

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารและงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานการออกแบบจุดกลับรถในปัจจุบันทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ จากนั้นทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การพัฒนาแบบจำลองการหาความจุของการกลับรถซึ่งไม่ได้เน้นไปที่ผลกระทบจากลักษณะทางกายภาพของจุดกลับรถ การพัฒนาแบบจำลองการหาการไหลอิมิตัวที่ทางแยก และนำเสนอวิธีการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองการหาการไหลอิมิตัวต่อไป

2.1 มาตรฐานการออกแบบจุดกลับรถในปัจจุบัน

จุดกลับรถนับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบถนน ซึ่งในปัจจุบันมีหลายหน่วยงานได้กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับจุดกลับรถนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกา และมาตรฐานนี้ก็ได้นำมาประยุกต์ใช้กับถนนในประเทศไทย ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1.1 มาตรฐานการออกแบบจุดกลับรถในต่างประเทศ

คู่มือการออกแบบถนน (California Department of Transportation, 2006) ได้นำเสนอมาตรฐานการออกแบบจุดกลับรถ โดยได้กำหนดมาตรฐานในการออกแบบเกาะกลางถนนให้ระยะความกว้างของเกาะกลางซึ่งวัดจากขอบด้านในของถนนทั้ง 2 ด้านนั้นแตกต่างกันไป โดยขึ้นกับประเภทของทางหลวง ต้นทุนการก่อสร้าง ลักษณะภูมิประเทศ และความกว้างของช่องทางเดินรถ อย่างไรก็ตามข้อกำหนดความกว้างดังกล่าวอาจปรับเปลี่ยนได้ในอนาคตเนื่องมาจากรูปแบบการใช้ทาง ประเภทของรถ และลักษณะการใช้พื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงไป

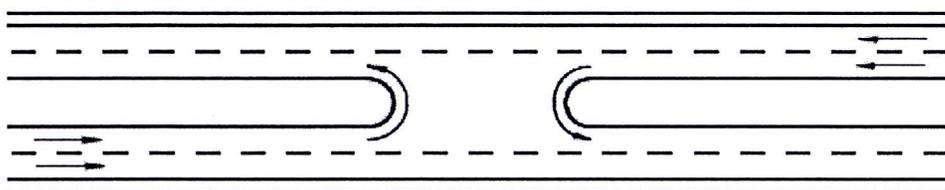
จากรายงานการวิจัยทางหลวงร่วมแห่งชาติเรื่องความปลอดภัยในการกลับรถบริเวณจุดเปิดเกาะกลางที่ไม่มีสัญญาณไฟ (Transportation Research Board, 2004) ได้แบ่งประเภทของการออกแบบการเปิดเกาะกลางถนนตามปัจจัยทางด้านลักษณะทางกายภาพ มุมในการเข้ามาของรถ ลักษณะการมีช่องทางเลี้ยวซ้ายหรือช่องทางรถเลี้ยว และลักษณะการมีช่องทางเมื่อในการกลับรถติดกับช่องทางด้านนอกสุด ออกเป็น 7 ประเภท ซึ่งมี 1 ประเภทที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบจุดกลับรถที่มีใช้ในประเทศไทยโดยไม่มีการออกแบบเพื่อการเลี้ยวเข้ามาเกี่ยวข้อง เรียกว่าการเปิดเกาะกลางแบบธรรมดา (conventional midblock median opening)

จุดกลับรถประเภทนี้ออกแบบเพื่อให้รถทำการกลับรถโดยไม่มีกั้นแบ่งระหว่างรถทั้ง 2 ทิศทางในจุดกลับรถเดียวกัน ซึ่งตำแหน่งที่เหมาะสมคืออยู่ระหว่าง 2 ทางแยกบนถนนสายหลัก เพื่อลดปริมาณรถที่ทำการกลับรถหรือลดปริมาณรถที่เลี้ยวซ้ายโดยตรงบริเวณทางแยก

ซึ่งเหมาะสำหรับปริมาณการกลับรถที่น้อยและมีการรบกวนจากรถในฝั่งตรงข้ามน้อย และสามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 ประเภท แต่ที่มีใช้ในประเทศไทยทั้งถนนที่เป็นของกรมทางหลวงและของกรุงเทพมหานครมีเพียง 2 ประเภท ดังนี้

- ประเภท 1a การเปิดเกาะกลางแบบธรรมดาโดยไม่มีช่องทางรถเลี้ยว (conventional midblock median opening without left-turn lanes) ดังแสดงในภาพที่ 2.1

Type 1a—Conventional Midblock Median Opening Without Left-Turn Lanes

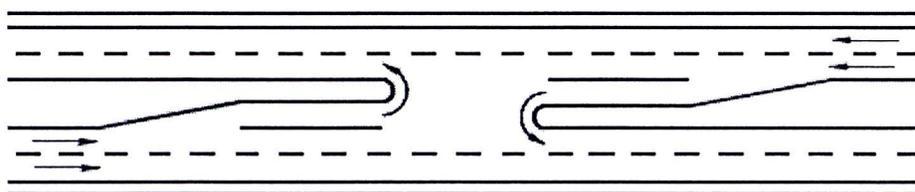


ภาพที่ 2.1 การเปิดเกาะกลางแบบธรรมดาโดยไม่มีช่องทางรถเลี้ยว

ที่มา : California Department of Transportation (2006)

- ประเภท 1b การเปิดเกาะกลางแบบธรรมดาโดยมีช่องทางรถเลี้ยว (conventional midblock median opening with left-turn lanes) ดังแสดงในภาพที่ 2.2

Type 1b—Conventional Midblock Median Opening With Left-Turn Lanes



ภาพที่ 2.2 การเปิดเกาะกลางแบบธรรมดาโดยมีช่องทางรถเลี้ยว

ที่มา : California Department of Transportation (2006)

อนึ่งรายงานการวิจัยทางหลวงร่วมแห่งชาติของคณะกรรมการวิจัยด้านการขนส่ง ยังได้กล่าวถึงระยะทางในการมองเห็นทางแยก (intersection sight distance) ว่ามีความเกี่ยวข้องต่อการพิจารณาในการออกแบบการเปิดเกาะกลางถนน เกาะกลางถนนมีขนาดกว้างพอที่จะสร้างช่องทางรองรับรถที่รถเลี้ยว ระยะทางในการมองเห็นทางแยกที่ต้องการจะต้องสามารถพิจารณาแยกระหว่าง 2 ทิศทางของถนนโดยอิสระต่อกันได้ และจากมุมมองในการออกแบบนี้ ผู้ขับรถที่มีระยะทางในการมองเห็นทางแยกไม่เพียงพอ อาจจะต้องขับรถอยู่ในกระแส

การจราจรปกติ เพื่อเพิ่มมุมมองในการมองเห็นทางแยกนั้น หรืออาจตัดสินใจเพื่อเลี้ยวไม่ทัน ช่องว่างในกระแสดการจราจรที่ต้องการ และอีกปัจจัยหนึ่งที่รายงานการวิจัยทางหลวงร่วมแห่งชาติ ได้คำนึงถึงคือจำนวนช่องทางการจราจร โดยกล่าวว่าจำนวนช่องทางการจราจรมีผลต่อสมรรถภาพในการกัลบรถ และเป็นจุดวิกฤตที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบจุดกัลบรถบนถนนสายหลักที่มีเกาะกลางแคบ โดยยกตัวอย่างว่าถนนสายหลัก 4 ช่องจราจรอาจจำเป็นต้องมีช่องทางเพื่อในการกัลบรถ ติดกับช่องทางด้านนอกสุด หรือมีทางช่วยรูปที่จับเหยือก แต่ในกรณีของถนนสายหลัก 6 ช่องจราจรอาจไม่จำเป็นต้องมีโดยไม่ต้องคำนึงถึงความกว้างของเกาะกลางถนนด้วย

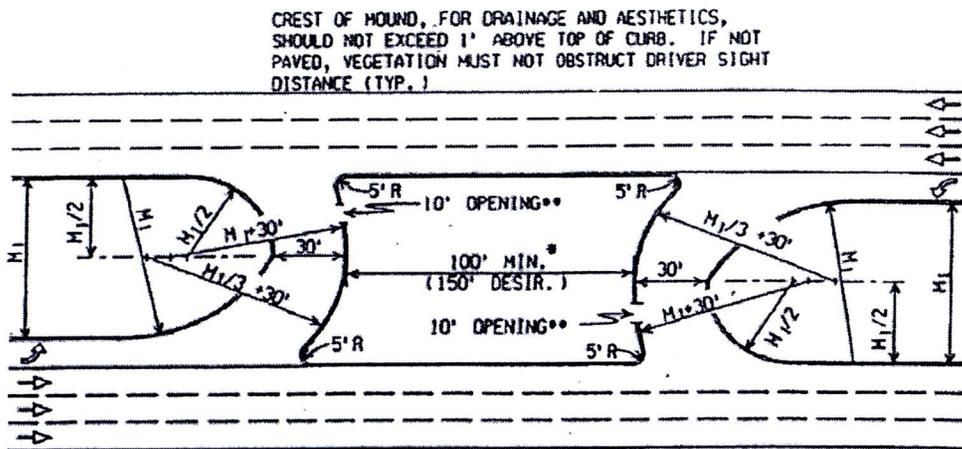
จากผลงานเรื่องผลประโยชน์ทางด้านความปลอดภัยการฟื้นฟูและการดำเนินการ การกัลบรถที่เกาะกลางถนนของสำนักบริหารทางหลวงกลาง กรมการขนส่งแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Transportation: USDOT, 2007) ได้กำหนดความกว้างขั้นต่ำของเกาะกลางถนนสำหรับการกัลบรถบนถนนสายหลักไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความกว้างขั้นต่ำของเกาะกลางถนนสำหรับการกัลบรถบนถนนสายหลัก
ที่มา : U.S. Department of Transportation (2007)

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

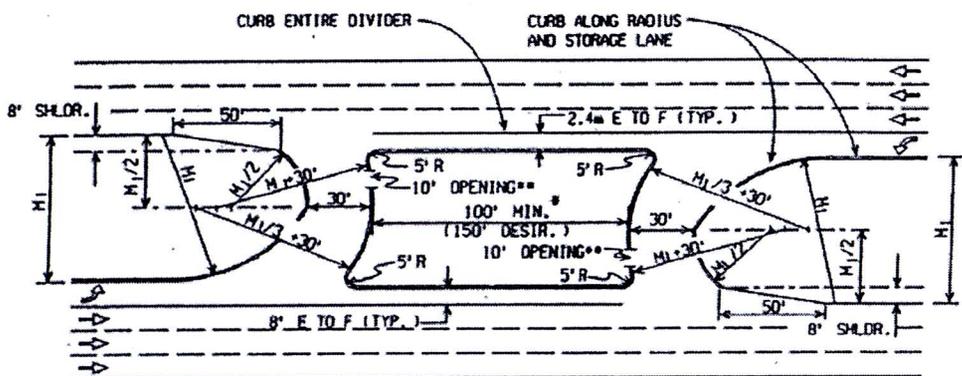
จากนั้นกรมการขนส่งแห่งชาติสหรัฐอเมริกาได้เสนอแนะว่าการเปิดเกาะกลางแบบแบ่งทิศทางทำให้จุดกัลบรถมีประสิทธิภาพทั้งทางด้านจราจรและความปลอดภัยกว่าการเปิดเกาะกลางแบบธรรมดา ภาพที่ 2.3 และ 2.4 แสดงแนวทางของกรมการขนส่งรัฐมิชิแกน เพื่อการออกแบบการเปิดเกาะกลางเพื่อการกัลบรถแบบแบ่งทิศทาง โดยกำหนดอัตราส่วนของรัศมีของหัวเกาะกลางในตำแหน่งต่างๆกันต่อความกว้างของเกาะกลาง อีกทั้งกำหนดความยาวและรัศมีของมุมของเกาะที่แบ่งรถออกเป็น 2 ทิศทาง และกำหนดความกว้างของช่องทางกัลบรถอีกด้วย โดย

ภาพที่ 2.3 เป็นแนวทางออกแบบของถนนที่มีขอบทาง และภาพที่ 2.4 เป็นแนวทางออกแบบของถนนที่ไม่มีขอบทาง



ภาพที่ 2.3 การเปิดเกาะกลางแบบแบ่งทิศทางของถนนที่มีขอบทาง

ที่มา : U.S. Department of Transportation (2007)



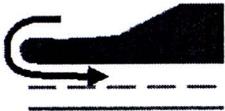
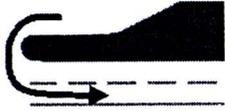
ภาพที่ 2.4 การเปิดเกาะกลางแบบแบ่งทิศทางของถนนที่ไม่มีขอบทาง

ที่มา : U.S. Department of Transportation (2007)

คู่มือการออกแบบเกาะกลางถนนของกรมการขนส่งรัฐฟลอริดา (Florida Department of Transportation, 2006) ได้กล่าวถึงแนวทางการออกแบบความกว้างของเกาะกลางที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะการกักรถ ดังตารางที่ 2.2 สำหรับถนน 4 ช่องจราจร จะเห็นว่ากรณีที่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลกักรถแล้วไม่ล้ำเข้าไปสู่ช่องทางด้านนอกของอีกฝั่งหนึ่งต้องมีความกว้างของเกาะกลาง 42 ฟุต (12.6 เมตร) การที่จะกักรถแล้วเข้าสู่ช่องทางด้านนอกโดยไม่ล้ำเข้าสู่ไหล่ทางต้องมีความกว้างของเกาะกลาง 30 ฟุต (9 เมตร) และการที่จะกักรถแล้วล้ำเข้าไปสู่ไหล่ทางต้องมีความกว้างของเกาะกลาง 20 ฟุต (6 เมตร) แต่สำหรับถนน 6 ช่องจราจรส่วนมากจะมีความกว้างของเกาะกลาง 20 ฟุต (6 เมตร)

อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกลับรถคือระยะในการมองเห็นจุดกลับรถ โดยคู่มือการออกแบบเกาะกลางถนนของกรมการขนส่งรัฐฟลอริดา ได้คำนวณระยะในการมองเห็นที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วของรถ โดยมีสมมติฐานว่าผู้ขับที่มีระยะเวลาในการตอบสนองหลังจากรับรู้ (Reaction time) เท่ากับ 2 วินาที มีการสูญเสียเวลาเพิ่มขึ้นในการเลี้ยวกลับรถ เริ่มเร่งความเร็วจากหยุดนิ่งที่การกลับรถสิ้นสุด ปัจจัยจากระยะห่าง (clearance factor) เท่ากับ 50 ฟุต (15 เมตร) โดยได้แสดงค่าออกมาดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ความกว้างขั้นต่ำ (ฟุต) ของเกาะกลางในการกลับรถสำหรับถนน 4 ช่องจราจร
ที่มา : Florida Department of Transportation (2006)

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

รายงานการวิจัยทางหลวงร่วมแห่งชาติของคณะกรรมการวิจัยด้านการขนส่ง เรื่อง ความปลอดภัยในการกลับรถบริเวณจุดเปิดเกาะกลางที่ไม่มีสัญญาณไฟ ได้สำรวจผู้รับเหมาก่อสร้างที่มีหน้าที่ก่อสร้างจุดกลับรถ พบว่ามีจำนวนร้อยละ 16 ที่มีนโยบายอย่างเป็นทางการในการออกแบบจุดกลับรถ ซึ่งส่วนใหญ่จะอ้างอิงจากมาตรฐานของสมาคมทางหลวงรัฐและการขนส่งแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (AASHTO) ซึ่งปัจจัยที่คำนึงถึงในการออกแบบ ได้แก่

- ความกว้างของเกาะกลาง ขึ้นอยู่กับประเภทของรถ
- เงื่อนไขของการจราจร ได้แก่ ปริมาณของรถประเภทต่างๆ การเลี้ยวในชั่วโมงเร่งด่วน
- ระยะในการมองเห็น
- ความสามารถในการเริ่มและสิ้นสุดการกลับรถภายในช่องทางในสุด
- ความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุ

- ตำแหน่งของจุดกลับรถ
- การมีอยู่ของช่องทางรอลีี้ยวซ้าย

ตารางที่ 2.3 ระยะในการมองเห็นจุดกลับรถที่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วของรถ
ที่มา : Florida Department of Transportation (2006)

Sight Distance for U-Turn at Unsignalized Median Opening	
Speed (km/h)	Sight Distance (m)
60	160
70	200
80	260
90	380
100	470

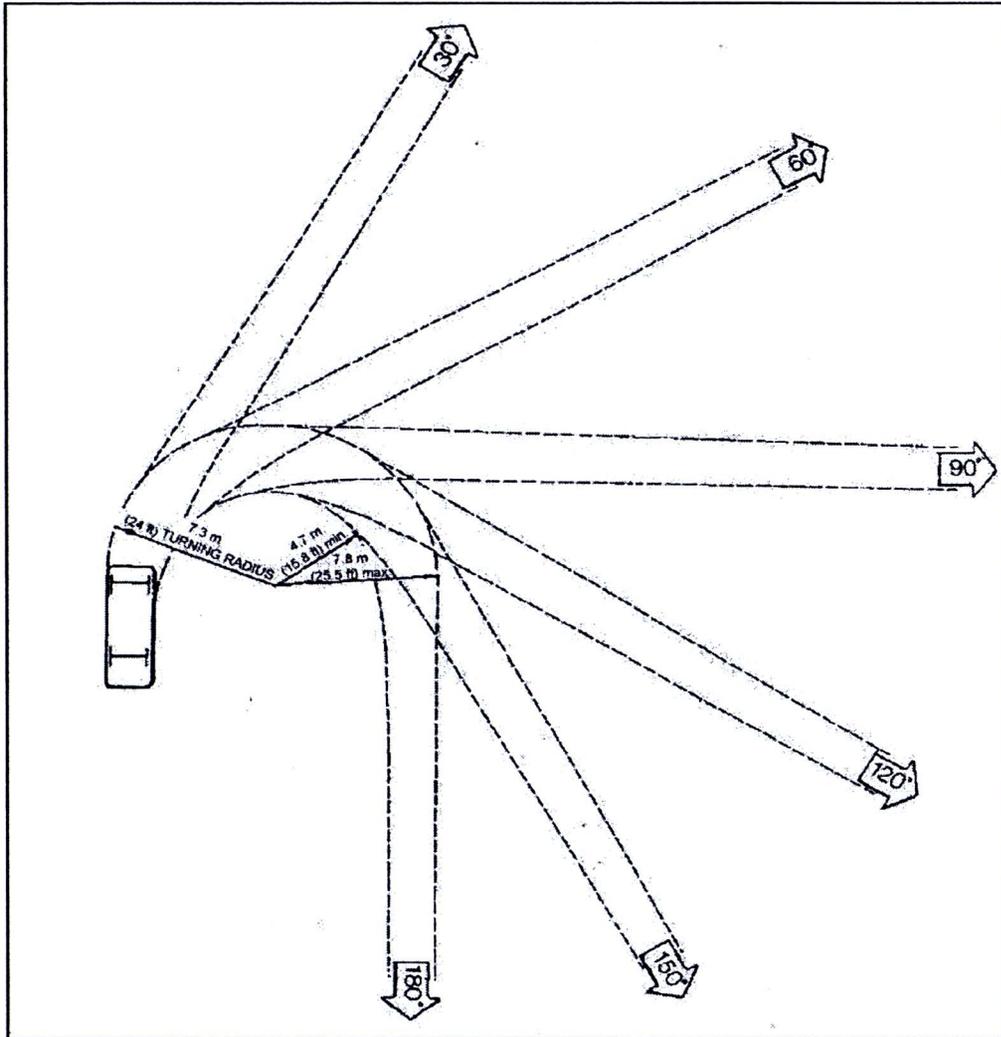
จากคู่มือรูปแบบและมาตรฐานการออกแบบทางหลวง (Planning Commission Government of India, 2010) ได้แนะนำความกว้างขั้นต่ำของเกาะกลางสำหรับถนนทางหลวง 4 ช่องจราจรในประเทศอินเดีย โดยจำแนกตามประเภทของการใช้พื้นที่และประเภทของความลาดชันของทางหลวงดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความกว้างขั้นต่ำของเกาะกลางทางหลวง

ที่มา : Planning Commission Government of India (2010)

Type of Section	Minimum Width of Median (m)		
	Plain and Rolling terrain		Mountainous and Steep terrain
	Raised median	Depressed median	Raised median
Open country with isolated built up area	4.5	7.0	2.0
Built up area	2.0	Not Applicable	2.0
Approach to grade separated structures	4.5	Not Applicable	2.0

จากงานวิจัยเรื่องการออกแบบสถานที่จอดรถและการเดินรถสำหรับรถส่วนบุคคล (U.S. Department of Defense, 2004) ได้เสนอค่ามากที่สุดของรัศมีวงเลี้ยวด้านนอกในกรณีที่รถส่วนบุคคลทำการเลี้ยว 180 องศา ไว้เท่ากับ 7.8 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 เส้นทางและรัศมีการเลี้ยวมาตรฐานของรถส่วนบุคคล
ที่มา : U.S. Department of Defense (2004)

2.1.2 มาตรฐานการออกแบบจุดกลับรถในประเทศไทย

สำหรับมาตรฐานการออกแบบจุดกลับรถในประเทศไทยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะมุ่งเน้นเฉพาะจุดกลับรถในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเท่านั้น ซึ่งหน่วยงานที่รับผิดชอบการออกแบบถนนส่วนใหญ่ในกรุงเทพมหานคร คือสำนักงานออกแบบ สำนักงานโยธา กรุงเทพมหานคร จากการสัมภาษณ์เก็บข้อมูลจากสำนักงานออกแบบพบว่า สำนักงานไม่มีมาตรฐานในการออกแบบจุดกลับรถของหน่วยงานเอง แต่ออกแบบโดยอ้างอิงตามมาตรฐานของ

สมาคมทางหลวงรัฐและการขนส่งแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (AASHTO) โดยนำมาปรับให้ตามความเหมาะสมของข้อจำกัดในกรุงเทพมหานคร ได้แก่

- พิจารณารศมีการเลี้ยวของรถใหญ่ที่สุดที่กลับรถที่จุดนั้นเป็นประจำเป็นหลัก
- ความกว้างของการเปิดเกาะกลางเพื่อการกลับรถประมาณ 10 เมตร ต่อ 1 ทิศทางการกลับรถ
- พิจารณาข้อจำกัดในการใช้พื้นที่ในบริเวณนั้น ปัญหาพื้นที่ไม่เพียงพอ ปัญหาการเวนคืนที่ดิน
- ถนนที่มีความกว้างของช่องทางจราจรมากพอ อาจมีช่องทางสำหรับรถกลับรถเพื่อไม่ให้รบกวนกระแสการจราจรในทางตรง

จากงานวิจัยเรื่องการศึกษาความปลอดภัยบริเวณจุดกลับรถในกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง (วัฒนวงศ์ รัตนวราห, 2551) ได้ศึกษาจำนวนการเกิดอุบัติเหตุของจุดกลับรถในกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียงโดยวิธีความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุ (accident frequency) วิธีอัตราการเกิดอุบัติเหตุ (accident rate) และวิธีควบคุมคุณภาพอัตราการเกิดอุบัติเหตุ (rate quality control) พบว่าจุดกลับรถบนถนนเทพารักษ์ (ทางหลวงหมายเลข 3268) ช่วงหลักกิโลเมตรที่ 4+700 ของจังหวัดสมุทรปราการเป็นจุดกลับรถที่อันตรายที่สุดในพื้นที่การศึกษา จากนั้นได้วิเคราะห์จุดกลับรถอันตรายโดยเทคนิคความขัดแย้งทางจราจร (Traffic Conflict Technique) เพื่อให้ทราบรูปแบบการเคลื่อนตัวที่อันตรายที่สุดในบริเวณจุดกลับรถอันตราย และได้เสนอแนะแนวทางแก้ไขโดยให้เพิ่มช่องทางวิ่งให้รถทางตรงสามารถหลบรถที่รถกลับรถได้อีก 1 ช่องทางวิ่ง พร้อมทั้งปักป้ายเตือนแก่ผู้ขับขี่ที่ผ่านจุดกลับรถอันตราย ซึ่งงานวิจัยนี้เน้นไปที่การศึกษาเพื่อลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุ แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพของจุดกลับรถที่มีผลต่ออัตราการเกิดอุบัติเหตุ อย่างไรก็ตามในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่มุ่งเน้นไปที่เรื่องการเกิดอุบัติเหตุ จะมีขอบเขตเพียงแค่การหาการไหลอ้อมตัวเท่านั้น

2.2 แบบจำลองการหาความจุที่เกี่ยวข้องกับการกลับรถ

แบบจำลองการหาความจุที่เกี่ยวข้องกับการกลับรถในงานวิจัยที่ผ่านมาจะมุ่งเน้นไปที่การหาความจุในการกลับรถที่มีผลมาจากการไหลของกระแสการจราจรทางตรง และบางงานวิจัยได้ศึกษาหาผลกระทบของการกลับรถต่อความจุของรถทางตรง ดังนั้นจึงยังไม่ม้งานวิจัยที่ศึกษาถึงความจุหรือศึกษาถึงการไหลอ้อมตัวในการกลับรถที่มีผลมาจากลักษณะทางกายภาพของจุดกลับรถ

Al-Masaeid (1999) ได้ทำการวิจัยเรื่องความจุในการกลับรถที่ช่องเปิดเกาะกลาง ซึ่งได้ศึกษาบริเวณทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟบนถนนที่มีเกาะกลางในประเทศจอร์แดน โดยพัฒนาสมการถดถอยเพื่อทำนายความจุในการกลับรถโดยคำนึงถึงผลกระทบจากรถทางตรงทั้ง 2 ทิศทาง ซึ่งได้แบบจำลองออกมาดังนี้

$$C = 799 - 0.31 q_c \quad (2.1)$$

$$C = 1,545 - 790 e^{(q_c/3,600)} \quad (2.2)$$

$$C = 799 - 0.62 q_{cp} \quad (2.3)$$

โดยที่ C คือ ความจุในการกลับรถของหน่วยเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมง (PCU/hr)
 q_c คือ การไหลของกระแสการจราจรที่รบกวนต่อ 2 ช่องทาง (PCU/hr)
 q_{cp} คือ การไหลของกระแสการจราจรที่รบกวนต่อ 1 ช่องทาง (PCU/hr)

Al-Masaeid ได้สรุปว่าความจุและความล่าช้าเฉลี่ยในการกลับรถ มีผลกระทบโดยตรงจากการไหลของกระแสการจราจรในทางตรง ส่วนรูปแบบสมการในการหาความจุที่ดีที่สุดคือสมการเส้นตรงและรูปแบบสมการในการหาความล่าช้าเฉลี่ยที่ดีที่สุดคือสมการเลขยกกำลัง (exponential equation)

จากงานวิจัยเรื่องค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถที่ทำการกลับรถและการใช้ประโยชน์ช่องทางบริเวณจุดกลับรถที่ไม่มีช่องทางรอเลี้ยว (ธีระพล ลดาลลิตสกุล, 2548) ได้หาผลกระทบของการกลับรถต่อความจุของรถทางตรงในช่องทางกลางซึ่งเป็นช่องทางที่ติดกับช่องทางรอกลับรถ โดยการเปรียบเทียบความจุที่มากที่สุดที่ได้จากการเก็บข้อมูล กับความจุที่ได้จากทฤษฎีของคู่มือความจุถนน (Transportation Research Board, 2000) โดยทำการเก็บข้อมูลที่ตำแหน่ง 50 เมตร ก่อนถึงจุดกลับรถ ซึ่งผลที่ได้พบว่าความจุที่มากที่สุดจากการเก็บข้อมูลเท่ากับ 1,896 PCU/hr ขณะที่ค่าจากทฤษฎีเท่ากับ 1,978 PCU/hr (ค่าจากทฤษฎีได้จากปริมาณการจราจรบริเวณนั้น 2,000 PCU/hr คูณกับค่าปรับแก้จากความกว้างของช่องทางจราจรซึ่งเท่ากับ 0.989) ซึ่งจะได้ว่าค่าจากการเก็บข้อมูลต่ำกว่าค่าจากทฤษฎีอยู่ร้อยละ 4.15 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนช่องทางจราจรเมื่อใกล้ถึงจุดกลับรถ



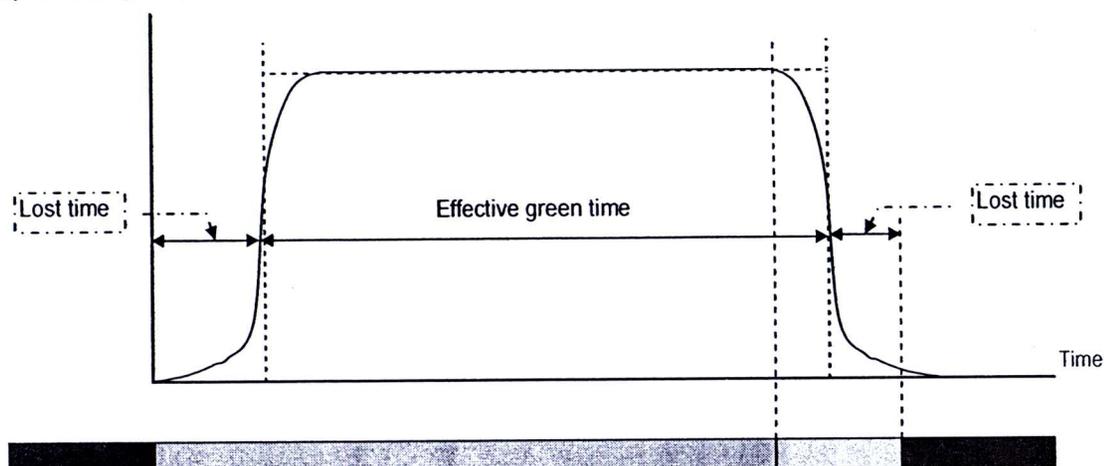
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	
ห้องสมุดงานวิจัย	
วันที่.....	7 30 2555
เลขทะเบียน.....	245650
เลขเรียกหนังสือ.....	

2.3 อัตราการไหลอิมตัว

จากหัวข้อที่ผ่านมาเรื่องแบบจำลองการหาความจุที่เกี่ยวข้องกับการกักเก็บรถนั้น แบบจำลองส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความจุในการกักเก็บรถ โดยคำนึงถึงผลกระทบจาก กระแสการจราจรฝั่งตรงข้าม แต่ยังไม่ได้พิจารณาถึงการไหลอิมตัวซึ่งเป็นอัตราการเคลื่อนตัวของ กระแสจราจรสูงสุด โดยไม่มีการรบกวนจากทิศทางอื่น ซึ่งผู้วิจัยมีจุดประสงค์ที่จะหาแบบจำลอง การไหลอิมตัวของการกักเก็บรถที่มีผลกระทบจากลักษณะทางกายภาพของจุดกักเก็บรถ ที่จะนำมา ประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสมกับเขตเมืองใหญ่ในประเทศไทย

การไหลอิมตัวเป็นการวัดค่าสมรรถนะของทางแยกในภาพรวม ซึ่งถือเป็นการวัดความจุ ของทางแยกแบบอุดมคติ (Webster, 1966 อ้างถึงใน จาตุรนต์ ณะสมบุญ, 2527) ให้คำนิยาม ว่าการไหลอิมตัวคือปริมาณการจราจรสูงสุดคงที่ที่เคลื่อนที่ผ่านเส้นหยุด ในช่วงเวลาไฟเขียว ประสิทธิภาพ (effective green time) ภาพที่ 2.6 แสดงการไหลของการจราจรระหว่าง สัญญาณไฟเขียวจากการเข้าสู่ทางแยกแบบอิมตัว ซึ่งเมื่อสัญญาณไฟเขียวปรากฏขึ้นจะใช้ ระยะเวลาเล็กน้อยที่ผู้ขับขี่รถคันหน้าสุดตอบสนองเพื่อออกรถ จากนั้นรถคันที่ 2 และ 3 จึงออกรถ ตามมาเรื่อยๆ ซึ่งอัตราการไหลของรถผ่านเส้นหยุดจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นเมื่อถึงจุดจุดหนึ่ง รถจะเคลื่อนที่ผ่านเส้นหยุดด้วยระยะห่างกันที่คงที่ซึ่งเป็นช่วงที่เส้นกราฟกลับสู่แนวราบ จากนั้นรถ จะไหลอย่างอิมตัวไปจนกระทั่งสัญญาณไฟปรากฏสีแดง จากนั้นอัตราการไหลจะตกลงอย่าง รวดเร็วเมื่อรถเริ่มตัดสินใจหยุดขณะไฟเหลืองและหยุดรถเมื่อปรากฏสัญญาณไฟแดง ค่าการไหล อิมตัวจะเท่ากับค่าความจุสูงสุดของเส้นกราฟ โดยช่วงเวลาที่เกิดการไหลอิมตัวคือช่วงเวลาไฟเขียว ประสิทธิภาพ ซึ่งเท่ากับช่วงเวลาไฟเขียวบวกกับช่วงเวลาไฟเหลืองลบด้วยช่วงเวลาสูญเสีย (lost time) ซึ่งช่วงเวลาสูญเสียจะเท่ากับเวลาดังแต่เริ่มต้นไฟเขียว จนถึงเวลาที่มีค่าการไหลครั้งหนึ่ง ของการไหลอิมตัว บวกกับเวลาดังแต่การที่รถมีค่าการไหลครั้งหนึ่งของการไหลอิมตัวเมื่อปรากฏ สัญญาณไฟเหลืองจนถึงเริ่มปรากฏสัญญาณไฟแดง ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณรถที่ผ่านทาง แยกได้เท่ากับช่วงเวลาไฟเขียวประสิทธิผลคูณกับค่าการไหลอิมตัว

Rate of discharge of queue
in fully saturated green period



ภาพที่ 2.6 การไหลของกระแสจราจรระหว่างช่วงเวลาไฟเขียวจากการเข้าสู่ทางแยกแบบอิมิตัว
ที่มา : Webster (1966) อ้างถึงใน จาตุรนต์ ณะสมบุรณ์ (2527)

คู่มือความจุถนน (Transportation Research Board, 2000) ได้แสดงวิธีการวัดการไหลอิมิตัวของรถโดยตรงจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยมีการไหลอิมิตัวพื้นฐานแรกเริ่มเท่ากับ 1,900 PCU ต่อชั่วโมงต่อช่องทาง ซึ่งค่าการไหลอิมิตัวพื้นฐานแรกเริ่มนี้จะขึ้นอยู่กับความกว้างช่องทางจราจร รถเดี่ยว รถหนัก ความลาดชัน รวดจอด ชนิดของพื้นที่ เป็นต้น แต่สำหรับการวัดค่าการไหลอิมิตัวด้วยวิธีนี้จะใช้ค่าการไหลอิมิตัวพื้นฐานที่คำนึงถึงเฉพาะรถทางตรงโดยตัดผลกระทบจากปัจจัยอื่นออกไป และสมมติให้ความกว้างของช่องทางจราจรเท่ากับ 3.6 เมตร โดยเริ่มบันทึกข้อมูลเมื่อสัญญาณไฟเขียวปรากฏขึ้นหรือเมื่อล้อหน้าของรถคันแรกผ่านเส้นหยุดโดยอัตโนมัติ แต่การวัดค่าการไหลอิมิตัวจะเริ่มวัดเมื่อล้อหน้าของรถคันที่ 4 ผ่านเส้นหยุดเพื่อรอให้อัตราการไหลขึ้นสูงจนเท่ากับอัตราการไหลอิมิตัว จนถึงคันสุดท้ายที่ล้อหน้าผ่านเส้นหยุดในช่วงเวลาไฟเขียว โดยบันทึกเวลาลงในตารางบันทึกค่าดังแสดงในภาพที่ 2.9 และคำนวณค่าการไหลอิมิตัวในรอบนั้น เช่น สมมติว่ารถคันที่ 4 ผ่านเส้นหยุดเมื่อวินาทีที่ 10.2 และเวลาที่รถคันที่ 14 ซึ่งเป็นคันสุดท้ายผ่านเส้นหยุดเมื่อวินาทีที่ 36.5 ดังนั้นจะได้ระยะห่างอิมิตัวเฉลี่ยระหว่างรถแต่ละคันเท่ากับช่วงเวลาที่เกิดการไหลอิมิตัวหารด้วยจำนวนรถที่เกิดการไหลอิมิตัว ซึ่งเท่ากับ

$$\frac{36.5 - 10.2}{14 - 4} = \frac{26.3}{10} = 2.63 \text{ s/veh}$$

และได้อัตราการไหลอิมิตัวต่อรอบเท่ากับ

$$\frac{3,600}{2.63} = 1,369 \text{ veh/hr/ln} \quad \text{โดยที่ 3,600 คือจำนวนวินาทีต่อชั่วโมง}$$

เพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูลควรแสดงค่านัยสำคัญทางสถิติซึ่งจะต้องมีข้อมูลอย่างน้อย 8 คัน ในแถวคอย 1 รอบ และมีจำนวนรอบอย่างน้อย 15 รอบ

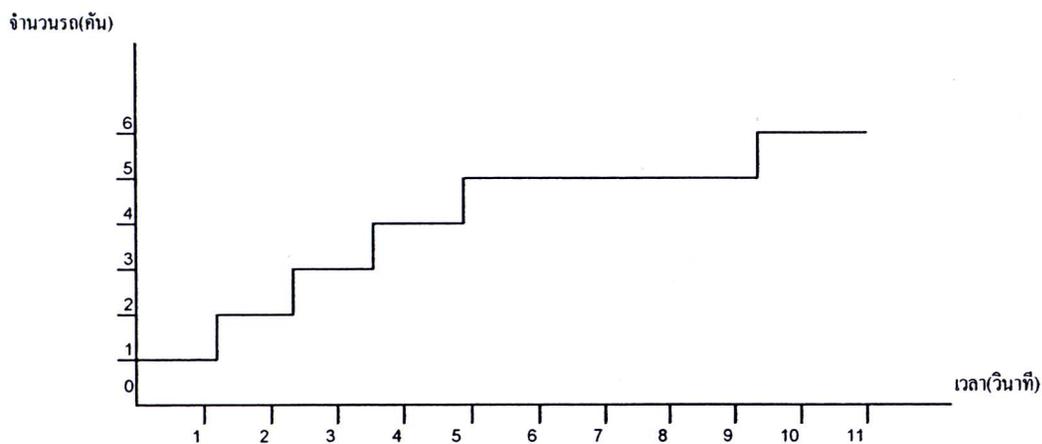
อย่างไรก็ตาม วิธีนี้เป็นการเก็บข้อมูลการไหลอิมตัวของรถที่ผ่านทางแยกที่มีสัญญาณไฟ โดยไม่ได้กล่าวถึงการไหลอิมตัวของรถกลับรถ อีกทั้งวิธีการเก็บข้อมูลที่ได้เสนอไว้ในคู่มือความจุถนนนั้น เป็นวิธีที่ไม่ละเอียด วิธีที่ละเอียดกว่านั้นสามารถทำได้โดยใช้การศึกษาจากเส้นโค้งสะสม (Cumulative curve) โดยวิธีการหาการไหลอิมตัวโดยเส้นโค้งสะสมจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.4 การใช้วิธีเส้นโค้งสะสมในการหาการไหลอิมตัว

การหาการไหลอิมตัวของการกลับรถในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีเส้นโค้งสะสมในการหา เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความละเอียดสูงที่สุดจากนำข้อมูลดิบที่ได้จากกล้องวีดีทัศน์มาวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อสร้างแบบจำลองโดยมีความละเอียดของเวลาถึง 0.01 วินาที โดยวิธีการนี้จะสร้างเส้นกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อจำนวนรถที่ทำการกลับรถ จากภาพที่ 2.8 เป็นเส้นกราฟที่จำลองการเก็บข้อมูลดิบในการกลับรถ เมื่อสมมติว่ามีรถกลับรถจำนวน 6 คัน แต่ในที่นี้จะเก็บข้อมูลจากรถเพียงแค่ 5 คัน เนื่องจากช่วงเวลาที่รถคันที่ 6 ผ่านเส้นอ้างอิงห่างจากคันที่ 5 ใช้เวลานาน ซึ่งจะทำให้ได้ค่าการไหลอิมตัวที่เบี่ยงเบนจากความเป็นจริงมากเกินไป วิธีลากเส้นกราฟคือเมื่อรถคันที่ 1 ผ่านเส้นอ้างอิงบนถนนที่ใช้ในการนับรถจะเริ่มนับเวลาเป็นวินาทีที่ 0 จากนั้นเส้นกราฟจะไปตามแนวนอนจนถึงเวลาที่รถคันที่ 2 ผ่านเส้นอ้างอิงบนถนนเส้นกราฟจะขึ้นไปตามแนวตั้งจนถึงเส้นในแนวนอนที่อ้างอิงถึงรถคันที่ 2 จากนั้นจึงไปตามแนวนอนจนถึงเวลาที่รถคันที่ 3 ผ่านเส้นอ้างอิงบนถนนเส้นกราฟก็จะขึ้นไปตามแนวตั้ง และเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงสิ้นสุดการเก็บข้อมูลในคาบเวลาที่กำหนด

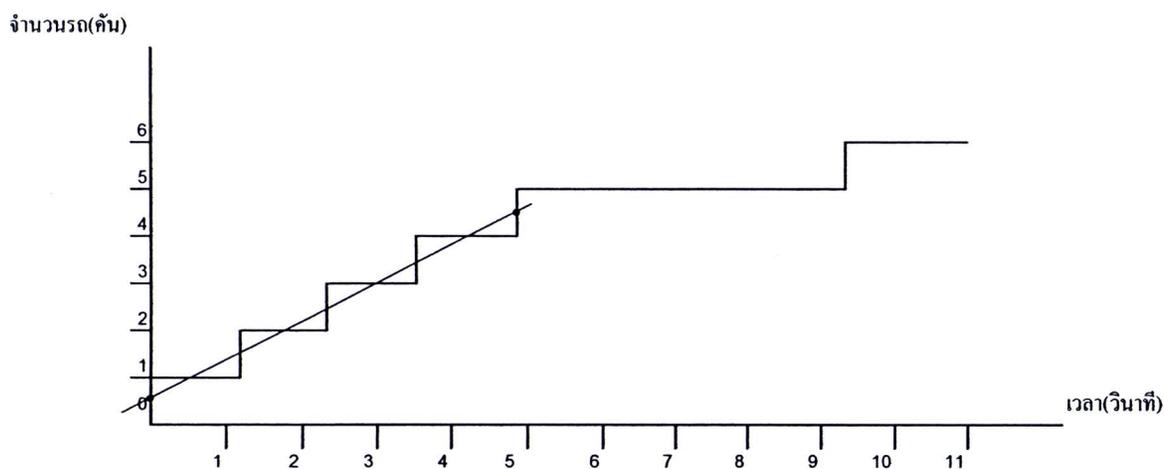
จากนั้นทำการลากเส้นต่อระหว่างจุดกึ่งกลางของค่าจำนวนรถสะสม (แกนแนวตั้ง) ดังภาพที่ 2.9 แล้วหาความชันของเส้นกราฟด้วยวิธีสมการถดถอยเชิงเส้น ซึ่งความชันดังกล่าวคือค่าการไหลอิมตัวในคาบเวลาที่สนใจในหน่วยคันต่อวินาทีซึ่งต้องนำมาแปลงเป็นหน่วยคันต่อชั่วโมง โดยการคูณด้วย 3,600 ตัวอย่างเช่น ความชันจากภาพที่ 2.8 สมมติเท่ากับ 0.82 veh/s จะได้ค่าการไหลอิมตัวเท่ากับ

$$0.82 \times 3,600 = 2,952 \text{ vph}$$



ภาพที่ 2.7 วิธีวาดเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับจำนวนรถ

ค่าการไหลอิมิต์ที่คำนวณได้เท่ากับ 2,952 vph นั้น เป็นค่าการไหลอิมิต์ของการเก็บข้อมูล 1 รอบ การที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดนั้นผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลอย่างน้อย 20 ชุดข้อมูลต่อ 1 จุดกลับรถ เพื่อหาค่าการไหลอิมิต์ที่เป็นตัวแทนของจุดกลับรถนั้น และนำค่าไปวิเคราะห์ทางสถิติกับจุดกลับรถจุดอื่นๆ ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในบทต่อไป



ภาพที่ 2.8 วิธีวาดเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับจำนวนรถ

2.5 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

จากบทความเรื่องค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลและอัตราการไหลอิมิต์สำหรับรถในช่องทางตรงที่ทางแยกที่มีสัญญาณไฟในประเทศมาเลเซีย (Indonesian HCM,1996 อ้างถึงใน Leong,2006) ได้นำเสนอค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถชนิดเบา (Light vehicles) รถชนิดหนัก (Heavy vehicles) และรถจักรยานยนต์ สำหรับรถในช่องทางตรงทั้ง 2 ทิศทางการจราจรดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถชนิดเบา รถชนิดหนัก และรถจักรยานยนต์
ที่มา : Indonesian HCM (1996) อ้างถึงใน Leong (2006)

Movement types	Vehicle categories	PCE values
Protected movements	Light vehicles	1.00
	Heavy vehicles	1.30
	Motorcycles	0.20
Opposed movements	Light vehicles	1.00
	Heavy vehicles	1.30
	Motorcycles	0.40

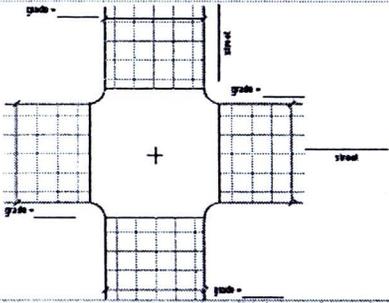
โดยที่ Heavy vehicles หมายถึง รถที่มีจำนวนล้อมากกว่า 4 ล้อ ที่สัมผัสผิวทางในขณะที่ใช้งานปกติ (Transportation Research Board, 2000)

จากงานวิจัยเรื่องผลกระทบที่มีต่อความจุทางแยกสัญญาณไฟเนื่องจากลักษณะทางเรขาคณิตและประเภทของยานพาหนะ (สมศักดิ์ วันแข่ง, 2546) ได้นำเสนอค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถสามล้อที่เก็บข้อมูลที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ไว้เท่ากับ 0.71 PCU

FIELD SATURATION FLOW RATE STUDY WORKSHEET

General Information					Site Information				
Analyst	_____				Intersection	_____			
Agency or Company	_____				Area Type	<input type="checkbox"/> CBD	<input type="checkbox"/> Other		
Date Performed	_____				Jurisdiction	_____			
Analysis Time Period	_____				Analysis Year	_____			

Lane Movement Input



Movements Allowed

Through

Right turn

Left turn

Identify all lane movements and the lane studied

Input Field Measurement

Veh. in queue	Cycle 1			Cycle 2			Cycle 3			Cycle 4			Cycle 5			Cycle 6			
	Time	HV	T																
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
End of saturation	=====			=====			=====			=====			=====			=====			
End of green	=====			=====			=====			=====			=====			=====			
No. veh. > 20																			
No. veh. on yellow																			

Glossary and Notes

HV = Heavy vehicles (vehicles with more than 4 tires on pavement)
 T = Turning vehicles (L = Left, R = Right)
 Pedestrians and buses that block vehicles should be noted with the time that they block traffic, for example,
 P12 = Pedestrians blocked traffic for 12 s
 B15 = Bus blocked traffic for 15 s

ภาพที่ 2.9 ตารางบันทึกค่าอัตราการไหลอิมิตัวภาคสนาม
 ที่มา : Transportation Research Board (2000)