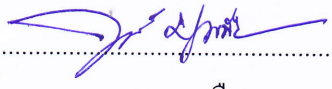
การศึกษาการจัดการทางแยกสัญญาณไฟจราจร ด้วยรูปแบบการลดจังหวะสัญญาณไฟในทิศทางเลี้ยวขวา กรณีศึกษาสี่แยกบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา

สมเดช โสภณดิเรกรัตน์

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการงานก่อสร้าง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มกราคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ สมเดช โสภณดิเรกรัตน์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการงานก่อสร้าง ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

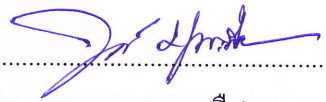
คณะกรรมการผู้ควบคุมงานนิพนธ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

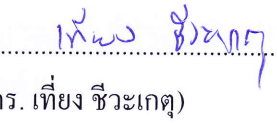
(ดร. นพคุณ บุญกระพือ)

คณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์



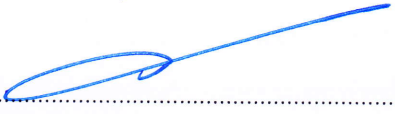
..... ประธาน

(ดร. นพคุณ บุญกระพือ)



..... กรรมการ

(ดร. เที่ยง ชีวะเกตุ)



..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อานนท์ วงษ์แก้ว)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการงานก่อสร้าง ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 15 เดือน มกราคม พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร. นพคุณ บุญกระพือ อาจารย์ที่ปรึกษางานนิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อานนท์ วงษ์แก้ว และดร.เที่ยง ชีวะเกตุ ที่กรุณาได้ให้ความรู้ ให้คำปรึกษาคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญเจ้าหน้าที่ทุกท่านของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่กรุณาช่วยเหลือในการอำนวยความสะดวกค้นหาข้อมูล การตรวจสอบรวมทั้งให้คำแนะนำแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและแหล่งอ้างอิงต่าง ๆ ตลอดจนผู้ร่วมงานกรมทางหลวง โดยเฉพาะ คุณบรวนันท์ ทรงชน ที่ให้ข้อมูลและประสานงานรวมถึง พี่และน้องร่วมมหาลัยวิทยาลัยที่ได้ให้ความสนับสนุน คำปรึกษา รวมถึงแนวทางวิจัยเป็นอย่างดี เปิดโอกาสให้แก่ผู้วิจัยได้ศึกษาทำให้งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ส่วนหนึ่งได้รับการสนับสนุนการวิจัยของมหาวิทยาลัยบูรพา จึงขอขอบพระคุณ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้า เพื่อน ๆ พี่ ๆ นิสิตสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการงานก่อสร้าง ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ส่งเสริม สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายคุณค่าและประโยชน์ที่ได้รับจากงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี คณาจารย์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชา และทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการศึกษาและประสบความสำเร็จครั้งนี้

สมเดช โสภณดิเรกรัตน์

53921345: สาขาวิชา: วิศวกรรมการจัดการงานก่อสร้างและงานโครงสร้างพื้นฐาน;วศ.ม.
คำสำคัญ: ปรับปรุงทางแยกสัญญาณไฟจราจร/ จังหวะสัญญาณไฟจราจร/ ระดับการให้บริการ

สมเดช โสภณดิเรกรัตน์: การศึกษาการจัดการทางแยกสัญญาณไฟจราจร ด้วยรูปแบบการลดจังหวะสัญญาณไฟในทิศทางเลี้ยวขวา กรณีศึกษาสี่แยกบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา (THE STUDY OF SIGNALISED INTERSECTION MANAMENT BY REDUCING THE RIGHT-TURN MOVEMENT PHASES:CASE STUDY AT BANG KHLA INTERSECTION, CHACHOENGSAO.) อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์: นพคุณ บุญกระกระพือ, ปร.ด. 116 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

งานนิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงรูปแบบของทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟจราจร เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ด้วยการห้ามรถเลี้ยวขวา ณ บริเวณทางแยก โดยให้รถที่ต้องการเลี้ยวขวาให้เลี้ยวซ้ายและทำการกลับรถบริเวณจุดกลับรถที่ได้มีการออกแบบทางเรขาคณิตใหม่อย่างเหมาะสม ผลจากการจัดการทางแยกรูปแบบนี้ ส่งผลให้เกิดการลดจังหวะสัญญาณไฟจราจรจาก 4 จังหวะ เหลือเพียง 2 จังหวะ และเป็นการจราจรในทิศทางตรงเพียงเท่านั้นที่วิ่งผ่านทางแยก

สำหรับทางแยกกรณีศึกษา ได้คัดเลือกทางแยกบนทางหลวงหมายเลข 344 ตัดกับทางหลวงหมายเลข 3121 ที่ กม.89+232 (แยกบางคล้า) โดยได้ทำการสำรวจกายภาพของทางแยก ปริมาณจราจรและระบบสัญญาณไฟจราจรของชั่วโมงเร่งด่วนในปัจจุบัน จากนั้นทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของทางแยกกรณีศึกษาที่เปลี่ยนไป ระหว่างสภาพปัจจุบันและภายหลังการปรับปรุง สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่โปรแกรม SIDRA Intersection ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางแยกสัญญาณไฟจราจรที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล โดยตัวแปรด้านการจราจรที่ถูกนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทางแยก ได้แก่ ค่าระดับความอิ่มตัวของทางแยก (Degree of saturation) เวลาความล่าช้า (Control delay) ความยาวแถวคอย (Queue length) และระดับการให้บริการ (Level of service) เป็นต้น ผลจากการศึกษาพบว่า หลังปรับปรุงทางแยกในรูปแบบใหม่สามารถลดค่าระดับความอิ่มตัวที่ลดลงจาก 4.446 เหลือ 0.814 ทำให้ความยาวแถวคอยลดลงจากเดิม 578 คัน เหลือ 30 คัน ส่วนระดับการให้บริการจากเดิมที่อยู่ระดับ F เปลี่ยนไปอยู่ที่ระดับ B เป็นเพราะค่าความล่าช้าเฉลี่ยจาก 1,571.3 วินาที ลดลงเหลือ 10.6 วินาที ทั้งนี้การปรับปรุงรูปแบบทางแยกในการศึกษาวิจัยนี้ สามารถทำได้บนทางแยกนอกเมืองอื่นทั่วไปที่มีเขตทาง 80 เมตรได้ และเป็นการปรับปรุงที่ใช้งบประมาณน้อยกว่าการสร้างสะพานลอย (Overpass) และก่อสร้างได้รวดเร็ว แต่ส่งผลช่วยความคล่องตัวบริเวณทางแยกได้อย่างมาก

53921345: MAJOR: ENGINEERING TECHNOLOGY; M. Eng. (ENGINEERING TECHNOLOGY)
KEYWORDS: IMPROVING SIGNALISED INTERSECTION/ PHASING/ LEVEL OF SERVICE

SOMDEJ SOPONDIRAKRAT: THE STUDY OF SIGNALISED INTERSECTION MANAMENT BY REDUCING THE RIGHT-TURN MOVEMENT PHASES: CASE STUDY AT BANG KHLA INTERSECTION, CHACHOENGSAO. ADVISORY COMMITTEE: NOPAKUN BUTHKATOA, PH.D. 116 P. 2018.

This independent study is aimed to improve operational performance of signalised intersections by restricted right-turn movement at the intersection. Right-turn traffics require to make left-turn and then make a turn at the proper geometric designed Median U-Turn. The proposed improvement is to change the number of signal phases from four to two phases and to make the movements at intersection remain only the through traffics.

The intersection of Highway No. 344 and Highway No. 3121 KM 89+232 (Bang Khla Intersection) was selected to be the case study. The existing intersection geometry and traffic data during the peak hours were collected. The comparison of performance measures between before and after both geometric and signalised enhancement is conducted using SIDRA intersection, one of the most widely-used software tool for signalised analysis. The major measurement parameters are Degree of Saturation, Control delay, Queue length and Level of Service (LOS). As the results of the study it was found that the overall operational at the intersection is improved dramatically by reducing the degree of saturation at the intersection from 4.446 to 0.814, shortening the queue length from 578 vehicles to 30 vehicles and also improving the Level of service from level F to B resulting from reducing average control delay from 1571.3 to 10.6 seconds.

The study has suggested that this intersection enhancement concept can be implemented in suburban or rural highway with 80 meters right of way (R.O.W.). In addition, the proposed concept can be applied to different configuration of intersections, which incurs less construction costs and construction durations, when compared to conventional practice such as underpasses and overpasses.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่ออังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
ขอบเขตของงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
แผนการดำเนินการ	5
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
การคำนวณสัญญาณไฟจราจรและเกณฑ์การพิจารณาติดตั้ง	6
คู่มือและมาตรฐานการพิจารณาติดตั้งสัญญาณไฟจราจร กรมทางหลวง	7
การบริหารจัดการทางแยก	9
ข้อพิจารณาการบริหารจัดการจราจรบริเวณทางแยกและออกแบบทางแยก	13
เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร การออกแบบทางแยก ทางแยกต่างระดับ และอุโมงค์ทางหลวง	19
การออกแบบทางแยกระดับเดียว	26
ประเภทของเกาะกลางถนนและการออกแบบรูปตัดงานขยายทางหลวง	48
3 วิธีดำเนินการศึกษา	57
ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	57
พื้นที่ศึกษา	61

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิเคราะห์และอธิบายผล	70
การออกแบบบริหารจัดการทางแยกเชิงกายภาพ	73
การบริหารควบคุมทางแยกด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร	78
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	102
สรุปผลการศึกษา	102
ข้อสรุปการกำหนดรูปตัด	105
ข้อเสนอแนะ	113
บรรณานุกรม	114
ประวัติย่อของผู้วิจัย	116

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	แผนการดำเนินการโดยสังเขป	5
2-1	ข้อกำหนดการ ใช้ภาพที่ 2-1	8
2-2	เกณฑ์ขั้นต่ำของปริมาณจราจรที่ต้องติดตั้งไฟสัญญาณจราจรที่บริเวณทางแยก	8
2-3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถกับจำนวนคนข้ามถนนที่ต้องติดตั้งไฟสัญญาณจราจร	9
2-4	ระยะเวลาระหว่างยวดยาน ณ อัตราการไหลอิ่มตัว และลำดับรถที่เริ่มคงที่ของทางแยกที่ทำการศึกษา	10
2-5	สรุปเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยานของทางแยกที่ทำการศึกษา	12
2-6	สรุปปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาความยาวรอบสัญญาณไฟ	13
2-7	ความสามารถในการออกแบบสัญญาณไฟจราจรของแต่ละวิธี	18
2-8	การเปรียบเทียบการพิจารณาเกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร	18
2-9	การแปลงปริมาณการจราจรให้มีหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (p.c.u.) ของกรมทางหลวง	25
2-10	หลักเกณฑ์การออกแบบทางแยก	29
2-11	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความจุและระดับบริการในทางแยกที่ระดับเดียวกัน	35
2-12	Minimum acceleration lengths for entrance terminals with flat grades of two percent or less	44
2-13	Minimum deceleration lengths for exit terminals with flat grades of two percent or less	45
2-14	แนะนำความกว้างผิวทางสำหรับทางเลี้ยว	46
2-15	ความกว้างของเกาะกลางแบบกดเป็นร่อง	50
2-16	สรุปราคาค่าก่อสร้างงานขยายทางหลวงต่อกิโลเมตรจำแนกตามประเภทของเกาะกลางถนน	55
2-17	การเปรียบเทียบถนนที่มีเกาะกลางแบบต่าง ๆ	56
4-1	ค่า Degree of saturation	92
4-2	ค่า LOS ที่ยอมรับได้ตามประเภทของถนนในเขตเมือง	92
4-3	ค่า LOS ที่ยอมรับได้ตามประเภทของถนนในพื้นที่นอกเขตเมือง	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-4 ค่า LOS ของทางแยก พิจารณาตามความล่าช้าบริเวณทางแยก 93

4-5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของทางแยกในรูปแบบต่างๆ วิเคราะห์จาก SIDRA 96

5-1 สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผล 103

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	รูปแบบทางแยกที่ลดทิศทางเลี้ยวขวา	2
1-2	ทางแยกบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา	3
2-1	ปริมาณจราจรในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน	7
2-2	พื้นที่ที่ทำการศึกษา ทางแยกสัญญาณไฟจราจรในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา	9
2-3	การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบธรรมดา	22
2-4	การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบปล่อยทีละด้านของทางแยก	22
2-5	การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบปล่อยทีละทิศทางการจราจร	23
2-6	การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบ Early cut-off	23
2-7	การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบ Late start	24
2-8	ร่างของทางเลือกรูปแบบทางแยกหลายลักษณะ	27
2-9	รูปแบบทั่วไปของทางแยกแบบ Plain at grad	32
2-10	ลักษณะของทางแยกแบบขยายออก	32
2-11	องค์ประกอบของทางแยกแบบแบ่งช่องทาง	33
2-12	ลักษณะของ Directional island	38
2-13	รายละเอียดของ Divisional island	39
2-14	Minimum turning path ของ Single unit (SU) Truck design vehicle	40
2-15	ช่องทางพิเศษที่จุดแยกและจุดรวม	42
2-16	ขนาดความกว้างของทางเลี้ยว	43
2-17	ภาพของเกาะแบบกดเป็นร่อง	49
2-18	แนวคิดการสัญจรของรถที่ส่งผลต่อการพิจารณาหาความกว้างเกาะกลางที่เหมาะสม	49
2-19	รูปตัดงานทางเกาะแบบกดเป็นร่องตามข้อแนะนำในแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง	51
2-20	ภาพเสมือนจริงของรูปตัดแบบ Depressed Median	51
2-21	รูปตัดที่ 3.1 ขึ้นคันทางใหม่ขนาด 2 ช่องจราจร ข้างใดข้างหนึ่งของคันทางเดิม	52
2-22	รูปตัดที่ 3.2 ขึ้นคันทางใหม่สองข้างทางของคันทางเดิม โดยคันทางเดิมอยู่แนวกลางของความกว้างเขตทาง	53
3-1	แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานศึกษา	59
3-2	แนวคิดการวิจัยโดยการลดเฟสจังหวะสัญญาณไฟจราจร ทิศทาง E-W	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-3	แนวคิดการศึกษาโดยการลดเฟสจังหวะสัญญาณไฟจราจร ทิศทาง N-S	60
3-4	ตำแหน่งที่ตั้งทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา	61
3-5	ภาพถ่ายทางอากาศ บริเวณทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา	62
3-6	ภาพมุมสูงบริเวณทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา (ทิศทาง จังหวัดฉะเชิงเทรา-อำเภอพนมสารคาม)	62
3-7	ภาพมุมสูงบริเวณทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา (ทิศทาง อำเภอพนมสารคาม-จังหวัดฉะเชิงเทรา)	63
3-8	ภาพระดับสายตาบริเวณทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา (ทิศทาง อำเภอบางคล้า-อำเภอแปลงยาว)	63
3-9	ภาพระดับสายตาบริเวณทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา (ทิศทาง อำเภอแปลงยาว-อำเภอบางคล้า)	64
3-10	รูปตัดทั่วไป บนทางหลวงหมายเลข 3121 สำหรับเขตทาง 30.00 เมตร	66
3-11	รูปตัดทางหลวงหมายเลข 3121 ช่วงปกติ ทางสายรอง	67
3-12	รูปตัดทางหลวงหมายเลข 3121 ช่วงใกล้ทางแยก	68
3-13	รูปตัดทั่วไป บนทางหลวงหมายเลข 304 บนทางสายหลัก เขตทาง 80.00 เมตร	69
4-1	การบริหารจัดการรูปแบบทางแยกที่ลดทิศทางเลี้ยวขวาทุกทิศทาง	70
4-2	การออกแบบจัดการบริเวณทางแยก (แบบใหม่)	71
4-3	ผังโครงการที่ได้มีการกำหนดรูปแบบทางแยกที่ควบคุมระบบไฟจราจร (แบบใหม่)	72
4-4	แปลนแบบทางแยก (แบบเก่า) ซ้ายมือ และแบบแปลนทางแยก (แบบใหม่) ขวามือ	72
4-5	ตำแหน่งเปรียบเทียบรูปตัดตำแหน่งคันทางเดิมและใหม่ จาก Center line เขตทาง	73
4-6	รายการประมาณราคางานปรับปรุงคันทางเดิม และกรณีขึ้นทางใหม่	74
4-7	ระยะห่างของรูปตัดตำแหน่งคันทางเดิมและใหม่ จาก Center line ของเขตทาง	75
4-8	การก่อสร้างเพิ่มช่องจราจรสำหรับใช้กลับรถ มีความสะดวกกว่าแบบเดิม	76
4-9	มิติการออกแบบทางแยกในมุมเกาะ	77
4-10	ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยกในแต่ละทิศทาง	78
4-11	รูปแบบทั่วไปของทางแยก	79
4-12	รอบของสัญญาณไฟจราจร ในปัจจุบัน (225 วินาที)	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-13 ค่า Degree of saturation ของรูปแบบที่ 1 81
4-14 ค่าความล่าช้า (Delay) ที่เกิดขึ้นรูปแบบที่ 1 สภาพปัจจุบัน 82
4-15 สรุปผลการวิเคราะห์ทางแยกรูปแบบที่ 1 สภาพปัจจุบัน) 83
4-16 รูปแบบของทางแยก และรอบสัญญาณไฟจราจร รูปแบบที่ 2 84
4-17 Degree of saturation ของรูปแบบที่ 2 85
4-18 ความล่าช้า (Delay) ที่เกิดขึ้นรูปแบบที่ 2 86
4-19 สรุปผลการวิเคราะห์ทางแยก รูปแบบที่ 2 (ปรับปรุงจังหวะและรอบสัญญาณไฟ) 87
4-20 รูปแบบของทางแยก และรอบสัญญาณไฟจราจร รูปแบบที่ 3 88
4-21 Degree of saturation ของรูปแบบที่ 3 89
4-22 ความล่าช้า (Delay) ที่เกิดขึ้น รูปแบบที่ 3 90
4-23 สรุปผลการวิเคราะห์ทางแยก รูปแบบที่ 3 91
4-24 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ รูปแบบที่ 1 กับรูปแบบที่ 2 94
4-25 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ รูปแบบที่ 2 กับรูปแบบที่ 3 95
4-26 เปรียบเทียบค่า Degree of saturation ทั้ง 3 กรณี 97
4-27 เปรียบเทียบค่า Control delay (Average) ของทางแยก ทั้ง 3 กรณี 98
4-28 เปรียบเทียบค่า Control delay worst movement ของทางแยก ทั้ง 3 กรณี 99
4-29 เปรียบเทียบค่า 95% Back of queue -vehicle ของทางแยก ทั้ง 3 กรณี 100
4-30 เปรียบเทียบค่า 95% Back of queue-distance ของทางแยก ทั้ง 3 กรณี 101
5-1 ระดับการให้บริการของทางแยกความล่าช้าเฉลี่ยทุกทิศทาง 102
5-2 การบริหารจัดการรูปแบบทางแยกที่ลดทิศทางเลี้ยวขวาทุกทิศทาง 104
5-3 รูปแบบแปลนของทางแยกและใช้ระบบสัญญาณไฟจราจร (แบบลดเฟส) 104
5-4 แปลนแบบทางแยก (แบบเก่า) ซ้ายมือ และแบบแปลนทางแยก (แบบใหม่) ขวามือ 105
5-5 ตำแหน่งเปรียบเทียบรูปตัดตำแหน่งคันทางเดิมและใหม่ จาก Center line เขตทาง 106
5-6 ระยะห่างของรูปตัดตำแหน่งคันทางเดิมและใหม่ จาก Center line ของเขตทาง 107
5-7 การก่อสร้างเพิ่มช่องจราจรสำหรับใช้กลับรถ มีความสะดวกกว่ารูปแบบเดิม 108
5-8 การออกแบบโดยมีเกาะมุมสามเหลี่ยม (Design with corner triangle island) 109
5-9 มิติการออกแบบทางแยกในมุมเกาะ 110

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5-10 แบบแปลนผลการออกแบบด้านเรขาคณิต และแบบขยายทางแยกพร้อมจุดกลับรถ 111

5-11 ผลสรุปรูปตัดแนะนำในการวางคันทางใหม่ ที่ระยะห่างของคันทางอยู่ที่ 38.00 เมตร . 112

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

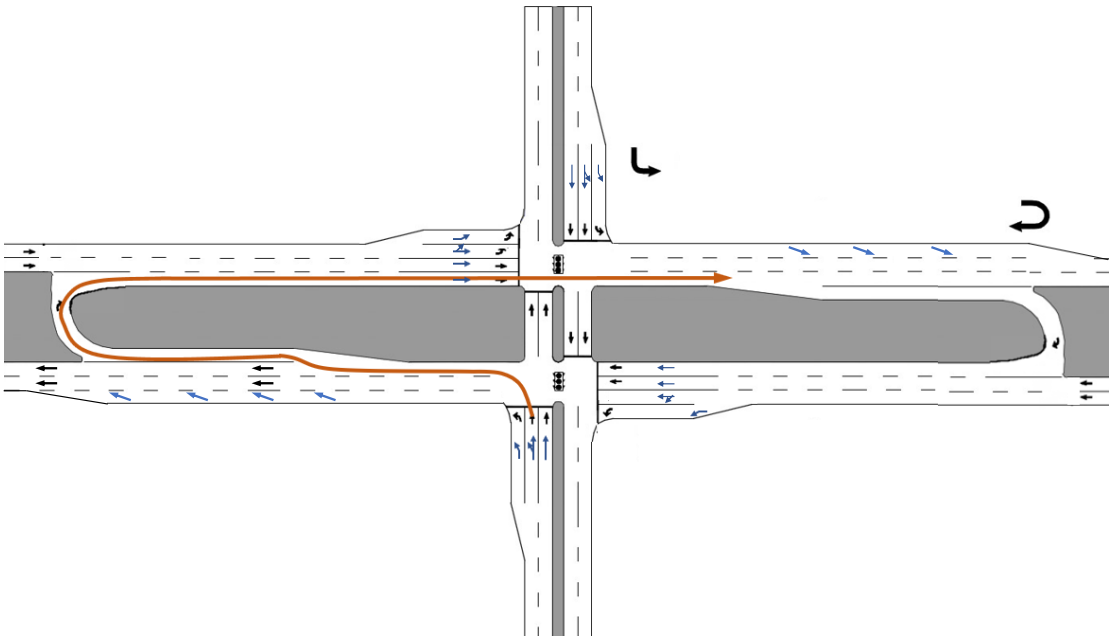
จากยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศ ในแง่ของโครงสร้างพื้นฐาน โดยเฉพาะระบบโครงข่ายถนน ซึ่งมีหน่วยงานรับผิดชอบอยู่หลายหน่วยงาน อาทิเช่น กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท เทศบาล องค์การส่วนบริหารท้องถิ่น เป็นต้น

สำหรับทางหลวงซึ่งมีคุณภาพตามมาตรฐานที่ทันสมัย ประกอบด้วย

1. ระบบทางหลวงที่ปลอดภัย (Safety) ต่อผู้ใช้บริการ ตามมาตรฐานสากล
2. ระบบทางหลวงที่เข้าถึง (Accessibility) ได้ง่ายและสะดวก
3. ระบบทางหลวงที่คล่องตัว (Mobility) อย่างสมดุลทั้งระบบ เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการเดินทางขนส่งซึ่งมีระยะเวลาการเดินทางที่เชื่อถือได้
4. ระบบทางหลวงที่มีระดับการให้บริการ (Serviceability) อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา เพื่อให้สามารถใช้งานระบบทางหลวงได้เต็มศักยภาพ
5. ระบบทางหลวงที่มีการใช้เทคโนโลยีดิจิตอล (Technology and Digital technology) เพื่ออำนวยความสะดวกในการให้บริการแก่ผู้ใช้ทาง
6. ระบบทางหลวงที่มีความสวยงาม สอดรับกับวัฒนธรรมในพื้นที่ เป็นมิตรกับสังคมและสิ่งแวดล้อม (Sustainability) เพื่อความพึงพอใจสูงสุดของผู้ใช้บริการ และประชาชน
7. ระบบทางหลวงที่เชื่อมโยง (Connectivity) กับการเชื่อมโยงกับการคมนาคมรูปแบบอื่น ๆ

จากองค์ประกอบที่ทำให้ทางหลวงมีคุณภาพตามที่กล่าวมาข้างต้น บริเวณทางแยก (Intersection) หรือจุดตัดกันของถนน เป็นอีกบริเวณของโครงข่ายถนนที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่ต้องอาศัยการบริหารจัดการที่เหมาะสม เพราะว่าเมื่อการบริหารจัดการทางแยกเป็นไปได้ไม่ดีแล้วผลที่ตามมาจะส่งผลให้ เกิดความล่าช้า (Delay) ความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ เช่น การเผาผลาญเชื้อเพลิง และก่อให้เกิดมลพิษที่มากขึ้น อีกทั้งเป็นการเพิ่มโอกาสการเกิดอุบัติเหตุมากขึ้นด้วย

ดังนั้นโครงการศึกษาฉบับนี้จะมุ่งประเด็นใน เรื่องการบริหารจัดการเพิ่มประสิทธิภาพบริเวณทางแยกเพื่อให้ลดความล่าช้าที่เกิดขึ้นและเพิ่มความปลอดภัย โดยอาศัยหลักการออกแบบทางแยกที่ยกเลิกการเลี้ยวขวาบริเวณทางแยก โดยรถที่ต้องการเลี้ยวขวา ให้เลี้ยวซ้ายเพื่อไปกลับรถดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 รูปแบบทางแยกที่ลดทิศทางเลี้ยวขวา

ผลจากการออกแบบทางแยกรูปแบบลดทิศทางเลี้ยวขวานี้ จะส่งผลให้ทางแยกสัญญาณไฟจราจร บริเวณทางแยก จากเดิมที่โดยทั่วไปจะต้อง 4 จังหวะ จะสามารถออกแบบให้ลดลงเหลือเพียง 2 จังหวะได้ การลดจังหวะสัญญาณลงเหลือเพียง 2 จังหวะนี้ จะส่งผลให้ความคล่องตัวบริเวณทางแยกมีมากขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าความล่าช้าโดยรวมของทางแยกจะลดลง อย่างไรก็ตาม จุดประสงค์หลักของโครงการศึกษานี้ จะทำการวิเคราะห์และประเมินเปรียบระหว่าง ทางแยกสัญญาณไฟจราจรแบบปกติทั่วไปกับการออกแบบและบริหารจัดการทางแยกรูปแบบลดทิศทางเลี้ยวขวา จะมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงไร ในมิติของความล่าช้าที่เกิดขึ้น เวลาในการเดินทางผ่านทางแยก โดยในการวิเคราะห์จะอาศัยแบบจำลองการเสมือนจริง (Traffic simulation) ในการช่วยวิเคราะห์เพื่อประเมินหาค่าตัวแปรด้านการจราจรต่าง ๆ

สำหรับการศึกษานี้ จะนำทางแยกที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นกรณีศึกษา 1 ทางแยก ด้วยการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของทางแยกกรณีศึกษาลักษณะกายภาพตามสภาพปัจจุบัน จากนั้นจะทำการออกแบบใหม่ ให้เป็นทางแยกที่ลดทิศทางเลี้ยวขวา อีกหนึ่งแบบจำลอง สำหรับการวิเคราะห์ผลจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณจราจรที่วิ่งเข้าทางแยก ปริมาณรถที่เลี้ยวขวา ที่ปริมาณต่าง ๆ ของแบบจำลองทั้งสอง เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างที่เกิดขึ้น สำหรับทางแยกกรณีศึกษาในงานนิพนธ์นี้ ใช้สี่แยกบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยลักษณะทางกายภาพของทางแยกดังภาพที่ 1-2

ภาพที่ 1-2 ทางแยกบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบทางแยกเชิงเรขาคณิต และบริหารจัดการทางแยก โดยห้ามทิศทางเลี้ยวขวา

2. เพื่อวิเคราะห์และประเมินเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของแยกกรณีศึกษา ตามรูปแบบของทางแยกที่มีอยู่ในปัจจุบัน และรูปแบบทางแยกที่มีการปรับปรุงใหม่ ที่มีการห้ามทิศทางเลี้ยวขวา

3. เพื่อกำหนดมาตราฐานออกแบบรูปตัดทางเรขาคณิตของคันทาง และการนำรูปแบบทางแยก (แบบใหม่) ไปใช้งานให้ได้จริง กับสภาพทางกายภาพของทางหลวงในประเทศ

ขอบเขตของการศึกษา

1. ทางแยกที่ใช้เป็นกรณีศึกษามีจำนวน 1 ทางแยก และเป็นสี่แยก โดยตั้งอยู่บริเวณทางแยกบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา อยู่บนทางหลวงหมายเลข 344 ตัดกับ ทางหลวงหมายเลข 3121 ที่ กม. 89 + 232

2. ปริมาณจราจรที่วิ่งเข้าทางแยก จะเป็นหน่วยที่เทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger car)

3. ปริมาณจราจรที่วิ่งเข้าทางแยก และปริมาณรถเลี้ยว จะมีการกำหนดให้เป็นสัดส่วนกัน คือ ปริมาณรถเลี้ยว จะเป็น 10, 20, 30, และ 40 เปอร์เซ็นต์ ของรถที่วิ่งเข้าทางแยก

4. การวิเคราะห์ผลประโยชน์ เนื่องจากการลดจำนวนอุบัติเหตุ หรือมูลค่าความเสียหายของอุบัติเหตุที่ลดลงนั้น ไม่อยู่ในขอบเขตของงานนิพนธ์นี้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อทราบ ระดับการให้บริการ ระหว่างรูปแบบทางแยก แบบเดิม กับแบบใหม่
2. ทราบถึงแนวทางการแก้ไข ปัญหาการจราจร ของรูปแบบทางแยกแบบใหม่ในพื้นที่ศึกษา
3. เพื่อเป็นข้อมูลการนำไปใช้ในการปรับปรุงแนวทางการออกแบบจัดการบริเวณทางแยกขนาดใหญ่ต่อไป

แผนการดำเนินการ

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินการโดยสังเขป

ลำดับ	กิจกรรม	เดือน				
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา					
2	การรวบรวมข้อมูลงานวิจัยต่าง ๆ					
3	ออกแบบกายภาพ รูปแบบทางแยก					
4	วิเคราะห์/ การควบคุมการจราจร/ ระดับการให้บริการ/ ปรับปรุงลักษณะทางกายภาพ					
5	สรุปผลการศึกษา/ ข้อเสนอแนะ					
6	จัดทำรูปเล่มงานนิพนธ์					

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้ศึกษาได้ทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้องานวิจัย จากตัวอย่างงานศึกษาและเอกสารข้อกำหนด ซึ่งประกอบด้วย งานศึกษาคำนวณรอบสัญญาณไฟจราจร ความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม เอกสารมาตรฐานงานสำรวจและออกแบบทางแยก การศึกษาเรื่องการบริหารรูปแบบจัดเฟสการจราจร การศึกษาด้านความล่าช้า การวิเคราะห์หาระดับการให้บริการ การศึกษาเรื่องจุดขัดแย้ง และการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของทางแยก เป็นต้น

การคำนวณสัญญาณไฟจราจรและเกณฑ์การพิจารณาติดตั้ง

Webster (1969) ได้กล่าวถึงวิธีในการคำนวณหาความล่าช้าในการเดินทางผ่านทางแยก โดยใช้โปรแกรมแบบจำลองทางจราจร โดยตั้งสมมติฐานว่าระดับความอิ่มตัวของทางแยกน้อยกว่า 1.0 และลักษณะการมาของจราจรเป็นแบบสุ่ม ซึ่งมีสูตรคำนวณความล่าช้าในการเดินทาง ดังนี้

$$d = \frac{k(1 - g/c)^2}{2\left[1 - (g/c)x\right]} + \frac{x^2}{2v\left(1 - v^2\right)} - 0.65\left(\frac{c}{v^2}\right)^{\frac{1}{3}} x^{2+5\left(g/c\right)}$$

โดยที่ d คือ ความล่าช้าในการเดินทางโดยเฉลี่ยของกลุ่มช่องจราจร

g คือ ระยะเวลาไฟเขียวที่ใช้ประโยชน์ได้ของกลุ่มช่องจราจร

x คือ ระดับความอิ่มตัวของกลุ่มช่องจราจร

c คือ ค่ารอบของเวลา

k คือ ค่าคงที่

สองเทอมแรก จะกล่าวถึงความล่าช้า เมื่อสภาพการของกระแสจราจรมาเป็นลักษณะแบบยูนิฟอร์ม (Uniform) เทอมที่สาม แสดงกระแสจราจร ความล่าช้าที่เกิดจากความไม่แน่นอนการมาของจราจรและแสดงอัตราไหลออกแบบคงที่สำหรับการคำนวณหาค่ารอบของเวลาที่เหมาะสมนั้น Webster ได้กำหนดสูตรไว้ดังนี้

$$Copt = \frac{1.5L + 5}{1 - X_c}$$

โดยที่ X_c คือ ระดับความอิ่มตัวของทางแยก

Copt คือ ค่ารอบของเวลาที่เหมาะสม

L คือ ค่าเวลาสูญเสีย

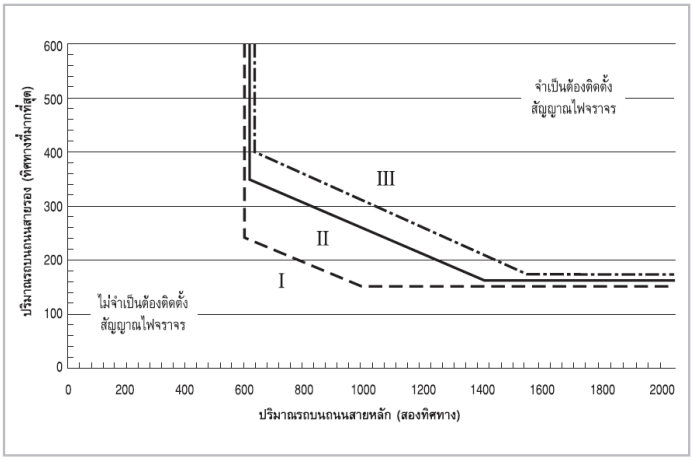
โดยแต่ละเฟส ค่ารอบของเฟสแต่ละเฟสจะคำนวณจากการแบ่งตามสัดส่วนของอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณจราจรและอัตราการไหลอิ่มตัวของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟ ซึ่งตามหลักการนี้ จะทำให้ระดับความอิ่มตัวของทุกกลุ่มจราจรวิกฤตมีค่าเท่ากันสูตรดังกล่าวของ Webster นี้ ใช้เป็นพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับวิธีการในการคำนวณอื่น ๆ ในการควบคุมการบริหารจัดการด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร

คู่มือและมาตรฐานการพิจารณาติดตั้งสัญญาณไฟจราจร กรมทางหลวง (กรมทางหลวง, กระทรวงคมนาคมคม)

การพิจารณาติดตั้งสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกต้องพิจารณาความเหมาะสม เพราะหากติดตั้งไฟสัญญาณจราจรในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมแล้ว อาจทำให้เกิดปัญหาจราจร และทำให้มีโอกาสเกิดการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจร รวมถึงเกิดความล่าช้าในการขับขี่ยานพาหนะและคนข้ามถนนบริเวณทางแยกที่ติดตั้งสัญญาณไฟจราจร เกณฑ์พิจารณาติดตั้งสัญญาณไฟจราจรควรขึ้นอยู่กับเกณฑ์การตัดสินใจและข้อพิจารณาของวิศวกรจราจรหรือผู้เชี่ยวชาญด้านการจราจร ดังนี้

1. ปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วน

1.1 กรณีติดขัดเนื่องจากปริมาณรถเข้าสู่ทางแยกมีมากทั้งสองทิศทาง



ภาพที่ 2-1 ปริมาณจราจรในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน

ตารางที่ 2-1 ข้อกำหนดการ ใช้ภาพที่ 2-1

จำนวนช่องจราจร		เส้นกราฟ
ทางสายหลัก	ทางสายรอง	
1	1	I
1	2 หรือมากกว่า	II
2 หรือมากกว่า	1	II
2 หรือมากกว่า	2 หรือมากกว่า	III

1.2 กรณีติดขัดเนื่องจากมีปริมาณรถในทางสายหลักที่เข้าสู่ทางแยกมากจนทำให้ทางสายรองติดขัดพิจารณาโดยใช้เกณฑ์ขั้นต่ำ ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 เกณฑ์ขั้นต่ำของปริมาณจราจรที่ต้องติดตั้งไฟสัญญาณจราจรที่บริเวณทางแยก

ข้อมูลปริมาณจราจร	ปริมาณจราจรบนทางสายหลัก (รวมทั้งสองทิศทาง)	ปริมาณจราจรบนทางสายรอง (ทิศทางที่ปริมาณจราจรสูงสุด)
ปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วน	900 หรือมากกว่า	100 หรือมากกว่า

2. จำนวนอุบัติเหตุ

พิจารณาจากการเกิดอุบัติเหตุ โดยจะติดตั้งไฟสัญญาณจราจรบริเวณทางแยกที่เกิดอุบัติเหตุทำให้มีผู้บาดเจ็บเสียชีวิต หรือมีทรัพย์สินเสียหายตั้งแต่ 20,000 บาท ขึ้นไป และมีจำนวนตั้งแต่ 5 ครั้งใน 12 เดือน

3. จำนวนคนข้ามถนน

พิจารณาระหว่างปริมาณรถกับจำนวนคนข้ามถนน ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถกับจำนวนคนข้ามถนนที่ต้องติดตั้งไฟสัญญาณจราจร

ข้อมูลปริมาณจราจร	ปริมาณจราจรทั้งสองทิศทาง	จำนวนคนข้ามถนน
ปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วน	650 หรือมากกว่า	200 หรือมากกว่า

การบริหารจัดการทางแยก

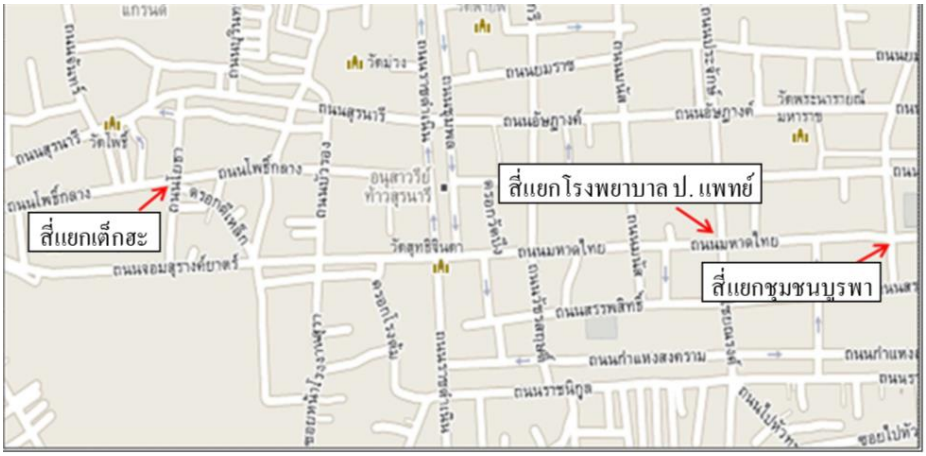
อรอนงค์ แสงผ่อง (2553) ได้ทำการศึกษาความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟ โดยเก็บข้อมูลในช่วงเวลาเช้าและเย็นที่ไม่ได้เป็นช่วงเวลาเร่งด่วน ทำการศึกษาข้อมูลในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมาที่บริเวณทางแยกจำนวน 3 ทางแยก ได้แก่

1. สี่แยกเต็กฮะ เป็นสี่แยกที่ตัดกันระหว่างถนนโพธิ์กลางกับถนนโยธา ถนนทั้งสองสายมี 2 ช่องจราจรต่อหนึ่งทิศทาง

2. สี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ เป็นสี่แยกที่ตัดกันระหว่างถนนไชยณรงค์กับถนนมหาดไทยถนนทั้งสองสายมี 2 ช่องจราจรต่อหนึ่งทิศทาง

3. สี่แยกชุมชนบูรพา เป็นสี่แยกที่ตัดกันระหว่างถนนกุดั่นกับถนนมหาดไทย ถนนทั้งสองสายมี 2 ช่องจราจรต่อหนึ่งทิศทาง

ทั้งนี้ได้แสดงตำแหน่งของทางแยกทั้ง 3 ทางแยกดังแสดงในภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 พื้นที่ที่ทำการศึกษา ทางแยกสัญญาณไฟจราจรในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา

โดยทำการเก็บข้อมูลด้วยการใช้กล้องวีดีโอบริเวณเส้นหยุดรถบริเวณทางแยกในช่วงเช้าและช่วงเย็น ทางแยกละ 1 ชั่วโมง 30 นาที เป็นเวลา 3 วัน วันอังคาร วันพุธ และวันพฤหัสบดี ข้อมูลหลักที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ความยาวสัญญาณไฟเขียว ณ เวลาต่าง ๆ และระยะเวลาระหว่างยวดยานตลอดจังหวะสัญญาณไฟเขียว ซึ่งสามารถแปลงเป็นปริมาณต่าง ๆ คือ เวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time) อัตราการไหลอิ่มตัวและระยะเวลาระหว่างยวดยาน ณ อัตราการไหลอิ่มตัว (Saturation flow rates and saturation headway) ความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่ม

และช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว (Capacity loss at the beginning & The end of green phase)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมการตอบสนองต่อระยะเวลาการให้จังหวะสัญญาณไฟเขียว บริเวณทางแยกที่ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลระยะเวลาห่างระหว่างยวดยาน (Headway) เพื่อพิจารณาหาความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัวและจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถและนำมาเปรียบเทียบเพื่อสรุปผลบริเวณทางแยกที่ทำการศึกษานั้น มีลักษณะการกำหนดระยะเวลาจังหวะสัญญาณไฟเขียวเป็นประเภทใด ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นดังนี้

1. ลักษณะการออกตัวของรถจากทางแยกเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว

การวิเคราะห์พฤติกรรมการตอบสนองต่อระยะเวลาการให้จังหวะสัญญาณไฟเขียว บริเวณทางแยกในเขตเทศบาลเมืองที่ทำการศึกษา พบว่า ระยะห่างระหว่างยวดยานของรถลำดับแรก ๆ ของแถวคอยจะใช้เวลามากกว่าคันอื่น ๆ ที่ขับตามกันมา ระยะเวลาระหว่างยวดยาน ณ อัตราการไหลอิ่มตัวของทางแยกที่ทำการศึกษา สรุปผลได้ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ระยะเวลาระหว่างยวดยาน ณ อัตราการไหลอิ่มตัว และลำดับรถที่เริ่มคงที่ของทางแยกที่ทำการศึกษา

ทิศทาง	สี่แยกเต็กฮะ		สี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์		สี่แยกชุมชนบูรพา	
	Saturation headway	ลำดับรถที่คงที่	Saturation headway	ลำดับรถที่คงที่	Saturation headway	ลำดับรถที่คงที่
E-W เช้า	3.35	คันที่ 5	2.70	คันที่ 5	3.14	คันที่ 4
S-N เช้า	3.30	คันที่ 5	3.22	คันที่ 6	3.22	คันที่ 4
W-E เช้า	2.85	คันที่ 5	3.18	คันที่ 5	3.19	คันที่ 4
N-S เช้า	2.99	คันที่ 5	3.00	คันที่ 6	3.15	คันที่ 4
E-W เย็น	3.30	คันที่ 5	2.71	คันที่ 5	3.27	คันที่ 4
S-N เย็น	3.05	คันที่ 5	3.02	คันที่ 6	3.20	คันที่ 4
W-E เย็น	3.12	คันที่ 5	3.03	คันที่ 5	3.24	คันที่ 4
N-S เย็น	2.93	คันที่ 5	3.16	คันที่ 6	3.07	คันที่ 4

ทางแยกสัญญาณไฟจราจรสี่แยกเต็กฮะ พบว่าระยะเวลาห่างระหว่างรถแต่ละคันในแถวคอยที่เคลื่อนตัวออกจากทางแยกของช่องจราจร ทั้งสี่ทิศทางจะมีค่าคงที่ ตั้งแต่คันที่ 5 มีค่าเท่ากับ 2.85-3.35 วินาที

ทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ พบว่าในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก มีระยะเวลาห่างระหว่างรถแต่ละคันในแถวคอย ที่เคลื่อนตัวออกจากทางแยกของช่องจราจร จะมีค่าคงที่ ตั้งแต่คันที่ 5 มีค่าเท่ากับ 2.70-3.18 วินาที ส่วนทิศทางเหนือ-ใต้ มีระยะเวลาห่างระหว่างรถแต่ละคันในแถวคอยที่เคลื่อนตัวออกจากทางแยกของช่องจราจร จะมีค่าคงที่ตั้งแต่คันที่ 6 มีค่าเท่ากับ 3.0-3.22 วินาที

ทางแยกชุมชนบูรพา มีระยะเวลาห่างระหว่างรถแต่ละคันในแถวคอย ที่เคลื่อนตัวออกจากทางแยกของช่องจราจร ทั้งสี่ทิศทางจะมีค่าคงที่ตั้งแต่คันที่ 4 มีค่าอยู่ที่ 3.07-3.27 วินาที

2. เวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน (Start up lost time)

เวลาทั้งหมดที่สูญเสียจากการออกตัวในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณไฟเขียว คำนวณจากผลรวมของผลต่างระหว่างค่า Time headway กับ Saturation headway ของลำดับรถในแถวคอยตั้งแต่คันแรกจนถึงคันก่อนที่เริ่มคงที่ จากการวิเคราะห์เวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน (Start up lost time) ในรอบสัญญาณไฟจราจร ประกอบไปด้วยทั้ง 4 ทิศทางที่มีกระแสจราจรเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย พบว่า

ทางแยกเต็กฮะ ในช่วงเวลาเช้า จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน (Start up lost time) 584 วินาที/ ชั่วโมง ส่วนทางแยกเต็กฮะ ในช่วงเวลาเย็น จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน (Start up lost time) 474 วินาที/ ชั่วโมง

ทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ในช่วงเวลาเช้า จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน (Start up lost time) 804 วินาที/ ชั่วโมง ส่วนทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ในช่วงเวลาเย็น จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน (Start up lost time) 801 วินาที/ ชั่วโมง

ทางแยกชุมชนบูรพา ในช่วงเวลาเช้า จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน (Start up lost time) 938 วินาที/ ชั่วโมง ส่วนทางแยกชุมชนบูรพา ในช่วงเวลาเย็น จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน (Start up lost time) 650 วินาที/ ชั่วโมง

ตารางที่ 2-5 สรุปเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยานของทางแยกที่ทำการศึกษา

Lost time (s)/ 1 hr	ช่วงเวลา	สี่แยกเต็กฮะ	สี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์	สี่แยกชุมชนบูรพา
	เช้า	584	804	938
	เย็น	474	801	650

3. ความจุที่สูญเสียในช่วงก่อนเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง

การวิเคราะห์ความจุที่สูญเสียในรอบสัญญาณไฟจราจร ประกอบไปด้วยทั้ง 4 ทิศทาง ที่มีกระแสจราจรเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย และการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างความจุที่สูญเสีย ในช่วงก่อนเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง ด้วยวิธีการอินทิเกรตหาพื้นที่จากฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด พบว่า

ทางแยกเต็กฮะ ในช่วงเวลาเช้า จะมีความจุที่สูญเสีย 454 คัน/ ชั่วโมง ช่วงเวลาเย็น มีความจุที่สูญเสีย 482 คัน/ ชั่วโมง เป็นทางแยกที่มีการกำหนดให้สัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป

ทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ในช่วงเวลาเช้า มีความจุที่สูญเสีย 480 คัน/ ชั่วโมง ช่วงเวลาเย็น มีความจุที่สูญเสีย 526 คัน/ ชั่วโมง เป็นทางแยกที่มีการกำหนดให้สัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป

ทางแยกชุมชนบูรพา ในช่วงเวลาเช้า จะมีความจุที่สูญเสีย 813 คัน/ ชั่วโมง ช่วงเวลาเย็น มีความจุที่สูญเสีย 697 คัน/ ชั่วโมง เป็นทางแยกที่มีการกำหนดให้สัญญาณไฟเขียวยาวเกินไป

ทางแยกที่มีการกำหนดสัญญาณไฟเขียวนานเกินไปจะเกิดการสูญเสียความจุมากกว่าทางแยกที่มีการกำหนดให้สัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป

4. ความยาวจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสม

ทางแยกสัญญาณไฟจราจรที่มีการกำหนดระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรสั้นเกินไป ควรจะทำการขยายระยะสัญญาณไฟจราจรให้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความจุกับทางแยกนั้น ๆ ส่วนในกรณีที่ทางแยกที่ทำการศึกษามีการกำหนดระยะเวลาไฟเขียวยาวเกินไป ควรทำการลดระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรลง เพื่อเป็นการลดความจุที่สูญเสียไปและเป็นการเพิ่มความจุของอัตราการไหลให้กับทางแยกนั้น ๆ ทางแยกมีการกำหนดสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป ปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสม โดยการเพิ่มเวลารอบสัญญาณไฟจราจรมากขึ้น สามารถสรุปได้ดังตาราง ซึ่งเป็นการแสดงปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาความยาวรอบสัญญาณไฟ กรณีที่ความจุสูญเสียเพิ่มขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2-6 สรุปปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาความยาวรอบสัญญาณไฟ

ความยาวรอบ	สี่แยกเต็กฮะ		สี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์	
สัญญาณไฟ (sec)	เช้า	เย็น	เช้า	เย็น
80	58	63	100	110
100	138	147	176	193

สรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรมากขึ้น ก็จะส่งผลให้ปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อทางแยกเต็กฮะ กำหนดความยาวรอบสัญญาณไฟเป็น 80 วินาที จะทำให้เพิ่มกระแสจราจรในทางแยกได้ 58 คันต่อชั่วโมง และเมื่อเพิ่มระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรเป็น 100 วินาที ก็จะทำให้ความจุของกระแสจราจรเพิ่มขึ้น 138 คันต่อชั่วโมง

ทางแยกชุมชนบูรพาเมื่อมีการกำหนดสัญญาณไฟเขียวยาวเกินไป ได้ทำการปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสม โดยการลดเวลารอบสัญญาณไฟจราจรน้อยลง โดยทำการปรับเปลี่ยนเวลาสัญญาณไฟจราจร จากปัจจุบันมีความยาวรอบสัญญาณไฟ 94 วินาที เมื่อเปลี่ยนความยาวรอบสัญญาณไฟเป็น 83 วินาที โดยกำหนดให้เฟสในทิศทางเหนือ-ใต้ ให้ไฟเขียว 35 วินาที ไฟเหลือง 3 วินาที และไฟแดง 45 วินาที และในเฟสสัญญาณไฟจราจรในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก ให้ไฟเขียว 40 วินาที เหลือง 3 วินาที และไฟแดง 40 วินาที พบว่าช่วงเช้า จะลดการสูญเสียความจุ 161 คันต่อชั่วโมง และช่วงเย็น จะลดการสูญเสียความจุได้ 221 คันต่อชั่วโมง

การศึกษาจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสมโดยทำการเพิ่มหรือลดระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรนั้น เป็นการเพิ่มความจุให้กับทางแยก แต่การปรับเปลี่ยนความยาวรอบสัญญาณไฟนั้นต้องคำนึงถึงปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางด้วย

ข้อพิจารณาการบริหารจัดการจราจรบริเวณทางแยกและออกแบบทางแยก

การบริหารจัดการการจราจร (Traffic management)

Federal Highway Administration (FHWA, 2003) ได้กล่าวถึงวิธีการบริหารจัดการในการอำนวยความสะดวกด้านการจราจร โดยวิธีการลดความล่าช้า ลดการขัดแย้งบริเวณทางแยกหรือจุดตัด ลดความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกโดยการใช้ขบวนการจัดการต่าง ๆ เช่น การห้ามเลี้ยวตัดกระแส การเดินรถทางเดียว และรวมถึงวิธีการควบคุม การจราจรบริเวณทางแยก ทั้งแบบที่ใช้และไม่ใช้การจัดการควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น

การควบคุมการจราจรบริเวณทางแยก

ทางแยก หมายถึง ตำแหน่งที่เป็นจุดตัดทิศทางของการเดินรถ จึงเป็นบริเวณที่มักเกิดขัดแย้งของกระแสปริมาณการจราจร ในการจัดการจราจรบริเวณทางแยกที่ไม่มีประสิทธิภาพก็จะก่อให้เกิดปัญหาจราจร ณ จุดตัดนั้น ๆ เกิดการติดขัด ส่วนการจัดการ การจราจรของทางแยกที่มีปริมาณการจราจรที่ไม่สูงมากนัก อาจทำการควบคุมด้วย เครื่องหมายจราจร ป้ายจราจร หรือการจัดระเบียบช่องจราจร ถ้าหากเป็นทางแยกที่มีปริมาณจราจรสูงอาจนำระบบการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร มาควบคุมบริเวณทางแยก ซึ่งต้องคำนึงช่วงเวลาสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสมกับปริมาณรถในแต่ละทิศทางเป็นสำคัญ เพราะทำให้เกิดความล่าช้าสะสมในการรอรอบสัญญาไฟจราจรและเกิดปัญหาความยาวแถวคอยตามมาได้

Buckholz (2002) กล่าวถึงวิธีการเลือกใช้การควบคุมการจราจรเพื่อลดจุดตัดของการขัดแย้ง ณ บริเวณทางแยกไว้ดังนี้

1. ควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร (Signalize control)
2. ควบคุมโดยการนำรูปแบบวงเวียน (Roundabout control)
3. ใช้ป้ายจราจรควบคุมด้วยป้ายหยุดแบบสองทิศทาง (Two-way stop control)
4. ควบคุมด้วยป้ายหยุดในทุกทิศทาง (All-way stop control) และการเพิ่มประสิทธิภาพปรับปรุงด้านกายภาพริเวณทางแยก โดยการนำข้อมูลปริมาณจราจร **(**Traffic volume**)**
5. ระดับการให้บริการ (Level of service, LOS)
6. ความล่าช้า (Delay)

โดยพิจารณาจากข้อมูลปริมาณการจราจร ระดับการให้บริการ ความยาวแถวคอยในชั่วโมงเร่งด่วน สถิติการเกิดอุบัติเหตุความเร็วและความต่อเนื่องของกระแสจราจร และปริมาณช่องจราจรที่วิ่งเข้าสู่ทางแยกมาเป็นหนทางหาข้อสรุปการควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกที่เหมาะสม ส่วนการประเมินทางเลือกวิธีควบคุมการจราจรที่ทางแยก แบ่งได้ 2 แนวทาง คือ 1) ทางแยกเข้าเกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร และ 2) ทางแยกที่ไม่เข้าเกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

ปริมาณการจราจร (Traffic volume)

ปริมาณการจราจร หมายถึง การรวบรวมข้อมูลจำนวนยานพาหนะและคนเดินเท้าในบริเวณใดบริเวณหนึ่งบนถนนในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งที่กำหนด ซึ่งอาจจะมีหน่วยนับระยะเวลาเป็นนาที เป็นชั่วโมง ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญทางด้านวิศวกรรมควบคุมการจราจร การสำรวจปริมาณจราจร วัตถุประสงค์เพื่อทราบให้ถึงจำนวนรถแต่ละประเภท ในทิศทางต่าง ๆ ที่วิ่งผ่านจุดสำรวจในช่วงเวลาที่ต้องการสำรวจข้อมูล ชนิดของปริมาณการจราจรสามารถจำแนกได้ ดังนี้

1. ปริมาณการจราจรรวมเฉลี่ยใน 1 ปี (Average annual traffic volume, AADT)

เป็นปริมาณการจราจรในอนาคตเพื่อคาดคะเนปริมาณการจราจรการเดินทางในแต่ละปี เพื่อนำค่าไปวิเคราะห์พิจารณาค่าบำรุงรักษาการศึกษาอัตราการเกิดอุบัติเหตุ เป็นต้น

2. ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Average annual traffic volume, AADT) เป็นปริมาณจราจรที่เก็บตลอดทั้งปี หารด้วยจำนวนวันที่เก็บข้อมูล ซึ่งประโยชน์ใช้ในการวางแผนด้านถนน เช่น งานปรับปรุงถนน งานคัดเลือกแนวทางโครงข่ายทางถนนของการตัดถนนแนวใหม่ การคาดคะเนปริมาณการจราจรหาความต้องการเหมาะสมในการเดินทาง การประเมินปริมาณกระแสการจราจร การวิเคราะห์ปริมาณการจราจรเทียบกับหาความสามารถในการรองรับความจุรองรับของถนน เป็นต้น

3. ปริมาณจราจรรวมในแต่ละชั่วโมง (Hourly traffic) เป็นปริมาณการจราจรสูงสุด เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบลักษณะทางกายภาพของถนน หรือความจุทางแยก เพื่อให้ถนนสามารถรองรับปริมาณจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ข้อบกพร่องด้านความจุ การประเมินประสิทธิภาพการจราจร การวางแผนการออกแบบติดตั้ง เลือกใช้ระบบควบคุมจราจรหรือช่วยตัดสินใจในการเลือกใช้รูปแบบในการควบคุมจราจร การแบ่งช่องจราจร การกำหนดเส้นหยุดการหยุดรถ เลี้ยวรถ หรือการกำหนดให้มีการเดินรถทางเดียว เป็นต้น

4. ปริมาณจราจรแบบแยกประเภท (Classified traffic volume) นำไปใช้ ออกแบบลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของถนน หรือการออกแบบกำหนดรูปแบบทางแยกการออกแบบโครงสร้างสะพาน พื้นทาง ผิวจราจร ความกว้างช่องจราจร ใช้วิเคราะห์ผลกระทบของรถประเภทต่าง ๆ ใช้ในการปรับแก้ค่าปริมาณจราจรที่ได้จากการใช้เครื่องมือนับ เป็นต้น

เวลาที่ใช้ในการเดินทาง และความล่าช้า

เวลาที่ใช้ในการเดินทาง หมายถึง ระยะเวลาการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นผ่านช่วงของถนนโดยปกติความล่าช้าที่เกิดขึ้น มักเกี่ยวกับปริมาณ ตำแหน่งช่วง ระยะเวลา และความถี่ที่เกิดขึ้นพร้อมกันไปด้วย ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์หาความเร็วในการเดินทาง (Travel specd) และความเร็วเมื่อรถวิ่งจริง (Running specd) ที่เกิดขึ้นบนช่วงถนนสายนั้น เวลาที่ใช้ในการเดินทางและความล่าช้า เป็นสิ่งที่ใช้พิจารณาหารระดับการให้บริการ ได้อย่างดีโดยทั่วไปจะใช้ประโยชน์ ดังนี้

1. ประเมินถึงสภาพความแออัดของการจราจร

2. ประกอบการพิจารณาเกี่ยวกับความพอเพียงในด้านความจุและดัชนีของความแออัด เพื่อศึกษาถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาต่อไป

3. ศึกษาเปรียบเทียบโครงการก่อนที่จะเกิดและหลังจากเกิดโครงการ (Before and After study) เพื่อทราบถึงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงองค์ประกอบ หรือมาตรการต่าง ๆ จากการจัดการมาตรการจัดการจราจร เช่น การห้ามจอดรถหรือปรับเปลี่ยนช่วงเวลา

ของการจอดรถ รวมถึงรูปแบบการควบคุมจังหวะช่วงสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น

4. การหาเวลาในการเดินทางของปริมาณการจราจรบนโครงข่ายถนน

5. การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์

6. การศึกษาการคาดคะเน ทางด้านการจราจรเพื่อยกระดับการให้บริการในอนาคต

ความล่าช้า หมายถึง เวลาที่สูญเสียไปในขณะเดินทางช่วงหนึ่ง ๆ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ามาจากปัญหาสภาพจราจรติดขัด และรวมถึงระบบที่ใช้ควบคุมการจราจรหรือสาเหตุอื่น ๆ ซึ่งในบางครั้งผู้ขับขี่ไม่สามารถจัดการกับความล่าช้าที่เกิดได้ ความล่าช้า สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. ความล่าช้าคงที่ (Fixed delay) เป็นความล่าช้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบการเลือกใช้ควบคุมการจราจรซึ่งต้องเกิดขึ้นเสมอ ไม่ว่าจะมีปริมาณการจราจรจะมีน้อยหรือมีมาก เช่น ความล่าช้าที่เกิดขึ้นตรงบริเวณทางแยกโดยอาจจะเป็นทางแยกควบคุมโดยสัญญาณไฟจราจร ไฟกระพริบ ป้ายหยุด ป้ายระวัง หรือจุดตัดกับทางรถไฟ เป็นต้น

2. ความล่าช้าจากปัญหาจราจร (Operational delay) กล่าวได้ว่า ความล่าช้าที่มีสาเหตุมาจากอุปสรรคขัดแย้งในส่วนของกระแสจราจรเป็นผลจากการจราจรในส่วนที่เกี่ยวข้องจากสาเหตุ เช่น การรถจอด รถเลี้ยว คนข้ามถนน รถเสีย รถจอดซ้อนคัน หรือรวมถึงรถวิ่งตัดกระแสกัน นอกจากนั้นยังเป็นผลมาจากสภาพปริมาณการจราจรในตัวมันเอง (ช่องจราจรที่มีน้อยกว่าปริมาณรถ)

3. ความล่าช้าในการเดินทาง (Travel time delay) ผลต่างของเวลาที่ใช้ในการเดินทางจริงบนช่วงเส้นทางที่ศึกษา กับเวลาที่ควรจะใช้วิ่งด้วยอัตราความเร็วเฉลี่ยปกติ และการจราจรที่มีสภาพคล่องตัวไม่ติดขัด หมายถึง ความล่าช้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการชะลอรถ เพื่อที่จะหยุดรถ หรือต้องการเร่งความเร็วรถเพื่อที่จะเคลื่อนที่ออกตัวของรถจากสภาพหยุดนิ่ง

4. ความล่าช้าจากการหยุด (Stopped-time delay) เป็นช่วงเวลาที่รถไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในระหว่างการเดินทางบนช่วงเส้นทางที่จะวัดหาค่าดังกล่าว

กรณีศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ ความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากการหยุดบริเวณทางแยก (Intersection stopped delay) ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้จะเน้นศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบทางแยกแบบเดิมกับแบบใหม่ เฉพาะนำค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบ หาค่าความล่าช้าประเภทนี้เป็นหลัก โดยความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากการหยุดบริเวณทางแยก มีหน่วยเป็นวินาทีต่อคัน เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญที่ในการประเมินหาค่าระดับการให้บริการผ่านทางแยกและประสิทธิภาพในการรองรับปริมาณจราจรของทางแยก เป็นต้น

ธงชัย กล่ำจตุรงค์ (2543) ได้กล่าวสรุปถึงองค์ประกอบของการควบคุมการจราจรที่ทางแยกด้วยระบบสัญญาณไฟ ของการควบคุมการจราจรที่ทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจรพบว่ามีองค์ประกอบของการออกแบบสัญญาณไฟจราจรประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก คือ

1. รอบสัญญาณไฟจราจร (Cycle time) หมายถึง มีหน่วยนับเป็นวินาทีที่ต้องการในการหา รอบหมุนเวียนสัญญาณไฟรอบสีของสัญญาณให้ครบ ระยะเวลา 1 รอบสัญญาณไฟ หมายถึง เริ่มจังหวะไฟแดง ไฟเขียว และไฟเหลือง และกลับมาแดงอีกครั้ง

2. จังหวะสัญญาณไฟจราจร (Phasing) หมายถึง ส่วนของรอบสัญญาณไฟจราจรที่กำหนดให้กระแสจราจรหรือการผสมผสานของกระแสจราจรสองกระแสหรือมากกว่า

3. รูปแบบของการจัดเรียงลำดับจังหวะสัญญาณไฟจราจร (Phase seguence) หมายถึง การจัดเรียงจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ ให้มีความสอดคล้องและรอบสัญญาณต่อเนื่องกันในการทำงาน เพื่อใช้ควบคุมการจราจรที่ทางแยก

4. ช่วงเวลาต่าง ๆ ของจังหวะสัญญาณไฟจราจร หมายถึง ช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ใช้เป็นสัญลักษณ์ในการควบคุมการจราจรที่ทางแยก เพื่อให้ผู้ขับรถทราบถึงลักษณะของการควบคุมการจราจรในช่วงเวลานั้น ๆ ซึ่งช่วงเวลาต่าง ๆ ของรอบสัญญาณไฟจราจรมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ช่วงเวลาไฟเขียว หมายถึง ช่วงเวลาที่อนุญาตให้ยานพาหนะวิ่งผ่านทางแยก

4.2 ช่วงเวลาไฟเหลือง หมายถึง ช่วงเวลาที่เตือนให้ยานพาหนะลดความเร็ว

4.3 ช่วงเวลาแดง หมายถึง ช่วงเวลาที่บังคับให้ยานพาหนะทุกคันหยุด

4.4 ช่วงเวลาที่สูญเสียทั้งหมด (Total lost time) หมายถึง เวลาที่สูญเสียทั้งหมดบริเวณทางแยกในช่วงหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจร โดยดูจากผลรวมของเวลาที่สูญเสียในแต่ละจังหวะกับเวลาที่สูญเสียไปในช่วงของการเปลี่ยนจังหวะ

จากการทบทวนวิธีการออกแบบสัญญาณไฟจราจรทั้งหมด 7 วิธี ผลของการประเมินดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 ความสามารถในการออกแบบสัญญาณไฟจราจรของแต่ละวิธี (ธงชัย กล่ำจตุรงค์, 2543)

Element of Desing	Webster (1966)	Drew (1968)	Pignataro (1973)	Bennett (1989)	Akcelik (1993)	HCM (1994)	Surasak (1998)
Practical cycle time	✓	✓	✓		✓		
Optimum cycle time	✓			✓			✓
Phase	✓				✓	✓	
Phase Sequence	✓				✓	✓	
Green Time	✓				✓	✓	
Amber Time	✓				✓	✓	

ตารางที่ 2-8 การเปรียบเทียบการพิจารณาเกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

เกณฑ์	MUTCD (USA)	JICA (Japan)	DOH (Thailand)	DOH (2560)
1. ปริมาณการจราจรต่ำสุดต่อชั่วโมง	✓	✓	✓	✓
2. ความต่อเนื่องของกระแสจราจร	✓			
3. การพิจารณาติดตั้งสัญญาณไฟจราจรสำหรับคนเดินข้ามถนน	✓	✓		✓
4. ความปลอดภัยของเด็กนักเรียน	✓	✓		
5. ระยะห่างระหว่างทางแยก	✓			
6. อุบัติเหตุที่เกิดขึ้น	✓	✓	✓	✓
7. ปริมาณการจราจรในวันธรรมดาในช่วงเวลา 5 ชั่วโมง	✓			

ตารางที่ 2-8 (ต่อ)

เกณฑ์	MUTCD (USA)	JICA (Japan)	DOH (Thailand)	DOH (2560)
8. การติดตั้งสัญญาณไฟต่าง ๆ ร่วมกัน ถ้าเกณฑ์ทั้ง ข้อ 1 และข้อ 2 มีปริมาณจราจรมากกว่าร้อยละ 80	✓			✓
9. ปริมาณจราจรใน 4 ชั่วโมง	✓			
10. ความล่าช้าในชั่วโมงเร่งด่วน	✓			
11. ปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วน	✓			✓
12. เรื่องร้องเรียน				✓

เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร การออกแบบทางแยก ทางแยกต่างระดับและอุโมงค์ทางหลวง (สำนักสำรวจและออกแบบ, 2550)

การออกแบบทางแยกที่ควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร กรมทางหลวงได้กล่าวถึงดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

สัญญาณไฟจราจร (Traffic signal) ทำหน้าที่จัดสลับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ (Vehicle) ที่ผ่านทางแยกหนึ่ง ๆ เพื่อให้รถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกได้สะดวก

2. ประโยชน์และข้อเสียของการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

2.1 ประโยชน์

2.1.1 ทำให้เพิ่มอัตราการไหล (Flow rate) ของรถที่ผ่านทางแยก เนื่องจากรถสามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกได้อย่างเป็นระเบียบ

2.1.2 สามารถลดการติดขัด (Traffic jam) และความล่าช้า (Delay) บริเวณทางแยกที่มีปริมาณการจราจรสูง เนื่องจากการตัดกัน (Crossing) ของรถในแต่ละทิศทางของกระแสจราจร

2.1.3 ทำให้รถทางโทและรถที่จะเลี้ยวขวาสามารถผ่านทางแยกได้สะดวกสบายมากขึ้น

2.1.4 ทำให้คนเดินเท้าสามารถข้ามถนนได้สะดวกสบายและปลอดภัย

2.1.5 สามารถลดจำนวนการเกิดอุบัติเหตุบางประเภทบริเวณทางแยกได้

2.2 ข้อเสีย

2.2.1 ทำให้เพิ่มความล่าช้าบริเวณทางแยก โดยเฉพาะในช่วงที่ไม่ใช่ช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak hour) ซึ่งต้องรอสัญญาณไฟจราจรเขียวที่จะให้ทิศทางใดทิศทางหนึ่งผ่านได้ ทำให้เกิดแถวคอย

2.2.2 ในการติดตั้งที่ตำแหน่งไม่เหมาะสมอาจทำให้เพิ่มอุบัติเหตุบางประเภท เช่น ปัญหาการชนท้ายและรวมถึงชนที่กึ่งกลางแยก เป็นต้น

2.2.3 การติดตั้งสัญญาณไฟจราจรที่มีการกำหนดเวลาของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจราจร (Phase) ไม่เหมาะสม หรือบนทางแยกที่ยังไม่ควรติดสัญญาณไฟจราจร อาจทำให้เกิดความล่าช้า และการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรได้

3. เหตุอันควรในการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

กรมทางหลวงได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่า ทางแยกใดควร หรือจำเป็นต้องดำเนินการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร โดยมีเหตุอันควรและการจัดลำดับความสำคัญ ดังนี้

3.1 มีปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วน (Peak hour volume) บริเวณทางแยกบนทางเอก (รวมทั้งสองทิศทาง) มากกว่า 900 คันต่อชั่วโมง และบนทางโท (ทิศทางเดียว) มากกว่า 100 คันต่อชั่วโมง หรืออาจใช้ค่า ADT หรือทำการสำรวจปริมาณการจราจรเพิ่มเติม ในการพิจารณาความเหมาะสม

3.2 มีอุบัติเหตุ ไม่น้อยกว่า 5 ครั้งใน 12 เดือน

3.3 การจราจรสับสน ไม่เป็นระเบียบและขาดความคล่องตัวทำให้เกิดความไม่ปลอดภัย

3.4 เป็นทางหลวงแผ่นดินสายประธานนอกเมือง หรือชานเมือง ที่วิ่งเข้าสู่ตัวเมือง หรือวิ่งผ่านทะลุตัวเมือง

3.5 แก้ไขด้วยมาตรการอื่นแล้ว แต่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยกได้

3.6 มีการร้องเรียนของผู้ใช้รถใช้ถนน แบบผิดปกติ

4. ระบบสัญญาณไฟจราจร (Traffic signal system)

4.1 ระบบตั้งเวลาคงที่ (Fixed time system)

Fixed time system หมายถึง ระบบที่มีการกำหนดเวลาของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจราจร (Phase) ให้มีเวลาคงที่ ทุก ๆ วงรอบของสัญญาณไฟ (Cycle)

โดยทั่วไปแล้ว เวลาต่อรอบไฟสัญญาณ (Cycle time) จะกำหนดไว้ที่ประมาณ 120-180 วินาที (สามแยก) และ 180-240 วินาที (สี่แยก) ช่วงเวลาไฟเหลือง (Amber) จะกำหนดไว้ที่ประมาณ 3-5 วินาที ช่วงเวลาไฟแดงทุกทิศทาง (All red) จะกำหนดประมาณ 2-4 วินาที

4.1.1 ข้อดีของสัญญาณไฟจราจรระบบ Fix time

4.1.1.1 ใช้อุปกรณ์ไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาง่าย

4.1.1.2 สามารถจัดเวลาให้เหมาะสมกับปริมาณการจราจรได้หลายรายการ

4.1.1.3 เหมาะสำหรับใช้จัดการจราจรในย่านชุมชนช่วงชั่วโมงเร่งด่วน (Peak hour)

4.1.2 ข้อเสียของสัญญาณไฟจราจรระบบ Fix time

4.1.2.1 ไม่สามารถปรับเปลี่ยน Phase ด้วยตัวเครื่องควบคุมเอง อาจทำให้การจัดจราจรไม่เหมาะสมกับประมาณการจราจร

4.1.2.2 อาจทำให้เกิดความล่าช้า (Delay) และการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรในช่วงที่มีปริมาณการจราจรน้อย (Off peak)

4.2 ระบบการเปลี่ยนตามปริมาณการจราจรโดยอัตโนมัติ (Vehicle-Actuated system, VA)

Vehicle-Actuated system หมายถึง ระบบที่มีการกำหนดเวลาของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจราจร (Phase) เปลี่ยนแปลงตามสภาพการจราจร และความต้องการของกระแสการจราจรที่วิ่งเข้าสู่ทางแยก

ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบนี้ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ 1) แบบบางส่วน (Semi actuated) หมายถึง มีการติดตั้ง Detector ที่ทางโทเท่านั้น 2) แบบทุกส่วน (Full actuated) หมายถึง มีการติดตั้ง Detector ทั้งทางเอกและทางโท

5. การออกแบบสัญญาณไฟจราจร

5.1 การจัดจังหวะรอบสัญญาณไฟจราจร (Phasing)

ในการควบคุมการจราจรที่ทางแยก การตัดกัน (Conflicts) ระหว่างกระแสจราจรในทิศทางต่าง ๆ โดยการแบ่งเวลาและจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจรในแต่ละทิศทาง (Phasing)

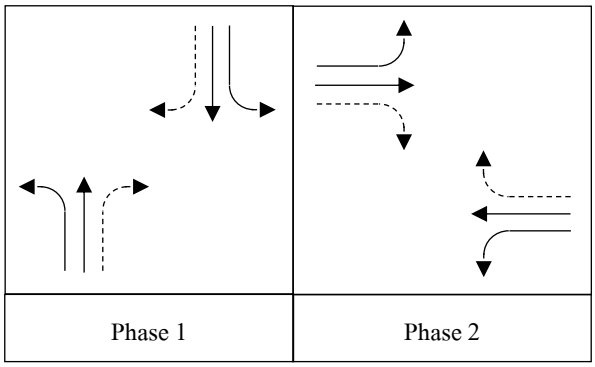
Phase คือ ช่วงจังหวะที่กำหนดให้ขบวนยวดยานในทิศทางต่าง ๆ ได้รับสัญญาณไฟชนิดเดียวกันใน 1 รอบเวลาไฟสัญญาณ (Cycle)

รอบเวลาไฟสัญญาณ (Cycle) คือ ช่วงเวลาไฟสัญญาณ คิดเป็นวินาที เมื่อจังหวะไฟสัญญาณเปลี่ยนไปครบทุกจังหวะของช่วงไฟสัญญาณ

ทั้งนี้จำนวนของ Phase ควรจะมีน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น เพราะหากมีมากเกินไปความล่าช้า (Delay) บริเวณทางแยกหรือจุดตัดทางแยก จะเกิดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการจัดรูปแบบรอบจังหวะสัญญาณไฟจราจร มีดังนี้

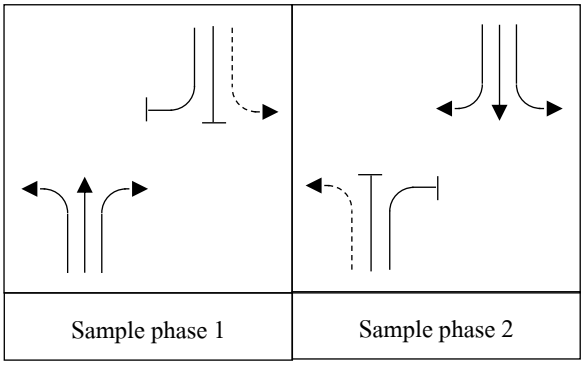
5.1.1 แบบธรรมดา การจัด phasing ในลักษณะนี้ คือ ปล่อยรถในทิศทางตรง

เป็นหลัก สำหรับรถเลี้ยวขวาให้รอเลี้ยวระหว่างช่วงว่างของรถทางตรง เหมาะสำหรับทางแยกที่มีปริมาณการจราจรไม่มากนัก และมีปริมาณรถเลี้ยวขวาน้อย



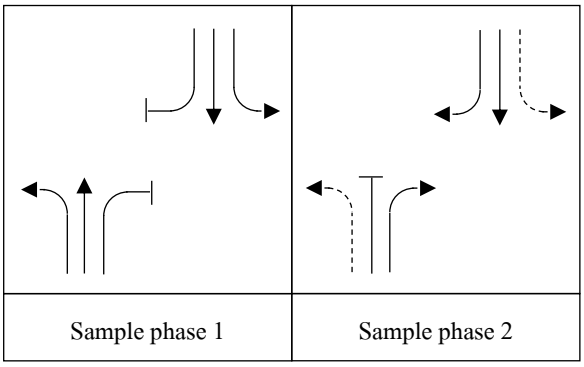
ภาพที่ 2-3 การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบธรรมดา

5.1.2 แบบปล่อยทีละด้านของทางแยก การจัด Phasing ในลักษณะนี้ คือ ปล่อยรถในทิศทางใดทิศทางหนึ่งพร้อมกัน ทั้งรถทางตรงและรถเลี้ยว เหมาะสำหรับทางแยกที่มีปริมาณ การจราจรสูงทั้งรถทางตรงและรถเลี้ยว



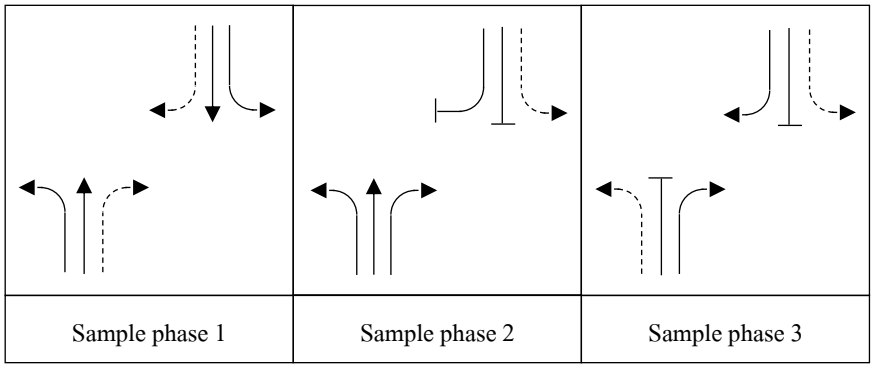
ภาพที่ 2-4 การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบปล่อยทีละด้านของทางแยก

5.1.3 แบบปล่อยทีละทิศทางการจราจร การจัด phasing ในลักษณะนี้ คือ ปล่อยรถในทิศทางตรง Phase หนึ่งก่อน ต่อจากนั้นก็ปล่อยปล่อยรถในทิศทางเลี้ยวขวา เหมาะสำหรับทางแยกที่มีปริมาณรถทางตรงสูง และมีปริมาณรถเลี้ยวมากพอสมควร



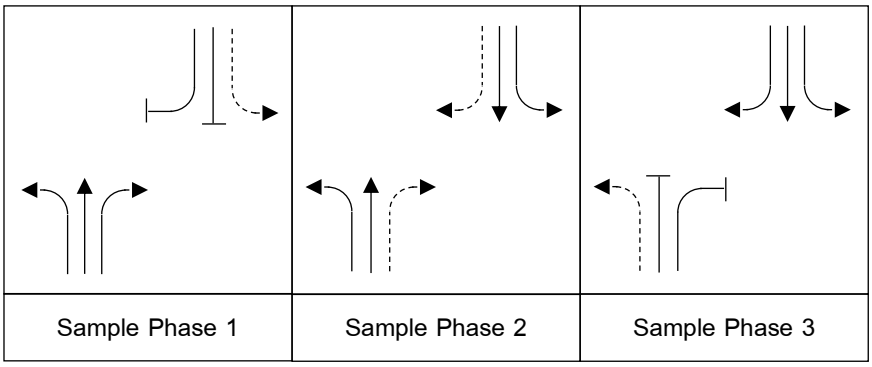
ภาพที่ 2-5 การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบปล่อยทีละทิศทางการจราจร

5.1.3.1 แบบ Early cut-off การจัด Phasing ในลักษณะนี้ คือ ปล่อยรถในทิศทางตรงก่อน ต่อจากนั้นหยุดรถในทิศทางที่มีปริมาณรถเลี้ยวขวาน้อย พร้อมทั้งก็ปล่อยรถในทิศทางที่มีปริมาณรถเลี้ยวขวามากกว่า เหมาะสำหรับทางแยกที่มีปริมาณรถทางตรง และปริมาณรถเลี้ยวขวาในทิศทางตรงข้ามกันแตกต่างกัน



ภาพที่ 2-6 การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบ Early cut-off

5.1.3.2 แบบ Late start การจัด Phasing ในลักษณะนี้ มีหลักการ คือ ปล่อยรถในทิศทางตรง และที่มีปริมาณรถเลี้ยวขวาก่อน ต่อจากนั้นหยุดรถเลี้ยวขวา แล้วปล่อยรถในทิศทางตรงในทิศทางตรงข้าม เหมาะสำหรับทางแยกที่มีลักษณะเดียวกันกับการจัด Phasing แบบ Early cut-off



ภาพที่ 2-7 การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบ Late start

5.2 ไฟสัญญาณและระยะเวลา Intergreen (Signal aspects and the intergreen period)

Signal aspect คือ สีของไฟสัญญาณ โดยปกติแล้วลำดับของ Signal aspect คือ แดง เขียว และเหลือง ระยะเวลาของไฟเหลืองมาตรฐาน คือ 3 วินาที

Intergreen period คือ ระยะเวลาจากการสิ้นสุดสัญญาณไฟเขียวของ Phase หนึ่งไป จนถึงเวลาที่สัญญาณไฟเขียวของอีก Phase หนึ่งเริ่มขึ้น

5.3 ผลของปัจจัยต่าง ๆ ทางกายภาพและสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อความจุของแนวทางวิ่งของทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร (The effect of roadway environmental factors on the capacity of a traffic-signal approach) ความจุของทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรถูกกำหนดโดยความจุของแต่ละแนวทางวิ่ง และปัจจัย 2 ชนิด ที่มีผลต่อความจุของทางด้านเรขาคณิตแนวทางวิ่งที่ งานนิพนธ์นี้สนใจและเป็นปัจจัยในการหาคำตอบของงานวิจัย คือ

5.3.1 ปัจจัยทางกายภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น ความกว้างของแต่ละทางวิ่ง รัศมีโค้ง และความลาดชันของทางวิ่ง ซึ่งส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของกระแสจราจร

5.3.2 ปัจจัยทางด้านการจราจร เช่น ปริมาณของรถชนิดต่าง ๆ ทิศทางการเคลื่อนที่ของการจราจร การควบคุมระบบทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจร การใช้ที่ดินสองข้างทาง เป็นต้น

ผลขององค์ประกอบทางด้านการจราจรที่มีผลต่อความจุของแนวทางวิ่งของทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร (The effect of traffic factors on the capacity of a traffic-signal approach) เนื่องจากรถที่วิ่งบนถนนมีหลายประเภท เพื่อความสะดวกในการคำนวณในเรื่องของการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร จึงจำเป็นที่จะต้องแปลงจำนวนรถเหล่านี้ ให้มีหน่วยเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger car unit, p.c.u.) ดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 การแปลงปริมาณการจราจรให้มีหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (p.c.u.) ของกรมทางหลวง (สำนักอำนวยความปลอดภัย, 2548)

ประเภท	สัมประสิทธิ์การแปลงปริมาณการจราจร (p.c.u)
รถจักรยานยนต์	0.333
รถยนต์ รถกระบะ	1
รถเมล์เล็ก รถตู้	1.5
รถทัวร์ รถประจำทาง	2.1
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.1
รถบรรทุก 10 ล้อ ขึ้นไป	2.5

และสำหรับจำนวนรถเลี้ยว เฉพาะรถเลี้ยวขวาที่ไม่มีช่องทางวิ่งเฉพาะ ให้ปรับรถเลี้ยวขวา 1 คัน เท่ากับ 1.75 รถที่ไปทางตรง

5.4 รอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทางแยก (Optimum cycle times for an intersection)

Cycle time สำหรับสัญญาณไฟชนิดช่วงเวลาไฟสัญญาณคงที่ (Fixed time signals) ขึ้นอยู่กับสภาวะการจราจร เมื่อมีการจราจรแออัดที่บริเวณทางแยก Cycle time จะยาวกว่าการจราจรเบาบาง สิ่งที่เป็นตัวกำหนดระดับของการจราจรของแต่ละแนวทางแยก คือ ค่า y ซึ่งเป็นสัดส่วนของปริมาณการจราจรบนแนวทางวิ่งต่อ ปริมาณการจราจรสูงสุด

ในสภาวะการจราจรของทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟคงที่ Cycle time จะมีผลต่อความล่าช้าเฉลี่ยของทางแยก เมื่อ Cycle time สั้น ซึ่งจะทำให้ Lost time (ผลรวมของ Lost time in the intergreen period และ Lost time due to starting delays) ใน Cycle time สูง ในขณะเดียวกัน ถ้า Cycle time ยาว จะทำให้รถที่จอดรอในช่วงแรกเคลื่อนผ่านไปหมด ส่งผลให้เกินช่วงห่างของรถที่วิ่งผ่านแยกมากทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมด้วยสัญญาณไฟด้อยประสิทธิภาพลง

การออกแบบทางแยกระดับเดียว (At-Grade intersections)

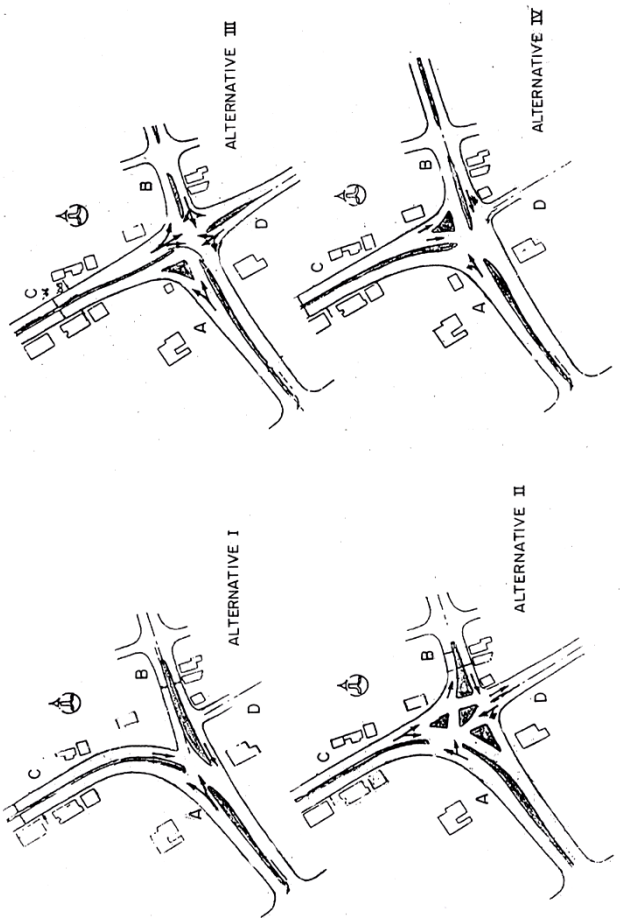
กรมทางหลวงได้กล่าวถึงขั้นตอนและหลักการพิจารณาการออกแบบทางแยกระดับเดียว โดยขั้นตอนการออกแบบสามารถสรุปโดยย่อ ได้ดังนี้

1. ศึกษาแบบร่าง

ก่อนพิจารณาในการดำเนินแก้ปัญหาหรือวางแผนที่จะดำเนินการปรับปรุงทางแยก ควรศึกษาหรือจัดทำแบบร่าง แนวทางเลือกตามการวิเคราะห์ในเรื่อง ปริมาณจราจร ปัญหาของพื้นที่ ข้อจำกัดที่เกิด แบบแนวทางเลือกหลาย ๆ ทางเลือก เป็นต้น

2. การวิเคราะห์รูปแบบทางแยก

การวิเคราะห์รูปแบบทางแยก หมายถึง การศึกษาพิจารณาข้อมูลที่ได้และทราบอยู่แล้ว เช่น ข้อมูลจราจร เป็นต้น เป็นพื้นฐานเลือกหารูปแบบทางแยกที่เหมาะสมและให้ประโยชน์สูงสุดและลงทุนอย่างคุ้มค่า โดยชั้นนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นอย่างหยาบ ๆ คือ การเขียนภาพ สเก็ตด้วยมือเปล่า (Free-Hand Sketch) จากข้อมูลเดียวกัน เราอาจจัดสร้างรูปแบบที่เป็นไปได้หลายทางเลือก (ดังตัวอย่างในภาพที่ 2-8) ซึ่งเป็นตัวอย่างแสดง Geometric design อย่างหยาบ ๆ ของทางแยก 4 รูปแบบในลักษณะ (Conceptual design)



ภาพที่ 2-9 ร่างของทางเลือกรูปแบบทางแยกหลายลักษณะ (Conceptual design)

2.1 หลักการในการพิจารณาออกแบบทางแยกโดยทั่วไป

ในการพิจารณารูปแบบของทางแยก จะใช้ข้อมูลทางด้านการจราจร ข้อมูลของสภาพของทางแยกและอื่น ๆ ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น กำหนดรูปแบบร่างลักษณะต่าง ๆ ของทางแยก ซึ่งอาจจะมีหลายทางเลือก (Alternatives) แล้วจึงพิจารณาข้อดี ข้อเสียของแต่ละรูปแบบ โดยควรคำนึงถึงหลักการดังนี้

2.1.1 เป็นรูปแบบทางแยกที่อำนวยความสะดวกแก่ทิศทางของรถปริมาณมาก (Major traffic) มีมุมและรัศมีเลี้ยวที่สอดคล้องกับความเร็วที่เหมาะสม

2.1.2 เป็นรูปแบบที่มีทิศทางของถนนได้ต่อเนื่อง (Route continuity) กล่าวคือ เป็นทางแยกที่เห็นได้ชัดเจนว่าถนนสายเดียวกัน (หมายเลขเดียวกัน) มีแนวหรือทิศทางลู่ตามกัน

2.1.3 ควรเป็นรูปแบบทางแยกที่มีความเรียบง่าย (Simplicity) และความคล้ายคลึงต่อเนื่อง (Uniformity) สัมพันธ์กับทางแยกอื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกัน

2.1.4 ควรจัดช่องจราจรให้มีจำนวนและขนาดพอกับปริมาณรถที่เข้าทางแยกและระดับการให้บริการของทางแยกนั้น (Level of service) ตลอดจนการเพิ่มช่องจราจรเป็นพิเศษบริเวณขาเข้าและขาออกเพื่อให้เกิดความสมดุล (Lane balance) ให้ปริมาณรถทางตรงรักษาปริมาณได้ตลอด ไม่ถูกรบกวน และเพื่อป้องกันความสับสนและอันตรายจากการที่รถแยกเลี้ยวออกหรือรวมเข้ามา

2.1.5 ควรเป็นรูปแบบที่มีความเรียบง่ายไม่สลับซับซ้อน อันอาจทำให้ผู้ขับขี่ยวดยานเกิดความสับสน และไม่ปลอดภัย

2.1.6 ช่วงที่มีการแปรเปลี่ยนต่าง ๆ จะต้องออกแบบให้มีช่องปรับความเปลี่ยนแปลง (Transition) ในลักษณะที่ปลอดภัย

เมื่อพิจารณาและวิเคราะห์แล้วเห็นว่ารูปแบบใดมีความเหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการของจราจรมากที่สุด ก็จะเลือกรูปแบบนั้นเพื่อออกแบบรายละเอียดทางเรขาคณิตต่อไป

2.2 ข้อพิจารณาในการออกแบบรายละเอียดของทางแยกระดับพื้น (Detailed design) เมื่อเลือกรูปแบบทางแยกที่เหมาะสมแล้ว การออกแบบรายละเอียดของทางแยก ซึ่งมีข้อควรพิจารณา ดังนี้

2.2.1 การมองเห็นได้กว้าง (Visibility) และระยะการมองเห็นที่พอเพียง (Sight distance)

2.2.2 การจัดทิศทางของทางแยก (Intersection approach orientation)

2.2.3 การคล้องตามการจราจรส่วนใหญ่ (Route continuity)

2.2.4 การออกแบบจำนวนช่องจราจรให้พอกับความจุและระดับการให้บริการการจราจรในทิศทางต่าง ๆ

2.2.5 การเลือกขนาดของรัศมีเลี้ยวและความกว้างของช่องเลี้ยว (Turning roadway)

2.2.6 การจัดช่องจราจร (Channelization) ช่วยแยกทิศทางรถให้มีการแบ่งแยกที่แน่นอน ทำให้เพิ่มขีดความสามารถของถนนและเพิ่มความปลอดภัย โดยการออกแบบช่องจราจรเสริมต่าง ๆ และเกาะ (lsland) รวมทั้งเรขาคณิตของขาทาง

ซึ่งกรมทางหลวงได้กำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบทางแยก ตามตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-10 หลักเกณฑ์การออกแบบทางแยก

ส่วนประกอบของทางแยก	สิ่งที่ต้องคำนึงถึง	
	นอกเมือง	ในเมือง
1. รูปแบบของทางแยก	1. จำนวนขาของทางแยก 2. โดยทั่วไปนิยมใช้ 4 หรือ 3 ขา	
2. ความกว้างของทางเข้า	1. ปริมาณการจราจร (จากการวิเคราะห์ความจุ) 2. ปริมาณรถเลี้ยว (จากการวิเคราะห์ความจุ) 3. ข้อจำกัดของเขตทาง	
3. มุมตัดของทางแยก	1. การข้ามทางแยกนิยมใช้มุมตัดระหว่าง 60°-90° 2. การเลี้ยวขวานิยมมีมุมเลี้ยวในช่วง 90°-60° 3. การเลี้ยวซ้าย (แปรผัน)	
4. ภาคตัดขวาง	1. ช่องจราจรกว้าง 3.00-3.50 ม. 2. ไหล่ทางกว้าง 1.75-3.00 ม. 3. Side slope ค่อนข้างแบนราบ 4. ผิวทางสามารถระบายน้ำได้	1. ช่องจราจรกว้าง 3.00-3.50 ม. 2. โดยทั่วไปใช้ Curb และรางระบายน้ำ 3. ปกติใช้การระบายน้ำแบบปิด
5. เกาะกลาง	ใช้เส้นจราจร หรือ เกาะแบบกดลง	ใช้เส้นจราจรหรือเกาะแบบยกขึ้น
5.1 ความกว้าง	1. สิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ และความเร็วออกแบบ 2. เขตทาง	
5.2 ช่องเปิด	1. ชนิดของทางที่มาตัดกัน 2. ความต้องการในการเลี้ยวที่ทางแยกนั้น	
6. ช่องทางเลี้ยว	ยานพาหนะออกแบบ	
6.1 แนวทางเลี้ยว	1. การใช้งานที่ความเร็วสูง 2. ลักษณะทางเรขาคณิต เช่น Simple curve, 3-Centerd curve	1. ข้อจำกัดของเขตทาง 2. การใช้งานที่ความเร็วต่ำ 3. ลักษณะทางเรขาคณิต เช่น Simple curve, 3-Centerd curve
6.2 ความกว้าง	1. ยานพาหนะออกแบบ/ ลักษณะทางเรขาคณิต 2. ขยายความกว้างมากขึ้นช่วงโค้งทางเลี้ยว	
7. ช่องทางเลี้ยวขวา	ความปลอดภัยของรถที่เลี้ยวจากรถทางตรง (ต้องคำนึงถึงการป้องกัน)	
7.1 ความยาว	1. ไม่น้อยกว่า 30 ม. ในที่ซึ่งไม่มีเกาะกลาง หรือเกาะกลางแคบ 2. ส่วนของช่องทางและการผายออกเอื้อต่อการลดความเร็ว 3. ขึ้นกับความเร็วออกแบบ	1. ไม่น้อยกว่า 15 ม. ในที่ซึ่งไม่มีเกาะกลาง หรือเกาะกลางแคบ 2. ใช้ร่วมกับช่องทางตรง

ตารางที่ 2-10 (ต่อ)

ส่วนประกอบของทางแยก	สิ่งที่ต้องคำนึงถึง	
	นอกเมือง	ในเมือง
7.2 การผายออก (Taper)	1. ใช้ Reverse curve with tangent 2. ความยาวขึ้นกับความเร็วออกแบบ	1. ใช้ Reverse curve with tangent 2. ความยาวขึ้นกับความเร็วออกแบบ คำนึงถึงทางแยกที่อยู่ติดกันและการควบคุมอื่น ๆ
8. ช่องทางเลี้ยวซ้าย	1. ปรับให้รถเลี้ยวออกจากช่องทางตรงโดยคำนึงถึงความปลอดภัย 2. ปริมาณการจราจร (50-100vph DHV) 3. Taper length ขึ้นกับความเร็วออกแบบ	1. การปรับความยาวขึ้นกับความสัมพันธ์ปริมาณการจราจรกับความจุ 2. ลักษณะทางเรขาคณิต 3. Taper Length ขึ้นกับความเร็วออกแบบ การควบคุมการใช้งานและทางแยกที่อยู่ใกล้กัน
9. เกาะและการแบ่งช่องทาง	1. ทำให้ผิวจราจรแคบลง 2. ช่วยแยกรถที่เลี้ยวออก 3. ลด หรือกำจัดจำนวนจุดตัด	
9.1 Directional island (เกาะแบ่งช่องเลี้ยวซ้าย)	1. มีพื้นที่มากเมื่อต้องการเอื้ออำนวยต่อการเลี้ยวที่ความเร็วสูงบนช่องทางเลี้ยว 2. Offset ออกจากช่องทางตรง 3. ทางแยกของสายทางหลักตัดกับสายทางรอง	1. ขนาดหาได้โดยวิธีทางเรขาคณิตและเขตทาง (โดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่าทางนอกเมือง) 2. Offset ออกจากช่องทางตรง 1.00-1.50 ม.
	(อำนวยความสะดวกต่อรถเลี้ยวซ้ายออกจากทางสายหลัก)	
9.2 Divisional island (เกาะแบ่งทิศทางรถที่สวนกัน)	1. แบ่งแยกจุดตัดของรถในทางตรงข้ามออกจากกัน 2. แบ่งแยกรถเลี้ยวขวาออก 3. จำกัดแนวทางของรถ	

ตารางที่ 2-10 (ต่อ)

ส่วนประกอบของทางแยก	สิ่งที่ต้องคำนึงถึง	
	นอกเมือง	ในเมือง
9.3 Refuge (เกาะสำหรับคนข้ามถนนพัก)	ไม่นิยมใช้ในพื้นที่นอกเมืองยกเว้นกรณีที่ทางแยกมีขนาดใหญ่และมีคนข้ามถนนมาก	1. ปริมาณของคนข้ามถนนและรูปแบบ 2. ขนาดของทางแยก และลักษณะทางเรขาคณิต 3. สัญญาณจราจรและการควบคุมตรงทางแยก
10. รูปแบบของการควบคุม	1. ลักษณะของการอำนวยความสะดวกของทางแยก 2. ปริมาณการจราจร 3. ลักษณะทางเรขาคณิต 4. ความปลอดภัย 5. การใช้งาน	

2.3 ประเภทของทางแยกระดับเดียว

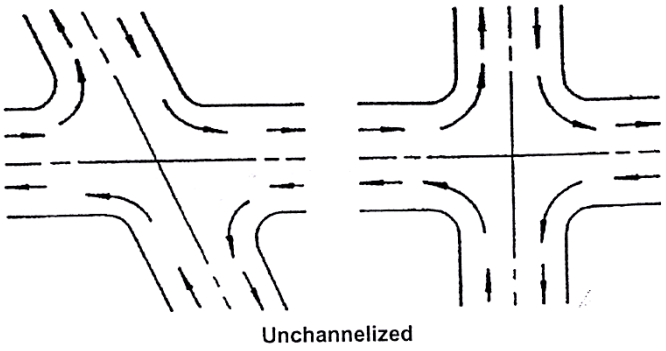
ทางแยกระดับเดียวสามารถแบ่งประเภทหลัก ๆ ได้ 2 แบบ ได้แก่

2.3.1 ทางแยกแบบราบกว้างเป็นผิวเดียว (Plain at grade-all paved intersection) เป็นมาตรฐานต่ำสุดของทางแยก ซึ่งมีการใช้งานทั้งแบบ 2 ช่องทางและหลายช่องทาง สามารถรองรับรถเลี้ยวขวาได้อย่างพอเพียงเมื่อมีปริมาณเบาบางที่ชั่วโมงออกแบบ การออกแบบประกอบด้วยรัศมีวงเลี้ยว แนวทาง และระดับที่เหมาะสม รวมทั้งระยะมองเห็นที่เพียงพอในจุดที่มีหรือไม่มีการควบคุมของสัญญาณจราจร ในกรณีที่ทางแยกแบบนี้มีมุมตัดทำมุมเฉียง อาจต้องใช้เกาะสามเหลี่ยมขนาดเล็กในมุมแหลมเพื่อลดพื้นที่ของผิวจราจร และยังใช้เป็นพื้นที่สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมจราจรต่าง ๆ

รูปแบบทางแยกแบบราบกว้างเป็นผิวเดียวมักใช้ในโครงข่ายทางหลวงในทางสายรองที่มีรถปริมาณน้อยมากคือ มีปริมาณจราจรน้อยกว่า 500 คันต่อวัน (ADT) และมักใช้สำหรับทางเชื่อมทั่ว ๆ ไป

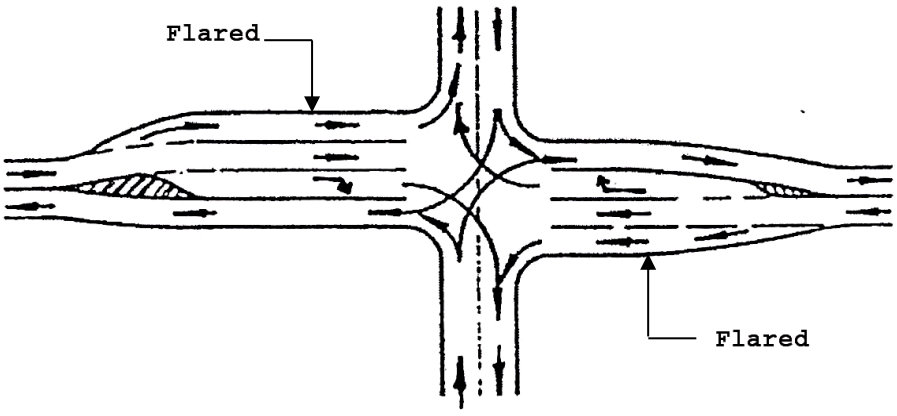
2.3.2 ทางแยกแบบไม่จัดช่องจราจรและไม่ขยายออก (Unchannelized and Unflared intersections) เป็นลักษณะของทางแยกที่เกิดจากถนนสายรอง (Minor road) ตัดกับถนนสายรองหรือถนนสายหลัก (Major road) ตัดกับถนนสายรอง ทางแยกลักษณะนี้ ยังพบเห็นได้หลายแห่งของพื้นที่ในเขตเมือง เนื่องจากเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์ และข้อจำกัดจากการเวนคืน ถึงแม้ว่า

จะมีปริมาณรถเลี้ยวมากก็ตาม กรณีนี้อาจควบคุมการจราจรโดยใช้ไฟสัญญาณ หรือป้ายจราจรบังคับ เช่น ป้ายหยุด หรือป้ายให้ทาง บนทางสายรอง อย่างไรก็ตาม การใช้ป้ายก็ไม่อาจแก้ปัญหาได้ดีเท่ากับการแบ่งช่องจราจร (Channelization)



ภาพที่ 2-9 รูปแบบทั่วไปของทางแยกแบบ Plain at grad

2.3.3 ทางแยกแบบไม่จัดช่องจราจรและขยายออก (Unchannelized and flared intersections) ทางแยกแบบไม่แบ่งช่องทาง อาจจะมีการแผ่ขยาย (Flared) ดังภาพที่ 2-9 เพื่อเพิ่มจำนวนช่องจราจรของช่องผ่านตรง หรือช่องทางพิเศษ (Auxiliary lanes) เช่น ช่องเปลี่ยนความเร็ว (Speed change lanes) และช่องทางผ่านตลอด (Passing lanes หรือ By passing lanes)



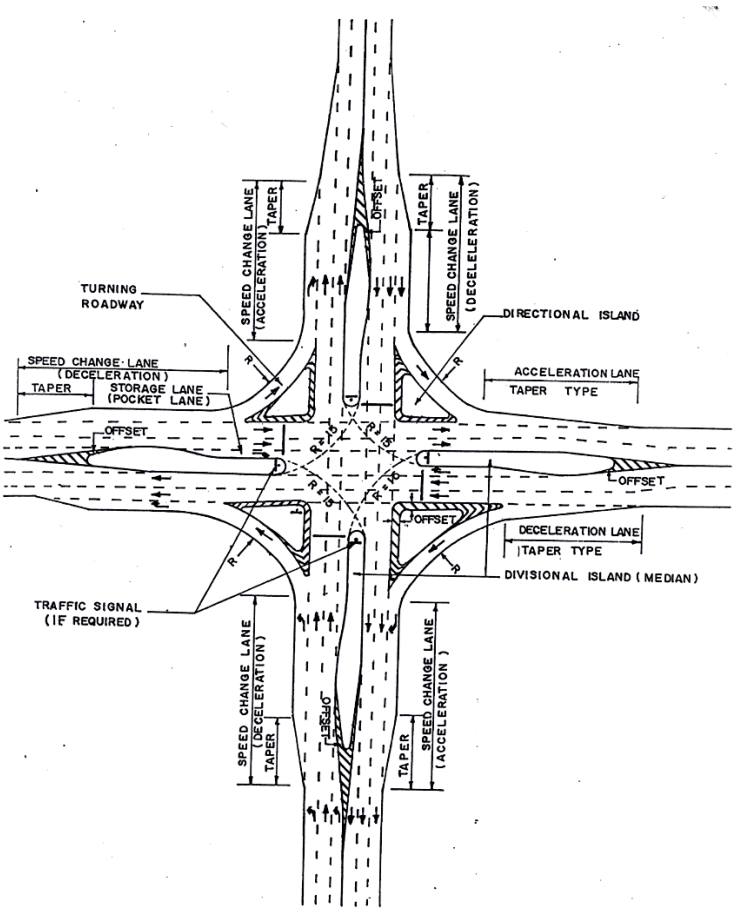
ภาพที่ 2-10 ลักษณะของทางแยกแบบขยายออก (Flared)

ช่องเปลี่ยนความเร็ว ที่ยอมให้รถเลี้ยวซ้าย หรือขวา โดยช่วยให้รถที่วิ่งอยู่สามารถเพิ่มหรือลดความเร็ว เมื่อออกจาก หรือเข้าสู่การจราจรของช่องทางตรง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความเร็วของรถที่วิ่งในช่องทางหลักอยู่แล้ว

ส่วนช่องทางผ่านตลอด (Passing lanes) จะยอมให้รถที่วิ่งทางตรง เคลื่อนตัวผ่านไปทางด้านซ้ายของรถที่กำลังรอเลี้ยวขวาอยู่ตรงทางแยก พิจารณาภาพที่ 2-10

2.4 ทางแยกแบบแบ่งช่องทาง (Channelized intersections)

เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีปริมาณการจราจรมีความซับซ้อนในการเคลื่อนที่ หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้ต้องการทางแยกที่สามารถรองรับได้ดีกว่าทางแยกแบบราบกว้าง การแบ่งช่องทางใช้กับถนนซึ่งมี 2 ช่องทางหรือหลายช่องทาง แต่การปรับปรุงขาทางแยกและการใช้งานโดยทั่วไปจะใช้กับถนนหลายช่องทาง



ภาพที่ 2-11 องค์ประกอบของทางแยกแบบแบ่งช่องทาง (Channelized)

ถ้าทางแยกที่มีปริมาณสูงขึ้นเกินวันละ 1,000 คัน ในทางหลวงแต่ละสายจะต้องพิจารณาจัดช่องทางแบบ (Channelization) หากบริเวณทางแยกยังมีการจราจรสูงขึ้น ๆ แบบของทางแยกจะเป็นแบบที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น (ดังภาพที่ 2-11) ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาเรื่องของเกาะกลางและเกาะตามมุมต่าง ๆ ช่องเลี้ยวซ้าย ช่องเลี้ยวขวา รัศมีเลี้ยวต่าง ๆ ตลอดจนถึงจุดแยกรถ (Diverging) และจุดรวมรถ (Merging) เป็นต้น

3. การพิจารณาข้อมูลประกอบการออกแบบทางแยก

การออกแบบทางแยกใด ๆ ไม่ว่าจะเป็นทางแยกใหญ่หรือเล็ก วิศวกรออกแบบควรที่จะต้องมีความเข้าใจและเรียนรู้เรื่องต่าง ๆ ในบริเวณนั้นให้มากที่สุด โดยเฉพาะหากกำลังพิจารณาแก้ไขปรับปรุงทางแยกที่มีปัญหาด้วยแล้ว จะต้องพิจารณาอย่างละเอียดรอบคอบ เพราะมักปรากฏบ่อยครั้งว่าผู้ออกแบบมุ่งแก้ปัญหาเฉพาะที่ปรากฏเด่นชัด โดยละเลยต่อปัญหาที่ตามมาเมื่อได้ปรับปรุงแก้ไขแล้ว ยกตัวอย่างเช่น มุ่งแก้ไขปัญหารถแล่นตัดขวางถูกชนที่ทางแยก แต่เมื่อปรับปรุงแก้ไขแล้วสามารถลดอุบัติเหตุรถชนขวางลำได้ แต่ส่งผลกลับว่ามีรถชนท้ายทวีสูงขึ้นดังนี้ เป็นต้น ข้อมูลที่ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงมีได้ดังนี้

3.1 ปริมาณการจราจร (Traffic volume)

ข้อมูลของปริมาณจราจรที่ต้องการนี้หากมีการสำรวจแล้วและ ผลสรุปของข้อมูลจะต้องเป็นปริมาณจราจรในช่วงสูงสุด (Peak-hour traffic volume) โดยจะต้องเป็นปริมาณจราจรในแต่ละทิศทาง (Approaching traffic) แสดงตัวเลขปริมาณจราจรแต่ละทิศทางและสัดส่วนที่รถจะไป (Turning movement) ตลอดถึงอัตราส่วนประเภทของรถในแต่ละทิศทางด้วยเพื่อใช้ประกอบวิเคราะห์เลือกรูปแบบทางแยกที่เหมาะสมต่อไป

3.2 ความจุของทางแยก (Intersection capacity)

จากการสำรวจและวิเคราะห์ปริมาณจราจรบริเวณทางแยกแล้ว ผู้ออกแบบจำเป็นต้องประเมินความจุและระดับบริการตรงบริเวณทางแยก เพื่อจะนำมาประกอบในการออกแบบทางแยก โดยที่การประเมินความจุ และระดับการให้บริการบริเวณทางแยก จะสามารถกระทำได้โดยการวิเคราะห์ โดยวิธีจากที่อ้างอิงจากทฤษฎีที่มีอยู่ในต่างประเทศ ซึ่งวิธีหลัก ๆ ที่นิยมใช้กัน คือ วิธีจาก Highway capacity manual หรือ Federal highway administration

ความจุและระดับการให้บริการบริเวณทางแยกนั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านกายภาพหลาย ๆ อย่างด้วย ดังตารางที่ 2-11

ตารางที่ 2-11 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความจุและระดับบริการในทางแยกที่ระดับเดียวกัน

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความจุและระดับบริการในทางแยกที่ระดับเดียวกัน
1. ลักษณะทางกายภาพและการควบคุม
1.1 ความกว้างของช่องจราจร
1.2 ทิศทางของการจราจรแบบ 1 หรือ 2 ทิศทาง
1.3 พื้นที่จอดรถ
2. สภาพแวดล้อม
2.1 จำนวนประชากรในชุมชน
2.2 ตำแหน่งของทางแยกในเขตชุมชน
3. ลักษณะของการจราจร
3.1 ปริมาณรถเลี้ยว
3.2 รถบรรทุก รถโดยสาร ฯลฯ
4. การควบคุม
4.1 สัญญาณจราจร
4.2 เส้นจราจร

3.3 ความเร็วออกแบบ (Design speed)

การพัฒนาด้านยานยนต์ทางด้านเครื่องยนต์ทำให้ยานพาหนะมีความเร็วแตกต่างจากค่าที่ออกแบบมากก็จะส่งผลต่อความปลอดภัย ความเร็วออกแบบ ประกอบด้วย

3.3.1 ความเร็วตรงทางเข้า

3.3.2 ความเร็วที่ใช้ออกแบบลักษณะของทางแยกชนิดต่างๆ

3.3.3 ความเร็วที่ปรับเปลี่ยน (Transition speed) ระหว่างความเร็วทางเข้ากับความเร็วบนส่วนทางแยก

4. ข้อมูลลักษณะทางแยกที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางด้านเรขาคณิต

ลักษณะทางแยก หมายถึง รายละเอียดที่เกี่ยวกับสถานที่และบริเวณใกล้เคียงของทางแยกที่สำคัญและควรมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ตำแหน่งของทางแยก (Location)

จุดตัดที่เป็นทางแยก ควรให้อยู่ในภูมิประเทศที่เป็นที่ราบหรือบริเวณที่มีระยะมองเห็นดีสามารถมองเห็นได้รอบด้าน ไม่ควรบนยอดเนิน

4.2 แนวทางและระดับ

แบบ Plan & Profile ของถนนตั้งแต่สองสายมาบรรจบ หรือตัดกันที่เป็นทางแยกแล้ว ผู้ออกแบบควรจะรู้รายละเอียดของแนวทางและแนวระดับถนนให้ละเอียด ตั้งแต่ทางแยกจนเลยออกไปในแต่ละข้างไม่น้อยกว่า 800 เมตร เพื่อให้ทราบแนวทางปรับปรุงทางแยก ในกรณีที่จุดตัดของถนนเป็นทางโค้ง อาจต้องพิจารณาถึงการยกโค้ง (Superelevation) ที่ทางแยก และในกรณีที่ถนนตัดกันเป็นมุมเฉียงมาก (Skew) อาจจะต้องพิจารณาปรับแนวถนนใหม่

4.3 เขตทางและระยะมองเห็น

เรื่องการกั้นระยะมองเห็นและการกันเขตทางพึงประสงค์บริเวณทางแยกนั้น เพื่อเป็นระยะมองเห็นปลอดภัยบริเวณทางแยก ซึ่งแบ่งตามประเภทของทางหลวง

รูปแบบของระยะมองเห็นที่ต้องพิจารณา ได้แก่

4.3.1 ทางแยกที่ไม่มีการควบคุม

4.3.2 ทางแยกที่มีการควบคุม โดยการบังคับให้รถทางโทหยุด

4.3.3 ทางแยกที่มีการควบคุม โดยให้รถทางโทให้ทาง

4.3.4. ทางแยกที่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร

4.3.5 ทางแยกที่มีการปรับปรุงในระดับสมบูรณ์

5. เกาะและการจัดแบ่งช่องทาง (Channelization)

ทางแยกซึ่งถูกออกแบบให้มีพื้นที่กว้างอาจทำให้ผู้ขับมีความสับสนและขับเข้าผิดทาง ซึ่งทำให้เกิดจุดตัด (Conflict) ที่ไม่สามารถคาดเดาได้ สามารถแก้ปัญหา โดยการออกแบบเกาะหรือแบ่งช่องทางในทางแยกซึ่งจุดประสงค์หลักของการแบ่งช่องทาง ก็คือ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของทางแยกในความปลอดภัยในการใช้งาน ดังนี้ 1) เพิ่มขีดความสามารถของการจราจรในทางแยก 2) ลดจำนวนจุดตัด 3) ควบคุมการเคลื่อนตัวของกระแสจราจร 4) ควบคุมทิศทางของจุดตัด 5) เป็นส่วนป้องกันและพื้นที่สำรองสำหรับทิศทางที่มีการจราจรสูง 6) เพื่อการใช้งานที่เหมาะสมของทางแยก 7) ออกแบบโดยจัดเตรียมไว้สำหรับการจราจรที่เพิ่มสูงขึ้นในอนาคต 8) จัดเตรียมส่วนป้องกันและพื้นที่สำรองในตำแหน่งที่สามารถควบคุมการจราจรได้ 9) สามารถควบคุมความเร็วของยานพาหนะตลอดพื้นที่ทางแยก 10) ลดพื้นที่ผิวทางส่วนเกิน 11) เป็นพื้นที่หลบภัยของคนเดินถนน

พื้นที่นอกเมืองซึ่งขับด้วยความเร็วสูงและอุบัติเหตุมักเกิดขึ้นรุนแรง การแบ่งช่องทางจะช่วยในเรื่องของความปลอดภัย ส่วนพื้นที่ในเมืองซึ่งใช้ความเร็วต่ำกว่าแต่ปริมาณการจราจรสูงกว่า การแบ่งช่องทางจะช่วยเพิ่มความจุของทางแยก โดยมีรายละเอียดในเรื่องดังนี้ 1) รัศมีวงเลี้ยว โดยใช้ Three - centered compound curves, simple curve 2) ความกว้างของช่องเลี้ยว 3) รัศมี

ควบคุมของการเลี้ยวตัดข้าม 4) รัศมีของปลายเกาะ 5) ชนิดของเกาะแบ่งทิศทาง 6) มุมตัดของทางแยก 7) ความกว้างของทางเข้าทางแยกและช่องทางพิเศษ

นอกจากนี้เกาะสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

5.1 เกาะแบ่งช่องเลี้ยวซ้าย (Directional island)

เป็นเกาะที่ใช้ควบคุมและนำผู้ขับขี่รถให้เข้าช่องทางได้อย่างถูกต้อง เช่น เกาะสามเหลี่ยมตรงช่องเลี้ยว จึงต้องออกแบบให้สามารถเห็นได้ง่าย โดยรูปลักษณะจะเป็นไปตามแนวทางที่รถเลี้ยว และรถตรง และให้ความปลอดภัย

รายละเอียดรูปร่างหัวเกาะบริเวณมุมทางแยก จะมีการแบ่งช่องทาง (Channelization) โดยแยกรถเลี้ยวซ้ายออกจากช่องรถทางตรง ขนาดของเกาะจะใหญ่เล็กก็แล้วแต่ความเหมาะสม แต่ถ้าพื้นที่ของเกาะแต่ละจุดน้อยกว่า 10 ตารางเมตรแล้ว

โดยปกติขอบของเกาะควรถอยห่างจากขอบทางไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร เพื่อให้เกิดช่องปลอดภัยด้านข้าง (Lateral clearance) เพียงพอ สำหรับบริเวณหัวเกาะด้านตั้งรับทิศที่รถแล่นมาไม่ควรใช้รัศมีน้อยกว่า 1.00 เมตร ส่วนบริเวณปลายเกาะในทิศทางตามรถ ควรใช้รัศมีหัวเกาะไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร รายละเอียดอื่น ๆ เป็นไปตามข้อแนะนำในภาพที่ 2-16

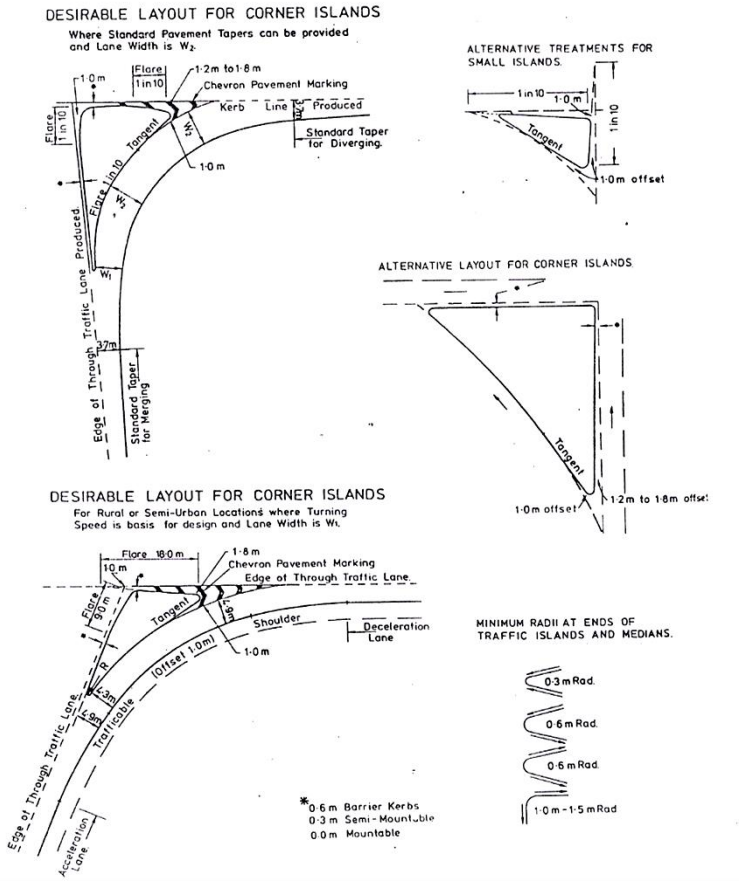
การออกแบบเกาะจะต้องตอบสนองต่อการใช้งานในบริเวณนั้น เกาะตรงหัวมุม (Corner island) หรือเกาะแบ่งช่องเลี้ยวซ้าย (Directional island) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมที่อยู่ในทางแยกจะต้องมีข้อคำนึงถึง

5.1.1 มีขนาดที่มองเห็นได้ชัดเจน

5.1.2 มีระยะห่าง (Offset) ออกจากเส้นทางวิ่งปกติ

5.1.3 มีพื้นที่พอสำหรับติดตั้งเครื่องหมายหรือป้ายสัญญาณจราจร

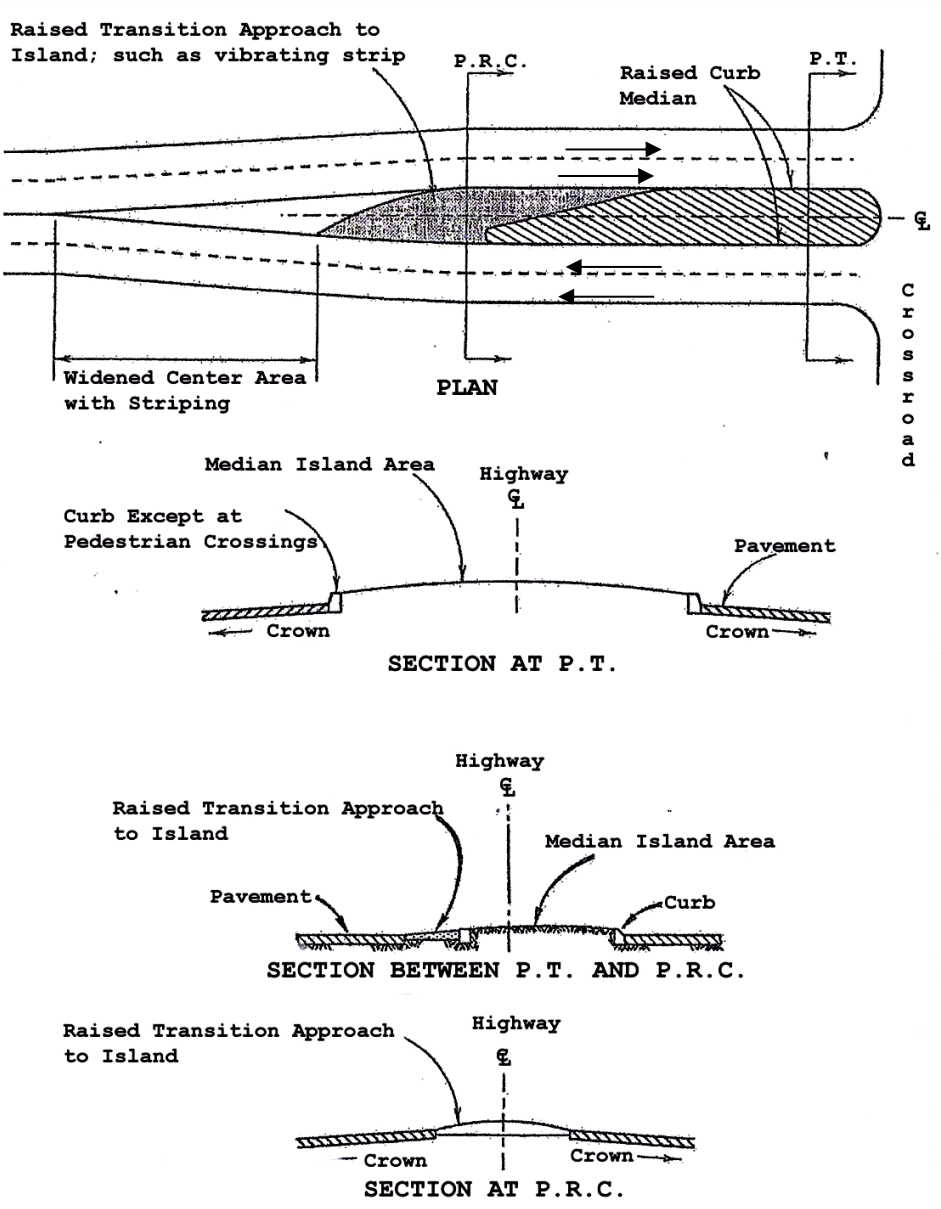
5.1.4 แสดงเครื่องหมายเตือนที่เห็นได้ชัดในเวลากลางคืน



ภาพที่ 2-12 ลักษณะของ Directional island

5.2 เกาะแบ่งทิศทางรถที่สวนกัน (Divisional Island)

การแบ่งแยกรถที่ทิศทางสวนกัน โดยมักจะอยู่ตรงกลางถนน (Median) ช่วยเตือนคนขับก่อนเข้าหาทางแยก และช่วยกำกับการแล่นผ่านตัวทางแยก นอกจากนี้แล้วยังใช้เป็นพื้นที่ให้รถที่กำลังรอเลี้ยวขวา สามารถหลบรถทางตรงได้อย่างปลอดภัย ตำแหน่งของหัวเกาะตรงทางแยกและรูปร่างมักจะถูกกำหนดด้วยรอยของการเลี้ยว (Turning path) ตามที่ออกแบบ ดังภาพที่ 2-12

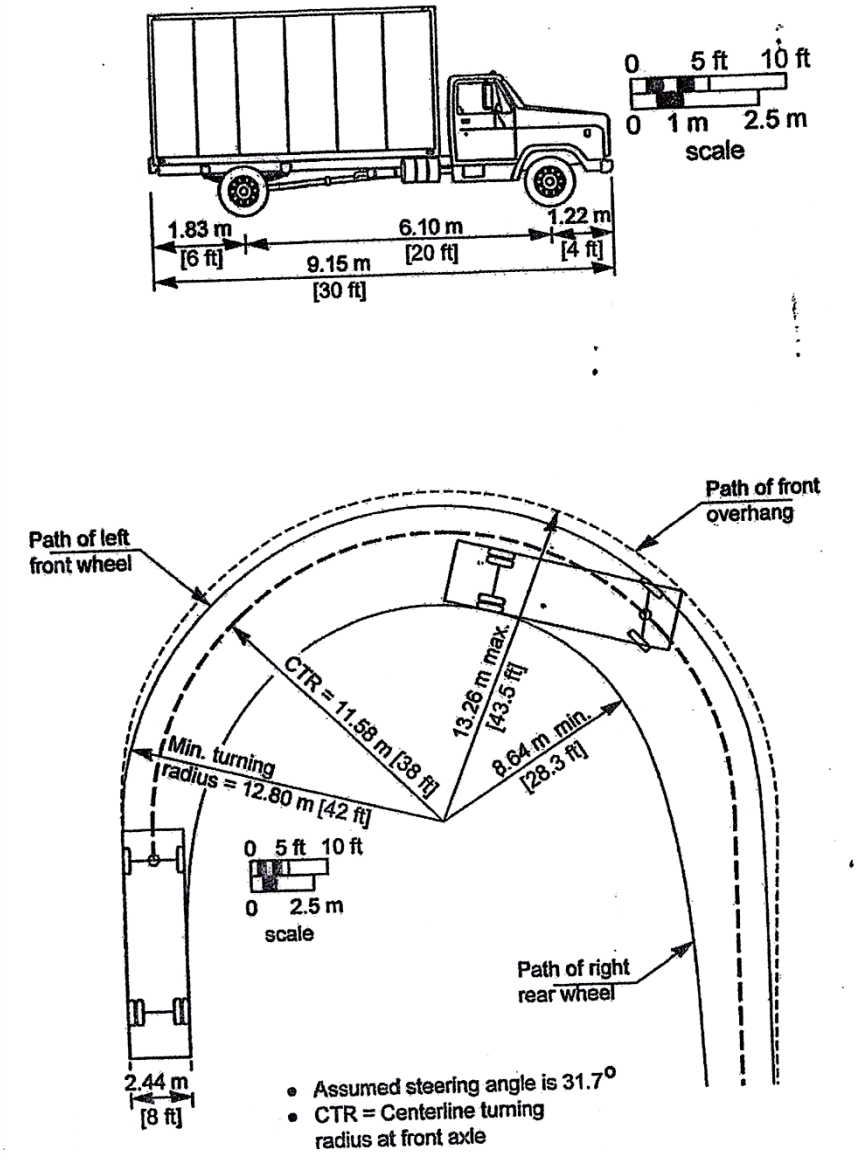


ภาพที่ 2-13 รายละเอียดของ Divisional island

ความกว้างของเกาะกลางถนนในบริเวณทางแยกนับว่ามีความสำคัญ กรณีที่มีรถเลี้ยวขวามากไม่น้อยกว่า 200 คันต่อชั่วโมงในเวลาเร่งด่วน ก็จำเป็นต้องจัดช่องทางพิเศษ (Auxiliary lane) สำหรับเป็นช่องเลี้ยวขวา (Right turn lane) ซึ่งช่องพิเศษนี้จะต้องไม่ใช้ช่องทางปกติ (Basic lane) ดังนั้น ช่องเลี้ยวขวามักจะเป็นส่วนเว้าในพื้นที่ของเกาะกลาง นอกจากนี้ บริเวณหัวเกาะที่รถเตรียมเลี้ยวนั้น จะออกแบบให้เป็นไปตามแนวล้อรถขณะเลี้ยว หัวเกาะบริเวณนี้จึงนิยมออกแบบเป็นรูปหยดน้ำตา (Tear drop) โดยใช้โค้งก้นหอย (Spiral curve)

5.3 ช่องทางเลี้ยว (Turning roadway)

ส่วนโค้งบริเวณทางแยก (Intersection curves) การออกแบบส่วนโค้งในเบื้องต้นควรจะพิจารณาชนิด ลักษณะ และปริมาณของยานพาหนะแต่ละชนิด ซึ่งยานพาหนะออกแบบจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบทางโค้ง ทางเลี้ยว และระยะมองเห็นบริเวณจุดควบคุม หรือสัญญาณไฟ นอกจากนี้ยังต้องออกแบบเผื่อสำหรับรถบรรทุกหรือรถบัสที่อาจเข้าไปใช้ทาง ซึ่งได้แก่ SU (A Single-unit, รถบรรทุกหรือรถบัสสองเพลา) ดังภาพที่ 2-18



ภาพที่ 2-14 Minimum turning path ของ Single unit (SU) Truck design vehicle

6. ปัจจัยที่ควบคุมการออกแบบช่องทางเลี้ยวบริเวณทางแยก

6.1 ปริมาณรถที่เลี้ยว

ทางแยกใดที่มีปริมาณรถเลี้ยวมาก อาจจะต้องจัดแบ่งช่องจราจรแยกจากรถทางตรงด้วย เกาะ (Island) และอาจจะออกแบบเป็นรถเดินทางเดียว (One way) หรือสวนทางกัน (Two way) ในช่องเลี้ยวนั้น หรือเป็นแบบรถเดินทางเดียว 2 ช่องจราจร ขึ้นอยู่กับปริมาณรถ และลักษณะการใช้งานของทางแยกนั้น ทางแยกที่มีปริมาณรถมากอาจจะก่อสร้างไหล่ทางตรงช่องเลี้ยวให้เป็นลักษณะเดียวกันกับผิวทาง เพื่อช่วยในการเลี้ยว อย่างไรก็ตามไม่ว่าปริมาณรถจะมากหรือน้อยก็ควรจะก่อสร้างไหล่ทางเป็นลักษณะ Treated shoulder

6.2 ประเภทของรถที่เลี้ยว

ประเภทของรถที่เลี้ยวจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับความกว้างของช่องเลี้ยว รัศมีเลี้ยว และความลาดของผิวทาง แนวความกว้างของการเลี้ยว (Turning path) ส่วนยื่น (Over hang) ตามประเภทของรถจะมีผลต่อความกว้างของช่องเลี้ยว รัศมีเลี้ยว และลักษณะของเกาะ (Island) ที่ใช้จัดช่องทางเลี้ยวนั้น พิจารณาภาพที่ 2-14

6.3 มุมตัดของทางแยก

จะมีผลต่อรัศมีเลี้ยว เช่น ถ้ามุมเลี้ยว (Angle of turn) น้อยกว่า 90 รัศมีเลี้ยวจะเป็นรัศมีของ Simple curve ที่ยาว ถ้ามุมเลี้ยวเท่ากับ 90 รัศมีของ Simple curve จะสั้นที่สุด และถ้ารัศมีเลี้ยวมากกว่า 90 มักจะใช้เป็น 3-Centered curve แทน

6.4 ความเร็วในการเลี้ยว

ถ้าออกแบบให้ความเร็วในช่องทางเลี้ยวมากขึ้น ก็จะต้องเพิ่มค่ารัศมีเลี้ยวของ Simple curve ให้ยาวขึ้น หรือออกแบบให้ช่องขาเข้าและขาออกจากช่องเลี้ยวให้ผายขึ้น (Taper) ร่วมกับรัศมีของ Simple curve หรือต้องใช้ 3-Centered curve เป็นส่วนใหญ่

6.5 เขตทาง

การออกแบบขยายช่องทางเลี้ยวจะต้องใช้พื้นที่เพิ่มขึ้น ในกรณีที่เขตทางจำกัด เช่น ในเมืองอาจจะต้องออกแบบรัศมีเลี้ยวเป็นแบบ 3-Centered curve เพียงอย่างเดียว ซึ่งเหมาะสมกว่า Simple curve ที่จะใช้พื้นที่มากกว่า

7. องค์ประกอบของช่องทางเลี้ยว

7.1 ช่องปรับความเร็ว (Speed change lane)

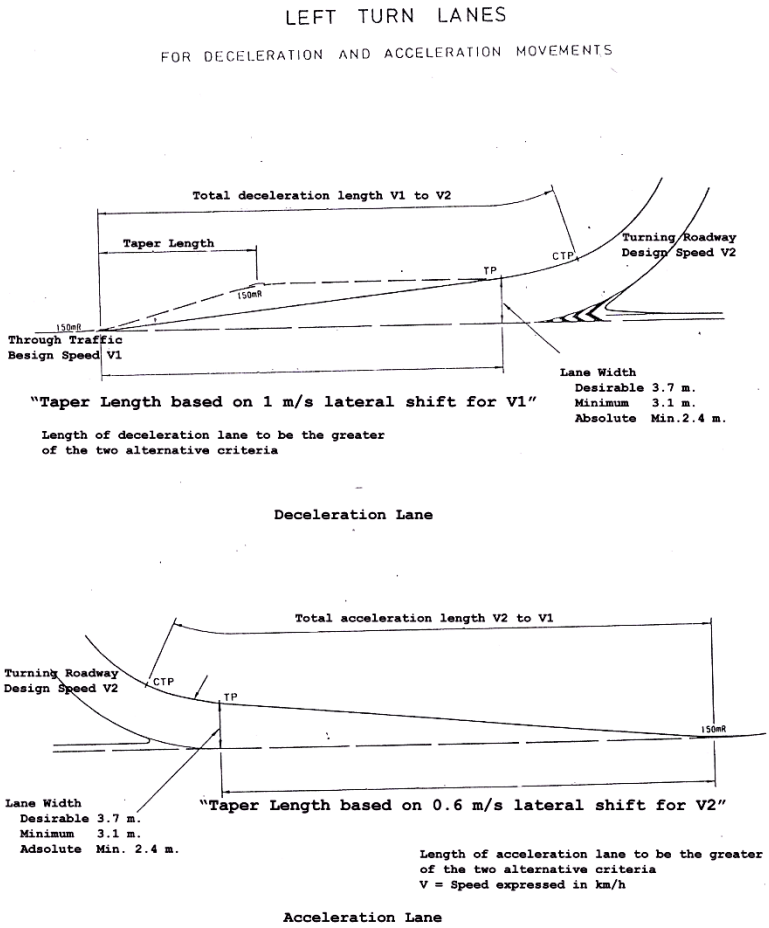
ในการเลี้ยวออกจากทางหลวงที่ทางแยก ผู้ใช้รถจะต้องลดความเร็วก่อนที่จะเลี้ยวรถ ในขณะที่เลี้ยวเข้าหาทางหลวงที่ทางแยก ก็จะเร่งความเร็วจากความเร็วที่เลี้ยวขึ้นเท่าความเร็วของรถทางตรง ซึ่งการแยกออกหรือการเข้าหาดังกล่าวโดยตรง จะสร้างปัญหาให้กับรถทางตรง

(Through traffic) จึงจำเป็นจะต้องออกแบบช่องปรับความเร็ว เพื่อลดปัญหาดังกล่าว โดยเฉพาะที่ทางแยกใหญ่ โดยที่ความยาวของช่องทางพิเศษนี้จะขึ้นอยู่กับ ความเร็ว และปริมาณจราจรที่จะต้องใช้ Acceleration lane

ช่องปรับความเร็วจะเป็นแบบลดความเร็ว (Deceleration) และเร่งความเร็ว (Acceleration) จากการออกหรือเข้าช่องทางรถตรง พิจารณาภาพที่ 2-15 ช่องปรับความเร็วจะประกอบด้วย

7.1.1 ช่องผายความกว้าง (Taper)

7.1.2 ช่องที่เป็นช่องทางตรง (Storage หรือ Auxiliary)



ภาพที่ 2-15 ช่องทางพิเศษที่จุดแยก (Deceleration lane) และจุดรวม (Acceleration lane)

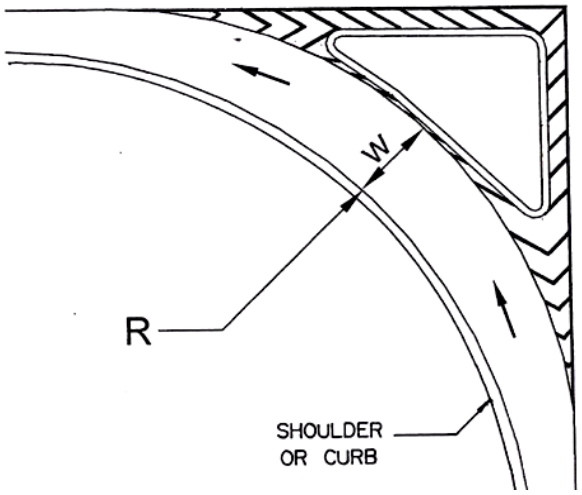
7.2 ช่องทางพิเศษ (Auxiliary lanes)

การใช้ช่องทางพิเศษ มีวัตถุประสงค์เพื่อ เพิ่มความจุของปริมาณการจราจร (ในเมือง) และทำให้เกิดความปลอดภัยเมื่อใช้ในการเปลี่ยนความเร็ว (นอกเมือง) จะเห็นว่ามีการใช้ช่องทางพิเศษสำหรับช่องทางเลี้ยวทั้งซ้ายและขวา ตรงบริเวณทางแยกระดับเดียวกัน และช่องทางเพิ่ม-ลดความเร็ว ตรงบริเวณทางเข้า-ออกของทางแยกต่างระดับ (Interchange ramp terminal) สิ่งสำคัญในการออกแบบช่องทางพิเศษ คือ การหาความยาวที่เหมาะสมเพื่อใช้เปลี่ยนความเร็ว

สำหรับทางแยกในเมืองต้องคำนึงถึงความยาวที่สามารถจุปริมาณรถที่รอเลี้ยว ในแต่ละสัญญาณจราจร โดยออกแบบที่ 1.5 ถึง 2 เท่าของจำนวนเฉลี่ยของรถแต่ละชนิดที่รอสัญญาณไฟในช่องทางเลี้ยว

7.3 ขนาดของช่องเลี้ยว

แนวทางและรัศมีเลี้ยวสำหรับทางแยกแบบมีการแบ่งช่อง (Channelization) ต้องออกแบบให้มีมิติที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน โดยปกติทางแยกนอกเมือง ซึ่งการจราจรมิได้หนาแน่นติดขัด ซึ่งรถเลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา มีโอกาสมากที่จะเลี้ยวได้โดยไม่จำเป็นต้องหยุดรอเสมอไป การออกแบบช่องเลี้ยวจึงต้องกำหนดให้รถสามารถแล่นผ่านได้อย่างสะดวก ตามตารางที่ 2-14



ภาพที่ 2-16 ขนาดความกว้างของทางเลี้ยว (Width of turning roadways)

ตารางที่ 2-12 Minimum acceleration lengths for entrance terminals with flat grades of two percent or less (AASHTO, 2004)

Acceleration length, L (m) for entrance curve design speed (km/h)									
Highway		**Stop condition**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**
Design speed, V (km/h)	**Speed reached, Va (km/h)**	**and initial speed, V'a (km/h)**							
		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

Note: Uniform 50 : 1 to 70 : 1 tapers are recommended where lengths of acceleration lanes exceed 400 m.

ตารางที่ 2-13 Minimum deceleration lengths for exit terminals with flat grades of two percent or less (AASHTO, 2004)

Deceleration length, L (m) for design speed of exit curve V_N (km/h)									
Highway Design speed, V (km/h)	**Speed reached, Va (km/h)**	**Stop condition**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**
		For average running speed on exit curve, V'a (km/h)							
		0	**20**	**28**	**35**	**42**	**51**	**63**	**70**
50	47	75	70	60	45	-	-	-	-
60	55	95	90	80	65	55	-	-	-
70	63	110	105	95	85	70	55	-	-
80	70	130	125	115	100	90	80	55	-
90	77	145	140	135	120	110	100	75	60
100	85	170	165	155	145	135	120	100	85
110	91	180	180	170	160	150	140	120	105
120	98	200	195	185	175	170	155	140	120

Note: V = design speed of highway (km/h)

Va = average running speed on highway (km/h)

V_N = design speed of exit curve (km/h)

V'a = average running speed on exit curve (km/h)

เช่นเดียวกับการออกแบบส่วนโค้ง การออกแบบความกว้างของทางเลี้ยว (Width of turning roadways) ก็ขึ้นกับยานพาหนะออกแบบ ตามตารางที่ 2-14

ตารางที่ 2-14 แนะนำความกว้างผิวทางสำหรับทางเลี้ยว (AASHTO, 2004)

Pavement Width (m)									
Radius on inner edge of pavement R (m)	**Class I One-lane, one-way operation-no provision for passing a stalled vehicle**			**Class II One-lane, one-way operation-with provision for passing a stalled vehicle**			**Class III Two-lane operation-either one-way or two-way**		
	A	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**	**A**	**B**	**C**
15	5.4	5.5	7.0	6.0	7.8	9.2	9.4	11.0	13.6
25	4.8	5.0	5.8	5.6	6.9	7.9	8.6	9.7	11.1
30	4.5	4.9	5.5	5.5	6.7	7.6	8.4	9.4	10.6
50	4.2	4.6	5.0	5.3	6.3	7.0	7.9	8.8	9.5
75	3.9	4.5	4.8	5.2	6.1	6.7	7.7	8.5	8.9
100	3.9	4.5	4.8	5.2	5.9	6.5	7.6	8.3	8.7
125	3.9	4.5	4.8	5.1	5.9	6.4	7.6	8.2	8.5
150	3.6	4.5	4.5	5.1	5.8	6.4	7.5	8.2	8.4
Tangent	3.6	4.2	4.2	5.0	5.5	6.1	7.3	7.9	7.9
Width modification regarding edge treatment									
No stabilized shoulder	None			None			None		
Sloping curb	None			None			None		
Vertical curb :									
One side	Add 0.3 m.			None			Add 0.3 m.		
Two sides	Add 0.6 m.			Add 0.3 m.			Add 0.6 m.		
Stabilized shoulder,one or both sides	Lane width for conditions B & C on tangent may be reduced to 3.6 m. where shoulder is 1.2 m. or wider			Deduct shoulder width ; minimum pavement width as under Case I			Deduct 0.6 where shoulder is 1.2 m. or wider		

Note: A = predominantly P vehicles, but some consideration for SU trucks.

B = sufficient SU vehicles to govern design, but some consideration for semitrailer combination trucks.

C = sufficient bus and combination-trucks to govern design

8. การวิเคราะห์ด้านการจราจรโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากปัญหาด้านการจราจรในปัจจุบันมีปริมาณสูงและมีความยุ่งยากซับซ้อน และมีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแก้ไขปัญหานั้น ๆ ดังนั้นกรมทางหลวงได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาและวิเคราะห์จะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ง่ายต่อการพิจารณาแก้ไขปัญหาด้านการจราจรซึ่งสามารถกำหนดทางเลือกต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหาก่อนนำไปก่อสร้างจริงเพื่อประหยัดงบประมาณและระยะเวลาของการแก้ไขปัญหา บริบทของเครื่องมือหรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาวิเคราะห์ปัญหาด้านการจราจรส่วนใหญ่ จะมีประเด็นดังนี้

8.1 ช่วยในการตัดสินใจ

8.2 ช่วยทำนาย ศึกษา และวิเคราะห์สภาพจราจรในอนาคต

8.3 ช่วยศึกษา วิเคราะห์ และ เปรียบเทียบทางเลือกศึกษา

8.4 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการวางแผนและออกแบบทั้งในด้านเวลาและค่าใช้จ่าย

8.5 ช่วยศึกษา วิเคราะห์ ผลกระทบต่อสภาพจราจรของในทางเลือกศึกษาต่าง ๆ

8.6 ช่วยในการนำเสนอผลการศึกษาต่อสาธารณะ

8.7 ช่วยในการติดตามหรือตรวจสอบสภาพจราจร

โปรแกรมที่ใช้และได้รับความนิยมในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่ทางแยกโปรแกรมแรก ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Analytical/ Deterministic คือ โปรแกรม SIDRA โดยโปรแกรม SIDRA (Signalized and Unsignalized intersection design and Research aid) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองด้านการจราจร เพื่อหาค่าความจุและสถิติการให้บริการที่ทางแยก เช่น ค่าความล่าช้า ความยาวแถวคอย เป็นต้น

ในการวิเคราะห์ระดับการให้บริการที่ทางแยกโดยใช้โปรแกรม SIDRAมีการนำเข้าข้อมูลสำคัญที่ใช้จะประกอบไปด้วย 1) ข้อมูลปริมาณการจราจรที่บริเวณทางแยก (Intersection traffic volume) 2) ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของทางแยก (Intersection geometric) 3) ข้อมูลปริมาณจราจรที่ทางแยก (Traffic volume) 4) การควบคุมการจราจรที่ทางแยก (Traffic control, Phasing and Priorities)

จากข้อมูลทั้งสองส่วนก็จะนำมาใช้เป็น Input ของ Software ดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีความจำเป็นต้องใส่ข้อมูลการจัดการที่บริเวณทางแยก เช่น จังหวะสัญญาณไฟจราจรสำหรับการจัดทางแยกแบบสัญญาณไฟจราจร (Signalized intersection) จากนั้นจึงคำนวญดูผลลัพธ์ทางด้านวิศวกรรมจราจรต่าง ๆ ที่บริเวณทางแยก ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมนี้ คือ

1) Cycle time การจัดรอบเวลาสัญญาณไฟ 2) Delay ความล่าช้าเฉลี่ยที่ทางแยก 3) Degree of saturation ระดับความอิ่มตัวที่บริเวณทางแยก 4) Level of service ระดับการให้บริการที่ทางแยก

จากผลการวิเคราะห์ระดับการให้บริการที่ทางแยกของโครงการฯต่าง ๆ จะทำให้ทราบว่าก่อนและหลังการปรับปรุงทางแยกของโครงการ ฯ จะมีขีดความสามารถรองรับปริมาณการจราจรในขณะนั้นหรืออนาคต ว่าเป็นอย่างไร เพื่อประโยชน์ในการวางแผนด้านการจราจร และออกแบบถนนให้เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่ได้จำลองทางเลือกจากโปรแกรม ต่อไป

โดยทั่วไปแล้วหากผลการวิเคราะห์ระดับการให้บริการที่ทางแยกต่ำกว่าระดับ D ควรมีการพิจารณาออกแบบปรับปรุงทางแยกนั้น ๆ อย่างไรก็ตามการพิจารณาปรับปรุงทางแยกยังคงต้องพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบ เช่น งบประมาณ สถิติอุบัติเหตุ และการมีส่วนร่วมของมวลชนในการแก้ไขปัญหา เป็นต้น

ประเภทของเกาะกลางถนน (Road Medians) และการออกแบบรูปตัดงานขยายทางหลวง (Road Widening) (สำนักสำรวจและออกแบบ, 2554)

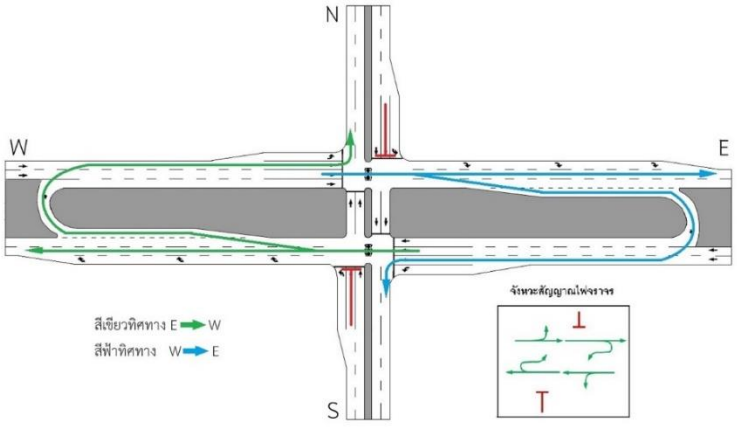
ปัจจุบันงานก่อสร้างขยายปรับปรุงทางหลวงให้เป็น 4 ช่องจราจรหรือมากกว่า มีจำนวนมากตามปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นทุกปีเพื่อให้เกิดความสะดวกปลอดภัยให้กับผู้ใช้ทาง ซึ่งถือเป็นภาระกิจหลักของหน่วยงาน ฯ ฉะนั้นการศึกษาวิจัยนี้จะทบทวนแนวทางและต่อยอด การกำหนดรูปตัดทางหลวงเพื่อให้สอดคล้อง กับงบประมาณ จากการจัดทำแนวทางแนะนำการออกแบบเกาะกลางถนนและการขยายทางหลวงเพื่อการวางแผนและการวางมาตรการความปลอดภัยรวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายในปัจจุบันได้มีแนวโน้มสูงขึ้น

กรมทางหลวงได้จำกัดความ ประเภทของเกาะกลางถนน ตามหลักการทั่วไปเกาะกลางถนนสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. เกาะกลางถนนแบบเกาะสี (Flush and Painted median)
2. เกาะกลางถนนแบบยก (Raised median)
3. เกาะกลางถนนแบบกดเป็นร่อง (Depressed median)
4. เกาะกลางถนนแบบเป็นราวหรือกำแพงกั้น (Barrier median)

ภาพที่ 2-17 ภาพของเกาะแบบกดเป็นร่อง (Depressed median)

เกาะกลางแบบกดเป็นร่องมักนิยมใช้กับทางหลวงนอกเมืองหรือทางสายหลัก ที่รถใช้ความเร็วสูง เนื่องจากความกว้างของร่องและความลาดเอียงของร่องถูกออกแบบมา เพื่ออำนวยความปลอดภัยให้กับรถที่ใช้ความเร็วสูงในกรณีที่รถเสียหลักเข้าสู่พื้นที่เกาะกลางและเพื่อมิให้ชนกับรถที่แล่นสวนทางมาอีกด้านหนึ่งโดยง่ายเนื่องจากคันทางทั้งสองด้านแยกห่างออกจากกัน และยังใช้ประโยชน์จากความกว้างของเกาะกลาง จัดเป็นช่องจราจรรอเลี้ยวหรือกลับรถได้ดีกว่าและใช้เป็นพื้นที่เผื่อขยายช่องจราจรในอนาคตได้ดีกว่า และจากศึกษานี้จะเป็นการพัฒนาพิจารณาต่อยอดหาความกว้างเกาะกลางที่เหมาะสม ในการพิจารณาเกณฑ์ดังกล่าวถึงข้างต้น ดังภาพที่ 2-18

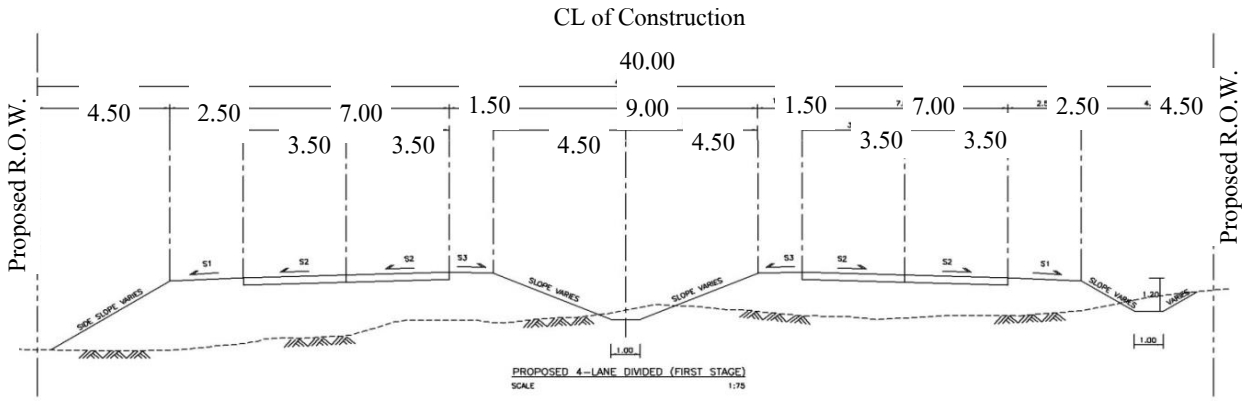


ภาพที่ 2-18 แนวคิดการสัญจรของรถที่ส่งผลต่อการพิจารณาหาความกว้างเกาะกลางที่เหมาะสม

ความกว้างของเกาะกลางจะขึ้นอยู่กับความลาดของร่องเกาะกลางที่คำนึงถึงความปลอดภัยของรถที่เสียหลักลงไป และพื้นที่ช่วยในการเสียหลัก (Recovery area) ความลึกของร่องกลาง การระบายน้ำและมาตรฐานของทางหลวง

ตารางที่ 2-15 ความกว้างของเกาะกลางแบบกดเป็นร่อง (Depressed median)

มาตรฐานชั้นทาง	**ลาดเอียงของร่องกลาง (Side slope)**	**ความลึกของร่องกลางตรงกลาง**	**ความกว้างของเกาะกลางจากขอบผิวจราจรด้านในของทั้งสองคันทาง**
ทางหลวงมาตรฐานพิเศษ (Divided highway) ของกรมทางหลวงโดยทั่วไป	3 : 1-4 : 1 (ในกรณีที่ต้องชันกว่า 3 : 1 และคันทางสูงให้พิจารณาติดตั้งราวกันอันตรายเพิ่ม)	1.00 ม. (Min.)	12.00 ม.-15.00 ม. (ในกรณีที่ต้องการเผื่อพื้นที่ขยายช่องจราจรในอนาคตให้เพิ่มความกว้างอีก 3.50 ม.)
ทางหลวงมาตรฐานทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (Motorway) ของกรมทางหลวง	6 : 1	1.00 ม. (Min.)	20.70 ม.
ทางหลวงมาตรฐาน Divided highway นอกเมืองตามข้อแนะนำของ AASHTO	4 : 1-6 : 1	1.00 ม. (Min.)	15.00 ม. (Min.)

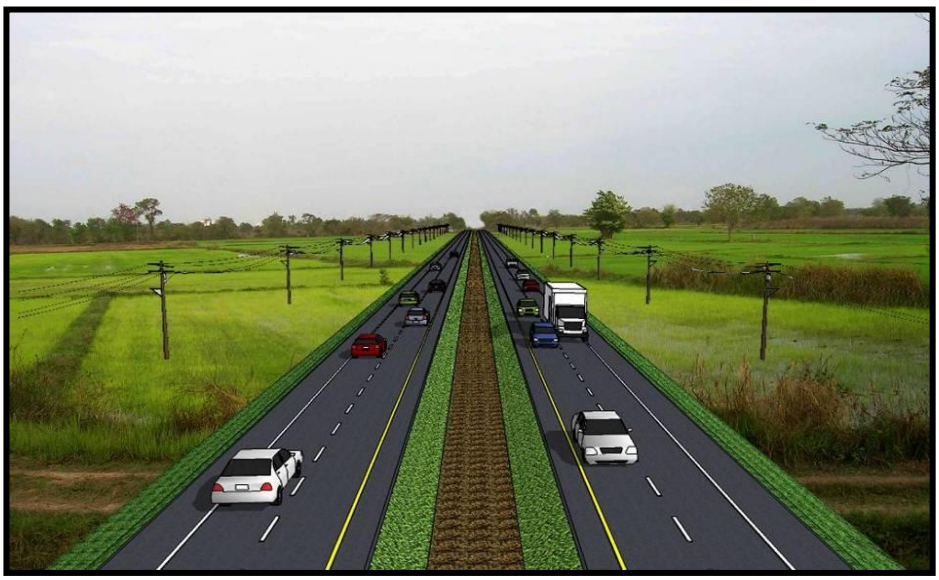


ภาพที่ 2-19 รูปตัดงานทางเกาะแบบกดเป็นร่อง (Depressed Median) ตามข้อแนะนำในแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง

จากรูปแบบปัจจุบันประภทถนนที่เป็นแบบ เกาะกลางแบบกดเป็นร่อง (Depressed median) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ในการปรับปรุงจาก 2 ช่องจราจร เป็น 4 ช่องจราจร คือ

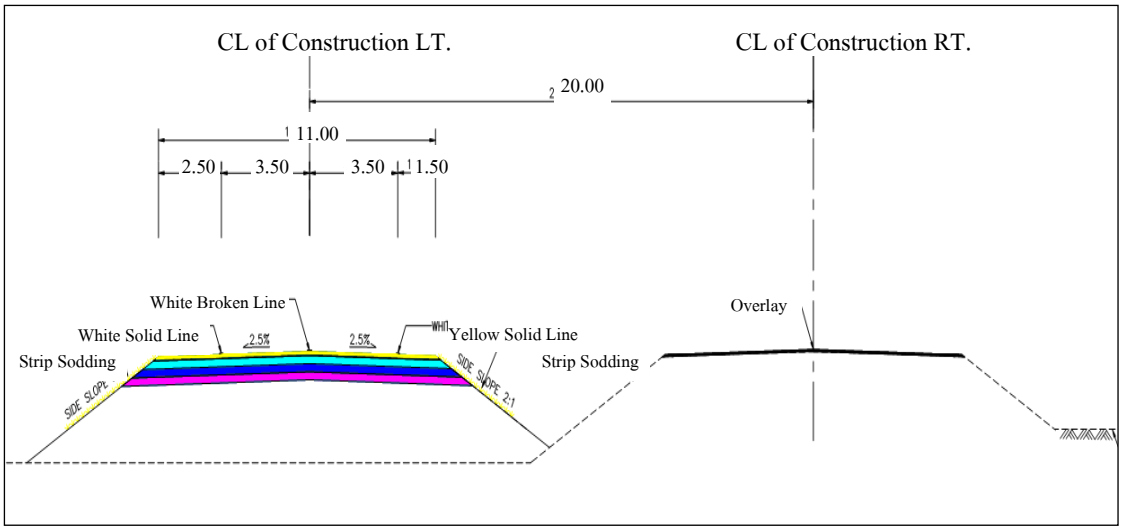
1. รูปตัดที่ 3.1 ขึ้นคันทางใหม่แบบ Depressed median โดยก่อสร้างคันทางใหม่ขนาด 2 ช่องจราจร ข้างใดข้างหนึ่งของคันทางเดิม ตามภาพที่ 2-21

2. รูปตัดที่ 3.2 ขึ้นคันทางใหม่แบบ Depressed median โดยก่อสร้างคันทางใหม่สองข้างทางของคันทางเดิม โดยคันทางเดิมอยู่แนวกลางของความกว้างเขตทาง ตามภาพที่ 2-22



ภาพที่ 2-20 ภาพเสมือนจริงของรูปตัดแบบ Depressed Median (สำนักสำรวจและออกแบบ, 2554)

รูปตัดที่ 3.1 ขึ้นคันทางใหม่แบบ Depressed median โดยก่อสร้างคันทางใหม่ขนาด 2 ช่องจราจร ข้างใดข้างหนึ่งของคันทางเดิม



ภาพที่ 2-21 รูปตัดที่ 3.1 ขึ้นคันทางใหม่ขนาด 2 ช่องจราจร ข้างใดข้างหนึ่งของคันทางเดิม

ข้อดี

1. ประหยัดค่าก่อสร้าง เพราะใช้ประโยชน์จากคันทางเดิมและสะพานเดิมได้เต็มที่

2. สามารถแก้ไขปัญหาผลกระทบต่อสิ่งอุปสรรคต่าง ๆ ภายในเขตทาง เช่น ต้นไม้สงวน คลองระบายน้ำ ร่องเหมืองชลประทาน บ่อยืมดินที่เอียงลาดชัน สิ่งปลูกสร้างหรือโบราณสถานที่ต้องอนุรักษ์ซึ่งรื้อถอนไม่ได้ ฯลฯ โดยสามารถเลือกข้างที่มีผลกระทบน้อยกว่า

3. มีผลกระทบต่อการจราจรระหว่างก่อสร้างน้อยกว่า เพราะสามารถใช้ถนนเดิมได้ในการสลับช่องจราจร

ข้อเสีย

1. รูปแบบจะไม่ค่อยสอดคล้องกับการขยายช่องจราจรเพิ่มเติมในอนาคตตามรูปแบบ Ultimate stage ตลอดจนตำแหน่งเสาสะพานลอยคนเดินข้าม และสิ่งปลูกสร้างสาธารณูปโภคต่าง ๆ ที่จะกำหนดให้เหมาะสมในเขตทาง ตำแหน่งของสะพาน ฯลฯ ทำให้การขยายเพิ่มเติมองค์ประกอบต่าง ๆ ในอนาคตทำได้ยาก จึงไม่เหมาะกับสายทางสายหลักที่เป็นโครงข่ายสำคัญ

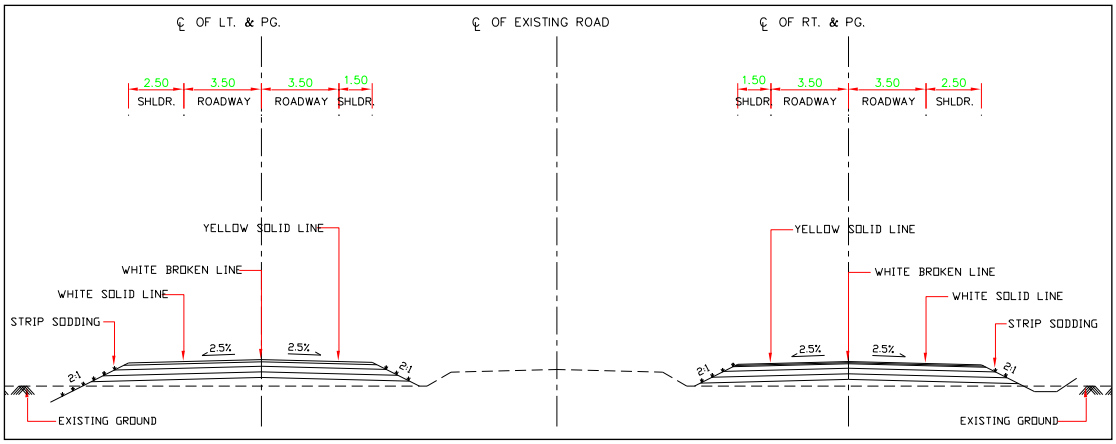
2. อาจมีปัญหาเรื่องทางวิศวกรรมต่าง ๆ ในกรณีที่พื้นที่ด้านข้างคันทางเดิมเป็นดินอ่อน เป็นที่ลุ่มน้ำขังลึก เป็นเหวด้านข้างทาง ฯลฯ

3. มีปัญหาเรื่องระบายน้ำกับพื้นที่ประชิดด้านข้างทางมากกว่า เพราะอาจไม่มีช่วงระยะพื้นที่รับน้ำด้านข้าง หรือขุดร่องน้ำข้างทางไม่ได้

4. ได้รับผลกระทบจากผู้อยู่อาศัยด้านข้างทางที่มีกิจกรรมต่าง ๆ ชิดเขตทาง เป็นการเข้าออกที่กระชั้นหรือการประกอบธุรกิจต่าง ๆ ริมทางหลวงที่อยู่ใกล้ทางหลวงมาก ซึ่งจะส่งผลถึงความปลอดภัยต่อการจราจรบนทางหลวง

5. มีปัญหากับรูปแบบทางแยกที่ต้องปรับแนวก่อนเข้าทางแยกและย่านชุมชน

รูปตัดที่ 3.2 ขึ้นคันทางใหม่แบบ Depressed median โดยก่อสร้างคันทางใหม่สองข้างทางของคันทางเดิม โดยคันทางเดิมอยู่แนวกลางของความกว้างเขตทาง



ภาพที่ 2-22 รูปตัดที่ 3.2 ขึ้นคันทางใหม่สองข้างทางของคันทางเดิม โดยคันทางเดิมอยู่แนวกลางของความกว้างเขตทาง

ข้อดี

1. เหมาะกับทางหลวงมาตรฐานสูงเป็นเส้นทางหลัก ปริมาณรถมาก ใช้ความเร็วสูง และมีแนวโน้มจะต้องขยายเพิ่มช่องจราจรอีกหรือพัฒนาเป็นรูปแบบ Ultimate stage ในย่านชุมชนหรือในอนาคตอันใกล้

2. มีผลกระทบต่อการจราจรระหว่างก่อสร้างน้อย จัดช่องจราจรทดแทนได้มาก

3. จัดระบบระบายน้ำของงานทางได้ดีกว่า ทั้งตรงกลางและด้านข้าง

4. จัดรูปแบบเกาะกลางช่องรอเลี้ยวและเลี้ยวกลับที่จุดเปิดเกาะกลางได้ดีกว่า

5. มีความปลอดภัยในการสัญจรมากกว่า เพราะจัดคันทางสองข้างให้ห่างมากกว่าได้ตลอดจนมีระยะมองเห็นทางราบดีกว่า

ข้อเสีย

1. เสียค่าก่อสร้างมาก เพราะต้องก่อสร้างคันทางช่องจราจรและสะพานใหม่ทั้งหมด
2. เสียค่าใช้จ่ายระบบระบายน้ำตามขวาง (Cross drain) มากกว่า
3. อาจมีปัญหาเรื่องทางวิศวกรรมต่าง ๆ ในกรณีที่พื้นที่ด้านข้างคันทางเดิมเป็นดินอ่อน เป็นปัญหาลุ่มน้ำขังลึก เป็นเหวด้านข้างทาง เป็นคลองระบายน้ำ หรือลำเหมืองสาธารณะในเขตทาง

ปริมาณงานและราคาค่าก่อสร้างงานขยายทางหลวงต่อกิโลเมตรของรูปตัดต่าง ๆ ดังตารางที่ 2-16

ตารางที่ 2-16 สรุปราคาค่าก่อสร้างงานขยายทางหลวงต่อกิโลเมตรจำแนกตามประเภทของเกาะกลางถนน (Road medians) (สำนักสำรวจและออกแบบ, 2554)

หน่วย: บาท

องค์ประกอบของงาน	1. เกาะกลางแบบเกาะสี Painted Median ขยายคันทางเดิมทั้งสองข้าง	2. เกาะกลางแบบ Raised median ขยายคันทางเดิม				3. เกาะกลางแบบ Depressed Median ขึ้นคันทางใหม่		4. เกาะกลางแบบ Barrier Median ขยายคันทางเดิม	
		4 ช่องจราจรทั่วไป ขยายคันทางเดิม		ขยายคันทางเดิมเต็มเขตทาง (Ultimate stage)					
	รูปตัดที่ 1.1	ขยายทั้งสองข้าง รูปตัดที่ 2.1	ขยายข้างใดข้างหนึ่ง รูปตัดที่ 2.2	เขตทางกว้าง 30 ม. รูปตัดที่ 2.3	เขตทางกว้าง 40 ม. รูปตัดที่ 2.4	ข้างใดข้างหนึ่งของคันทางเดิม รูปตัดที่ 3.1	ขึ้นทั้งสองข้างของคันทางเดิม รูปตัดที่ 3.2	ขยายทั้งสองข้าง รูปตัดที่ 4.1	ขยายข้างใดข้างหนึ่ง รูปตัดที่ 4.2
- กรณีใช้วัสดุถมคันทางแบบ Sand embankment รวมเผื่อเพิ่มเติม	24,660,000	29,445,000	30,156,000	38,725,000	57,383,000	35,716,000	71,158,000	26,550,000	29,795,000
ราคาประมาณ (ล้านบาท)	25	30	31	39	58	36	72	27	30
- กรณีใช้วัสดุถมคันทางแบบ Earth mbankment รวมเผื่อเพิ่มเติม	19,420,000	22,310,000	22,661,000	35,009,000	47,715,000	24,484,000	48,695,000	21,310,000	23,072,000
ราคาประมาณ (ล้านบาท)	20	23	23	36	48	25	49	22	24

หมายเหตุ: ราคาค่าก่อสร้างที่แสดงในตางรางนี้เป็นบทสรุปเพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาเปรียบเทียบเท่านั้น โดยใช้ข้อมูลตามที่ระบุในตารางที่ 5 ซึ่งเป็นเฉพาะกรณีตัวอย่าง ทั้งนี้ ราคาค่าก่อสร้างที่แท้จริงจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของการออกแบบ องค์ประกอบ ราคาวัสดุ และค่าดำเนินการต่าง ๆ ของแต่ละสายทางที่แตกต่างกัน

3. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของรูปแบบถนนที่มีเกาะกลางประเภทต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติของถนนที่มีเกาะกลางในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งทางด้านวิศวกรรมจราจร ด้านเศรษฐกิจ และด้านสิ่งแวดล้อม ได้ว่าในแต่รูปแบบถนนมีข้อดี-ข้อเสียที่แตกต่างกัน ซึ่งรายละเอียดของคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ เป็นไป ดังตารางที่ 2-17

ตารางที่ 2-17 การเปรียบเทียบถนนที่มีเกาะกลางแบบต่าง ๆ (สำนักสำรวจและออกแบบ, 2554)

เกณฑ์การพิจารณา (คะแนน)	**เกาะสี**	**เกาะยกสูงถมดิน**	**เกาะกลางกดเป็นร่อง**	**เกาะกลางแบบ Barrier median**
1. ด้านวิศวกรรมจราจร (40)				
1.1 ความปลอดภัยของรถผ่านตรง	พอใช้	ดี	ดีมาก	ดีมาก
1.2 การกลับรถและการเลี้ยว	พอใช้	ดี	ดีมาก	ไม่ดี
1.3 การละเมิดการใช้เกาะกลาง	มาก	ไม่มี	น้อย	ไม่มี
2. ด้านเศรษฐกิจและการลงทุน (35)				
2.1 ด้านราคาค่าก่อสร้าง	น้อย	ปานกลาง	มาก	ปานกลาง
2.2 ด้านการซ่อมบำรุง	น้อย	มาก	ปานกลาง	น้อย
2.3 ความต้องการพื้นที่เขตทาง	ปานกลาง	ปานกลาง	มาก	น้อย
3. ด้านสิ่งแวดล้อม (25)				
3.1 ผลกระทบระหว่างการก่อสร้าง	น้อย	มาก	ปานกลาง	น้อย
3.2 ผลกระทบในการใช้งานของรถสองข้างทางและคนข้ามถนน	น้อย	ปานกลาง	มาก	มาก
3.3 ปัญหาการระบายน้ำบนผิวจราจร	น้อย	มาก	ปานกลาง	มาก

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษารูปแบบทางแยก ทางสี่แยกในประเทศไทย ที่มีการจัดการบริหารด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบสมบูรณ์ในแต่ละทิศทาง ซึ่งในรายงานนี้จะเรียกว่า ทางแยกรูปแบบเดิม โดยทางแยกรูปแบบเดิม จะมีรูปแบบของทางแยกในการบริหารจัดการปริมาณการจราจรผ่านในแต่ล่ะทิศทางได้ โดยผ่านจุดตัดที่กลางทางแยก ไม่ว่าจะเป็นกี่ขาทางแยกที่เข้ามาบรรจบ อาทิเช่น ทางสามแยก ทางสี่แยก เป็นต้น จากการศึกษาในต่างประเทศ ได้มีการออกแบบทางแยกแบบใหม่ ให้ไปใช้การกลับรถเลยทางแยกไปสำหรับรถที่ต้องการเลี้ยวในทิศทางเลี้ยวซ้ายหรือขวา (ขึ้นกับรถชิดด้านไหน) ในทิศทางตัดกระแสรถในทิศทางตรงกันข้าม ณ บริเวณจุดตัดกึ่งกลางทางแยก

อนึ่งการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการ ศึกษาออกแบบรูปแบบ (เชิงเรขาคณิต) ทางแยกแบบใหม่ในการบริหารจัดการทางแยก โดยจะตั้งสมมุติฐาน ว่าปริมาณอัตราการไหลของปริมาณจราจรในช่องทิศทางหลักในทางเอก จะต้องได้รับความสะดวกในการเคลื่อนที่ผ่าน ณ จุดกึ่งกลางทางแยก โดยการออกแบบรูปแบบทางแยกใหม่ พร้อมจัดการบริหารควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรใหม่ โดยการปรับลดเฟสทิศทางการปล่อยสัญญาณไฟจราจรการควบคุมผ่านบริเวณจุดตัดทางแยก เพื่อเปรียบเทียบ ในเรื่องประเมินประสิทธิภาพ ในหัวข้อ การเกิดความล่าช้าผ่านทางแยก ความยาวแถวคอยที่จะเกิดขึ้น ระดับการให้บริการ เป็นต้น กับรูปแบบทั่วไปของทางแยกแบบเดิม ซึ่งจะแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา ภาพที่ 3-1 และดังขั้นตอนต่อไปนี้

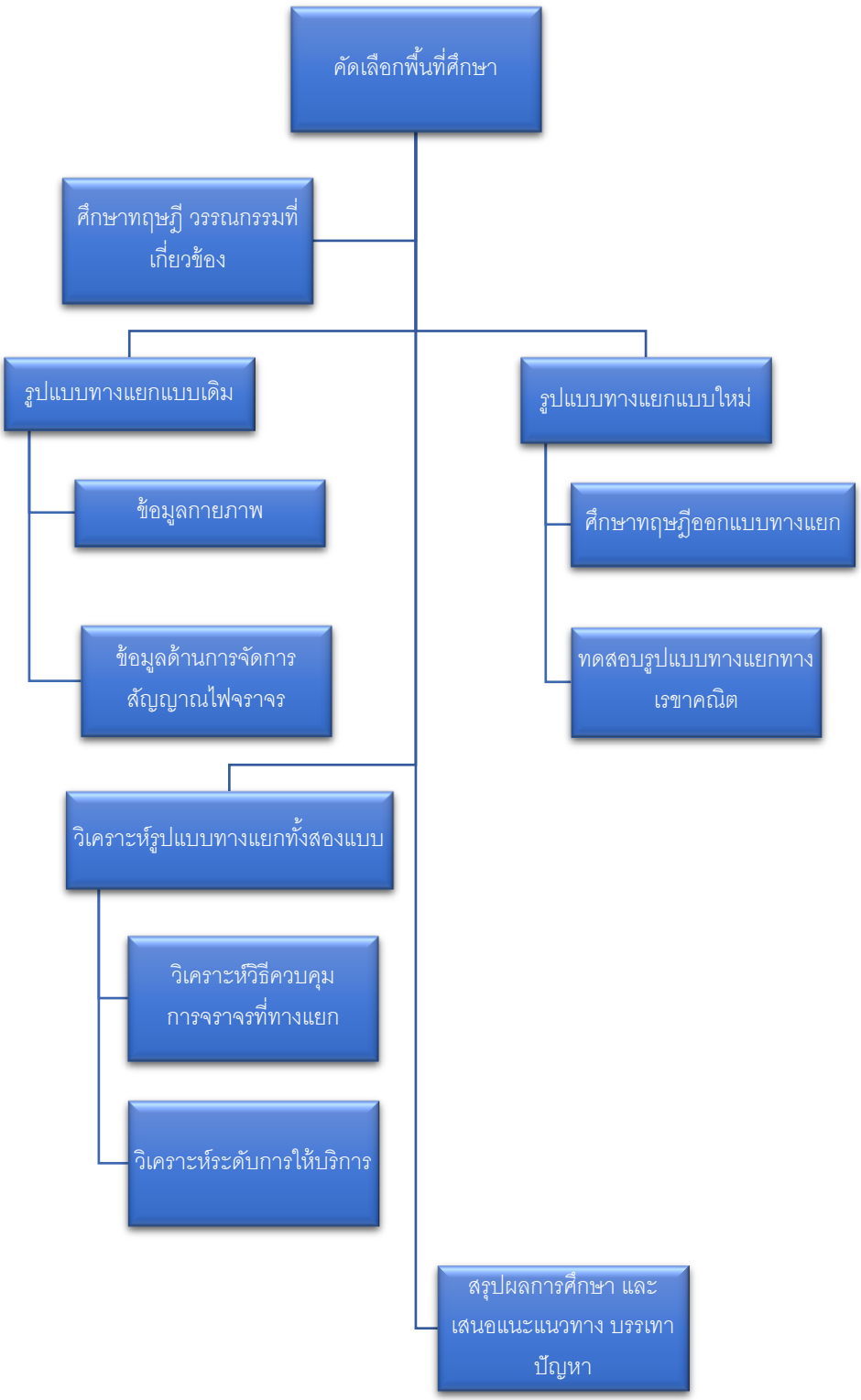
1. การศึกษาทฤษฎี ข้อกำหนด มาตรฐาน เอกสารอ้างอิง วิธีการ และวรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. คัดเลือกพื้นที่ศึกษาทางแยก สำรวจและเก็บข้อมูล ปฐมภูมิและทุคติภูมิ เพื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบทางแยกใหม่

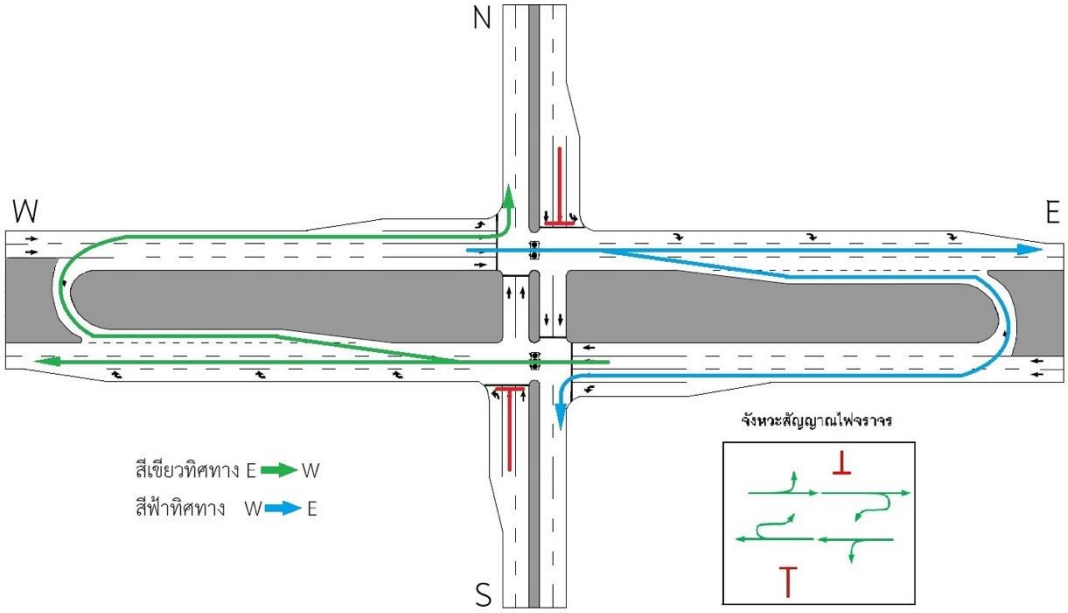
3. ศึกษาทฤษฎีการออกแบบทางแยก มาออกแบบรูปแบบทางแยกใหม่ เพื่อนำรูปแบบเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Simulation model เพื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบเดิม โดยดำเนินการลดเฟสทิศทางการเลี้ยวขวา ในการจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจร ดังภาพที่ 3-2 และภาพที่ 3-3

4. วิเคราะห์หาค่าตัวแปร เวลาเดินทางผ่านทางแยกของยานพาหนะทุกคันในแต่ละทิศทางการเคลื่อนตัว (Turning movement) ความยาวแถวคอย (Queue length) และระดับการให้บริการ (Level of service) บนถนนสายหลัก ในกรณีที่ใช้การควบคุม สัญญาณไฟจราจรในแบบต่าง ๆ ในการใช้แบบจำลอง

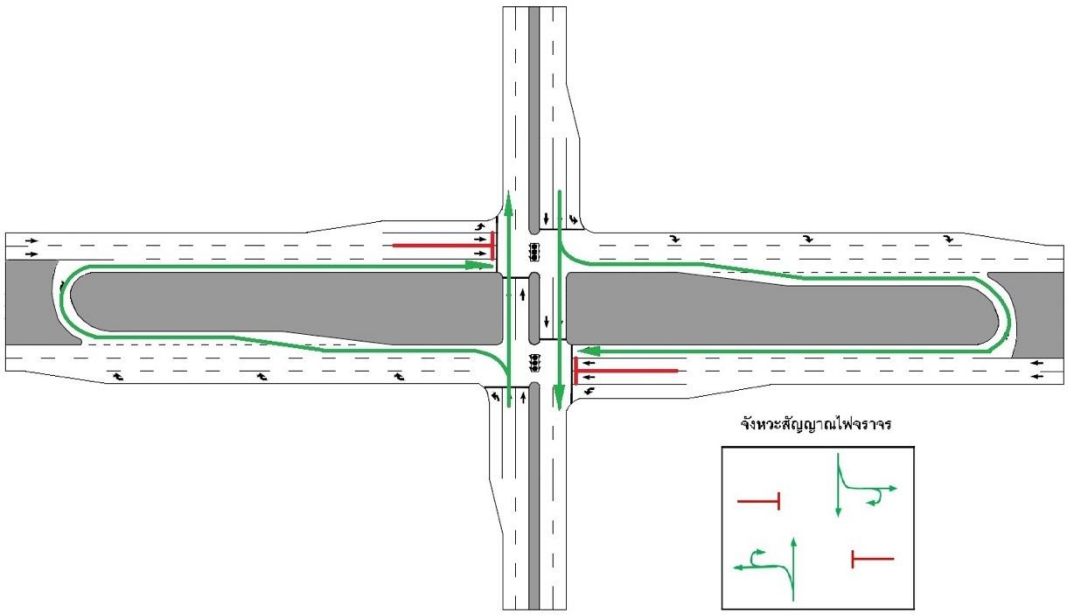
5. สรุปผลการศึกษา และเสนอแนะแนวทาง บรรเทาปัญหาการจราจร พร้อมจัดทำรายงาน



ภาพที่ 3-1 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานศึกษา



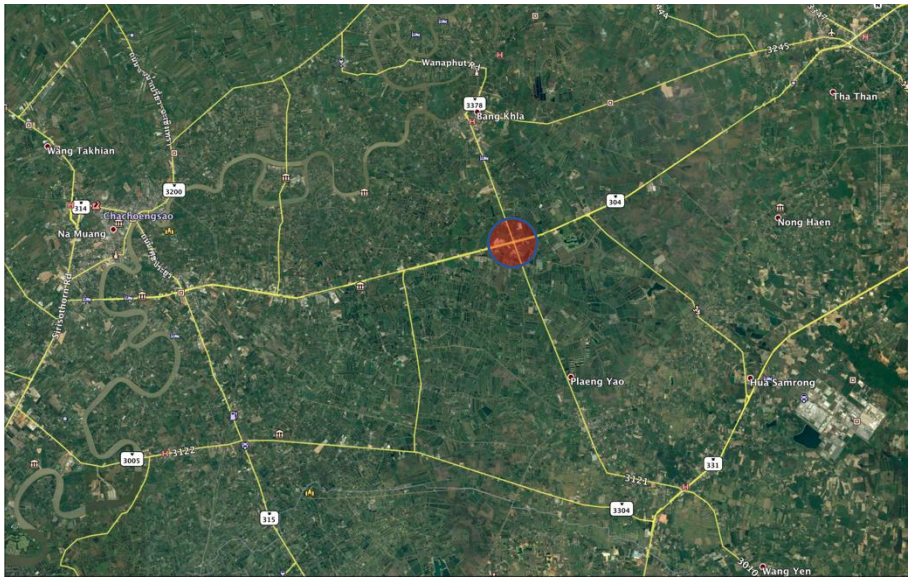
ภาพที่ 3-2 แนวคิดการวิจัยโดยการลดเฟสจังหวะสัญญาณไฟจราจร ทิศทาง E-W



ภาพที่ 3-3 แนวคิดการศึกษาโดยการลดเฟสจังหวะสัญญาณไฟจราจร ทิศทาง N-S

พื้นที่ศึกษา

ผู้ศึกษาได้พิจารณาคัดเลือกบริเวณสี่แยกบางคล้า ที่ตั้งอยู่บนทางหลวงหมายเลข 304 ช่วง จังหวัดฉะเชิงเทรา-อำเภอพนมสารคราม ตัดกับทางหลวงหมายเลข 3121 อำเภอบางคล้า-อำเภอแปลงยาว ที่หลัก ก.ม. 89+232 บน ทางหลวงหมายเลข 304 เป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากบริเวณทางแยกดังกล่าว โดยรูปแบบทางแยกเดิม ณ ปัจจุบัน มีปัญหาปริมาณรถสะสมบริเวณทางแยกค่อนข้างมาก ซึ่งประกอบกับ แนวคิดในการออกแบบรูปแบบทางแยกแบบใหม่ ที่จะลดจังหวะการคุมสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกลง เพื่อให้เกิดความคล่องตัว ของปริมาณการเดินทางในทางสายหลัก ซึ่งผู้ศึกษาจะต้องจำเป็น ศึกษาศักยภาพของพื้นที่ศึกษา ดังภาพที่ 3-4 แสดงตำแหน่งที่ตั้งทางแยกที่ศึกษา ในการที่จะออกแบบเชิงเรขาคณิต โดยสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงปัญหาการใช้พื้นที่ดินบริเวณ 2 ข้างทาง ความกว้างของเขตทาง รวมถึงพฤติกรรมของผู้ขับขี่ โดยไม่เกิดความสับสนในบริเวณทางแยก ให้เกิดความคล่องตัวในการเดินทางผ่านทางแยกและความปลอดภัย



ภาพที่ 3-4 ตำแหน่งที่ตั้งทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา

ภาพที่ 3-5 ภาพถ่ายทางอากาศ บริเวณทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา

ภาพที่ 3-6 ภาพมุมสูงบริเวณทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา
(ทิศทาง จังหวัดฉะเชิงเทรา-อำเภอพนมสารคาม)

ภาพที่ 3-7 ภาพมุมสูงบริเวณทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา (ทิศทาง อำเภอพนมสารคาม-จังหวัดฉะเชิงเทรา)

ภาพที่ 3-8 ภาพระดับสายตาบริเวณทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา (ทิศทาง อำเภอบางคล้า-อำเภอแปลงยาว)

ภาพที่ 3-9 ภาพระดับสายตาบริเวณทางแยกพื้นที่ศึกษา (แยกบางคล้า) จังหวัดฉะเชิงเทรา (ทิศทาง อำเภอแปลงยาว-อำเภอบางคล้า)

รูปแบบทางกายภาพของถนน

โครงข่ายถนนในพื้นที่การศึกษา สามารถแบ่งออกเป็นทางเอก และทางโท ได้ 2 ประเภท ดังนี้

1. ถนนสายหลักบนทางหลวงหมายเลข 304 ขนาด 4 ช่องจราจร ทิศทางละ 2 ช่องจราจร มีความกว้างช่องจราจรกว้างช่องละ 3.5 เมตร ดังภาพที่ 3-5, 3-6, 3-7, 3-13 พร้อมมีช่องจราจรรอเลี้ยวขวา ทิศทางละ 1 ช่องจราจร และมีสัญญาณไฟควบคุมการจราจรบริเวณทางแยก

2. ถนนสายรองบนทางหลวงหมายเลข 3121 ขนาด 4 ช่องจราจร ทิศทางละ 2 ช่องจราจร มีความกว้างช่องจราจรกว้างช่อง 3.5 เมตร ดังภาพที่ 3-8, 3-9, 3-10, 3-11, 3-12 พร้อมเป็นช่องจราจรรอเลี้ยวขวา ทิศทางละ 1 ช่องจราจร ตรงไป 1 ช่องจราจร และมีสัญญาณไฟควบคุมการจราจรบริเวณทางแยก

แนวทางในการวิเคราะห์

จากการเตรียมข้อมูล ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ของรูปแบบทางแยก (แบบเดิม) ที่ได้สำรวจรวบรวมข้อมูล โดยนำข้อมูลดังกล่าว มาวิเคราะห์ใส่ข้อมูลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้านวิศวกรรมจราจร และโปรแกรมการจำลองผลทางวิศวกรรม มาประเมินเปรียบเทียบประสิทธิภาพ กับรูปแบบการออกแบบทางแยก (แบบใหม่) ที่ออกแบบตาม ข้อกำหนด และมาตรฐาน ของกรมทางหลวง โดยอ้างอิง แนวคิดการออกแบบทางแยกแบบ MUT (Median U-turn intersection) มาประยุกต์

ให้เข้ากับพื้นที่ ศึกษาในประเทศไทย ดังภาพที่ 3-3 บริเวณทางแยกบางคล้า มาทำการวิเคราะห์ดังนี้

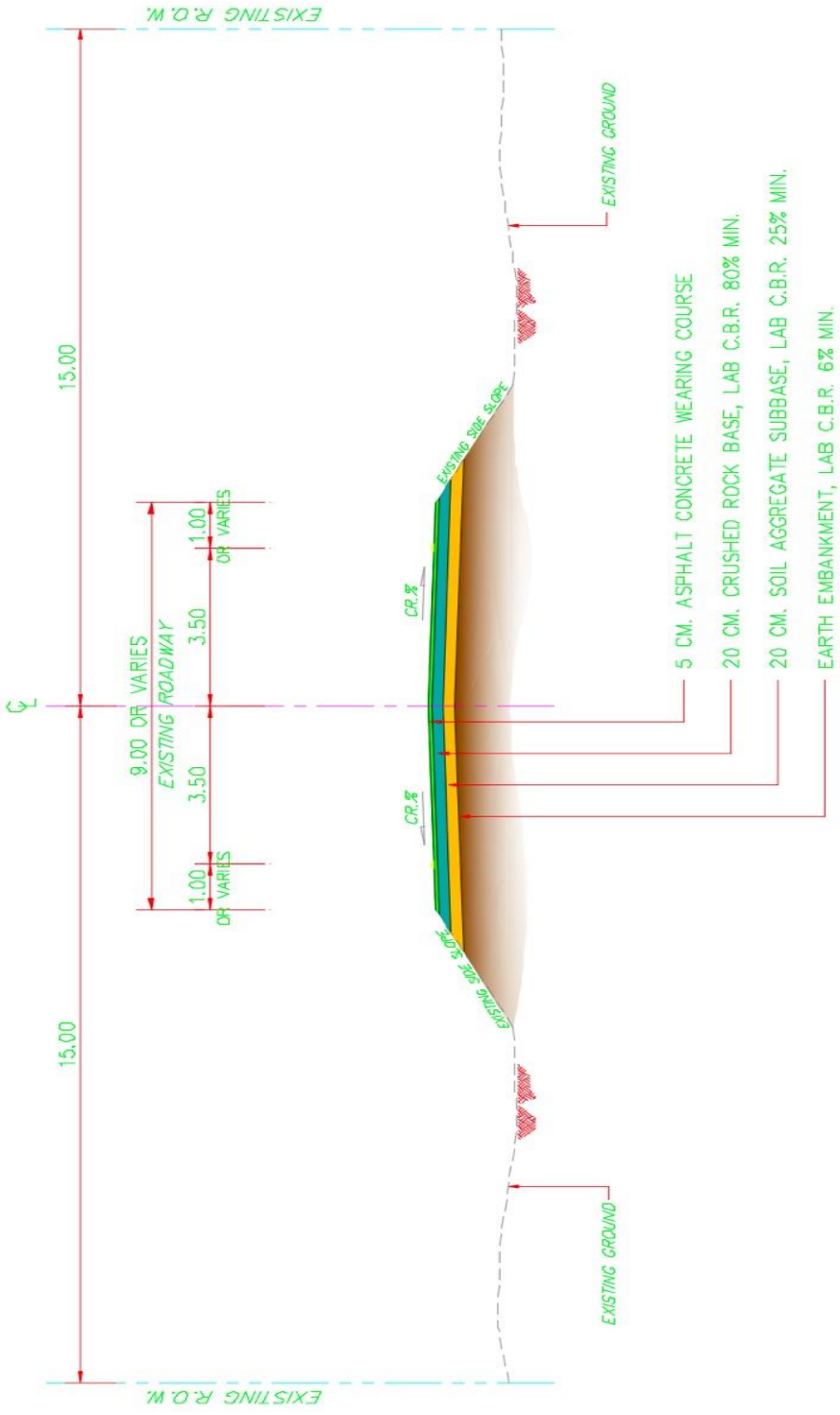
1. นำข้อมูลที่รวบรวมได้ทางข้อมูลด้านวิศวกรรมจราจร ของรูปแบบลักษณะทางกายภาพของทางแยก (แบบเดิม) มาวิเคราะห์ผลทางด้านวิศวกรรมในการรองรับสภาพ ปริมาณการจราจร ณ ปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นฐานเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจรในแต่ละปัจจัย

2. วิเคราะห์ ปัญหาแนวทางแก้ไขปัญหาจราจร โดยใช้หลักการออกแบบ แนวคิดการออกแบบทางแยก แบบ MUT แต่ใช้หลักการ ข้อกำหนด มาตรฐาน ของกรมทางหลวงในการออกแบบเชิงเรขาคณิต รูปแบบทางแยก (แบบใหม่) บริหารจัดการการจราจรบริเวณทางแยก

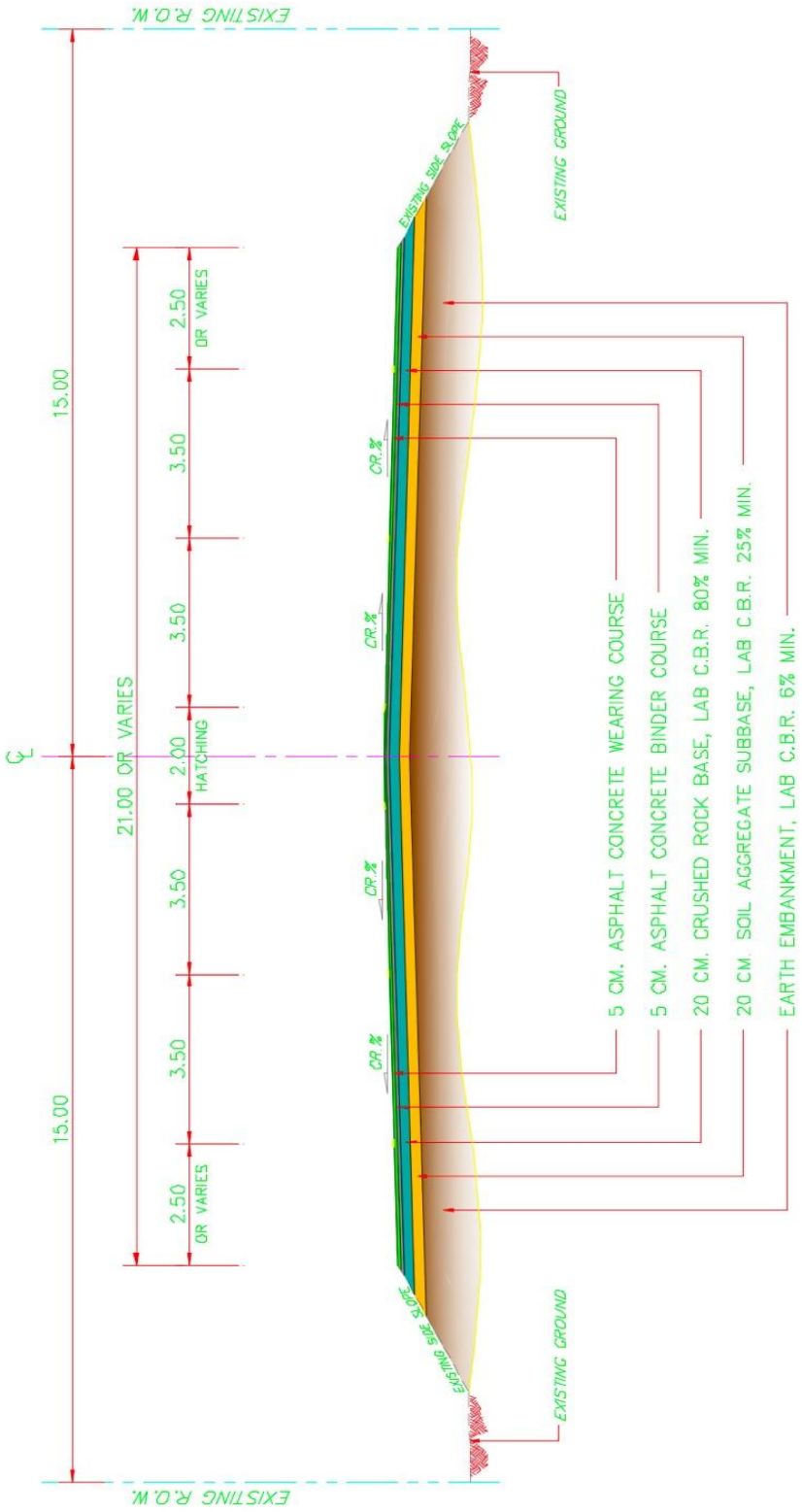
3. วิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพรูปแบบทางแยก ระหว่างแบบเดิมและแบบใหม่ (MUT) ในการหาระดับการให้บริการของทางแยก ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้านวิศวกรรม (Signalized intersection design and research aid, SIDRA) และในการหารูปแบบแนวทางในการควบคุมการจราจรบริเวณทางแยก จะใช้โปรแกรมจำลองจำพวก Simulation model (Aimsun) ในการทดสอบ วิเคราะห์ รูปแบบทางแยก (แบบใหม่) พร้อมปรับข้อมูลรูปแบบทางเรขาคณิต เพื่อสรุปเป็นรูปแบบแนวทาง ในการดำเนินการแก้ไขทางแยกดังกล่าว และนำไปใช้กับทางแยกอื่น ๆ อีกต่อไป

4. เปรียบเทียบประเมินประสิทธิภาพ ผลของรูปแบบการบริหารจัดการทางแยก ระหว่างแบบเก่าและแบบใหม่ ในเรื่องของผลวิเคราะห์ ระดับการให้บริการของทางแยก ความล่าช้าของทางแยก ความยาวแถวคอย เป็นต้น

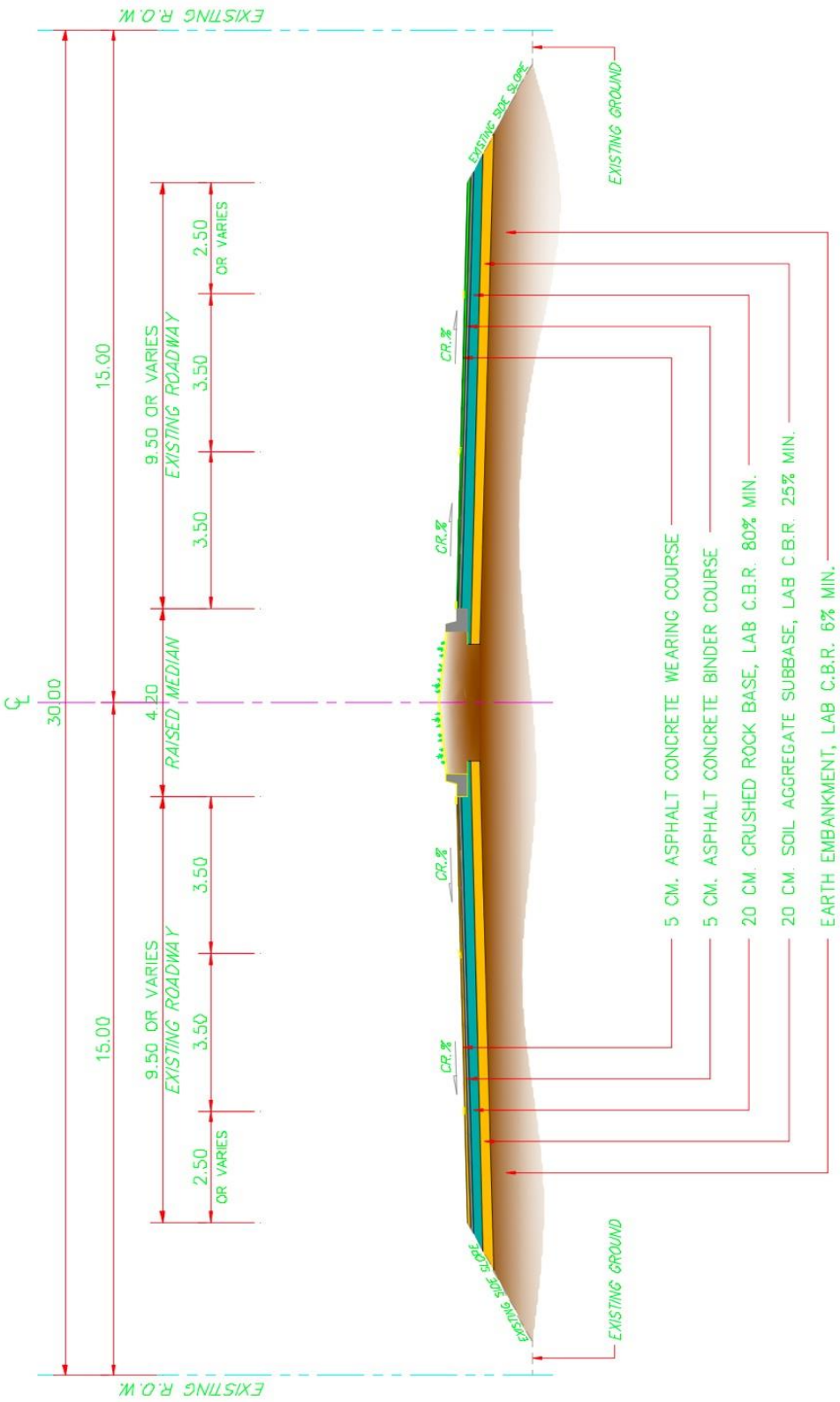
5. การศึกษาวิจัยครั้งนี้ อาจจะสรุปทบทวนผลการแก้ไขปัญหาชองรูปแบบถนนของทางสายหลักหรือทางสายรอง ของทางหลวงทั่วไปที่มีการใช้รูปแบบของการกลับรถระดับพื้นราบในการแก้ไขปัญหา โดยเฉพาะถนนที่ มีเขตทาง 60.00 เมตร ถึง 100.00 เมตร เป็นต้น พร้อมกับศึกษาองค์ประกอบการแก้ไขปัญหาในปัจจุบันเพื่อประกอบการพิจารณา พร้อมผลลัพธ์เสนอแนะการวางตำแหน่งระยะห่างของคันทางของทางหลวงในอนาคต



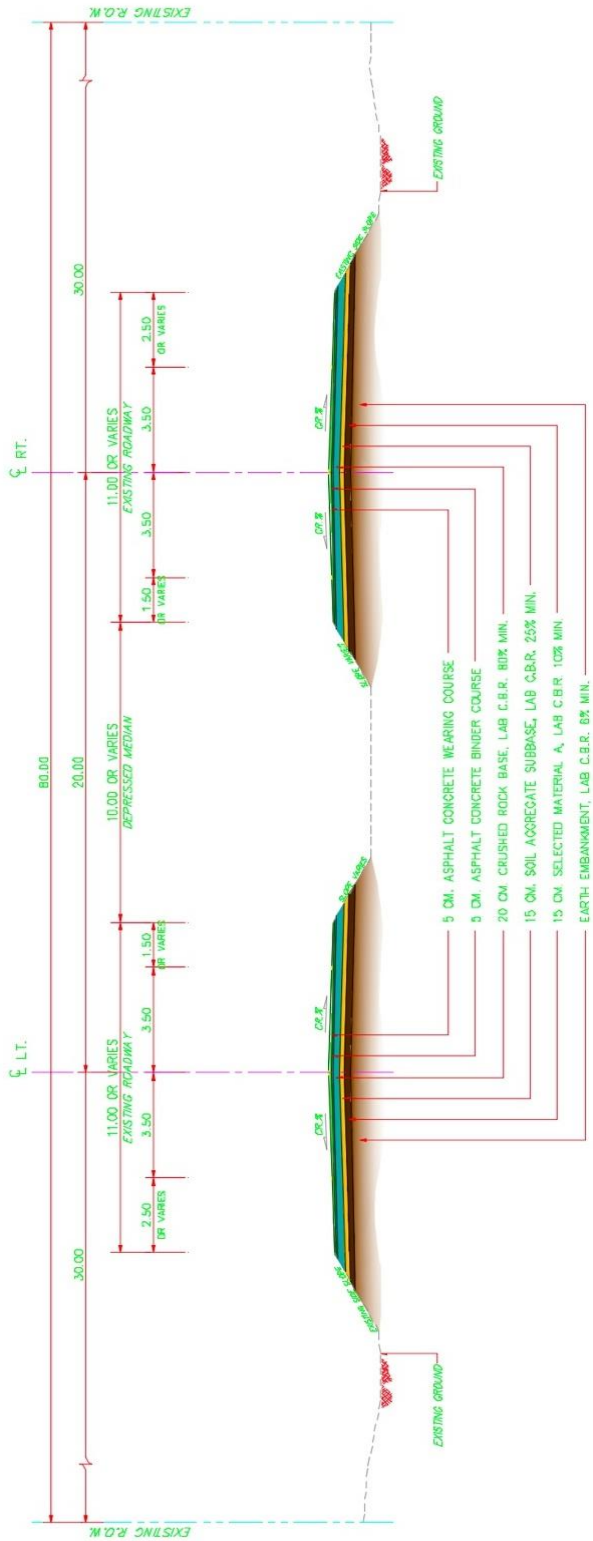
ภาพที่ 3-10 รูปตัดทั่วไป บนทางหลวงหมายเลข 3121 สำหรับเขตทาง 30.00 เมตร



ภาพที่ 3-11 รูปตัดทางหลวงหมายเลข 3121 ช่วงปกติ ทางสายรอง



ภาพที่ 3-12 รูปตัดทางหลวงหมายเลข 3121 ช่วงใกล้ทางแยก



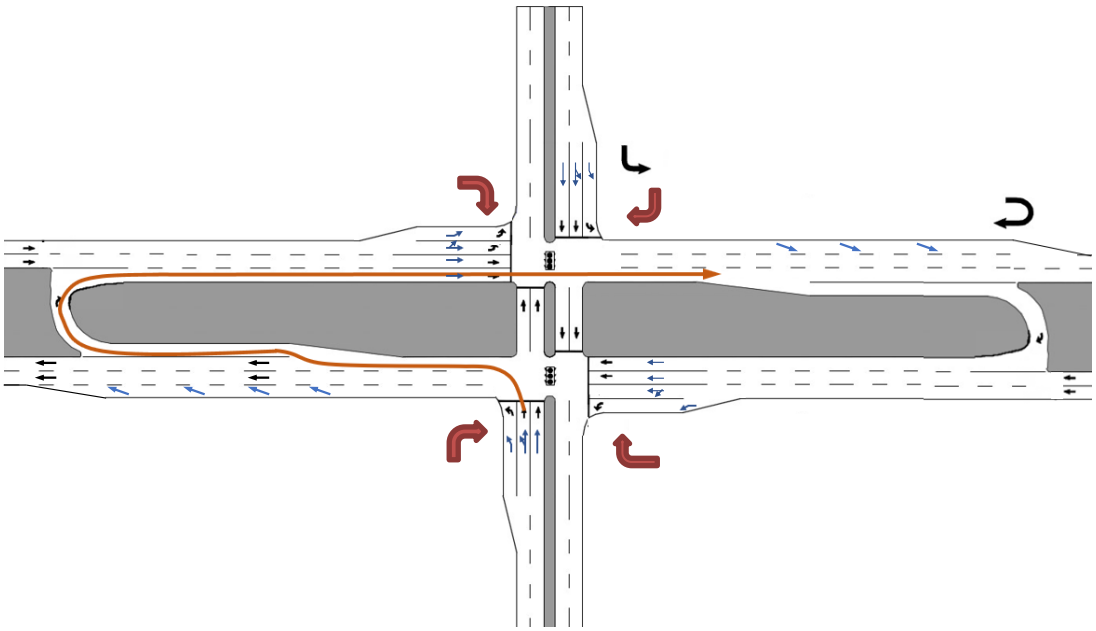
ภาพที่ 3-13 รูปตัดทั่วไป บนทางหลวงหมายเลข 304 บนทางสายหลัก เขตทาง 80.00 เมตร

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์และอธิบายผล

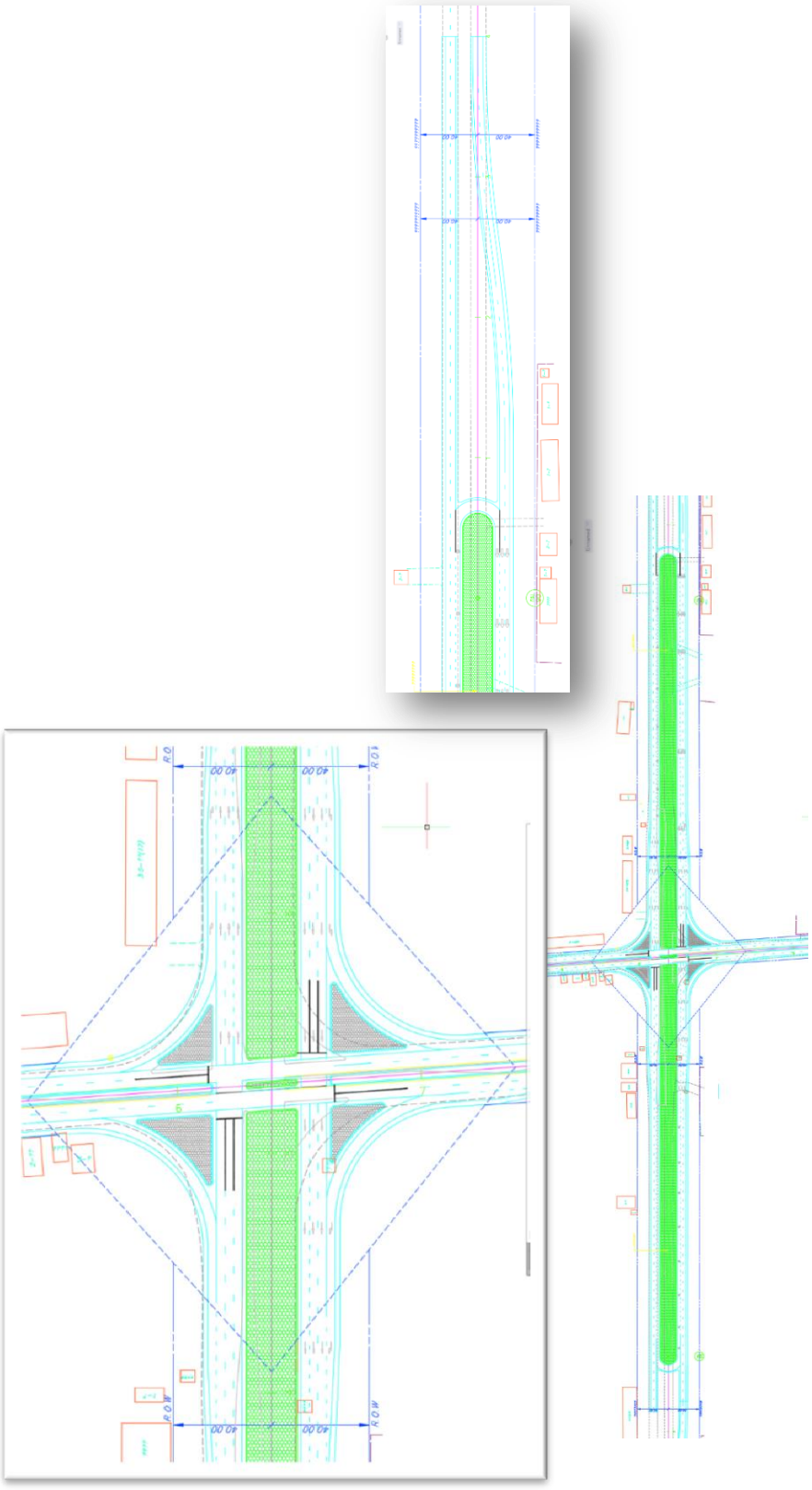
จากการศึกษาครั้งนี้สภาพปัจจุบันรูปแบบ ทางสี่แยกในประเทศไทย ที่มีการจัดการบริหารด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบสมบูรณ์ในแต่ละทิศทาง

อนึ่งการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการ ศึกษาออกแบบรูปแบบ (เชิงเรขาคณิต) ทางแยกแบบใหม่ในการบริหารจัดการทางแยก โดยได้ศึกษาผลงานการวิจัยที่ผ่านและทบทวนวรรณกรรม การศึกษาจะแบ่งเป็น 2 ส่วน การออกแบบบริหารทางแยกเชิงกายภาพ และการบริหารจัดการควบคุมบริเวณทางแยก

โดยส่วนแรกจะเป็นการออกแบบปรับปรุงทางแยกแบบเดิม ให้มีลักษณะของการออกแบบขาทางแยก ในทิศทางหลักที่ต้องการจะเลี้ยวขวาตัดกระแส กับทิศทางทางตรงกันข้ามไม่ให้สามารถเลี้ยวขวาได้ แต่ให้ไปกลับรถและเลี้ยวซ้าย ดังภาพที่ 4-1 และภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-1 การบริหารจัดการรูปแบบทางแยกที่ลดทิศทางเลี้ยวขวาทุกทิศทาง



ภาพที่ 4-2 การออกแบบจัดการบริเวณทางแยก (แบบใหม่)

จากข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิต โดยใช้หลักเกณฑ์ข้อกำหนดของกรมทางหลวง ทำให้ได้ผลการออกแบบดังภาพที่ 4-2 เมื่อได้รูปแบบแล้วนำข้อมูลด้านกายภาพที่ได้ออกแบบไปทดสอบหาค่าต่าง ๆ อาทิเช่น ในส่วนของการบริหารจัดการควบคุมระบบการจราจร

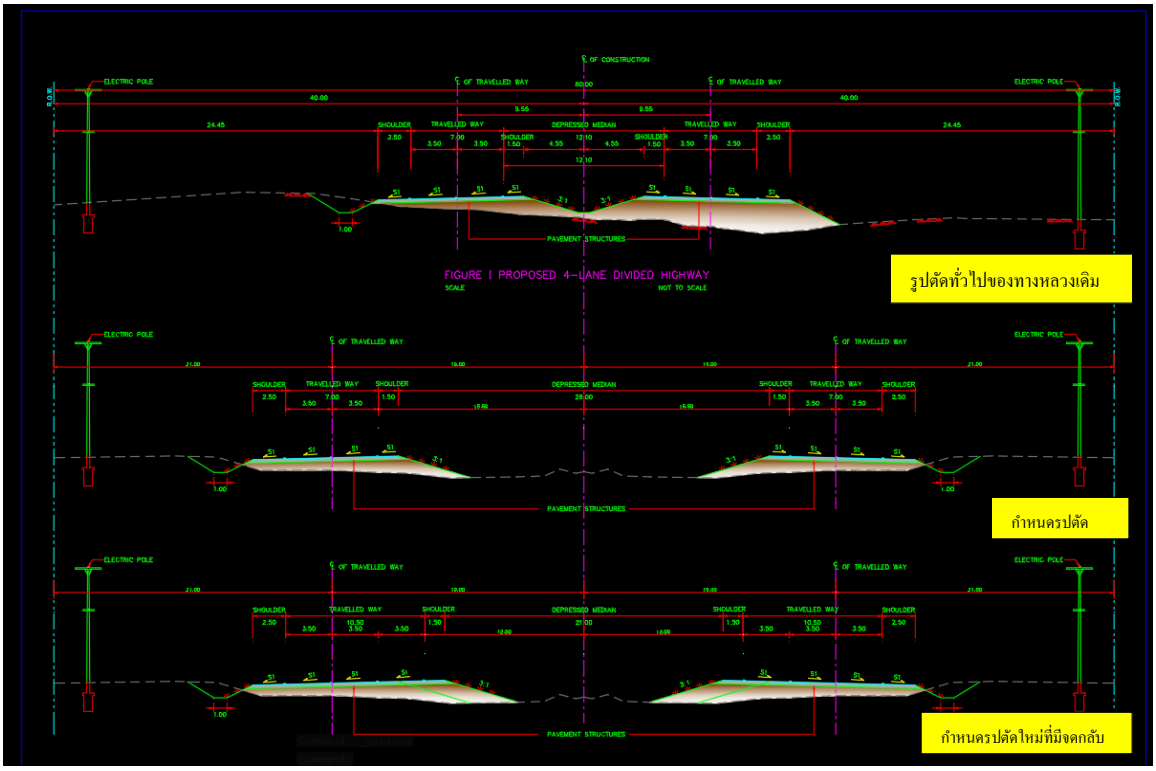
ภาพที่ 4-3 ผังโครงการที่ได้มีการกำหนดรูปแบบทางแยกที่ควบคุมระบบไฟจราจร (แบบใหม่)

ภาพที่ 4-4 แปลนแบบทางแยก (แบบเก่า) ซ้ายมือ และแบบแปลนทางแยก (แบบใหม่) ขวามือ

การออกแบบบริหารจัดการทางแยกเชิงกายภาพ

1. การกำหนดรูปตัด

จากประเด็นการกำหนดรูปตัดคันทางโดยทั่วไปของทางหลวงที่เป็นทางหลวงแบบ 4 ช่องจราจร ที่แบ่งแยกคันทาง หรือที่เรียกว่า Divided highway สำหรับทางหลวงที่มีเขตทางกว้าง 60-100 เมตร ส่วนใหญ่แล้วจะวางตำแหน่งคันทางทั้งสองฝั่งห่างกันเท่ากันหมด 20.00 เมตร หรือห่างจาก Center line ของเขตทาง ข้างละ 10.00 เมตร แต่กรณีการศึกษาและวิจัยด้านกายภาพและความปลอดภัย จากพื้นที่กรณีศึกษาที่มีเขตทางกว้างอยู่ 80.00 เมตร ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 ตำแหน่งเปรียบเทียบรูปตัดตำแหน่งคันทางเดิมและใหม่ จาก Center line เขตทาง

2. กำหนดแนะนำมาตรฐานการวางตำแหน่งขึ้นรูปตัดตำแหน่งคันทางใหม่

จากกรณีศึกษาการออกแบบปรับปรุงทางแยกแบบเดิม ให้มีลักษณะของการออกแบบขาทางแยก ในทิศทางหลักที่ต้องการจะเลี้ยวขวาตัดกระแส กับทิศทางทางตรงกันข้ามไม่ให้สามารถเลี้ยวขวาได้ แต่ให้ไปกลับรถและเลี้ยวซ้ายในทางโทนั้น ทำให้จะต้องมีการปรับปรุงหรือกำหนดแนวก่อสร้างคันทางใหม่จะวางตำแหน่งคันทางทั้งสองฝั่งห่างกันที่ความกว้าง 38.00 เมตร หรือ

ห่างจาก Center line ของเขตทาง ข้างละ 19.00 เมตร ผลจากการศึกษาและวิจัยด้านกายภาพและความปลอดภัย จากพื้นที่กรณีศึกษาที่มีเขตทางกว้างอยู่ 80.00 เมตร ตามภาพที่ 4-5 รวมถึงสามารถใช้กับเขตทางที่มีความกว้าง 60-100 เมตรได้

3. ผลศึกษาด้านราคางบประมาณการก่อสร้างปรับปรุง

จากการศึกษาเพียงแต่ศึกษาเปรียบเทียบ กรณีปรับจากรูปแบบเดิมให้รองรับกับแนวคิดกรณีศึกษากับวางแผนกำหนดแนวคันทางก่อสร้างใหม่ ภาพที่ 4-6

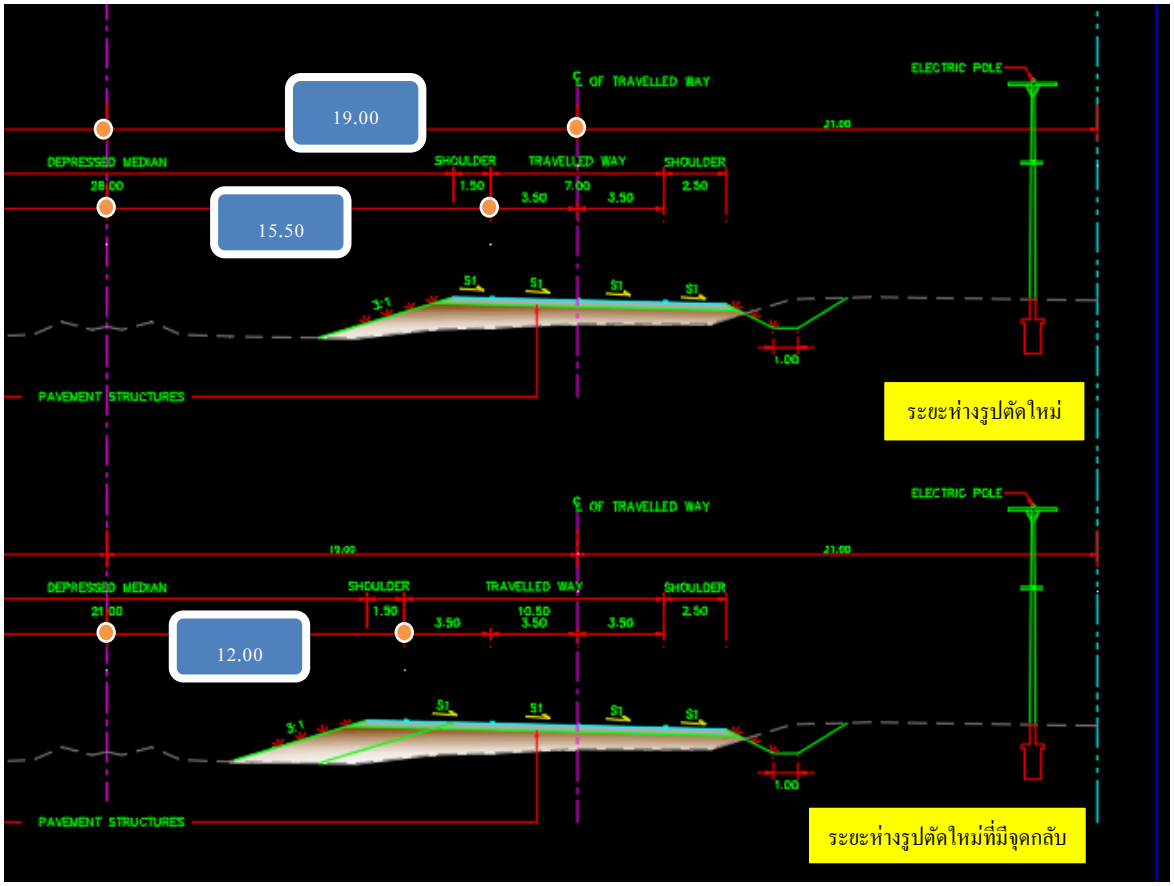
ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	หน่วย	กรณีขยายคันทางเดิม		กรณีขึ้นคันทางใหม่	
				ปริมาณงาน	จำนวนเงิน (บาท)	ปริมาณงาน	จำนวนเงิน (บาท)
1	CLEARING AND GRUBBING	2.00	SQ.M.	38,700	77,400.00	77,400	154,800.00
2	REMOVAL OF EXISTING ASPHALT CONCRETE SURFACE	18.00	SQ.M.	14,000	252,000.00	-	-
3	REMOVAL OF EXISTING CONCRETE CURB & GUTTER	195.00	M.	1,170	228,150.00	-	-
4	EARTH EXCAVATION	56.00	CU.M.	5,000	280,000.00	10,000	560,000.00
5	EARTH EMBANKMENT	330.00	CU.M.	18,000	5,940,000.00	36,000	11,880,000.00
6	EARTH FILL IN MEDIAN	79.00	CU.M.	14,700	1,161,300.00	14,700	1,161,300.00
7	SELECTED MATERIAL A	280.00	CU.M.	4,130	1,156,400.00	8,260	2,312,800.00
8	SOIL AGGREGATE SUBBASE	302.00	CU.M.	4,130	1,247,260.00	8,260	2,494,520.00
9	CRUSHED ROCK BASE	866.00	CU.M.	5,250	4,546,500.00	10,500	9,093,000.00
10	PRIME COAT	36.00	SQ.M.	25,000	900,000.00	52,000	1,872,000.00
11	TACK COAT	16.00	SQ.M.	52,000	832,000.00	52,000	832,000.00
12	ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE	2,060.00	TON	3,000	6,180,000.00	6,240	12,854,400.00
13	ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE 5 CM. THICK	257.00	SQ.M.	52,000	13,364,000.00	52,000	13,364,000.00
14	CONCRETE CURB AND GUTTER	725.00	M.	3,260	2,363,500.00	3,260	2,363,500.00
15	BLOCK SODDING	50.00	SQ.M.	23,400	1,170,000.00	23,400	1,170,000.00
16	IMPROVEMENT OF EXISTING TRAFFIC SIGNALS	45,000.00	EACH	1	45,000.00	1	45,000.00
17	THERMOPLASTIC YELLOW PAINT	384.00	SQ.M.	640	245,760.00	640	245,760.00
18	THERMOPLASTIC WHITE PAINT	384.00	SQ.M.	1,360	522,240.00	1,360	522,240.00
19	CURB MARKING	83.00	SQ.M.	310	25,730.00	310	25,730.00
20	TRAFFIC CONTROL DEVICES FOR HIGHWAY UNDER CONSTRUCTION	7,000.00	SET	1	7,000.00	1	7,000.00
	รวมเป็นเงิน				**40,544,240.00**		**60,958,050.00**

ปริมาณงาน | รายการคำนวณ

ภาพที่ 4-6 รายการประมาณราคางานปรับปรุงคันทางเดิม และกรณีขึ้นทางใหม่

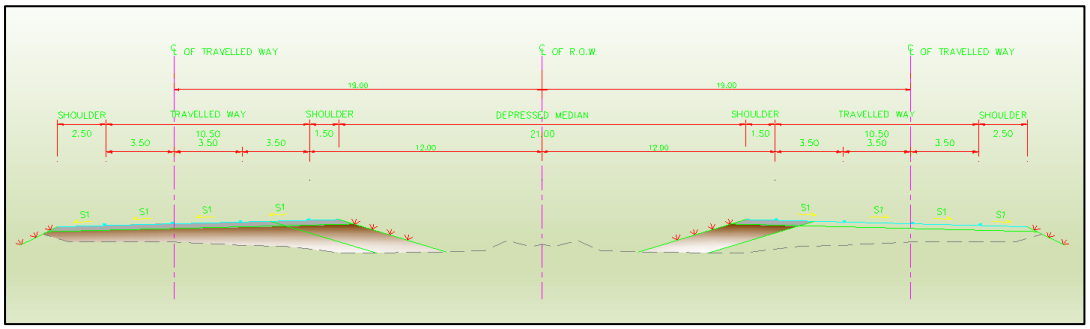
จากผลการศึกษาจะพบว่า งบประมาณจะมีส่วนแตกต่างกันประมาณ 20,413,810.00 บาท ซึ่งจะเป็นในส่วนของช่องจราจรสำหรับใช้กลับรถและก่อสร้างเกาะกลาง ฉะนั้นข้อดีของการกำหนดแนวก่อสร้างใหม่ ทำให้สามารถที่จะเพิ่มช่องจราจรกลับรถ ในทิศทางที่ต้องเลี้ยวขวาเพื่อที่เลี้ยวตัดกระแสกลายเป็นรวมกระแส (Merging) แทน ทำให้มีความปลอดภัยและก่อสร้างได้ง่าย เนื่องจากคันทางมีความห่างเพียงพอตามที่ศึกษาจะอยู่ในรูปปกติของการกำหนดแนวก่อสร้างคันทางใหม่จะวางตำแหน่ง ห่างจาก Center line ของเขตทาง ข้างละ 19.00 เมตร

และจากขอบทางด้านในจะมีค่าเท่ากับ 15.50 เมตร ห่างจาก Center line ของเขตทาง ในรูปปกติ (Typical cross section) ส่วนกรณีที่มีช่องจราจรกลับรถจะมีความห่างจากขอบทางด้านในจะมีค่าเท่ากับ 12.00 เมตร ห่างจาก Center line ของเขตทาง ตามภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 ระยะห่างของรูปตัดตำแหน่งคันทางเดิมและใหม่ จาก Center line ของเขตทาง

ประโยชน์จากการกำหนดรูปแบบการวางรูปตัดคันทางใหม่ที่มีการวางตำแหน่งให้มีความห่างของคันทางห่างมากกว่าแบบเดิม เพื่อปรับปรุงก่อสร้างช่องสำหรับใช้เป็นช่องจราจรกลับรถ



ภาพที่ 4-8 การก่อสร้างเพิ่มช่องจราจรสำหรับใช้กลับรถ มีความสะดวกกว่าแบบเดิม

3.1 ข้อดี

3.1.1 สามารถขึ้นการก่อสร้างของคันทางใหม่สำหรับก่อสร้างช่องจราจรสำหรับกลับรถ

3.1.2 ใช้ประโยชน์จากคันทางที่กำหนดใหม่ได้เต็มพื้นที่ ทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างและเวลา

3.1.3 มีผลกระทบต่อการจราจรระหว่างก่อสร้างน้อยกว่า เพราะสามารถใช้ถนนเดิมในการสัญจรได้ พร้อมก่อสร้างจุดกลับรถได้ตลอดความยาว รองรับรถขนาดใหญ่ได้

3.1.4 ช่วยลดจุดเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุได้ เนื่องจากไม่ตัดกระแสจราจรในทางตรง

3.1.5 สามารถปรับปรุงช่องจราจรได้ง่าย เพื่อให้สอดคล้องกับการขยายทางในอนาคต

3.1.6 งบประมาณการก่อสร้างไม่แตกต่างจากเดิม ในกรณีที่ไม่จำเป็นจะต้องก่อสร้างจุดกลับรถในบริเวณทางแยก

3.1.7 เหมาะกับทางหลวงมาตรฐานสูงเป็นเส้นทางหลัก ปริมาณรถมาก ใช้ความเร็วสูง

3.2 ข้อเสีย

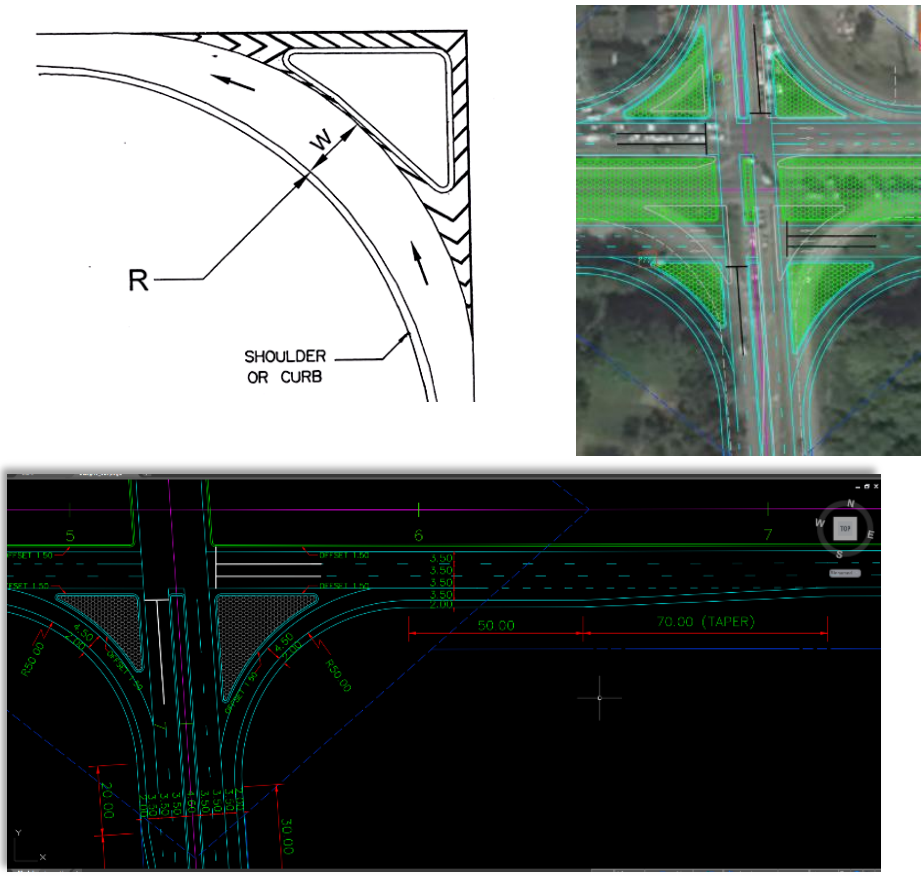
3.2.1 จะต้องเป็นเส้นทางตัดใหม่หรือโครงข่ายใหม่ ซึ่งปัจจุบันมีโอกาสน้อยที่จะมีการตัดเส้นทางใหม่น้อยลง

3.2.2 ข้อพิจารณาทำประโยชน์ในเกาะกลาง เนื่องจากมีความกว้างมาก

4. การออกแบบแบบมีเกาะมุมสามเหลี่ยม (Design with corner triangle island)

จากคู่มือแนะนำในออกแบบทางแยกในมุมเกาะซึ่งใช้ความเร็วในการเลี้ยวมากกว่า 15 กม./ ชม. ทำให้ต้องขยายผิวจราจรในส่วนนี้ การใช้เกาะมุมในบริเวณนี้จะช่วยแยกการจราจรในช่องทางเลี้ยวออกจากรถทางตรงของขาทั้ง 2 ของทางแยก นอกจากนี้ยังใช้เป็นพื้นที่สำหรับติดตั้งสัญญาณจราจร และเป็นที่หยุดพักสำหรับรอข้ามถนนของคนเดินข้าม

จากคำแนะนำ ช่องทางเลี้ยว ซึ่งขอบของวงเลี้ยวอยู่ห่างจากขอบทางประมาณ 0.60 เมตร แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ความกว้างที่ 1.00 เมตร และทั่วไปสำหรับความกว้างของช่องทางเลี้ยวควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 4.20 เมตร แต่ในงานวิจัยรูปแบบใช้ ความกว้าง 4.50 เมตร ไหล่ทางกว้าง 2.50 เมตร พร้อมมีรัศมีวงเลี้ยวรถ 50.00 เมตร ดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 มิติการออกแบบทางแยกในมุมเกาะ

การบริหารควบคุมทางแยกด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร

จากข้อมูลสำรวจปริมาณจราจรที่ทางแยกเป็นค่าเป็นปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางของขาทางแยก (p.c.u) ที่ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยก (TURNNING MOVEMENT) เพื่อใช้เป็นฐานในการวิเคราะห์ผล ดังภาพที่ 4-10

ภาพที่ 4-10 ปริมาณการจราจรบริเวณทางแยกในแต่ละทิศทาง

1. วิเคราะห์สภาพการจราจรบริเวณทางแยก (SIDRA)

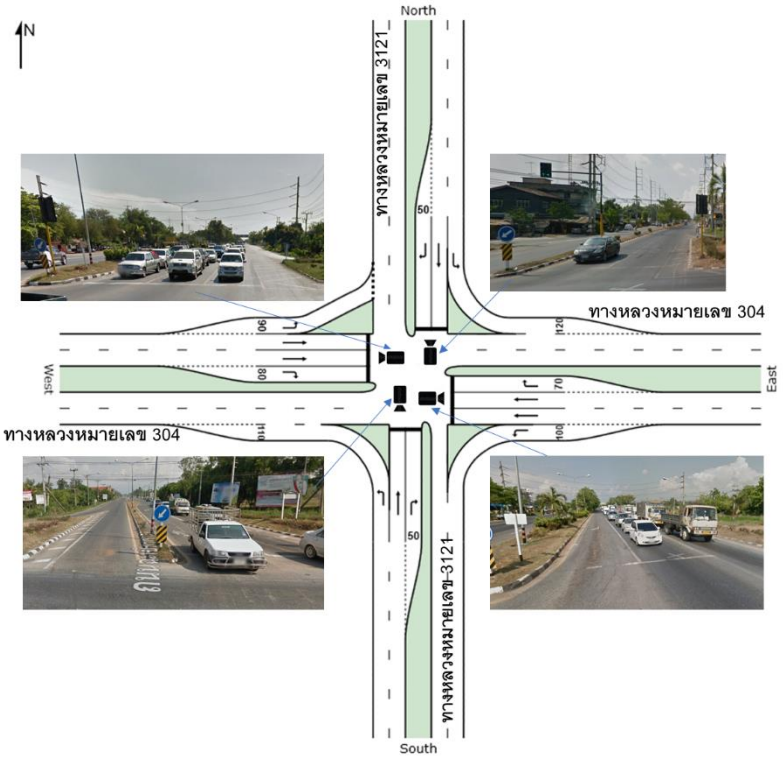
วิเคราะห์สภาพการจราจรบริเวณทางแยกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้านวิศวกรรมจราจร (Signalized intersection design and Research aid, SIDRA Intersection 6.0) โดยใช้ข้อมูลการจราจรที่ได้สำรวจตามภาพที่ 4-9 เพื่อใช้หาระดับการให้บริการของทางแยก พร้อมกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ออกเป็น 3 เงื่อนไข คือ

รูปแบบที่ 1 สภาพปัจจุบัน

รูปแบบที่ 2 ปรับปรุงจังหวะและรอบสัญญาณไฟจราจร

รูปแบบที่ 3 ปรับปรุงรูปแบบทางแยก และปรับปรุงจังหวะสัญญาณไฟจราจร

สี่แยกบางคล้า เป็นสี่แยกระดับพื้นดิน ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรทั้ง 4 ทิศทาง มีจำนวนช่องจราจรเข้าสู่ทางแยกในทิศทางสายหลัก (ทางหลวงหมายเลข 304) ทิศทางละ 2 ช่องจราจรพร้อมช่องรอเลี้ยวอีก 1 ช่องจราจร และในทิศทางสายรอง (ทางหลวงหมายเลข 3121) ทิศทางละ 1 ช่องจราจรพร้อมช่องรอเลี้ยว 1 ช่องจราจร

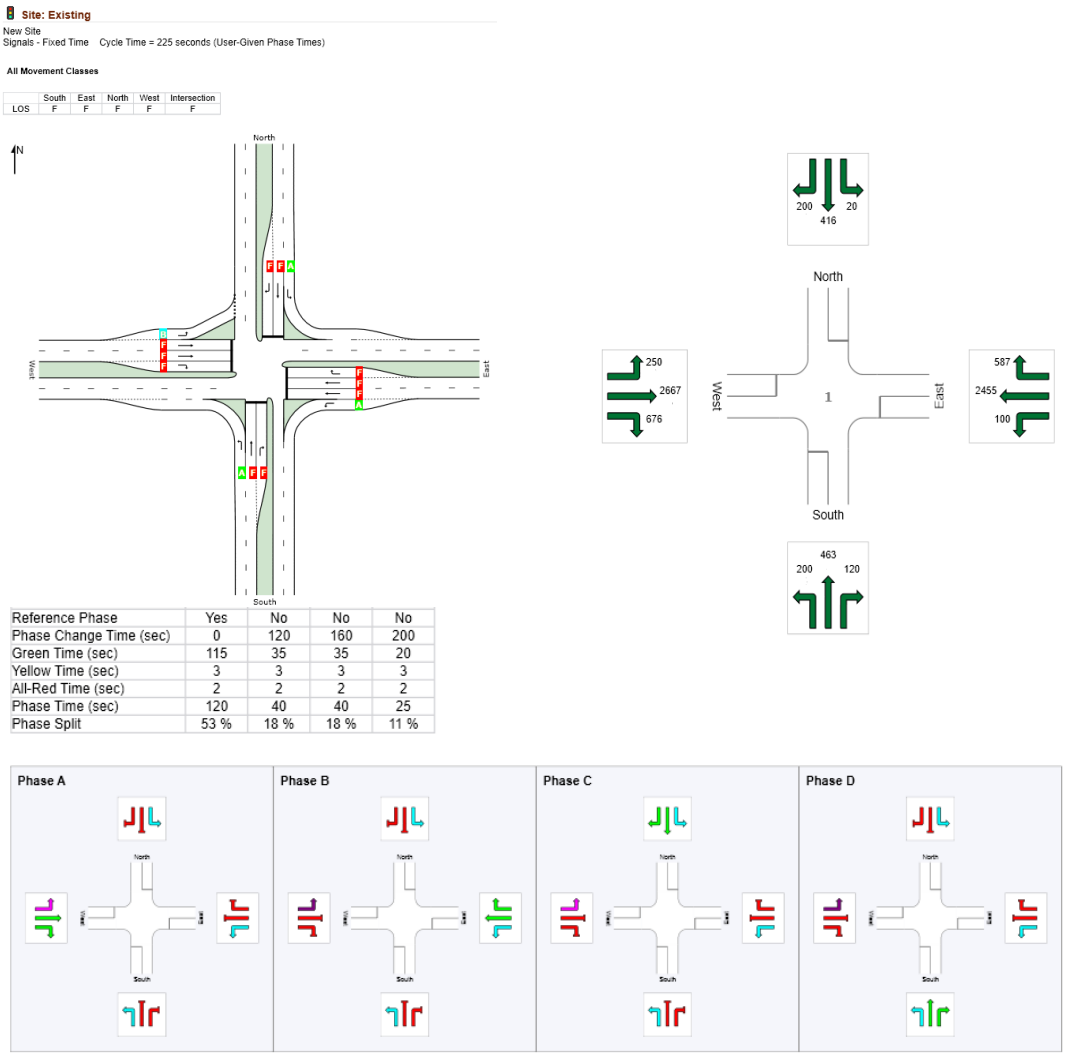


ภาพที่ 4-11 รูปแบบทั่วไปของทางแยก

1.1 วิเคราะห์สภาพปัญหาในรูปแบบที่ 1 (สภาพปัจจุบัน)

มีปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณทางแยก โดยเฉพาะบนทางหลวงหมายเลข 304 ที่มีแถวคอยค่อนข้างยาว และไม่สามารถที่จะระบายรถได้หมดในแต่ละรอบจังหวะสัญญาณไฟจราจร และมีแถวคอยบนทางหลวงหมายเลข 3121 ด้วยเช่นกัน ซึ่งสภาพปัจจุบันมีรอบของสัญญาณไฟจราจรอยู่ที่ 225 วินาที (ภาพที่ 4-12) รองรับปริมาณจราจรที่เกินกว่าความจุของทางแยก โดยมีค่า Degree of saturation สูงสุดถึง 4.446 (ภาพที่ 4-13) และมีค่าความล่าช้าเฉลี่ย (Control delay) ที่ 1,571.3 วินาที โดยมีความล่าช้าของทิศทางที่มีความล่าช้าสูงสุด(ทิศทางจากทิศตะวันออก มุ่งหน้าเข้าสู่ทางแยก อยู่ที่ 3260.0 วินาที (ภาพที่ 4-14) ส่งผลให้ระดับการให้บริการของทางแยกอยู่ที่ระดับ

F จนเกิดแถวคอยในทิศทางที่มีปัญหาการจราจรสูงสุดโดยจะมีรถติดอยู่ที่ 578 คัน คิดเป็นระยะทาง 4,046.7 เมตร ดังผลสรุปภาพที่ 4-15



ภาพที่ 4-12 รอบของสัญญาณไฟจราจร ในปัจจุบัน (225 วินาที)

Movement Capacity and Performance Parameters
Site:Existing

Intersection ID: 1
Fixed-Time Signals, Cycle Time = 225 sec (Sum of User-given Phase Times)

MOVEMENT CAPACITY PARAMETERS

Mov ID	Turn	Mov Cl.	Arv Flow	Satn Flow 1st Grn	Satn Flow 2nd Grn	Flow Ratio 1st Grn	Flow Ratio 2nd Grn	Total Cap.	Prac. Deg. Satn	Prac. Spare Cap.	Deg. Satn
			veh/h					veh/h	xp	%	x
South: South											
1	L2	#	200	1732		0.115		1732	0.98	749	0.115
2	T1	#	463	1814		0.255		161	0.90	-69	2.871
3	R2	#	120	1544		0.078		137	0.90	3	0.874
East: East											
4	L2	#	100	1732		0.058		1732	0.98	1597	0.058
5	T1	#	2455	3549		0.692		552	0.90	-80	4.446*
6	R2	#	587	1291		0.455		201	0.90	-69	2.922
North: North											
7	L2	#	20	1732		0.012		1732	0.98	8387	0.012
8	T1	#	416	1533		0.271		239	0.90	-48	1.744
9	R2	#	200	1087		0.184		169	0.90	-24	1.182
West: West											
10	L2	#	250	1732	1817	0.000	0.000	1249	0.90	350	0.200
11	T1	#	2667	3060		0.871		1564	0.90	-47	1.705
12	R2	#	676	905		0.747		463	0.90	-38	1.461

* Maximum degree of saturation
\# Combined Movement Capacity parameters are shown for all Movement Classes.

DEGREE OF SATURATION

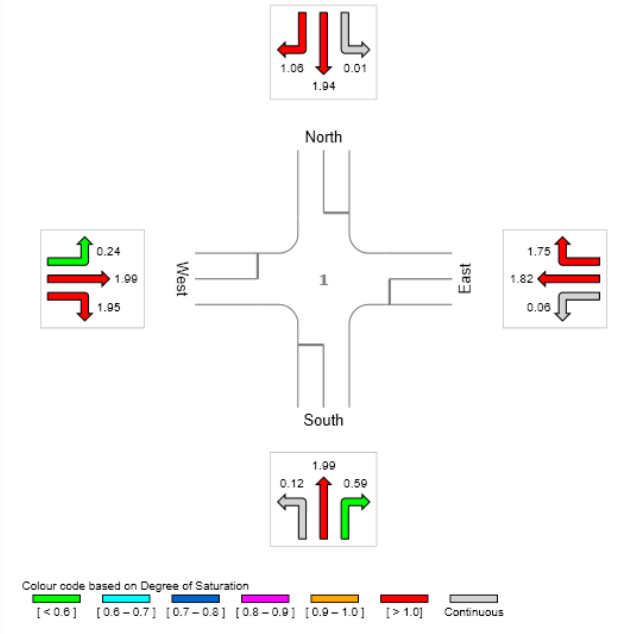
Ratio of Demand Volume to Capacity (v/c ratio)

Site: Existing - Lag-Optimum

New Site
Signals - Fixed Time Cycle Time = 110 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Degree of Saturation)

All Movement Classes

	South	East	North	West	Intersection
Degree of Saturation	1.99	1.82	1.94	1.99	1.99



ภาพที่ 4-13 ค่า Degree of saturation ของรูปแบบที่ 1

MOVEMENT PERFORMANCE

Mov ID	Turn	Total Delay (veh-h/h)	Total Delay (pers-h/h)	Aver. Delay (sec)	Eff. Stop Rate	Total Stops	Perf. Index	Tot.Trav. Distance (veh-km/h)	Tot.Trav. Time (veh-h/h)	Aver. Speed (km/h)
South: South										
1	L2	0.42	0.51	7.6	0.60	120.5	3.67	206.3	3.1	66.2
2	T1	234.89	281.87	1826.4	2.17	1003.7	354.83	475.9	240.8	2.0
3	R2	4.27	5.13	128.1	0.89	107.1	15.01	122.7	5.9	20.8
East: East										
4	L2	0.21	0.25	7.6	0.60	60.3	1.83	103.1	1.6	66.2
5	T1	2223.16	2667.79	3260.0	2.84	6963.5	******	2506.1	2254.5	1.1
6	R2	311.26	373.51	1908.9	1.87	1096.1	463.73	599.9	319.2	1.9
North: North										
7	L2	0.04	0.05	7.6	0.60	12.1	0.37	20.6	0.3	66.2
8	T1	95.23	114.28	824.1	1.91	793.9	179.57	427.6	100.6	4.3
9	R2	20.33	24.40	366.0	1.16	231.9	47.35	204.5	23.0	8.9
West: West										
10	L2	1.20	1.44	17.3	0.70	174.4	10.53	255.9	4.6	55.7
11	T1	558.25	669.90	753.5	2.34	6227.8	872.24	2722.5	592.3	4.6
12	R2	109.78	131.74	584.7	1.42	957.2	231.75	690.9	118.9	5.8

DELAY (CONTROL)

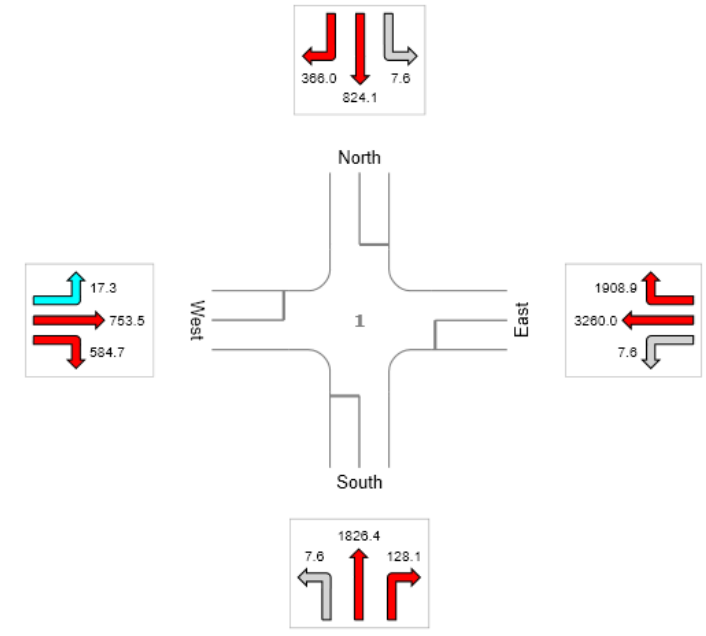
Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

Site: Existing

New Site
Signals - Fixed Time Cycle Time = 225 seconds (User-Given Phase Times)

All Movement Classes

	South	East	North	West	Intersection
Delay (Control)	1101.5	2904.1	654.4	670.5	1571.3
LOS	F	F	F	F	F



Colour code based on Level of Service

LOS A | LOS B | LOS C | LOS D | LOS E | LOS F | Continuous

Level of Service Method: Delay (HCM 2000)
SIDRA Standard Delay Model is used. Control Delay includes Geometric Delay.

ภาพที่ 4-14 ค่าความล่าช้า (Delay) ที่เกิดขึ้นรูปแบบที่ 1 สภาพปัจจุบัน

INTERSECTION SUMMARY

Site: Existing

New Site
Signals - Fixed Time — Cycle Time = 225 seconds (User-Given Phase Times)

Intersection Performance - Hourly Values

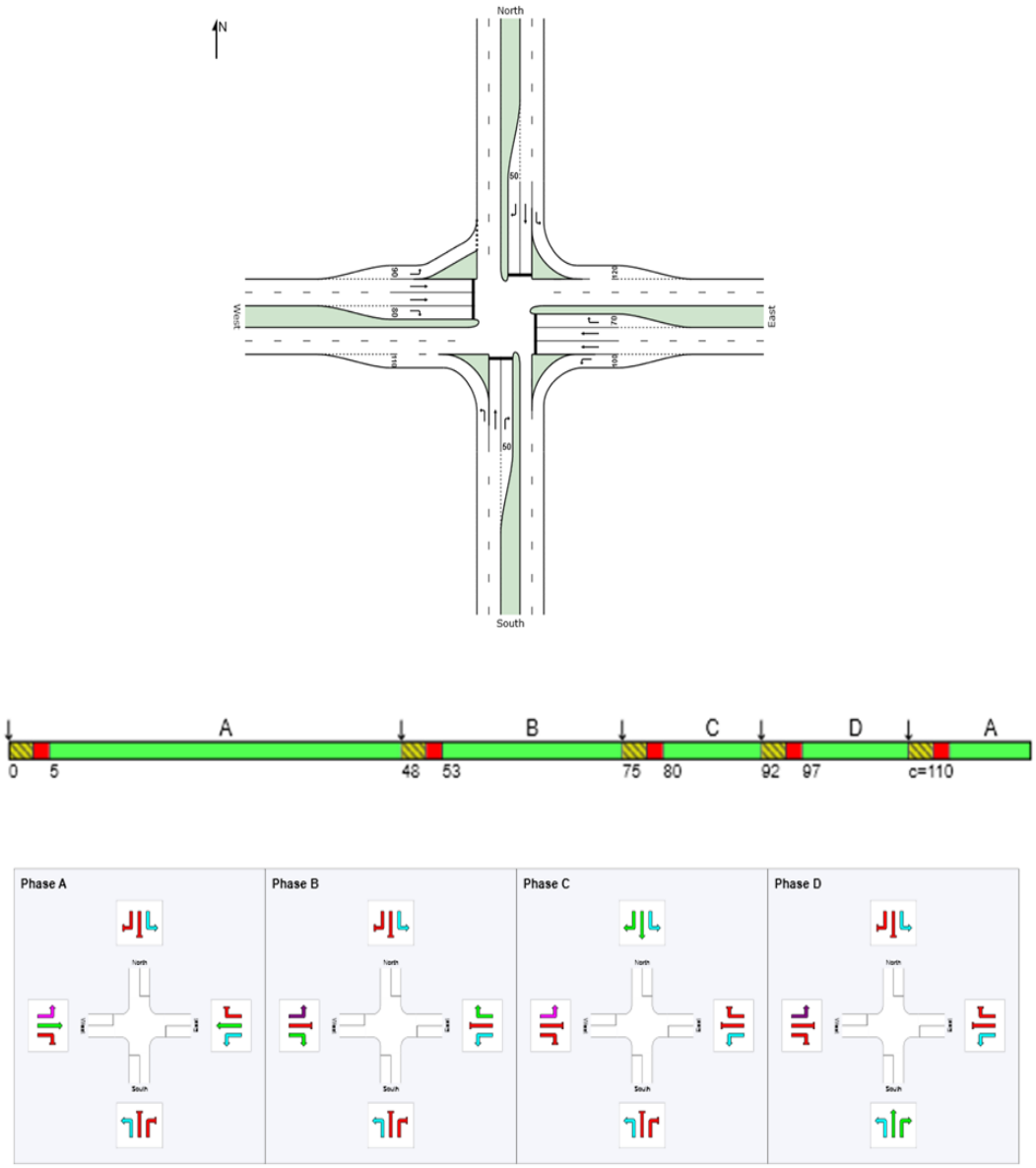
Performance Measure	Vehicles	Persons
Travel Speed (Average)	2.3 km/h	2.3 km/h
Travel Distance (Total)	8335.9 veh-km/h	10003.1 pers-km/h
Travel Time (Total)	3664.9 veh-h/h	4397.8 pers-h/h
Demand Flows (Total)	8154 veh/h	9785 pers/h
Percent Heavy Vehicles (Demand)	0.0 %	
Degree of Saturation	4.446	
Practical Spare Capacity	-79.8 %	
Effective Intersection Capacity	1834 veh/h	
Control Delay (Total)	3559.05 veh-h/h	4270.86 pers-h/h
Control Delay (Average)	1571.3 sec	1571.3 sec
Control Delay (Worst Lane)	3272.1 sec	
Control Delay (Worst Movement)	3260.0 sec	3260.0 sec
Geometric Delay (Average)	1.9 sec	
Stop-Line Delay (Average)	1569.4 sec	
Idling Time (Average)	1549.1 sec	
Intersection Level of Service (LOS)	LOS F	
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	578.1 veh	
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	4046.7 m	
Queue Storage Ratio (Worst Lane)	4.96	
Total Effective Stops	17749 veh/h	21298 pers/h
Effective Stop Rate	2.18 per veh	2.18 per pers
Proportion Queued	0.94	0.94
Performance Index	4802.2	4802.2
Cost (Total)	111605.90 $/h	111605.90 $/h
Fuel Consumption (Total)	5294.7 L/h	
Carbon Dioxide (Total)	12442.6 kg/h	
Hydrocarbons (Total)	1.470 kg/h	
Carbon Monoxide (Total)	9.265 kg/h	
NOx (Total)	2.188 kg/h	

Level of Service (LOS) Method: Delay (HCM 2000).
Intersection LOS value for Vehicles is based on average delay for all vehicle movements.
SIDRA Standard Delay Model is used. Control Delay includes Geometric Delay.

ภาพที่ 4-15 สรุปผลการวิเคราะห์ทางแยกรูปแบบที่ 1 สภาพปัจจุบัน

1.2 แนวทางการแก้ปัญหารูปแบบที่ 2 (ปรับปรุงจังหวะและรอบสัญญาณไฟจราจร)

แนวทางการแก้ปัญหารูปแบบที่ 2 จะคงรูปแบบทางแยกเดิมไว้ แต่จะปรับรอบของระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรอยู่ที่ 110 วินาทีต่อรอบ (ภาพที่ 4-16) และจังหวะเฟสไฟสัญญาณจราจรเมื่อวิเคราะห์ออกมาจะได้ค่า Degree of saturation สูงสุดที่ 1.988 (ภาพที่ 4-17) และมีค่าความล่าช้าเฉลี่ย (Control delay) ที่ 791.9 วินาที โดยมีความล่าช้าของทิศทางที่มีความล่าช้าสูงสุด (ทิศทางจากทิศใต้ มุ่งหน้าเข้าสู่ทางแยก) อยู่ที่ 956.1 วินาที (ภาพที่ 4-18) ซึ่งค่าระดับการให้บริการของทางแยกอยู่ที่ระดับ F แต่ความล่าช้ารวมของทางแยกจะลดลง โดยไปเพิ่มความล่าช้าบนทางหลวงหมายเลข 3121 และเกิดแถวคอยในทิศทางที่มีปัญหาการจราจรสูงสุดโดยจะมีรถติดอยู่ที่ 375 คัน คิดเป็นระยะทาง 2,628 เมตร ดังผลสรุปภาพที่ 4-19



ภาพที่ 4-16 รูปแบบของทางแยก และรอบสัญญาณไฟจราจร รูปแบบที่ 2

Movement Capacity and Performance Parameters
Site:Existing - Lag-Optimum

Intersection ID: 1
Fixed-Time Signals, Cycle Time = 110 sec (Optimum Cycle Time)

MOVEMENT CAPACITY PARAMETERS

Mov ID	Turn	Mov Cl.	Arv Flow	Satn Flow 1st Grn	Satn Flow 2nd Grn	Flow Ratio 1st Grn	Flow Ratio 2nd Grn	Total Cap.	Prac. Deg. Satn	Prac. Spare Cap.	Deg. Satn
			veh/h					veh/h	xp	%	x
South: South											
1	L2	#	200	1732		0.115		1732	0.98	749	0.115
2	T1	#	463	1970		0.235		233	0.90	-55	1.988*
3	R2	#	120	1732		0.069		205	0.90	54	0.586
East: East											
4	L2	#	100	1732		0.058		1732	0.98	1597	0.058
5	T1	#	2455	3452		0.711		1349	0.90	-51	1.819
6	R2	#	587	1673		0.351		335	0.90	-49	1.755
North: North											
7	L2	#	20	1732		0.012		1732	0.98	8387	0.012
8	T1	#	416	1970		0.211		215	0.90	-53	1.935
9	R2	#	200	1732		0.115		189	0.90	-15	1.058
West: West											
10	L2	#	250	1732	1905	0.000	0.000	1058	0.90	281	0.236
11	T1	#	2667	3435		0.776		1343	0.90	-55	1.986
12	R2	#	676	1732		0.390		346	0.90	-54	1.951

* Maximum degree of saturation
\# Combined Movement Capacity parameters are shown for all Movement Classes.

DEGREE OF SATURATION

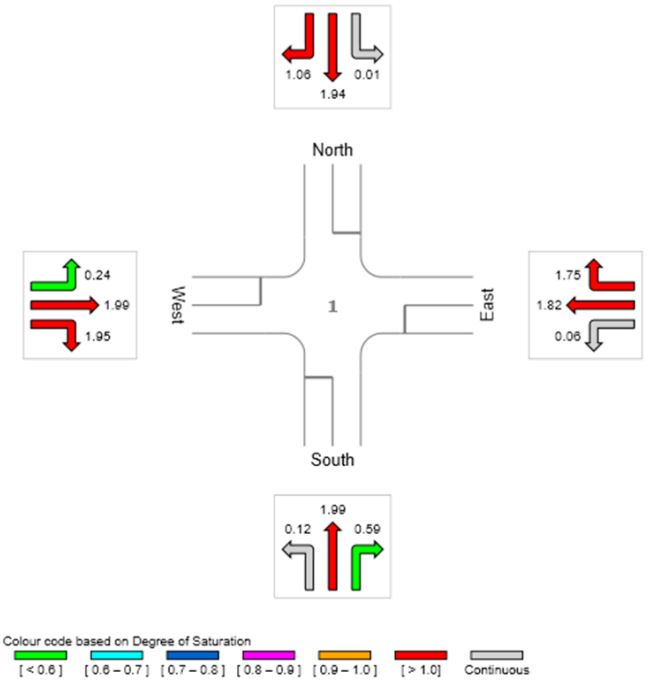
Ratio of Demand Volume to Capacity (v/c ratio)

Site: Existing - Lag-Optimum

New Site
Signals - Fixed Time Cycle Time = 110 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Degree of Saturation)

All Movement Classes

	South	East	North	West	Intersection
Degree of Saturation	1.99	1.82	1.94	1.99	1.99



ภาพที่ 4-17 Degree of saturation ของรูปแบบที่ 2

MOVEMENT PERFORMANCE

Mov ID	Turn	Total Delay (veh-h/h)	Total Delay (pers-h/h)	Aver. Delay (sec)	Eff. Stop Rate	Total Stops	Perf. Index	Tot.Trav. Distance (veh-km/h)	Tot.Trav. Time (veh-h/h)	Aver. Speed (km/h)
South: South										
1	L2	0.42	0.51	7.6	0.60	120.5	3.67	206.3	3.1	66.2
2	T1	122.96	147.55	956.1	2.63	1217.3	210.12	475.9	128.9	3.7
3	R2	1.96	2.36	58.9	0.80	95.6	7.93	122.7	3.6	34.2
East: East										
4	L2	0.21	0.25	7.6	0.60	60.3	1.83	103.1	1.6	66.2
5	T1	548.52	658.22	804.3	3.42	8385.3	814.52	2506.1	579.8	4.3
6	R2	122.94	147.53	754.0	2.22	1300.4	222.83	599.9	130.9	4.6
North: North										
7	L2	0.04	0.05	7.6	0.60	12.1	0.37	20.6	0.3	66.2
8	T1	104.97	125.96	908.4	2.52	1049.0	181.61	427.6	110.3	3.9
9	R2	7.83	9.39	140.9	1.22	243.4	23.05	204.5	10.5	19.4
West: West										
10	L2	1.15	1.38	16.6	0.72	181.2	8.86	255.9	4.5	56.3
11	T1	708.11	849.73	955.8	3.65	9728.8	******	2722.5	742.1	3.7
12	R2	174.59	209.50	929.7	2.39	1612.6	299.79	690.9	183.7	3.8

DELAY (CONTROL)

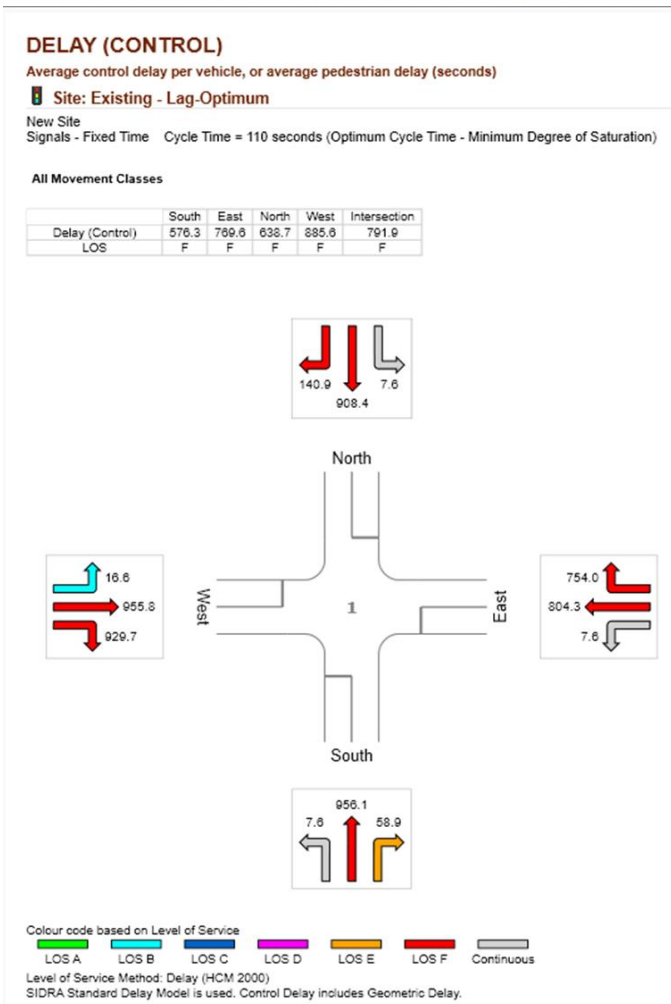
Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

Site: Existing - Lag-Optimum

New Site
Signals - Fixed Time Cycle Time = 110 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Degree of Saturation)

All Movement Classes

	South	East	North	West	Intersection
Delay (Control)	576.3	769.6	638.7	885.6	791.9
LOS	F	F	F	F	F



ภาพที่ 4-18 ความล่าช้า (Delay) ที่เกิดขึ้นรูปแบบที่ 2

INTERSECTION SUMMARY

Site: Existing - Lag-Optimum

New Site
Signals - Fixed Time — Cycle Time = 110 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Degree of Saturation)

Intersection Performance - Hourly Values

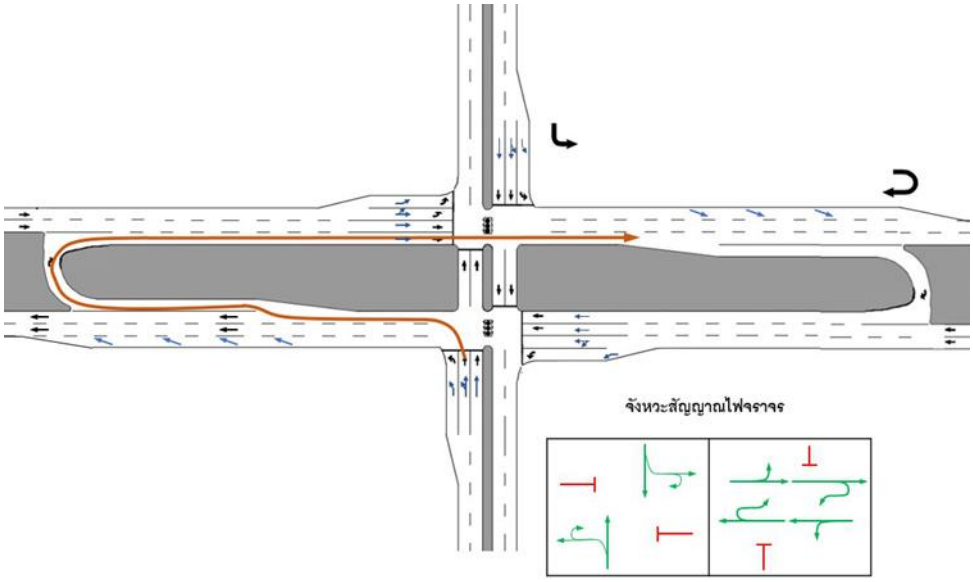
Performance Measure	Vehicles	Persons
Travel Speed (Average)	4.4 km/h	4.4 km/h
Travel Distance (Total)	8335.9 veh-km/h	10003.1 pers-km/h
Travel Time (Total)	1899.5 veh-h/h	2279.4 pers-h/h
Demand Flows (Total)	8154 veh/h	9785 pers/h
Percent Heavy Vehicles (Demand)	0.0 %	
Degree of Saturation	1.988	
Practical Spare Capacity	-54.7 %	
Effective Intersection Capacity	4101 veh/h	
Control Delay (Total)	1793.70 veh-h/h	2152.44 pers-h/h
Control Delay (Average)	791.9 sec	791.9 sec
Control Delay (Worst Lane)	959.0 sec	
Control Delay (Worst Movement)	956.1 sec	956.1 sec
Geometric Delay (Average)	1.9 sec	
Stop-Line Delay (Average)	790.0 sec	
Idling Time (Average)	752.5 sec	
Intersection Level of Service (LOS)	LOS F	
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	375.4 veh	
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	2628.0 m	
Queue Storage Ratio (Worst Lane)	3.22	
Total Effective Stops	24006 veh/h	28808 pers/h
Effective Stop Rate	2.94 per veh	2.94 per pers
Proportion Queued	0.95	0.95
Performance Index	2788.7	2788.7
Cost (Total)	58657.23 $/h	58657.23 $/h
Fuel Consumption (Total)	3234.8 L/h	
Carbon Dioxide (Total)	7601.9 kg/h	
Hydrocarbons (Total)	0.884 kg/h	
Carbon Monoxide (Total)	6.385 kg/h	
NOx (Total)	1.781 kg/h	

Level of Service (LOS) Method: Delay (HCM 2000).
Intersection LOS value for Vehicles is based on average delay for all vehicle movements.
SIDRA Standard Delay Model is used. Control Delay includes Geometric Delay.

ภาพที่ 4-19 สรุปผลการวิเคราะห์ทางแยก รูปแบบที่ 2 (ปรับปรุงจังหวะและรอบสัญญาณไฟ)

1.3 แนวทางการแก้ปัญหารูปแบบที่ 3 (ปรับปรุงรูปแบบทางแยก และปรับปรุงจังหวะสัญญาณไฟจราจร)

แนวทางการแก้ปัญหารูปแบบที่ 3 จะเปลี่ยนแปลงรูปแบบของทางแยก โดยการลดจังหวะสัญญาณไฟจราจรในทิศทางเลี้ยวขวา โดยให้รถที่ต้องการจะเลี้ยวขวาในทุกทิศทาง จะต้องไปกลับรถ และมีการปรับรอบของระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรอยู่ที่ 75 วินาทีต่อรอบ (ภาพที่ 4-20) เมื่อวิเคราะห์ออกมาจะได้ค่า Degree of saturation สูงสุดที่ 0.814 (ภาพที่ 4-21) ซึ่งไม่เกินค่าความสามารถในการรองรับรถที่เข้าสู่ทางแยก และมีค่าความล่าช้าเฉลี่ย (Control delay) ที่ 10.6 วินาที โดยมีความล่าช้าของทิศทางที่มีความล่าช้าสูงสุด (ทิศทางจากทิศใต้ มุ่งหน้าเข้าสู่ทางแยก) อยู่ที่ 38.5 วินาที (ภาพที่ 4-22) ซึ่งค่าระดับการให้บริการของทางแยกอยู่ที่ระดับ B โดยเกิดแถวคอยในทิศทางที่มีปัญหาการจราจรสูงสุดโดยจะมีรถติดอยู่ที่ 30 คัน คิดเป็นระยะทาง 209.5 เมตร ดังผลสรุปภาพที่ 4-23

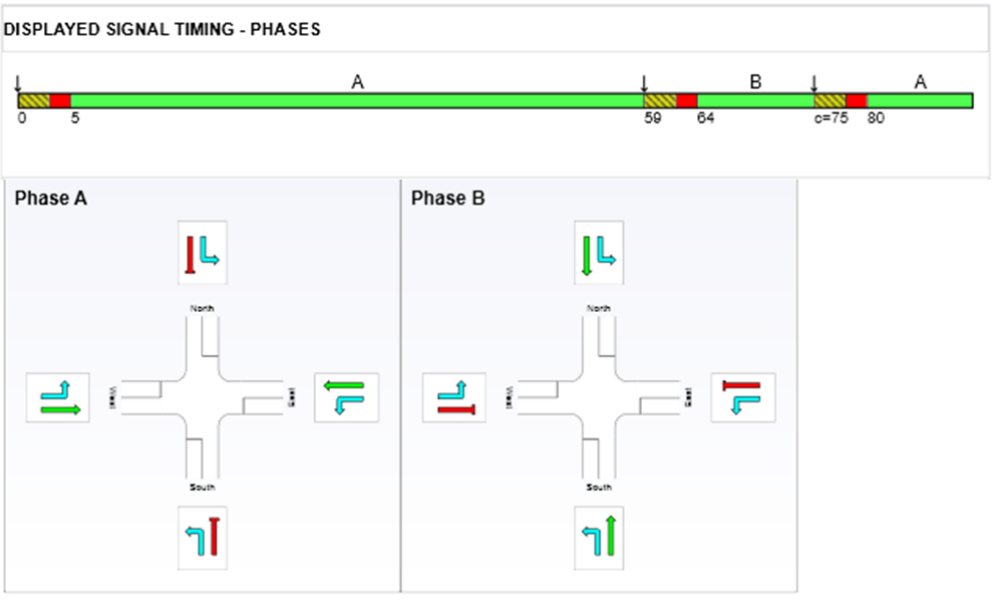


MOVEMENT TIMING

Site: New Design - Optimum

New Site
Signals - Fixed Time Cycle Time = 75 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Delay)

Phase times determined by the program
Sequence: Two-Phase
Input Sequence: A, B
Output Sequence: A, B



ภาพที่ 4-20 รูปแบบของทางแยก และรอบสัญญาณไฟจราจร รูปแบบที่ 3

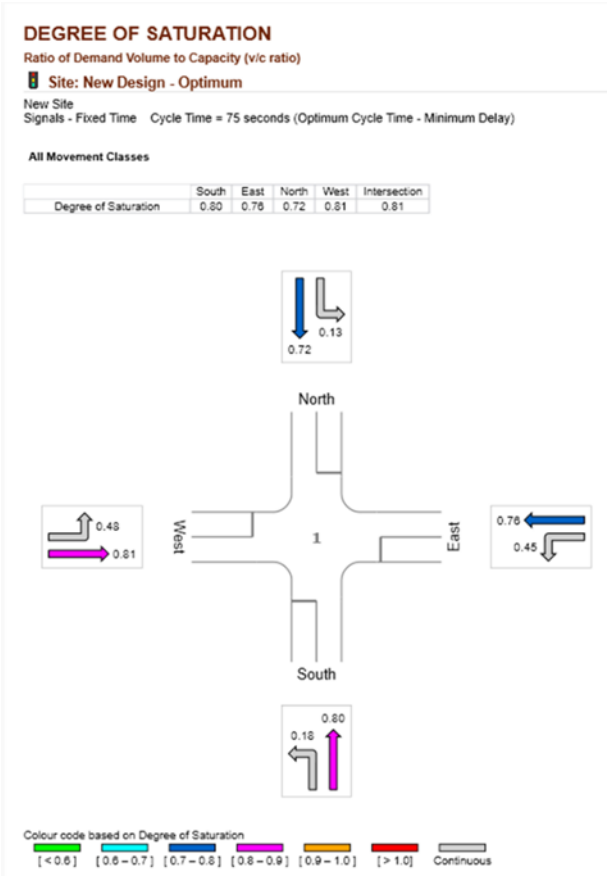
Movement Capacity and Performance Parameters
Site:New Design - Optimum

Intersection ID: 1
Fixed-Time Signals, Cycle Time = 75 sec (Optimum Cycle Time)

MOVEMENT CAPACITY PARAMETERS

Mov ID	Turn	Mov Cl.	Arv Flow	Satn Flow 1st Grn	Satn Flow 2nd Grn	Flow Ratio 1st Grn	Flow Ratio 2nd Grn	Total Cap.	Prac. Deg. Satn	Prac. Spare Cap.	Deg. Satn
			veh/h					veh/h	xp	%	x
South: South											
1	L2	#	320	1732		0.185		1732	0.98	430	0.185
2	T1	#	463	3941		0.117		578	0.90	12	0.801
East: East											
4	L2	#	776	1732		0.448		1732	0.98	119	0.448
5	T1	#	3242	5911		0.548		4256	0.90	18	0.762
North: North											
7	L2	#	220	1732		0.127		1732	0.98	672	0.127
8	T1	#	416	3941		0.106		578	0.90	25	0.720
West: West											
10	L2	#	837	1732		0.483		1732	0.98	103	0.483
11	T1	#	3463	5911		0.586		4256	0.90	11	0.814*

* Maximum degree of saturation
\# Combined Movement Capacity parameters are shown for all Movement Classes.



ภาพที่ 4-21 Degree of saturation ของรูปแบบที่ 3

MOVEMENT PERFORMANCE

Mov ID	Turn	Total Delay (veh-h/h)	Total Delay (pers-h/h)	Aver. Delay (sec)	Eff. Stop Rate	Total Stops	Perf. Index	Tot.Trav. Distance (veh-km/h)	Tot.Trav. Time (veh-h/h)	Aver. Speed (km/h)
South: South										
1	L2	0.67	0.81	7.6	0.60	192.8	5.87	330.1	5.0	66.2
2	T1	4.95	5.94	38.5	0.92	425.6	18.93	477.5	10.9	43.7
East: East										
4	L2	1.64	1.97	7.6	0.60	467.3	14.25	800.4	12.1	66.1
5	T1	6.27	7.52	7.0	0.63	2030.3	73.99	3320.8	47.8	69.5
North: North										
7	L2	0.46	0.56	7.6	0.60	132.6	4.04	226.9	3.4	66.2
8	T1	4.15	4.99	36.0	0.87	360.7	16.35	429.0	9.5	45.1
West: West										
10	L2	1.78	2.13	7.6	0.60	504.0	15.37	863.3	13.1	66.1
11	T1	8.70	10.44	9.0	0.70	2438.9	84.93	3547.2	53.0	66.9

DELAY (CONTROL)

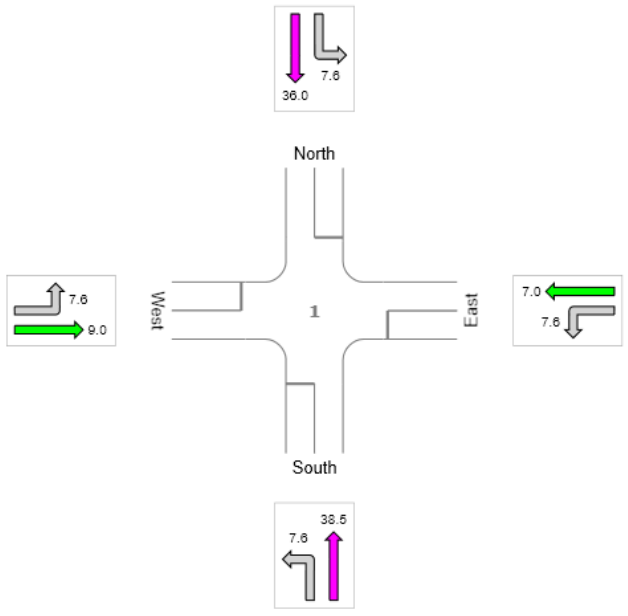
Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

Site: New Design - Optimum

New Site
Signals - Fixed Time Cycle Time = 75 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Delay)

All Movement Classes

	South	East	North	West	Intersection
Delay (Control)	25.9	7.1	26.1	8.8	10.6
LOS	C	A	C	A	B

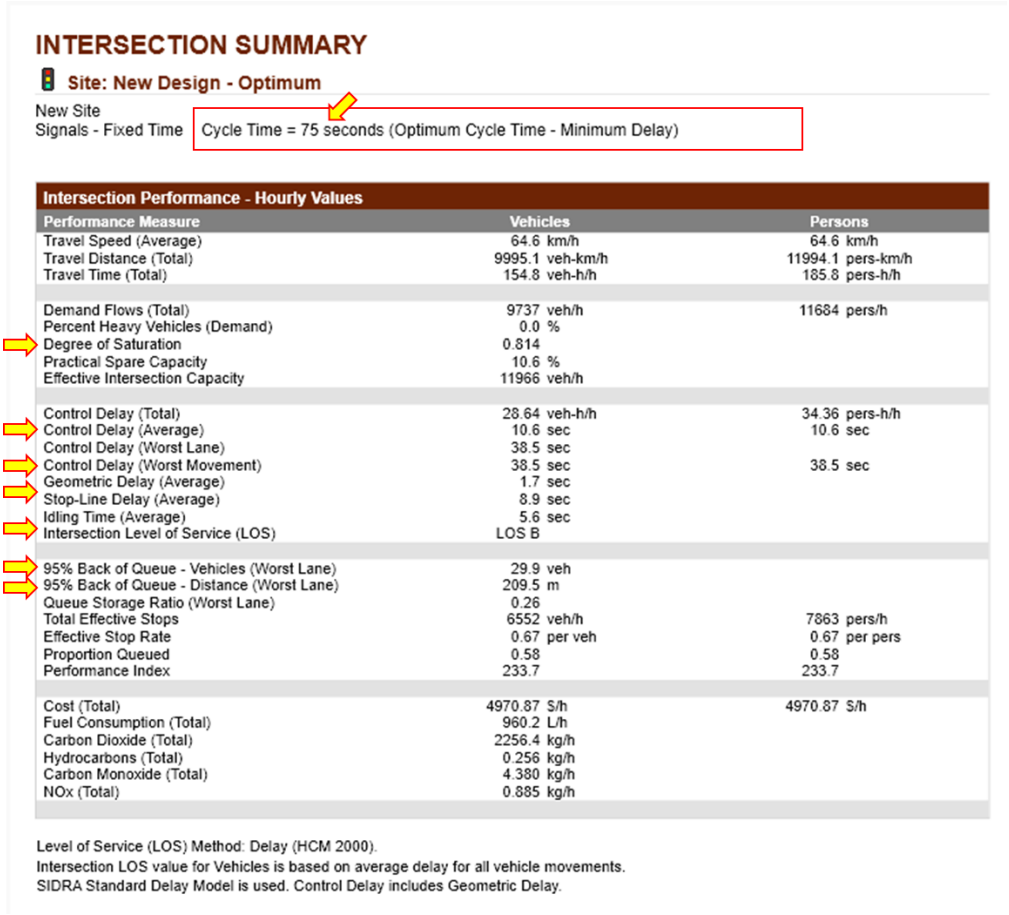


Colour code based on Level of Service

LOS A | LOS B | LOS C | LOS D | LOS E | LOS F | Continuous

Level of Service Method: Delay (HCM 2000)
SIDRA Standard Delay Model is used. Control Delay includes Geometric Delay.

ภาพที่ 4-22 ความล่าช้า (Delay) ที่เกิดขึ้น รูปแบบที่ 3



INTERSECTION SUMMARY

Site: New Design - Optimum

New Site
Signals - Fixed Time — Cycle Time = 75 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Delay)

Intersection Performance - Hourly Values

Performance Measure	Vehicles	Persons
Travel Speed (Average)	64.6 km/h	64.6 km/h
Travel Distance (Total)	9995.1 veh-km/h	11994.1 pers-km/h
Travel Time (Total)	154.8 veh-h/h	185.8 pers-h/h
Demand Flows (Total)	9737 veh/h	11684 pers/h
Percent Heavy Vehicles (Demand)	0.0 %	
Degree of Saturation	0.814	
Practical Spare Capacity	10.6 %	
Effective Intersection Capacity	11966 veh/h	
Control Delay (Total)	28.64 veh-h/h	34.36 pers-h/h
Control Delay (Average)	10.6 sec	10.6 sec
Control Delay (Worst Lane)	38.5 sec	
Control Delay (Worst Movement)	38.5 sec	38.5 sec
Geometric Delay (Average)	1.7 sec	
Stop-Line Delay (Average)	8.9 sec	
Idling Time (Average)	5.6 sec	
Intersection Level of Service (LOS)	LOS B	
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	29.9 veh	
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	209.5 m	
Queue Storage Ratio (Worst Lane)	0.26	
Total Effective Stops	6552 veh/h	7863 pers/h
Effective Stop Rate	0.67 per veh	0.67 per pers
Proportion Queued	0.58	0.58
Performance Index	233.7	233.7
Cost (Total)	4970.87 $/h	4970.87 $/h
Fuel Consumption (Total)	960.2 L/h	
Carbon Dioxide (Total)	2256.4 kg/h	
Hydrocarbons (Total)	0.256 kg/h	
Carbon Monoxide (Total)	4.380 kg/h	
NOx (Total)	0.885 kg/h	

Level of Service (LOS) Method: Delay (HCM 2000).
Intersection LOS value for Vehicles is based on average delay for all vehicle movements.
SIDRA Standard Delay Model is used. Control Delay includes Geometric Delay.

ภาพที่ 4-23 สรุปผลการวิเคราะห์ทางแยก รูปแบบที่ 3

จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 รูปแบบ (ตารางที่ 4-22) จะพบว่าการปรับรอบจังหวะสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางตามรูปแบบที่ 2 จะทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยของทางแยกลดลง แต่ก็ยังไม่สามารถที่จะแก้ไขปัญหาการจราจรบริเวณทางแยกและให้มีระดับการให้บริการที่ยอมรับได้ และการแก้ไขปัญหาจราจรบริเวณทางแยกด้วยรูปแบบที่ 3 ทำให้ความล่าช้าบริเวณทางแยกลดลงจนมีระดับการให้บริการอยู่ในระดับ B

2. สรุปผลวิเคราะห์เปรียบเทียบผลทั้ง 3 เงื่อนไข

จากค่า Degree of Saturation เป็นค่าที่สามารถระบุประสิทธิภาพของทางแยกได้ว่ายังมีความสามารถที่จะให้บริการได้หรือ มีสภาพการจราจรติดขัดเกินกว่าที่จะให้บริการได้ ดังแสดงค่าระดับ Degree of saturation สูงสุดที่ยอมรับได้ในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ค่า Degree of saturation

Intersection type	Maximum practical degree of saturation
Signals	0.90
Roundabouts	0.85
Sign-Controlled	0.80
Continuous lanes	0.98

ส่วนค่า Level of service (LOS) หมายถึง ค่าระดับการให้บริการของทางแยกที่ยอมรับได้ จะแบ่งออกตามลักษณะของถนน และแบ่งพื้นที่ออกเป็นทางแยกที่อยู่ในเขตเมือง และทางแยกที่อยู่นอกเขตเมือง ดังแสดงค่า LOS ที่ยอมรับได้ตามตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่า LOS ที่ยอมรับได้ตามประเภทของถนนในเขตเมือง

Criterion	Road								Street			
	Arterial road				Sub arterial road				Collector street		Local street	
	Highway	Arterial	Arterial main street		Traffic distributor		Controlled distributor		Sub arterial	Main street	Major collector	Minor collector	Access street	Access place
Minimum LOS per Leg	C	C	C		C		C		D		D	D	D	D

ตารางที่ 4-3 ค่า LOS ที่ยอมรับได้ตามประเภทของถนนในพื้นที่นอกเขตเมือง

Crterion	Arterial	Traffic distributor	Minor collector	Access street
Minimum LOS per Leg	B	B	C	D

ตารางที่ 4-4 ค่า LOS ของทางแยก พิจารณาตามความล่าช้าบริเวณทางแยก

Level of service	Control delay per vechicle (S)		
	Signals	**Roundabouts**	**Stop and Giveway/ Yield signs**
A	$d \leq 10$	$d \leq 10$	$d \leq 10$
B	$10 < d \leq 20$	$10 < d \leq 20$	$10 < d \leq 15$
C	$20 < d \leq 35$	$20 < d \leq 35$	$15 < d \leq 25$
D	$35 < d \leq$ **55**	$35 < d \leq$ **50**	$25 < d \leq$ **35**
E	**55** $< d \leq 80$	**50** $< d \leq 70$	**35** $< d \leq 50$
F	$80 < d$	$70 < d$	$50 < d$

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทางแยกทั้ง 3 รูปแบบ ด้วยโปรแกรม Sidra ดังภาพที่ 4-11 และสรุปประเด็นสำคัญในตารางที่ 4-5 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจัดการทางแยกทั้ง 3 รูปแบบ ดังภาพที่ 4-25

SITE OUTPUT COMPARISON

Comparison of Intersection Summary Statistics

Site A: Existing

Site B: Existing - Lag-Optimum

Intersection Performance (Vehicles Only) - Hourly Values

Performance Measure	Units	Site A	Site B	Difference Site B - Site A	% Difference Diff / Site A
Travel Speed (Average)	km/h	2.3	4.4	2.1	92.9
Travel Distance (Total)	veh-km/h	8335.9	8335.9	0.0	0.0
Travel Time (Total)	veh-h/h	3664.9	1899.5	-1765.3	-48.2
Demand Flows (Total)	veh/h	8154	8154	0	0.0
Percent Heavy Vehicles (Demand)	%	0.0	0.0	0.0	0.0
Degree of Saturation		4.446	1.988	-2.458	-55.3
Practical Spare Capacity	%	-79.8	-54.7	25.0	-31.4
Effective Intersection Capacity	veh/h	1834	4101	2267	123.6
Control Delay (Total)	veh-h/h	3559.05	1793.70	-1765.35	-49.6
Control Delay (Average)	sec	1571.3	791.9	-779.4	-49.6
Control Delay (Worst Lane)	sec	3272.1	959.0	-2313.1	-70.7
Control Delay (Worst Movement)	sec	3260.0	956.1	-2304.0	-70.7
Geometric Delay (Average)	sec	1.9	1.9	0.0	0.0
Stop-Line Delay (Average)	sec	1569.4	790.0	-779.4	-49.7
Idling Time (Average)	sec	1549.1	752.5	-796.6	-51.4
Intersection Level of Service (LOS)		LOS F	LOS F	NA	NA
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	veh	578.1	375.4	-202.7	-35.1
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	m	4046.7	2628.0	-1418.7	-35.1
Queue Storage Ratio (Worst Lane)		4.96	3.22	-1.74	-35.1
Total Effective Stops	veh/h	17749	24006	6258	35.3
Effective Stop Rate	per veh	2.18	2.94	0.77	35.3
Proportion Queued		0.94	0.95	0.00	0.5
Performance Index		4802.2	2788.7	-2013.5	-41.9

Intersection Performance (Vehicles Only) - Annual Values

Site A - Hours per Year: 480
Site B - Hours per Year: 480

Performance Measure	Units	Site A	Site B	Difference Site B - Site A	% Difference Diff / Site A
Demand Flows (Total)	veh/y	3,913,920	3,913,920	0	0.0
Delay	veh-h/y	1,708,346	860,976	-847,370	-49.6
Effective Stops	veh/y	8,519,293	11,523,100	3,003,807	35.3
Travel Distance	veh-km/y	4,001,254	4,001,254	0	0.0
Travel Time	veh-h/y	1,759,135	911,767	-847,368	-48.2
Cost	$/y	53,570,850	28,155,470	-25,415,380	-47.4
Fuel Consumption	L/y	2,541,468	1,552,721	-988,747	-38.9
Carbon Dioxide	kg/y	5,972,449	3,648,894	-2,323,556	-38.9
Hydrocarbons	kg/y	706	424	-281	-39.9
Carbon Monoxide	kg/y	4,447	3,065	-1,382	-31.1
NOx	kg/y	1,050	855	-195	-18.6

SIDRA INTERSECTION 6.0.22.4722
Copyright © 2000-2014 Akcelik and Associates Pty Ltd
www.sidrasolutions.com
SIDRA INTERSECTION 6
8001492, BURAPHA UNIVERSITY, NETWORK / Enterprise

ภาพที่ 4-24 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ รูปแบบที่ 1 กับรูปแบบที่ 2

SITE OUTPUT COMPARISON

Comparison of Intersection Summary Statistics

Site A: Existing - Lag-Optimum

Site B: New Design - Optimum

Intersection Performance (Vehicles Only) - Hourly Values

Performance Measure	Units	Site A	Site B	Difference Site B - Site A	% Difference Diff / Site A
Travel Speed (Average)	km/h	4.4	64.6	60.2	1370.9
Travel Distance (Total)	veh-km/h	8335.9	9995.1	1659.1	19.9
Travel Time (Total)	veh-h/h	1899.5	154.8	-1744.7	-91.8
Demand Flows (Total)	veh/h	8154	9737	1583	19.4
Percent Heavy Vehicles (Demand)	%	0.0	0.0	0.0	0.0
Degree of Saturation		1.988	0.814	-1.175	-59.1
Practical Spare Capacity	%	-54.7	10.6	65.3	-119.4
Effective Intersection Capacity	veh/h	4101	11966	7865	191.8
Control Delay (Total)	veh-h/h	1793.70	28.64	-1765.06	-98.4
Control Delay (Average)	sec	791.9	10.6	-781.3	-98.7
Control Delay (Worst Lane)	sec	959.0	38.5	-920.5	-96.0
Control Delay (Worst Movement)	sec	956.1	38.5	-917.6	-96.0
Geometric Delay (Average)	sec	1.9	1.7	-0.3	-13.4
Stop-Line Delay (Average)	sec	790.0	8.9	-781.1	-98.9
Idling Time (Average)	sec	752.5	5.6	-746.9	-99.3
Intersection Level of Service (LOS)		LOS F	LOS B	NA	NA
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	veh	375.4	29.9	-345.5	-92.0
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	m	2628.0	209.5	-2418.5	-92.0
Queue Storage Ratio (Worst Lane)		3.22	0.26	-2.96	-92.0
Total Effective Stops	veh/h	24006	6552	-17454	-72.7
Effective Stop Rate	per veh	2.94	0.67	-2.27	-77.1
Proportion Queued		0.95	0.58	-0.37	-39.0
Performance Index		2788.7	233.7	-2555.0	-91.6

Intersection Performance (Vehicles Only) - Annual Values

Site A - Hours per Year: 480
Site B - Hours per Year: 480

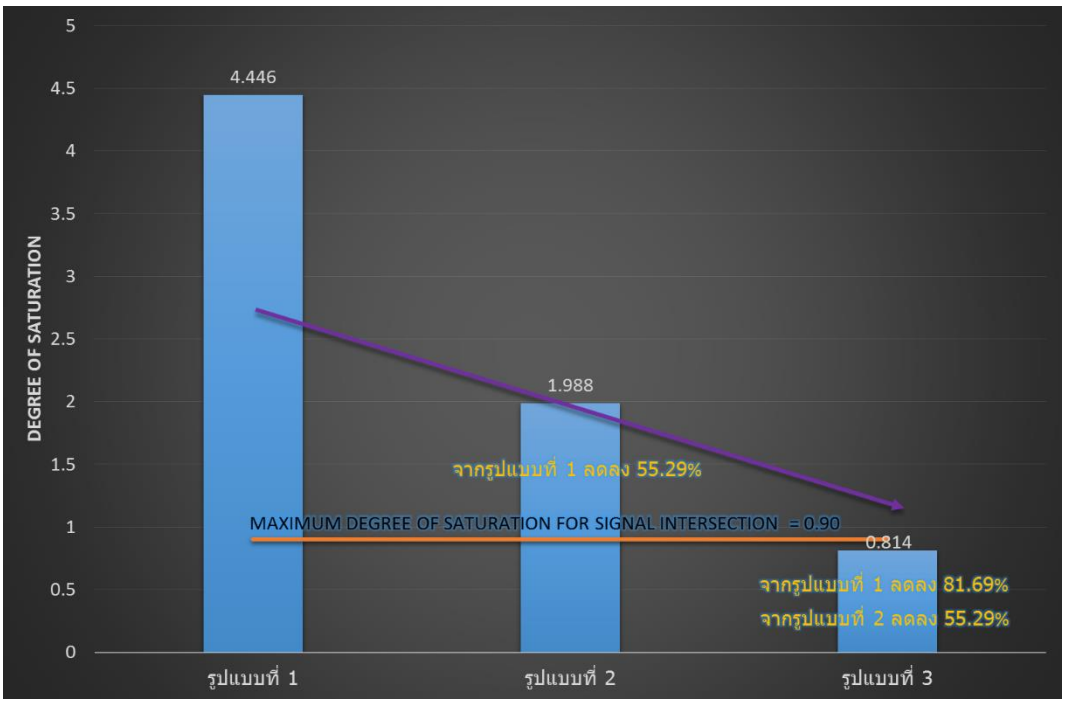
Performance Measure	Units	Site A	Site B	Difference Site B - Site A	% Difference Diff / Site A
Demand Flows (Total)	veh/y	3,913,920	4,673,760	759,840	19.4
Delay	veh-h/y	860,976	13,746	-847,231	-98.4
Effective Stops	veh/y	11,523,100	3,145,159	-8,377,941	-72.7
Travel Distance	veh-km/y	4,001,254	4,797,640	796,386	19.9
Travel Time	veh-h/y	911,767	74,323	-837,445	-91.8
Cost	$/y	28,155,470	2,386,018	-25,769,460	-91.5
Fuel Consumption	L/y	1,552,721	460,874	-1,091,847	-70.3
Carbon Dioxide	kg/y	3,648,894	1,083,053	-2,565,841	-70.3
Hydrocarbons	kg/y	424	123	-301	-71.0
Carbon Monoxide	kg/y	3,065	2,102	-962	-31.4
NOx	kg/y	855	425	-430	-50.3

SIDRA INTERSECTION 6.0.22.4722
Copyright © 2000-2014 Akcelik and Associates Pty Ltd
www.sidrasolutions.com
8001492, BURAPHA UNIVERSITY, NETWORK / Enterprise
SIDRA INTERSECTION 6

ภาพที่ 4-25 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ รูปแบบที่ 2 กับรูปแบบที่ 3

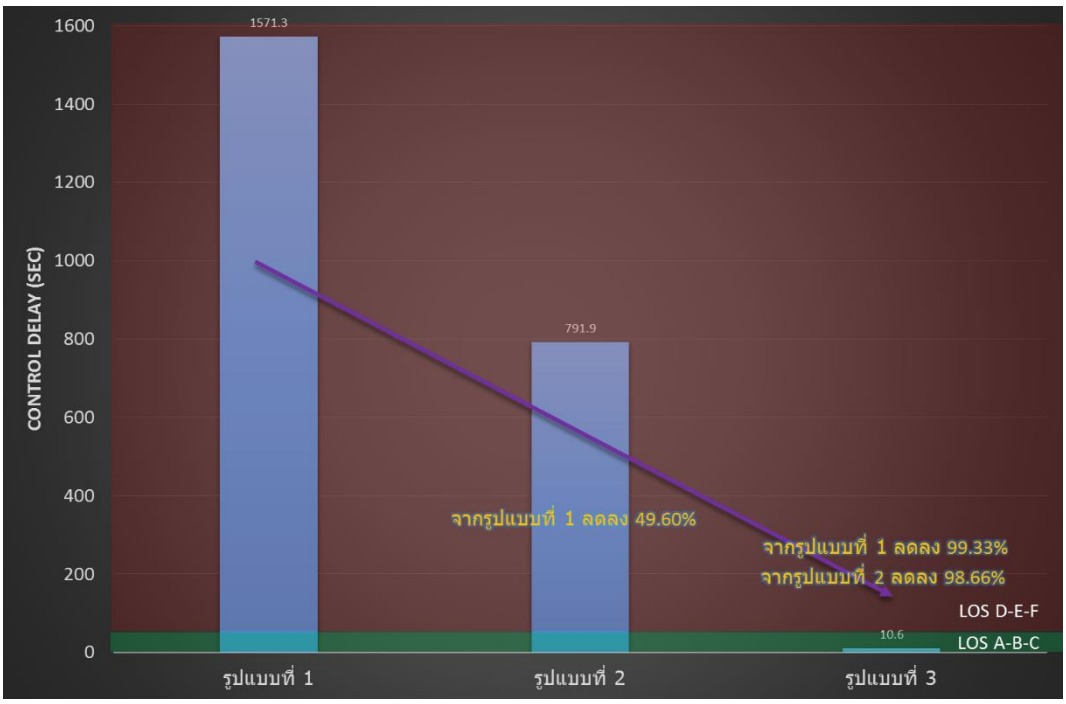
ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของทางแยกในรูปแบบต่างๆ วิเคราะห์จาก SIDRA

ลักษณะทั่วไป			
รูปแบบทางแยก	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
ลักษณะทางแยก	4 แยก	4 แยก	4 แยก (ห้ามเลี้ยวขวา)
จังหวะสัญญาณไฟจราจร	225 วินาที	110 วินาที	75 วินาที
ผลการวิเคราะห์			
Degree of saturation	4.446	1.988	0.814
Control delay (Average)	1,571.3 วินาที	791.9 วินาที	10.6 วินาที
Control delay (Worst movement)	3,260.0 วินาที	956.1 วินาที	38.5 วินาที
Geometric Delay (Average)	1.9 วินาที	1.9 วินาที	1.7 วินาที
Intersection Level of Service (LOS)	F	F	B
95% Back of Queue-Vehicles (Worst lane)	578.1 คัน	375.4 คัน	29.9 คัน
95% Back of Queue-Distance (Worst lane)	4,046.7 เมตร	2,628.0 เมตร	209.5 เมตร



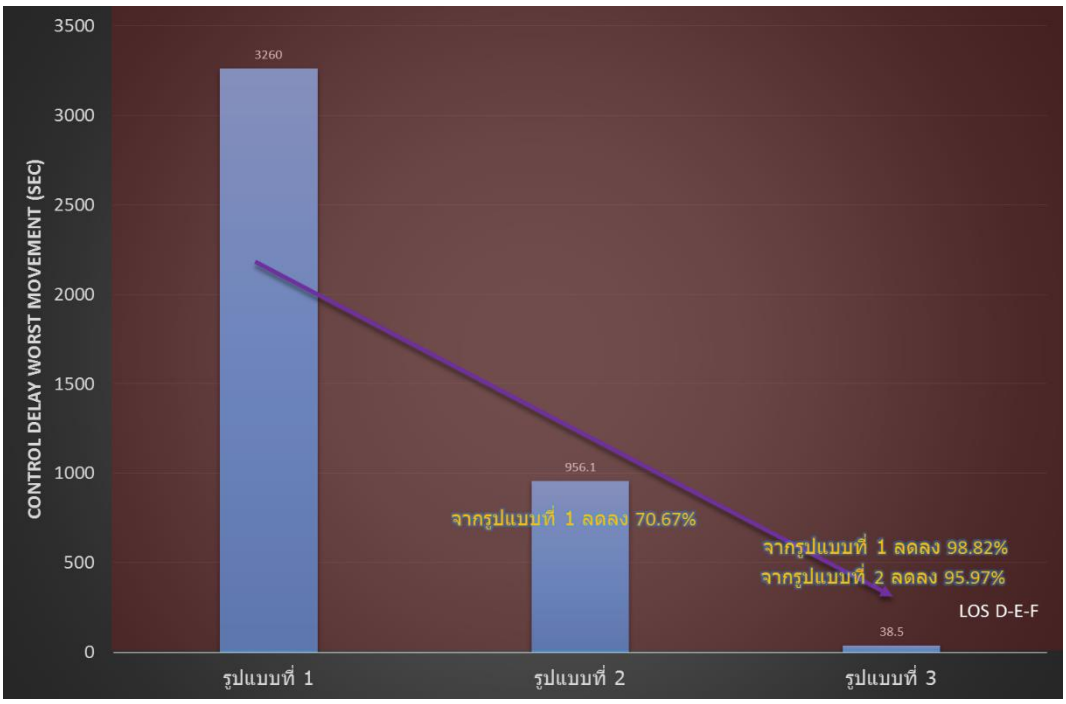
ภาพที่ 4-26 เปรียบเทียบค่า Degree of saturation ทั้ง 3 กรณี

เมื่อพิจารณาค่า Degree of saturation ของทางแยก พบว่า เมื่อปรับปรุงด้วยรูปแบบที่ 2 ที่มีการปรับปรุงเฉพาะรอบของสัญญาณไฟจราจร จะเห็นว่าค่า Degree of saturation ของทางแยก ลดลงจาก 4.446 เหลือ 1.988 ซึ่งลดลงร้อยละ 55.29 แต่ค่า Degree of saturation ที่ 1.988 ยังมีค่าเกินกว่าค่า Maximum degree of saturation ที่ 0.90 และเมื่อทดสอบการปรับปรุงทางแยกด้วยรูปแบบที่ 3 ที่อาศัยการจัดการจราจรมาช่วยและปรับปรุงรอบของสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับรูปแบบของทางแยก พบว่าค่า Degree of saturation ลดลงเหลือ 0.814 ลดลงร้อยละ 81.69 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 1



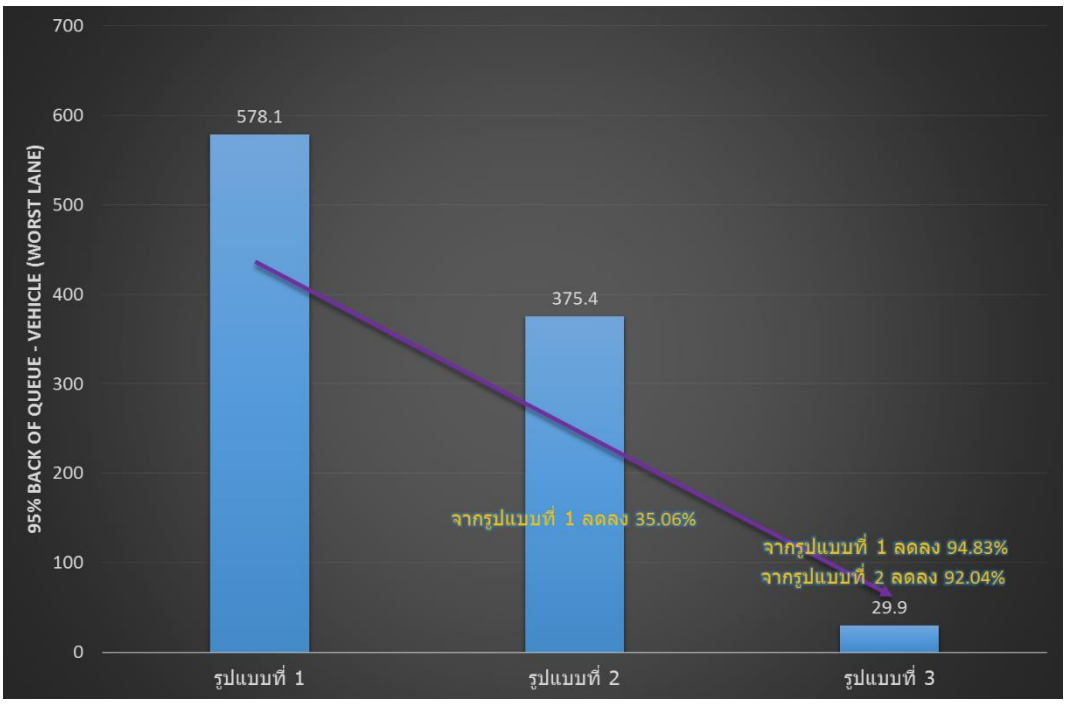
ภาพที่ 4-27 เปรียบเทียบค่า Control delay (Average) ของทางแยก ทั้ง 3 กรณี

เมื่อพิจารณาค่า Control delay (Average) ของทางแยก พบว่า เมื่อปรับปรุงด้วยรูปแบบที่ 2 ที่มีการปรับปรุงเฉพาะรอบของสัญญาณไฟจราจร จะเห็นว่าค่า Control delay (Average) ของทางแยกลดลงจาก 1,571.3 วินาที เหลือ 791.9 วินาที ซึ่งลดลงร้อยละ 49.60 แต่ค่า Control delay (Average) ที่ 791.9 วินาที ยังมีค่าเกินกว่าค่าระดับการให้บริการที่ยอมรับได้ ซึ่งค่าที่ได้ควรจะอยู่ในระดับการให้บริการที่ LOS A, B หรือ C และเมื่อทดสอบการปรับปรุงทางแยกด้วยรูปแบบที่ 3 ที่อาศัยการจัดการจราจรมาช่วยและปรับปรุงรอบของสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับรูปแบบของทางแยก พบว่าค่า Control delay (Average) ลดลงเหลือ 10.6 วินาที ลดลงร้อยละ 99.3 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 1 และลดลงร้อยละ 98.66 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 2 และค่าที่ได้ก็อยู่ในช่วงของระดับการให้บริการที่ LOS B



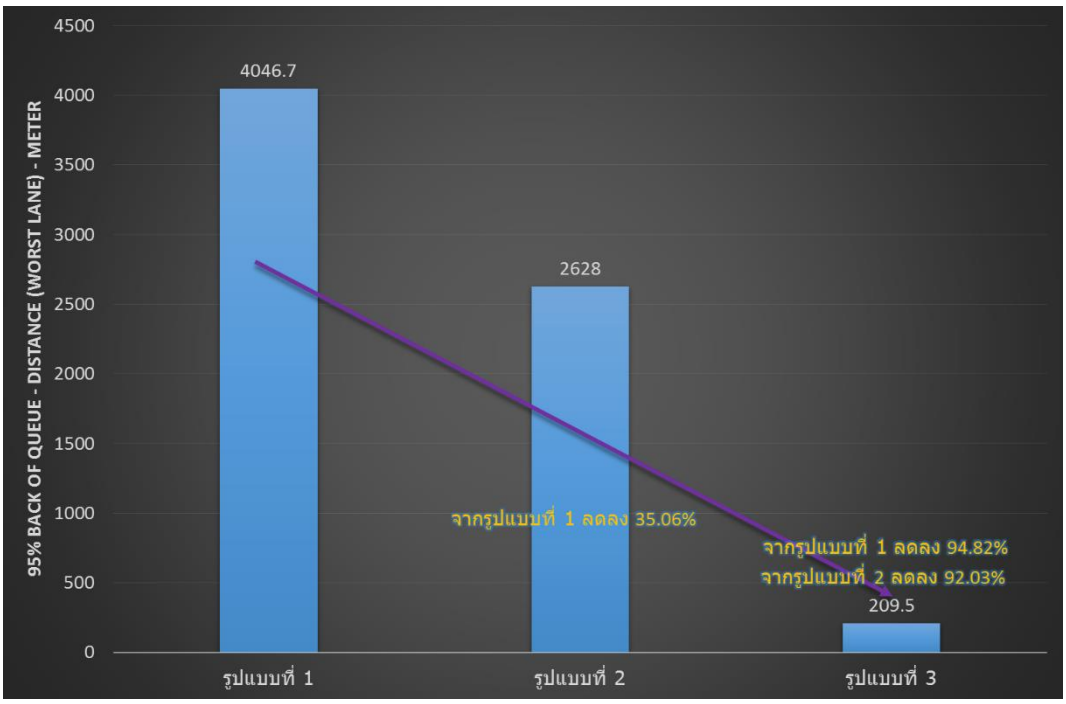
ภาพที่ 4-28 เปรียบเทียบค่า Control delay worst movement ของทางแยก ทั้ง 3 กรณี

เมื่อพิจารณาค่า Control delay worst movement ของทางแยก พบว่า เมื่อปรับปรุงด้วยรูปแบบที่ 2 ที่มีการปรับปรุงเฉพาะรอบของสัญญาณไฟจราจร จะเห็นว่าค่า Control delay worst movement ของทางแยกลดลงจาก 3,260 วินาที เหลือ 956.1 วินาที ซึ่งลดลงร้อยละ 70.67 แต่ค่า Control delay worst movement ที่ 956.1 วินาที ยังมีค่าเกินกว่าค่าระดับการให้บริการที่ยอมรับได้ ซึ่งค่าที่ได้ควรจะอยู่ในระดับการให้บริการที่ LOS A, B หรือ C และเมื่อทดสอบการปรับปรุงทางแยกด้วยรูปแบบที่ 3 ที่อาศัยการจัดการจราจรมาช่วยและปรับปรุงรอบของสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับรูปแบบของทางแยก พบว่าค่า Control delay worst movement ลดลงเหลือ 38.5 วินาที ลดลงร้อยละ 98.82 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 1 และลดลงร้อยละ 95.97 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 2 แต่ค่าที่ได้ก็ยังคงอยู่อยู่ในช่วงของระดับการให้บริการที่ LOS D, E และ F แต่เป็นการเฉลี่ยความล่าช้าของทางแยก ทำให้ทางแยกมีค่าความล่าช้ารวมลดลง



ภาพที่ 4-29 เปรียบเทียบค่า 95% Back of queue -vehicle ของทางแยก ทั้ง 3 กรณี

เมื่อพิจารณาแถวคอย 95% Back of queue-vehicle ของทางแยก พบว่า เมื่อปรับปรุงด้วยรูปแบบที่ 2 ที่มีการปรับปรุงเฉพาะรอบของสัญญาณไฟจราจร จะเห็นว่าค่า 95% Back of queue-vehicle ของทางแยกลดลงจาก 578.1 คัน เหลือ 375.4 คัน ซึ่งลดลงร้อยละ 35.06 และเมื่อทดสอบการปรับปรุงทางแยกด้วยรูปแบบที่ 3 ที่อาศัยการจัดการจราจรมาช่วยและปรับปรุงรอบของสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับรูปแบบของทางแยก พบว่าค่า 95% Back of queue-vehicle ลดลงเหลือ 29.9 คัน ลดลงร้อยละ 94.83 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 1 และลดลงร้อยละ 92.04 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 2



ภาพที่ 4-30 เปรียบเทียบค่า 95% Back of queue-distance ของทางแยก ทั้ง 3 กรณี

เมื่อพิจารณาแถวคอย 95% Back of queue-distance ของทางแยก พบว่า เมื่อปรับปรุงด้วยรูปแบบที่ 2 ที่มีการปรับปรุงเฉพาะรอบของสัญญาณไฟจราจร จะเห็นว่าค่า 95% Back of queue-distance ของทางแยกลดลงจาก 4,046.7 เมตร เหลือ 2,628 เมตร ซึ่งลดลงร้อยละ 35.06 และเมื่อทดสอบการปรับปรุงทางแยกด้วยรูปแบบที่ 3 ที่อาศัยการจัดการจราจรมาช่วยและปรับปรุงรอบของสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับรูปแบบของทางแยก พบว่าค่า 95% Back of queue-vehicle ลดลงเหลือ 209.5 เมตร ลดลงร้อยละ 94.82 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 1 และลดลงร้อยละ 92.03 เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 2

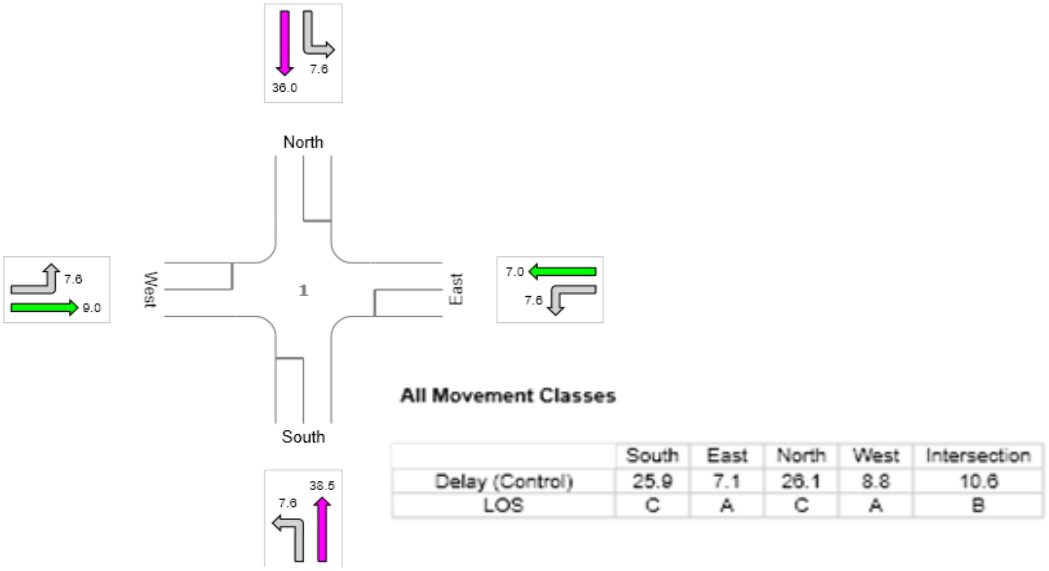
บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาครั้งนี้จากสภาพปัจจุบันของรูปแบบ ทางสี่แยกในประเทศไทย ที่มีการจัดการบริหารด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบสมบูรณ์ในแต่ละทิศทางโดยทั่วไป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะเป็นการ ศึกษาออกแบบรูปแบบ (เชิงเรขาคณิต) ทางแยกแบบใหม่ในการบริหารจัดการทางแยก โดยจะตั้งสมมุติฐานว่า ปริมาณอัตราการไหลของปริมาณจราจรในช่องทิศทางหลักในทางเอก จะต้องได้รับความสะดวกในการเคลื่อนที่ผ่าน ณ จุดกึ่งกลางทางแยก โดยการออกแบบรูปแบบทางแยกใหม่ พร้อมจัดการบริหารควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรใหม่ โดยการปรับลดเฟสทิศทางการปล่อยสัญญาณไฟจราจรการควบคุมผ่านบริเวณจุดตัดทางแยก เพื่อเปรียบเทียบประเมินประสิทธิภาพ ในหัวข้อ การเกิดความล่าช้าผ่านทางแยก ความยาวแถวคอยที่จะเกิดขึ้นรวมถึงระดับการให้บริการ

จากผลการศึกษาในบทที่ 4 ผลสรุปจากโปรแกรม SIDRA ภาพที่ 4-15 ภาพที่ 4-19 และภาพที่ 4-23 จะให้เห็นว่าค่าบ่งบอกประสิทธิภาพของทางแยกในเรื่องของระดับการให้บริการของทางแยกและตามเงื่อนไขทั้ง 3 รูปแบบ จะได้ผล ตามตารางที่ 5-1 จากสรุปจากการใช้โปรแกรม AIMSUN เพิ่ม



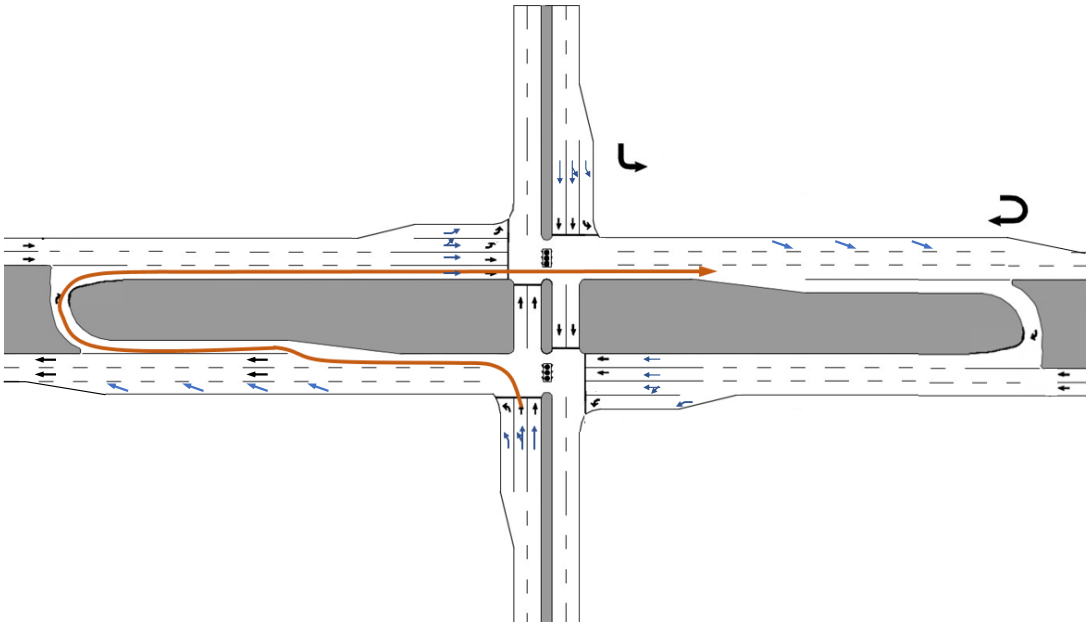
ภาพที่ 5-1 ระดับการให้บริการของทางแยกความล่าช้าเฉลี่ยทุกทิศทาง

จากการปรับปรุงตามรูปแบบ 3 โดยลดเฟสสัญญาณไฟจราจรทิศทางเลี้ยวขวา จะได้ค่าระดับการให้บริการผลจากรูปแบบเดิมอยู่ที่ระดับ F หลังจากออกแบบปรับรูปแบบทางเรขาคณิตที่มีบริบท แต่ต่างไปจากทางสี่แยกทั่วไปที่ใช้งานในประเทศ จะได้ค่าระดับการให้บริการ โดยผลของค่าระดับการให้บริการของทางแยกอยู่ที่ ระดับ B จะเห็นว่าดีขึ้นจากรูปแบบที่เป็นอยู่ในปัจจุบันอย่างมาก ดังแสดงตามตารางที่ 5-1 และระดับการให้บริการของทางแยก ดังภาพที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผล

ผลการวิเคราะห์	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
ความล่าช้า (Delay)	1,571 วินาที	791 วินาที	10.6 วินาที
แถวคอย (Queue Length)	578 คัน	375 คัน	30 คัน
ระดับการให้บริการ (Intersection level of service)	F	F	B

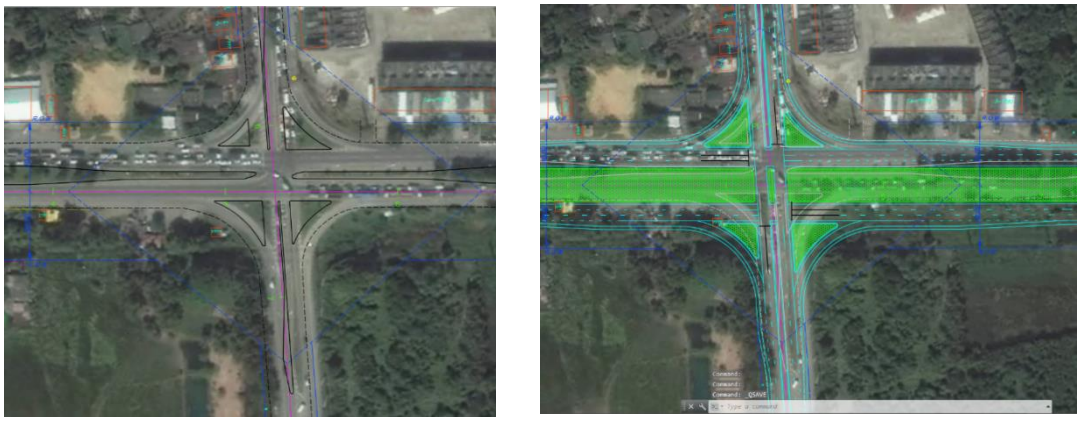
ส่วนการศึกษาด้านกายภาพจะเป็นการออกแบบปรับปรุงทางแยกแบบเดิม ให้มีลักษณะของการออกแบบขาทางแยก ในทิศทางหลักที่ต้องการจะเลี้ยวขวาตัดกระแส กับทิศทางทางตรงกันข้ามไม่ให้สามารถเลี้ยวขวาได้ แต่ให้ไปกลับรถและเลี้ยวซ้าย ดังภาพที่ 5-2



ภาพที่ 5-2 การบริหารจัดการรูปแบบทางแยกที่ลดทิศทางเลี้ยวขวาทุกทิศทาง

จากข้อกำหนดมาตราฐานการออกแบบด้านเรขาคณิต โดยใช้หลักเกณฑ์ข้อกำหนดของกรมทางหลวง ทำให้ได้ผลการออกแบบดังแสดงใน ภาพที่ 5-3 เมื่อได้รูปแบบแล้วจะ นำข้อมูลด้านกายภาพที่ได้ออกแบบไปทดสอบหาค่าต่าง ๆ อาทิเช่น ในส่วนของการบริหารจัดการควบคุมระบบการจราจร

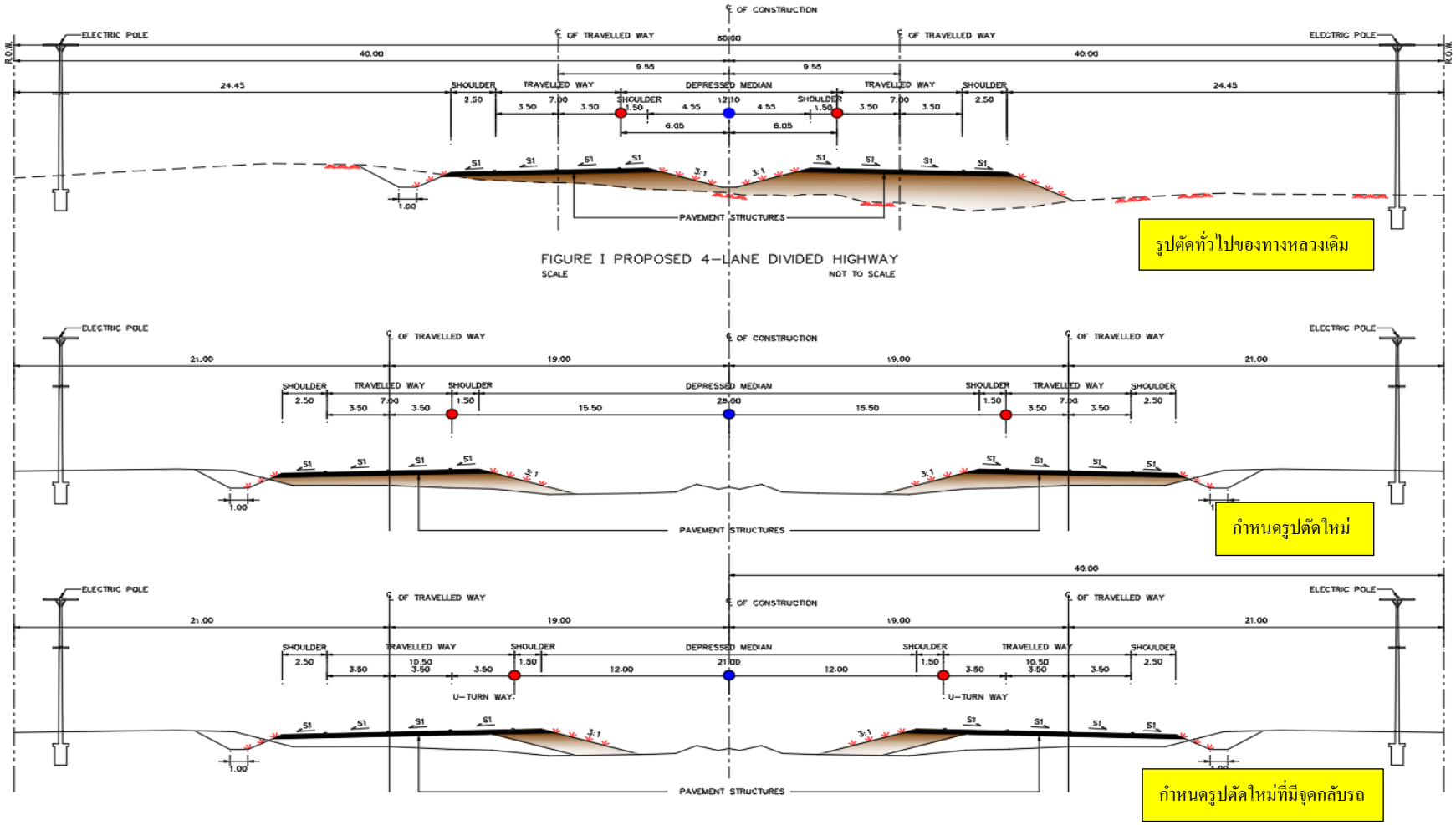
ภาพที่ 5-3 รูปแบบแปลนของทางแยกและใช้ระบบสัญญาณไฟจราจร (แบบลดเฟส)



ภาพที่ 5-4 แปลนแบบทางแยก (แบบเก่า) ซ้ายมือ และแบบแปลนทางแยก (แบบใหม่) ขวามือ

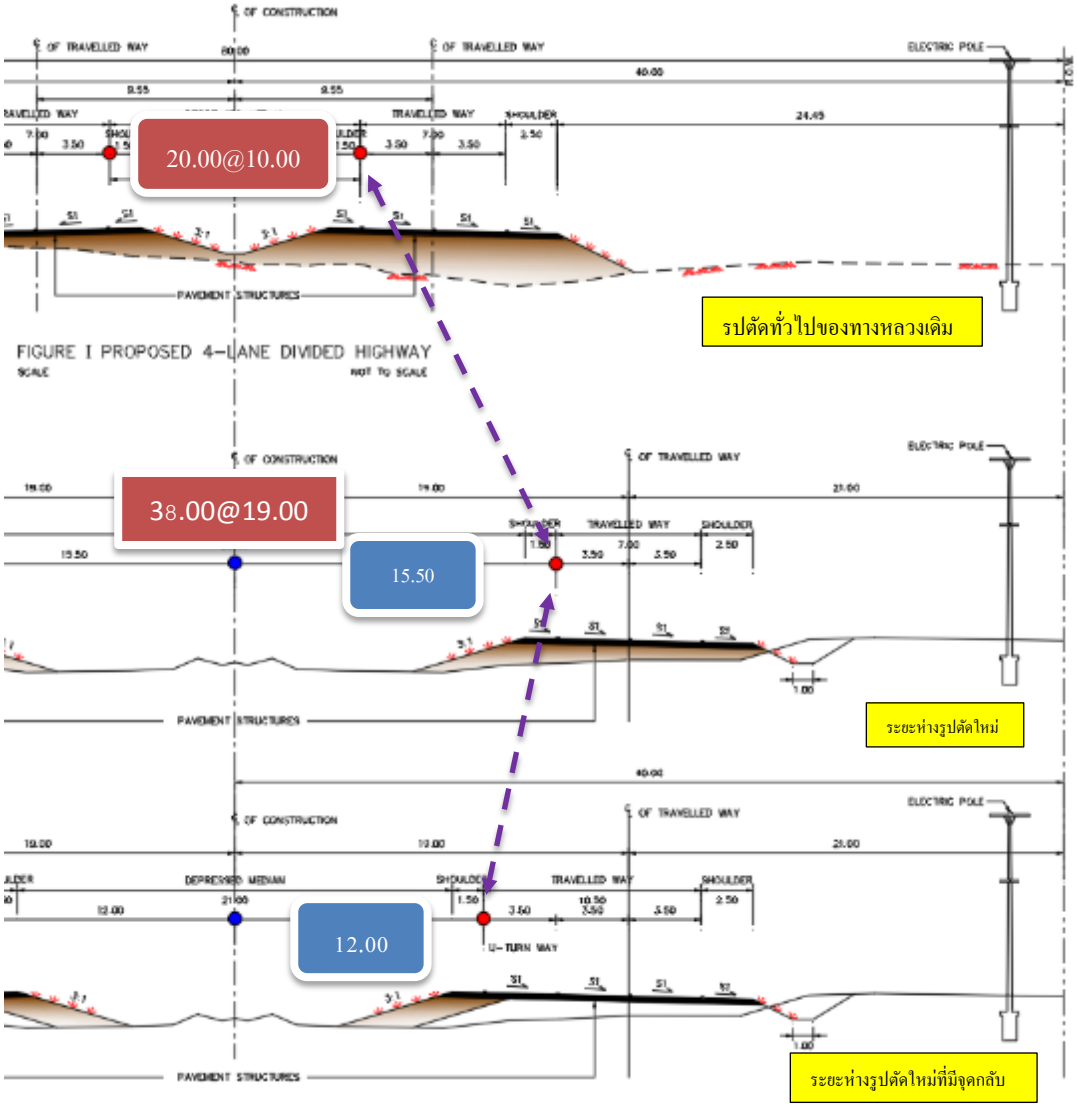
ข้อสรุปการกำหนดรูปตัด

จากประเด็นการกำหนดรูปตัดคันทางโดยทั่วไปของทางหลวงที่เป็นทางหลวงแบบ 4 ช่องจราจร ที่แบ่งแยกคันทาง หรือที่เรียกว่า Divided highway สำหรับทางหลวงที่มีเขตทางกว้าง 60-100 เมตร ส่วนใหญ่แล้วจะวางตำแหน่งคันทางทั้งสองฝั่งห่างกันเท่ากันหมด 20.00 เมตร หรือห่างจาก Center line ของเขตทาง ข้างละ 10.00 เมตร หรือจากศึกษานี้จะแนะนำกำหนดตำแหน่งคันทางทั้งสองฝั่งห่างกันที่ระยะ 38.00 เมตร หรือห่างจาก Center line ของเขตทาง ข้างละ 19.19 เมตร ตามมาตรฐานใหม่ แต่กรณีการศึกษาและวิจัยด้านกายภาพและความปลอดภัย จากพื้นที่กรณีศึกษาที่มีเขตทางกว้างอยู่ 80.00 แมตร ดังภาพที่ 5-5



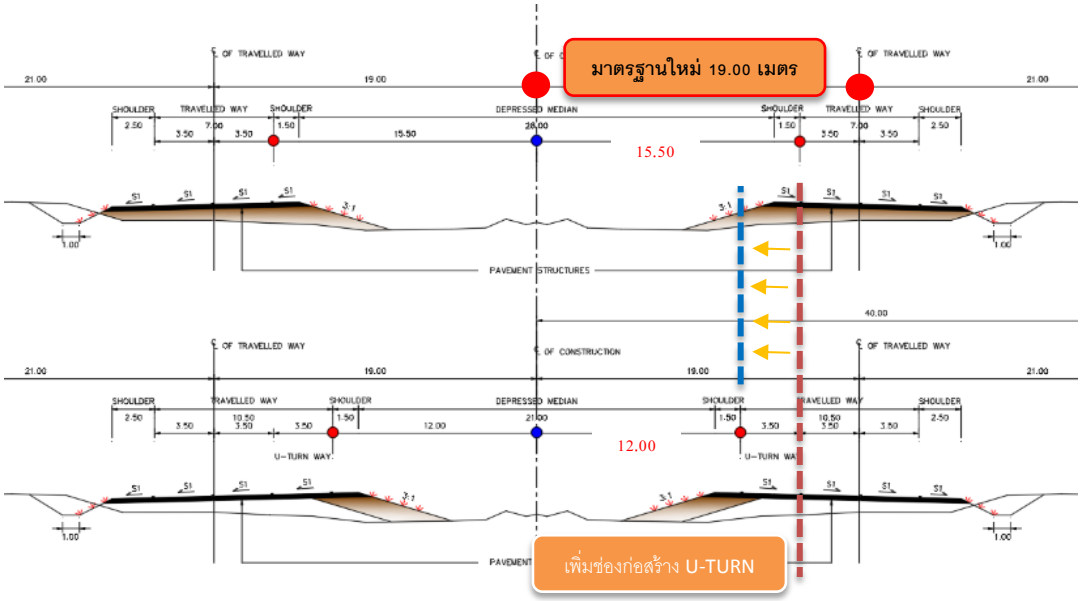
ภาพที่ 5-5 ตำแหน่งเปรียบเทียบรูปตัดตำแหน่งคันทางเดิมและใหม่ จาก Center line เขตทาง

จากกรณีศึกษาการออกแบบปรับปรุงทางแยกแบบเดิม ให้มีลักษณะของการออกแบบขาทางแยก ในทิศทางหลักที่ต้องการจะเลี้ยวขวาตัดกระแส กับทิศทางทางตรงกันข้ามไม่ให้สามารถเลี้ยวขวาได้ แต่ให้ไปกลับรถและเลี้ยวซ้ายในทางโทนั้น ทำให้จะต้องมีการปรับปรุงหรือกำหนดแนวก่อสร้างคันทางใหม่จะวางตำแหน่งคันทางทั้งสองฝั่งห่างกันที่ความกว้าง 38.00 เมตร หรือห่างจาก Center line ของเขตทาง ข้างละ 19.00 เมตร ผลจากการศึกษาและวิจัยด้านกายภาพและความปลอดภัย จากพื้นที่กรณีศึกษาที่มีเขตทางกว้างอยู่ 80.00 เมตร ดังภาพที่ 5-5 รวมถึงสามารถใช้กับเขตทางที่มีความกว้าง 60-100 เมตรได้ สามารถกำหนดแนะนำมาตรฐานการวางตำแหน่งขึ้นรูปตัดตำแหน่งคันทางใหม่ ดังภาพที่ 5-6



ภาพที่ 5-6 ระยะห่างของรูปตัดตำแหน่งคันทางเดิมและใหม่ จาก Center line ของเขตทาง

กำหนดแนวก่อสร้างใหม่ ทำให้สามารถที่จะเพิ่มช่องจราจรกลับรถ ในทิศทางที่ต้องเลี้ยวขวาเพื่อที่เลี้ยวตัดกระแสกลายเป็นรวมกระแส (Merging) แทน ทำให้มีความปลอดภัยและก่อสร้างได้ง่ายและยังสามรถรองรับอนาคตในระยะยาวที่จะก่อสร้างสะพาน Over pass ได้ เนื่องจากคันทางมีความห่างเพียงพอตามที่ศึกษาจะอยู่ในรูปปกติของการกำหนดแนวก่อสร้างคันทางใหม่จะวางตำแหน่ง ห่างจาก Center line ของเขตทาง ข้างละ 19.00 เมตร และจากขอบทางด้านในจะมีค่าเท่ากับ 15.50 เมตร ห่างจาก Center line ของเขตทาง ในรูปตัดปกติเดิม (Typical cross section) จะมีตำแหน่งห่างจาก Center line ของเขตทาง ข้างละ 10.00 เมตร และจากขอบทางด้านในจะมีค่าเท่ากับ 6.50 เมตร ส่วนกรณีที่มีช่องจราจรกลับรถจะมีความห่างจากขอบทางด้านในจะมีค่าเท่ากับ 12.00 เมตร ห่างจาก Center line ของเขตทาง ตามภาพที่ 5-6 และ ภาพที่ 5-7



ภาพที่ 5-7 การก่อสร้างเพิ่มช่องจราจรสำหรับใช้กลับรถ มีความสะดวกกว่ารูปแบบเดิม

สรุปผลการศึกษาจะได้ประโยชน์จากการกำหนดรูปแบบการวางรูปตัดคันทางใหม่ที่มีการวางตำแหน่งให้มีความห่างของคันทางห่างมากกว่าแบบมาตรฐานทางหลวงเดิม เพื่อปรับปรุงก่อสร้างช่องสำหรับใช้เป็นช่องจราจรกลับรถ ภาพที่ 5-7 แสดงการก่อสร้างเพิ่มช่องจราจรสำหรับใช้กลับรถ มีความสะดวกกว่ารูปแบบแบบเดิม

1. ข้อดี

1.1 สามารถขึ้นการก่อสร้างของคันทางใหม่สำหรับก่อสร้างช่องจราจรสำหรับกลับรถ

1.2 ใช้ประโยชน์จากคันทางที่กำหนดใหม่ได้เต็มพื้นที่ ทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างและเวลา

1.3 มีผลกระทบต่อการจราจรระหว่างก่อสร้างน้อยกว่า เพราะสามารถใช้ถนนเดิมในการสัญจรได้ พร้อมก่อสร้างจุดกลับรถได้ตลอดความยาว รองรับรถขนาดใหญ่ได้

1.4 ช่วยลดจุดเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุได้ เนื่องจากไม่ตัดกระแสจราจรในทางตรง

1.5 สามารถปรับปรุงช่องจราจรได้ง่าย เพื่อให้สอดคล้องกับการขยายทางในอนาคต

1.6 งบประมาณการก่อสร้างไม่แตกต่างจากเดิม ในกรณีที่ไม่จำเป็นจะต้องก่อสร้างจุดกลับรถในบริเวณทางแยก

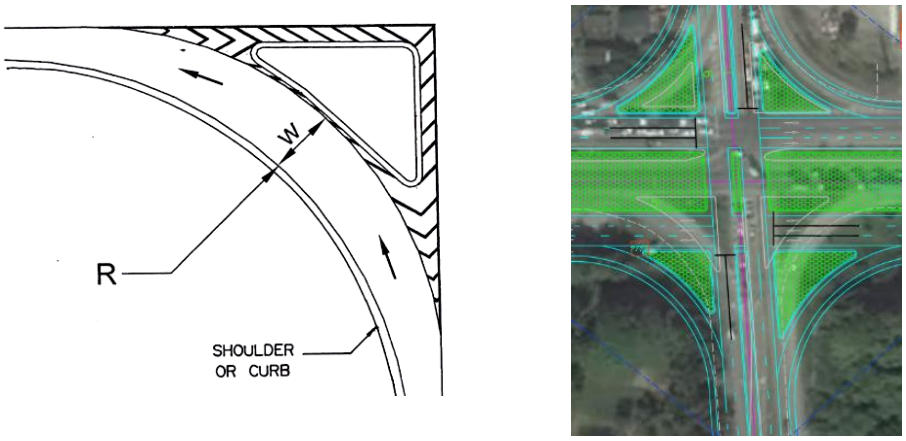
1.7 เหมาะกับทางหลวงมาตรฐานสูงเป็นเส้นทางหลัก ปริมาณรถมาก ใช้ความเร็วสูง

2. ข้อเสีย

2.1 จะต้องเป็นเส้นทางตัดใหม่หรือโครงข่ายใหม่ ซึ่งปัจจุบันมีโอกาสน้อยที่จะมีการตัดเส้นทางใหม่น้อยลง

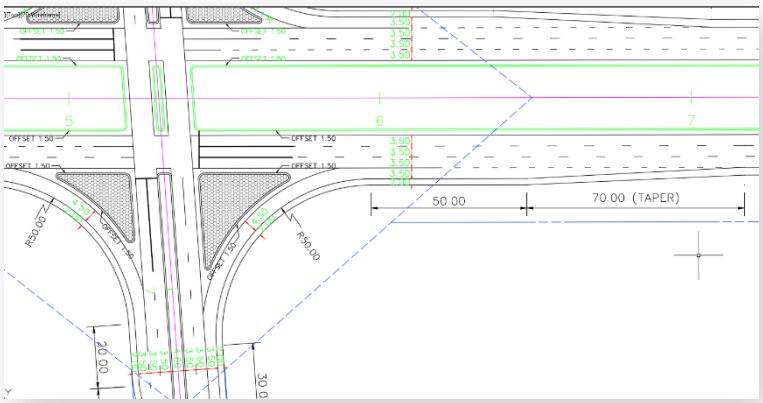
2.2 ข้อพิจารณาทำประโยชน์ในเกาะกลาง เนื่องจากมีความกว้างมาก

รายละเอียดสำคัญของการออกแบบแนะนำด้านเรขาคณิต โดยการศึกษานี้ได้ ออกแบบและนำมาตรฐานทางหลวง ของกรมทางหลวงมาทำการออกแบบ รูปตัด แปลนทางแยก เกาะกลาง เกาะมุมสามเหลี่ยม ช่องจราจรเร่งและลดความเร็ว เป็นต้น



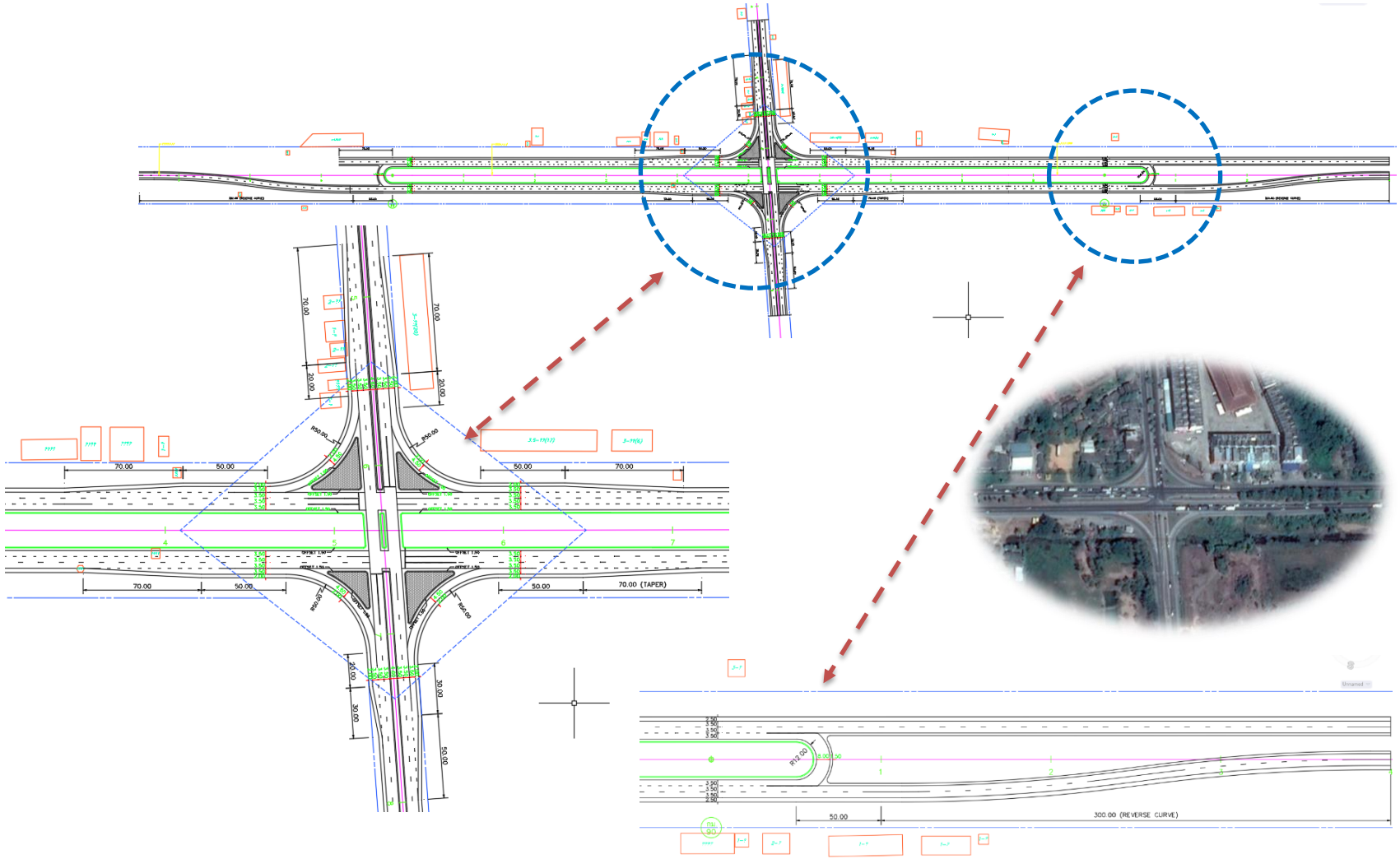
ภาพที่ 5-8 การออกแบบโดยมีเกาะมุมสามเหลี่ยม (Design with corner triangle island)

จากคู่มือแนะนำในออกแบบทางแยกในมุมเกาะซึ่งใช้ความเร็วในการเลี้ยวมากกว่า 15 กม./ ชม. ทำให้ต้องขยายผิวจราจรในส่วนนี้ การใช้เกาะมุมในบริเวณนี้จะช่วยแยกการจราจรในช่องทางเลี้ยวออกจากรถทางตรงของขาทั้ง 2 ของทางแยก นอกจากนี้ยังใช้เป็นพื้นที่สำหรับติดตั้งสัญญาณจราจร และเป็นที่หยุดพักสำหรับรอข้ามถนนของคนเดินข้าม

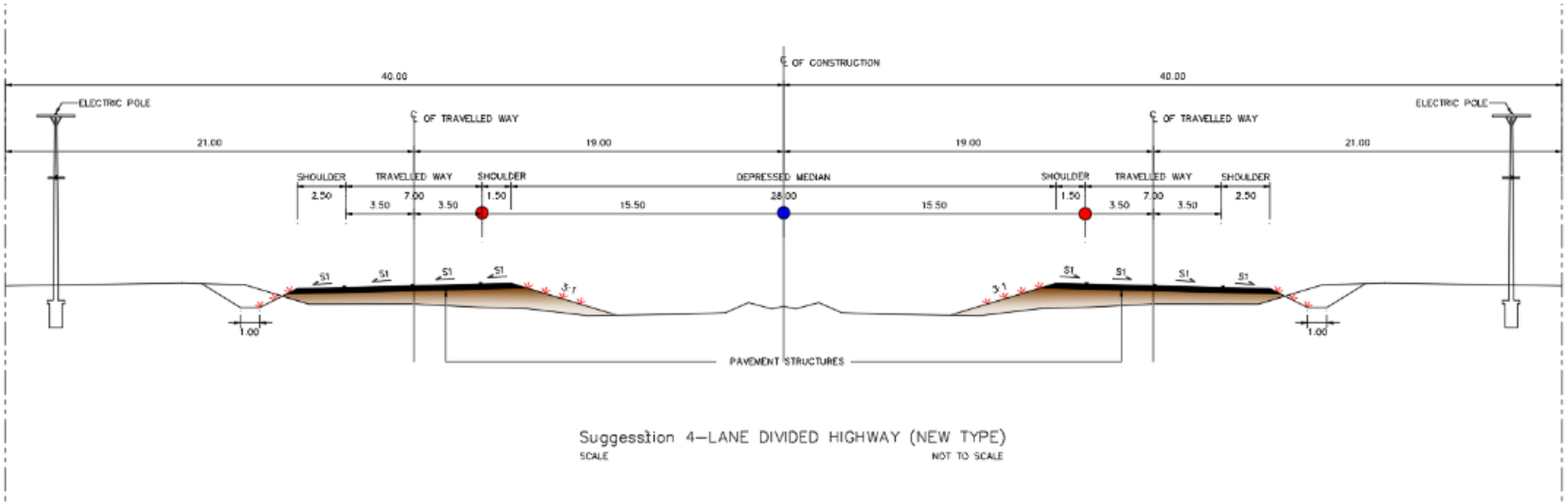


ภาพที่ 5-9 มิติการออกแบบทางแยกในมุมเกาะ

จากคำแนะนำ ช่องทางเลี้ยว ซึ่งขอบของวงเลี้ยวอยู่ห่างจากขอบทางประมาณ 0.60 เมตร แต่รูปแบบนี้ใช้ 1.00 เมตร และทั่วไปสำหรับความกว้างของช่องทางเลี้ยวควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 4.20 เมตร แต่ในงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบ ความกว้าง 4.50 เมตร ไหล่ทางกว้าง 2.5 เมตร พร้อมมีรัศมีวงเลี้ยวรถ 50.00 เมตร ดังภาพที่ 5-8 และผลสรุปของงานวิจัยนี้ จะได้รูปตัดแนะนำในการวางตำแหน่งรูปตัดใหม่ ดังภาพที่ 5-11



ภาพที่ 5-10 แบบแปลนผลการออกแบบด้านเรขาคณิต และแบบขยายทางแยกพร้อมจุดกลับรถ



ภาพที่ 5-11 ผลสรุปรูปตัดแนะนำในการวางคันทางใหม่ ที่ระยะห่างของคันทางอยู่ที่ 38.00 เมตร

ข้อเสนอแนะ

ส่วนงานวิจัยในอนาคตนั้นทางผู้ศึกษางานวิจัยนี้ ขอเสนอแนะแนวทางกับผู้ที่สนใจที่จะนำแนวทางในการศึกษาจัดการทางแยกสัญญาณไฟจราจร ด้วยรูปแบบการลดจังหวะสัญญาณไฟในทิศทางเลี้ยวขวานำไปต่อยอดเนื่องจากยังมีข้อให้คำนึงถึง ปัจจัยอื่น ๆ โดยสรุปเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับ การเคลื่อนตัวของพาหนะในบริเวณทางแยกในแต่ละทิศทาง โดยเฉพาะรถบรรทุกขนาดใหญ่ ในการออกเคลื่อนตัวผ่านทางแยกในเรื่องของเวลาความล่าช้าที่สูญเสียเพิ่มเติม พร้อมทั้งขอพิจารณาทางเรขาคณิตงานทาง

2. ควรมีการศึกษาลักษณะของทางแยกก่อนนำหลักการในงานวิจัยไปใช้ในแง่ของข้อจำกัดด้านเรขาคณิตของแต่ละทางแยก รวมถึงสัดส่วนปริมาณจราจรของทางแยกที่มีความแตกต่างกัน ในเรื่องการรองรับปริมาณความความจุของทางแยก ความกว้างของเขตทาง การใช้ประโยชน์ที่ดินสองข้างทาง เป็นต้น

3. ควรมีการเก็บสถิติปริมาณจราจรไปใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบเพิ่มเติมและจำลองสถานการณ์ของพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในการยอมรับหรือขัดขืนผิดกฎการเดินรถตามทิศทางที่กำหนดด้วย เพื่อดูแนวโน้นการเกิดอุบัติเหตุ

บรรณานุกรม

ธงชัย กล่ำจตุรงค์. (2543). *การพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจออกแบบสัญญาณไฟจราจร*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พิเชษฐ์ พิเชฐพงศ์ธร. (2559). *การบรรเทาการจราจรบริเวณสี่แยกหน้าสำนักงานนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ ซิตี้*. งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการงานก่อสร้างและงานโครงสร้างพื้นฐาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ยอดพล ธนาบริบูรณ์. (2542). *ปัญหาการจรจรและวิธีการแก้ไขปัญหาโดยระบบการจัดการและการควบคุมปริมาณการจราจร*, เอกสารประกอบการอบรมสัมมนาหลักสูตรวิศวกรรมจราจรและขนส่งเบื้องต้นสำนักงานคณะกรรมการจัดระบบการจราจรทางบกและวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

วิศิษฎ์ ประทุมสุวรรณ. (2542). *วิศวกรรมการทางและวิเคราะห์การจราจร*. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศิวกิจ เสรีรัตนสกุล. (2542). *การพัฒนาระบบควบคุมการจราจรที่เหมาะสม กรณีศึกษาจังหวัดนครราชสีมา*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. (2553). *วิศวกรรมจราจร*, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สำนักสำรวจและออกแบบ. (2550). *การออกแบบทางแยก ทางแยกต่างระดับและอุโมงค์ทางหลวง*, กรมทางหลวง.

สำนักสำรวจและออกแบบ. (2554). *ประเภทของเกาะกลางถนนและการออกแบบรูปตัดงานขยายทางหลวงเป็น 4 ช่องจราจร*, กรมทางหลวง.

สำนักอำนวยความปลอดภัย. (2548). *คู่มือปรับปรุงกายภาพทางหลวงท้องถิ่นในเขตเมือง*, กรมทางหลวงชนบท, กระทรวงคมนาคม.

อรอนงค์ แสงผ่อง. (2553). *การศึกษาความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟ*,วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมขนส่ง, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา,คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

AASHTO. (2004). *Geometric Design of highway and streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

Buckholz, JW. (2002). *Choosing Intersection Control*. International Municipal Signal Association Journal, Florida.

C. Jotin Khisty, B. Kent Lall. (2003). *Transportation engineering*: an introduction. 3rd ed.,

Currin, T.R. (2001). *Introduction to Traffic Engineering*: A Manual for Data Collection And Analysis. n.p.

Federal Highway Administration. (2003). *Manual on Uniform Traffic Control Devices*. U.S.: Department of Transportation.

Federal Highway Administration. (2009). *Traffic Flow Theory*. US Department of Transport, USA.

Federal Highway Administration. (2012). *Median U-turn Intersection*. US Department of Transportation, USA.

Florida Department of Transportation. (2007). *Florida Intersection Design Guide for New Construction And Major Reconstruction of At-Grade Intersections on the state Highway System* . Florida, U.S.

Ogden, K.W. (1996). *Safer Toads, A Guide to Road Safety Engineering*. Institute of Transport Engineering. Monash University, Melbourne, Australia.

Queensland Department of Main Roads, (n.d.) *Road Safety Audit Training Manual*. Queensland University of Transport. Queensland, Australia.

Webster,F.V. (1969). *Traffic Signal Setting,* Road Research Technical Paper. H.M.Stationery Office.