงถือว่าข้อมูลที่ได้เป็นจริง

และ ประเมินจากความล่าช้าการเดินทาง (Delay) ที่ยานพาหนะแต่ละคันจะต้องติดขัดบริเวณทางแยก (วินาที) จะได้ค่า In put ที่ไม่เกิน 1,500 คัน/วัน ซึ่งสามารถแยกได้ดังต่อไปนี้

- จุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยวมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยรถวิ่งเท่ากับ 11.5 วินาที (LOS B)
- จุดกลับรถแบบมีช่องรอเลี้ยวมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยรถวิ่งเท่ากับ 3.22 วินาที (LOS A)
- จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยรถวิ่งเท่ากับ 90 วินาที (LOS F)
- จุดกลับรถแบบมีสัญญาณไฟมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยรถวิ่งเท่ากับ 60.7 วินาที (LOS E)

4.4 Gap Acceptance (ค่าช่องว่างที่ยอมรับ)

ข้อมูลตารางที่ได้จากการประมวลโปรแกรมทั้งหมดสามารถนำมาแยกเปรียบเทียบค่าความแต่งต่าง(ค่า + , -) ของ เปอร์เซ็นต์ของช่องว่างที่ยอมรับ Gap Acceptance แล้วเปรียบเทียบผลต่างของ 3 ค่าดังต่อไปนี้

4.4.1 เวลาที่ใช้ในการเดินทาง

ค่า Gap Acceptance ที่แตกต่างส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางแตกต่างกันออกไป อาทิเช่น ที่ปริมาณรถวิ่ง (Input) 1500 คัน/ชั่วโมง ค่าระยะ Gap Acceptance ที่ -20% , -10% , Gap Base , +10% , +20% จะใช้ระยะเวลาการเดินทาง จะได้ผลดังนี้

- ในจุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยวคือ ค่า Gap Acceptance ที่บวก มาก ๆ (+20 ขึ้น) จะส่งผลกระทบต่อจุดกลับรถในแนวโน้มที่ + - 17.13 วินาที
- ในจุดกลับรถที่มีช่องสำหรับรอเลี้ยว ค่า Gap Acceptance ที่แตกต่างไม่ค่อยส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการเดินทางตรงในขาเข้า (NB) และขาออก (SB) แต่จะส่งผลกระทบต่อจุดกลับรถในแนวโน้มที่ + - 30.47 วินาที
- ในจุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะ ค่า Gap Acceptance มีผลเป็นบวกต่อการเดินทางของจุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะและทางตรงในลักษณะที่ใกล้เคียงกันคือ + - 21.42 วินาที และ + - 3.095 วินาที ในจุดกลับรถ
- ในจุดกลับรถแบบมีสัญญาณไฟ ค่า Gap Acceptance ที่แตกต่างไม่ส่งผลกระทบต่อถนนที่มีจุดกลับรถแบบมีสัญญาณไฟจราจร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการเดินทางอยู่ที่ + - 1.40 วินาทีในทางตรง และ + - 1.91 วินาทีในจุดกลับรถ

4.4.2 ค่าความยาวแถวคอยสูงสุด

ค่า Gap ที่แตกต่างส่งผลให้ค่าความยาวแถวคอยสูงสุดแตกต่างกันออกไป อาทิเช่น ที่ปริมาณรถวิ่ง (Input) 1500 คัน/ชั่วโมง ค่าระยะ Gap Acceptance ที่ -20% , -10% , Gap Base , +10% , +20% จะได้ค่าดังต่อไปนี้

- ในจุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยวคือ ค่า Gap ที่บวก มาก ๆ (+20 ขึ้น) จะส่งผลกระทบความยาวแถวคอยที่จุดกลับรถที่เฉลี่ยขาเข้า (SB) เท่ากับ 33.08 เมตร , ขาออก (NB) เท่ากับ 39.73 เมตร
- ในจุดกลับรถที่มีช่องสำหรับรอเลี้ยว ค่า %Gap ที่แตกต่างส่งผลกระทบต่อค่าความยาวแถวคอยสูงสุด ขาเข้า (SB) เท่ากับ 70.20 เมตร และค่าความยาวแถวคอยสูงสุดขาออก (NB) เท่ากับ 56.67 เมตร
- ความยาวแถวคอยแบบจำกัดยานพาหนะไม่ส่งผลกระทบต่อยานพาหนะที่วิ่งทางตรง แต่ค่า % Gap ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อยานพาหนะที่จุดกลับรถ ขาเข้า (SB) เท่ากับ 317.89 เมตร และขาออก (NB) เท่ากับ 413.95 เมตร
- ค่า % Gap ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลที่แตกต่างต่อความยาวแถวคอยในจุดกลับรถแบบมีสัญญาณไฟจราจร และมีความยาวแถวคอยสูงสุดเฉลี่ย ขาเข้า (SB) เท่ากับ 11.08 เมตร และขาออก (NB) เท่ากับ 46.93 เมตร

4.4.3 จำนวนพาหนะที่วิ่งได้เฉลี่ย

ค่า Gap ที่แตกต่างส่งผลให้จำนวนพาหนะที่วิ่งได้เฉลี่ย แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น ที่ปริมาณรถวิ่ง (Input) 1500 คัน/ชั่วโมง ค่าระยะ Gap Acceptance ที่ -20% , -10% , Gap Base , +10% , +20% จะได้ค่าดังต่อไปนี้

- ในจุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยวคือ ค่า % Gap ที่แตกต่างไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณรถที่วิ่งได้ กล่าวคือทุกสายทาง (Link) วิ่งในปริมาณที่คงที่ คือ ทางตรง ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาเข้า (SB) เท่ากับ 980 คัน/ชั่วโมง , ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาออก (NB) เท่ากับ 1,008 คัน/ชั่วโมง และจุดกลับรถ ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาเข้า (SB) เท่ากับ 207 คัน/ชั่วโมง , ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาออก (NB) เท่ากับ 362 คัน/ชั่วโมง
- ในจุดกลับรถที่มีช่องสำหรับรอเลี้ยว ค่า % Gap ที่แตกต่างส่งผลกระทบต่อค่าปริมาณรถที่วิ่งได้เฉลี่ยที่ ทางตรง ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาเข้า (SB) เท่ากับ 884 คัน/ชั่วโมง , ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาออก (NB) เท่ากับ 902 คัน/ชั่วโมง และจุดกลับรถ ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาเข้า (SB) เท่ากับ 206 คัน/ชั่วโมง , ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาออก (NB) เท่ากับ 377 คัน/ชั่วโมง
- ค่า % Gap ที่เพิ่มขึ้น ในจุดกลับรถแบบจำกัดยาพาหนะส่งผลให้ปริมาณการจราจรลดลง ที่ ทางตรง ขาเข้าและขาออก เท่ากับ -150 คัน/ชั่วโมง และ จุดกลับรถ ขาเข้าและขาออก เท่ากับ - 41 คัน/ชั่วโมง
- ค่า % Gap ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลที่แตกต่างต่อปริมาณรถที่วิ่งได้ในจุดกลับรถแบบมีสัญญาณไฟจราจร และมีปริมาณรถวิ่งเฉลี่ย ทางตรง ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาเข้า (SB) เท่ากับ 690 คัน/ชั่วโมง , ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาออก (NB) เท่ากับ 659 คัน/ชั่วโมง และจุดกลับรถ ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาเข้า (SB) เท่ากับ 423 คัน/ชั่วโมง , ปริมาณรถที่วิ่งเฉลี่ย ขาออก (NB) เท่ากับ 359 คัน/ชั่วโมง

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการเปรียบเทียบรูปแบบจุดกลับรถต่าง ๆ และเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ ณ จุดกลับรถ ทางหลวงหมายเลข 101 กม. 364.356 (ไทยประกันชีวิต) ถึง กม. 364.963 (ป้อมพญาวัด) ระยะทาง 0.607 กิโลเมตร จากเดิมที่เป็นจุดกลับรถแบบไม่มีช่องรอเลี้ยว(แบบที่ 1) และจุดกลับรถแบบมีช่องรอเลี้ยว(แบบที่ 2) ได้ปรับปรุงเป็นจุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะ(สำหรับรถจักรยานยนต์)(แบบที่ 3) และจุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะและมีสัญญาณไฟจราจร(แบบที่ 4)ในปัจจุบัน ในเชิงปริมาณจุดกลับรูปแบบที่ 4 ในปัจจุบันที่ไม่มีเขตทางให้ขยายเพิ่มถนนเส้นดังกล่าวสามารถรองรับปริมาณรถได้เมื่อเทียบกับ ระดับการให้บริการ C (LOS C) สามารถรองรับปริมาณรถได้เท่ากับ 1,500 คันต่อชั่วโมงในจุดกลับรถทุกรูปแบบ และจุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะและมีสัญญาณไฟ (แบบที่ 4) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางของรถจักรยานยนต์มากขึ้น เพราะรถจักรยานยนต์ ซึ่งเป็นผู้ขับขี่ในกลุ่มเสี่ยงอันตราย (Vulnerable road users) ไม่ต้องเดินทางระยะไกลเพื่อกลับรถ โดยถูกบังคับแยกการกลับรถออกจากยานพาหนะอื่น ๆ ให้สามารถใช้จุดกลับรถแบบจำกัดยานพาหนะที่ออกแบบรองรับไว้ อีกทั้งเป็นการลดระยะเวลาการเดินทาง และลดความขัดแย้ง (Conflict) ระหว่างยานพาหนะ

เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศกลาง.สำนักงานตำรวจแห่งชาติ,2560

[2] World Health Statistics . World Health Organization , 2015

[3] อุบัติเหตุบนทางหลวง . สำนักอำนวยความปลอดภัย กระทรวงคมนาคม.กรมทางหลวง,2554-2561

[4] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).A Policy on the Geometric Design of Highways and Streets. Washington, DC: AASHTO, 2011

[5] Vergil G. Stover, Frank J. Koepke. Transportation and Land Development . *Institute of Transportation Engineers*. North-western University, 1998

[6] U.s.Department of Trannsportatiom (USDOT).2007.Fataty Analysis Reporting System (FARS) Encyclopedia.sponsored by the National Highway Safety Traffic Administration , U.S. Department of Transportation.

[7] Florida Department of Transportation (FDOT).(2006)Median handbook:Interim version.Tallahassee: Florida Department of Transportation

[8] DESIGN GUIDELINE ประเภทของเกาะกลางถนน (Road Medians) และการออกแบบรูปตัดงานขยายทางหลวง (Road Widening) . สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง , 2554

[9] A Policy on Geometric Design of Highway and Streets. American Association of State Highway and Transportation Officials,2011

[10] Highway Capacity Manual (HCM). TRANSPORTATION RESEARCH BOARD .National Research Council ,1965

[11] Turn lane length for various speed roads and Evaluation of Determining Criteria. Minnesota Department of Transportation , 2008