บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Equivalent: PCE) หมายถึงจำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลที่ถูกแทนที่ด้วยรถขนาดใหญ่ๆ ภายใต้ลักษณะทางกายภาพของถนน กระแสจราจร และสภาพการควบคุมต่างๆ (HCM, 2010) การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภทต่างๆสามารถดำเนินการได้โดยหลายวิธีการ ในแต่ละวิธีจะมีทฤษฎีหรอแนวคิดที่ใช้ใน การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลแตกต่างกันไปซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1.1 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความเร็ว

แนวคิดของการนำความเร็วมาวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีพื้นฐานจากหลักการว่า การลดลงของความเร็วมีสาเหตุมาจากจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ยวดยานแต่ละประเภทจะทำให้ความเร็วลดลงในระดับที่ต่างกันไป โดยที่ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะได้จากการเปรียบเทียบการลดลงของความเร็วซึ่งมีสาเหตุมาจากจำนวนยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงกันข้าม (วิสูตร แสงอรุณเลิศ, 2543)

Van Aerde and Yagar (1984) ได้พัฒนาเทคนิคการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล บนพื้นฐานความสัมพันธ์การลดลงของความเร็วค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยของความจุที่อยู่บนทางหลวงสองช่องจราจร จะถูกใช้ในแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร ซึ่งในการประมาณการค่าความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile Speed) จะใช้บนพื้นฐานความเร็วอิสระและค่าสัมประสิทธิ์ การลดลงของความเร็วในแต่ละประเภทของยานพาหนะโดยแบบจำลองเส้นตรง Speed-Flow จะถูกเลือกใช้เนื่องจากได้ค้นพบความสัมพันธ์ดังกล่าวเกือบจะเป็นเส้นตรงแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร แสดงสมการได้ดังนี้

$$\text{Percentile Speed} = \text{Free Speed} + C_1\,(\text{Number of Passenger Cars}) + C_2\,(\text{Number of Trucks}) + C_3\,(\text{Number of RVs}) + C_4\,(\text{Number of Other Vehicles}) + C_5\,(\text{Number of Opposing Vehicles}) \qquad (2\text{-}1)$$

เมื่อ	Speed	คือ ความเร็วของกระแสจราจร (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
	Free Speed	คือ ความเร็วอิสระ (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
	C_1- C_5	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงการลดลงของความเร็วของกระแสจราจรที่เกิดจากยานพาหนะแต่ละประเภท

วิสูตร แสงอรุณเลิศ (2543) อ้างถึงโดย (สุนทร เบญจปัญญาพร, 2554) ได้ทำการศึกษาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนถนนสองช่องจราจรในประเทศไทย โดยใช้วิธีวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจร พบว่าค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรมีค่าลดลงเมื่อระดับความชัน ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล ที่ระดับความชันใกล้เคียงกันมีค่าแตกต่างกันโดยเฉพาะค่าของยานพาหนะทิศตรงข้าม แสดงถึงความไม่มีเสถียรภาพของแบบจำลอง นอกจากนี้ยังไม่สามารถคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถบรรทุก 6 ล้อ กับรถโดยสารได้เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเพียงพอ จึงมีความน่าเชื่อถือในเชิงสถิติต่ำ

Miller (1968) ได้ศึกษาด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์ (Simulation) และได้ข้อสรุปว่าอัตราส่วนของจำนวนรถยนต์บรรทุกในกระแสจราจรไม่มีผลกระทบกับความเร็วของกระแสจราจรอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความชันของถนนมีค่าต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์และแนะนำค่าเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดของจำนวนรถยนต์บรรทุกในกระแสจราจรที่จะไม่มีผลกระทบกับความเร็วโดยมีค่า 8 เปอร์เซ็นต์

2.1.2 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากการเกิดกลุ่มของยวดยาน (Platoon)

การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยพิจารณาจากการเกิดกลุ่มของยวดยานสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 วิธีการดังนี้

1. การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (Platoon Creation หรือ Platoon Leader)

แนวคิดของวิธีวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานคือกลุ่มของยวดยานจะเกิดขึ้นจากยานพาหนะที่ขับเร็วตามมาถึงยานพาหนะที่ขับช้าและไม่สามารถที่จะขับแซงไปได้รถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารมีความเร็วและความสามารถในการเร่งความเร็วต่ำกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจึงมีโอกาสที่จะถูกยานพาหนะที่ขับเร็วขับตามได้ทันมากกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลและเมื่อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลตามทันยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่จะเกิดความยากลำบากกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในการที่จะขับแซงยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่อันเนื่องมาจากความสูงความกว้างหรือความยาวของยานพาหนะที่ขัดขวางการมองเห็นของผู้ตามมารวมทั้งระยะแซงที่ต้องมีความยาวมากขึ้นด้วยยานพาหนะขนาดใหญ่จึงมีแนวโน้มที่จะเป็นผู้ที่ก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานสูงกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

การจราจรในทิศตรงข้ามก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีผลกับการเกิดกลุ่มของยวดยานบนถนนสองช่องทางจราจรเนื่องจากยานพาหนะบนทิศทางหลักที่จะทำการแซงต้องการช่องว่างในทิศทางตรงข้ามช่องว่างดังกล่าวจะลดลงเมื่อมียานพาหนะเพิ่มมากขึ้นในกระแสจราจรในทิศทางตรงข้ามดังนั้นการเกิดขึ้นของกลุ่มของยวดยานจึงได้รับผลกระทบมาจากปริมาณการจราจรทิศตรงข้ามจึงกล่าวได้ว่าการเกิดขึ้นของกลุ่มของยวดยานนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรทั้ง 2 ทิศทาง

Troutbeck (1976) ศึกษาพฤติกรรมการแซงที่ถนนนอกเมืองของออสเตรเลียพบว่ามีความลำบากที่จะทำการแซงรถขนาดใหญ่มากกว่าการแซงรถขนาดเล็กดังนั้นจึงมีโอกาสที่รถขนาดใหญ่จะเป็นผู้ที่ก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานมากกว่ารถขนาดเล็กนอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการแซงจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของความยาวของยานพาหนะที่ถูกแซง

Werner and Morrall (1976) ศึกษาผลกระทบของกระแสการจราจรในทิศตรงข้ามที่มีผลกับการเกิดขึ้นของกลุ่มของยวดยานและเสนอแนะว่าไม่เพียงแต่ปริมาณการจราจรในทิศตรงข้ามที่มีผลเท่านั้นลักษณะการกระจายตัวของยานพาหนะในกระแสการจราจรก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลโดยที่จำนวนยานพาหนะในทิศทางตรงข้ามเพียง 200 คันจะสามารถปิดกั้นการแซงที่ปลอดภัยทั้งหมดถ้ายานพาหนะทั้งหมดวิ่งด้วย Uniform Headway เท่ากับ 18 วินาที

Van Aerde and Yagar (1984) ทดสอบแนวโน้มในการที่ยานพาหนะต่างๆจะเป็นผู้ที่ก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานโดยใช้ค่าอัตราส่วนของเปอร์เซ็นต์การเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานของยานพาหนะประเภทหนึ่งๆกับค่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวนยานพาหนะประเภทนั้นๆต่อจำนวนยานพาหนะทั้งหมดบนท้องถนนเมื่อทำการแปลงค่าอัตราส่วนดังกล่าวให้เทียบกับค่าอัตราส่วนสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะได้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานเป็นเกณฑ์ในการคำนวณ

ค่าเทียบเท่าที่ได้จากการวิเคราะห์การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการดังนี้

$$PCE_v = \frac{a_v}{a_p} \qquad (2\text{-}2)$$

โดยที่ a สำหรับยวดยานพาหนะประเภท v หาได้จากสร้างสมการถดถอยที่มีลักษณะดังนี้

$$(\%Lead)_v = a_v\,(\%Count)_v \qquad (2\text{-}3)$$

โดยที่ PCE_v คือ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภท v

$(\%\ Leads)_v$ คือ เปอร์เซ็นต์ของการเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานของยานพาหนะประเภท v

$(\%\ Count)_v$ คือ เปอร์เซ็นของจำนวนยานพาหนะประเภท v ในกระแสจราจร

a_v คือ ค่า a ที่ได้จากสมการถดถอยของยานพาหนะประเภท v

a_p คือ ค่า a ที่ได้จากสมการถดถอยของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

2. การตามกลุ่มของยวดยาน (Platoon Follower)

ถึงแม้ว่ากลุ่มของยวดยานจะสามารถนิยามได้จากผู้นำกลุ่มก็ตามแต่การเคลื่อนตัวของยานพาหนะที่เป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานจะไม่ถูกกีดขวางจากยานพาหนะอื่นๆยานพาหนะที่เป็นผู้ตามมักจะเป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบจากการลดลงของการให้บริการของถนนมากที่สุดได้แก่การถูกกีดขวางการก่อให้เกิดความล่าช้าหรือแม้แต่การก่อให้เกิดการแซงที่ไม่ปลอดภัยดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะวิเคราะห์ค่า

เทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากจำนวนผู้ตามกลุ่มของยวดยานการวิเคราะห์ตั้งอยู่บนแนวความคิดที่ว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนของผู้ตามมีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรในทิศทางหลักเนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นเส้นตรงยกเว้นในบางช่วงจะมีลักษณะหักโค้งเล็กน้อยจำนวนของผู้ตามในกลุ่มของยวดยานสามารถทำการจำลองได้โดยใช้ Piecewise Linear Function ร่วมกับแบบจำลองเชิงเส้นแยกส่วน (Separate Linear Model) สำหรับช่วงที่มีปริมาณการจราจรสูงและต่ำโดยแบบจำลองเชิงเส้นจะมีโครงสร้างดังนี้

$$\text{Number of Followers} = A_1 + B_1(\text{Cars}) + B_2(\text{Trucks}) + B_3(\text{Buses}) + B_4(\text{Opposing Vehicles})(\text{Main-line Vehicle}) \quad (2\text{-}4)$$

โดยที่ A_1 คือ ค่าคงที่สำหรับยานพาหนะที่เป็นผู้ติดตามในกลุ่มของยวดยาน

B_1 ถึง B_3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนยานพาหนะที่เป็นผู้ตามที่เกิดขึ้นเนื่องจากยานพาหนะประเภทนั้น

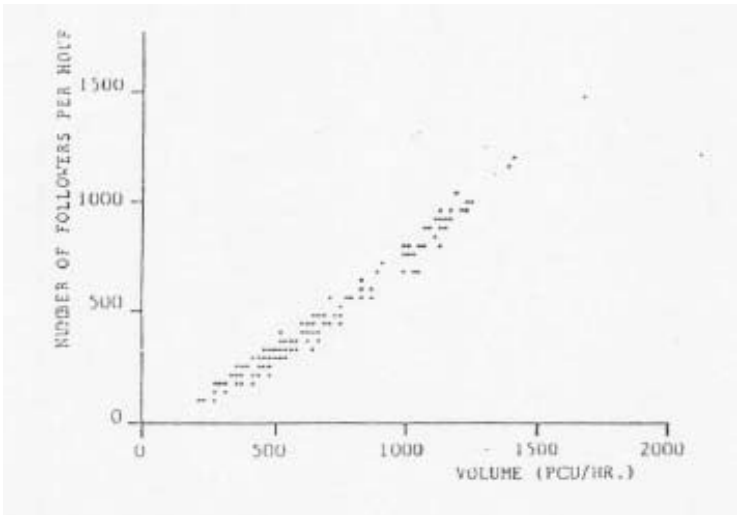
B_4 คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนยานพาหนะที่เป็นผู้ตามที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะทิศทางตรงข้ามที่ปริมาณจราจรสายหลัก 1000 คันต่อชั่วโมง

Cars คือ จำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในช่วงเวลาที่พิจารณา

Trucks คือ จำนวนรถยนต์บรรทุกในช่วงเวลาที่พิจารณา

Buses คือ จำนวนรถยนต์โดยสารในช่วงเวลาที่พิจารณา

Opposing Vehicles คือ จำนวนยานพาหนะทุกประเภทในทิศทางตรงข้ามในช่วงเวลาที่พิจารณา



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของผู้ตามกลุ่มยวดยานกับปริมาณการจราจรหลัก (ที่มา: Aerde and Yagar, 1984)

2.1.3 วิธีการค่าความหนาแน่น (Density Method)

Huber (1982) ได้เสนอแนะการใช้ค่าเทียบเท่าความหนาแน่นต่อการเชื่อมโยงค่าอัตราการไหลแบบผสมและอัตราการไหลแบบพื้นฐานสำหรับตัวอย่างที่ใช้นั้นค่าความหนาแน่นจะถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดค่าเทียบเท่าระดับการให้บริการ สามารถใช้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างการไหลจราจรกับการเทียบค่าปริมาณความหนาแน่นได้

ผลการศึกษาพบว่าในกรณีเวลาการเดินทางเท่ากัน ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่คำนวณได้จะมีค่าลดต่ำลงเมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มมากขึ้น และเมื่อปริมาณการจราจรมีค่าต่ำมากๆ จะไม่สามารถคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ ซึ่งผลการคำนวรที่ได้ไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง (สุนทร, 2554)

Webster and Elefteriadou (1999) ได้แสดงวิธีการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับรถบรรทุกประเภทต่างๆโดยมีพื้นฐานที่พัฒนามาจากวิธีการของ Sumner et al., (1984) สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$\mathrm{PEC} = \frac{1}{\Delta P}\left(\frac{q_B}{q_S} - \frac{q_B}{q_M}\right) + 1 \qquad (2\text{-}5)$$

เมื่อ

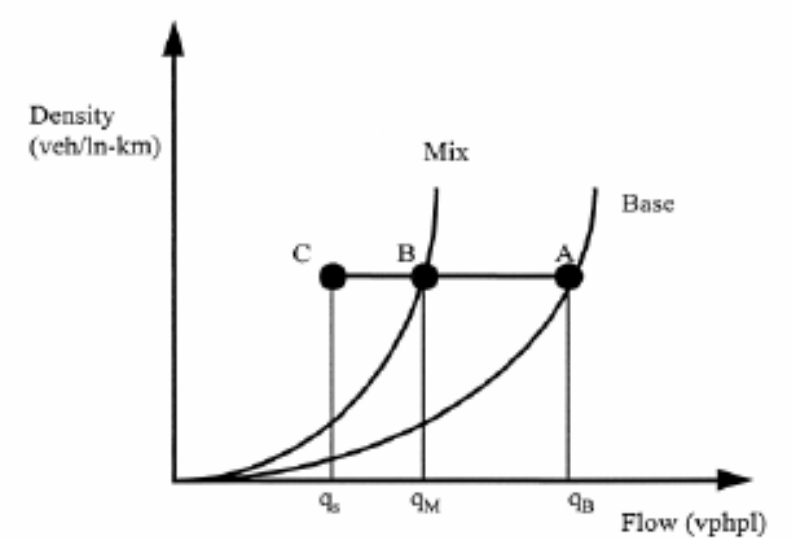
ΔP คือ สัดส่วนของยานพาหนะที่ต้องการหาที่รวมเพิ่มเข้าไปในการไหลแบบผสมและลบด้วยจำนวนของยานพาหนะพื้นฐาน

q_B คือ อัตราการไหลของยานพาหนะพื้นฐานที่ค่าคงที่ของความหนาแน่นในการจราจร

q_M คือ ปริมาณการจราจรของยานพาหนะแบบผสมที่ค่าคงที่ของความหนาแน่นในการจราจร

q_S คือ ปริมาณการจราจรของยานพาหนะที่ต้องการหาที่ค่าคงที่ของความหนาแน่นในการจราจร

ได้สร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการคำนวณจากค่าความสัมพันธ์ของการไหลจราจรที่แปรผกผันต่อค่าความหนาแน่นจากแบบจำลองชื่อว่า FRESIM (Freeway Simulation Model) อีกทั้งได้ทำการพิจารณาผลกระทบที่มีมากในการไหลกระแสจราจรได้แก่สัดส่วนของรถบรรทุกชนิดของรถบรรทุก (โดยความยาวและน้ำหนักที่มีต่ออัตรากำลัง) ความยาวและระดับความลาดชันและจำนวนช่องจราจร โดยผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ได้แสดงว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะมีค่ามากขึ้นด้วยการเพิ่มขึ้นของจำนวนการไหลกระแสจราจรบนทางด่วนและมีค่าลดลงด้วยการเพิ่มสัดส่วนของรถบรรทุกและจำนวนช่องจราจรดังนั้นสิ่งสำคัญที่สุดคือชนิดของรถบรรทุกที่กำหนดโดยความยาวและน้ำหนักที่มีต่ออัตรากำลังซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลแสดงได้ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์อัตราการไหล – ความหนาแน่น

(ที่มา: Webster and Elefteriadou, 1999)

ตารางที่ 2.1 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถบรรทุกและรถโดยสารสำหรับทางหลวง Freeway บนทางลาดชันเฉพาะ

Grade	Length of Grade (m.)	Flow Rate (vphpl) and Percent Trucks											
		500			1000			1500			2000		
		5	15	25	5	15	25	5	15	25	5	15	25
Level 0%	805	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0
Upgrade 3%	402	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0
	805	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0		3.0
	1207	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	1.5	2.0	2.0	
Upgrade 6%	402	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0			
	805	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.0	1.5			
	1207	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	3.5	2.0	1.5			
All Downgrades		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

2.1.4 วิธีการค่าระยะห่างเชิงเวลา (Time Headway Method)

Werner and Morrall (1976) ได้พบว่าวิธีการค่าระยะห่างเชิงเวลาจะมีสิ่งที่เป็นผลกระทบอย่างแรก คือ ยานพาหนะขนาดใหญ่ในกระแสจราจรจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดช่องว่างระยะห่างจำนวนมากวิธีนี้มีแนวคิดว่ารถบรรทุกจะครอบครองพื้นที่บนถนนมากกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล ดังนั้นจะทำให้ความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรลดลง วิธีค่าระยะห่างเชิงเวลาจึงได้ถูกใช้อย่างมากเป็นวิธีที่นิยมในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล สำหรับภูมิประเทศที่เป็นแบบทางราบและที่ค่าระดับการให้บริการต่ำ แสดงสมการได้ดังนี้

$$E_T = \frac{\left(\frac{h}{p}\right) - c}{t} \qquad (2\text{-}6)$$

เมื่อ h คือ ค่าเฉลี่ย Headway สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถบรรทุก

P คือ ค่าเฉลี่ย Headway สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่านั้น

C คือ สัดส่วนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

t คือ สัดส่วนของรถบรรทุก

Elefteriadou, et al. (1997) ใช้การเปรียบเทียบกับขนาดจำนวนของระยะห่าง จะใช้ได้ทั้งหมดกับยานพาหนะที่เป็นพื้นฐานทั่วๆไปภายใต้หลักการที่เป็นขนาดของค่า Headway โดยการตัดสินใจลำดับแรกจะอยู่ที่ยานพาหนะคันที่เป็นคันตามจากแต่ละคู่ของยานพาหนะ ซึ่งไม่ได้พิจารณาผลของยานพาหนะคันที่นำหน้า ดังนั้นการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะสามารถใช้ได้กับยานพาหนะหลายประเภท แสดงสมการได้ดังนี้

$$PCE_{ij} = \frac{H_{ij}}{H_{pcj}} \qquad (2\text{-}7)$$

เมื่อ PEC_{ij} คือ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภท i ภายใต้สภาวะ j

H_{ij} คือ ค่าเฉลี่ย Lagging Time Headway ของยานพาหนะประเภท i ภายใต้สภาวะ j

H_{psj} คือ ค่าเฉลี่ย Lagging Time Headway ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลภายใต้สภาวะ j

Kockelman and Shabih (2000) ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถบรรทุกขนาดเล็กที่ทางแยก โดยการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะห่างเชิงเวลากับปริมาณยานพาหนะประเภทต่างๆ

ด้วยหลักการวิเคราะห์ด้วยวิธีการค่าระยะห่างเชิงเวลา (Molina, 1987) ได้ทำการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ทางแยกแบบมีสัญญาณไฟ โดยค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะขึ้นอยู่กับค่าระยะห่างเชิงเวลาที่เพิ่มขึ้นจากยานพาหนะประเภทนั้นๆ โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$PCE_k = 1 + \frac{dH}{h_b} \quad (2\text{-}8)$$

เมื่อ PCE_k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของรถยนต์ส่วนบุคคลประเภท k

dH คือ ค่า Headway ของแถวคอยที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดจากรถประเภท k ในที่นี้คือค่าผลต่าง โดยประมาณของค่า Headway ของแถวคอยรถประเภท k ทั้งหมดกับ และค่า Headway ของแถวคอยรถยนต์ส่วนบุคคลทั้งหมด

h_b คือ ค่า Saturation flow headway ของรถยนต์ส่วนบุคคล

Saha et al. (2009) ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่บริเวณทางแยกสัญญาณไฟในเมืองธากา ประเทศบังคลาเทศ เนื่องจากพบว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นเป็นค่าที่วิเคราะห์จากการจราจรในสหราชอาณาจักร ตั้งแต่ปี 1958 ซึ่งสภาพการจราจรแตกต่างจากในเมืองธากาในปีที่วิเคราะห์มาก ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจากการสำรวจข้อมูลจากทางแยกสัญญาณไฟในเมืองธากา 10 ทางแยกด้วยวิธีการค่าระยะห่างเชิงเวลามีค่าน้อยกว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้อยู่เดิม

2.1.5 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความล่าช้า

วิธีการนี้สามารถประมาณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้จากการนำความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลอันเนื่องจากยานพาหนะที่ไม่ใช่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลมาเปรียบเทียบกับค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เกิดขึ้นเนื่องจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลคันอื่น ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$PCE_k = 1 + \frac{dH}{h_b} \quad (2\text{-}8)$$

โดยที่ PCE_{ij} คือ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภท i ภายใต้สภาวะ j

D_{ij} คือ ค่าความล่าช้ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเนื่องจากยานพาหนะประเภท i ภายใต้สภาวะ j

D_{base} คือ ค่าความล่าช้ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเนื่องจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลคันอื่นที่วิ่งช้ากว่า

Cunagin and Messer (1983) ได้แสดงปัจจัยหลักที่มีผลต่อการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้แก่เรขาคณิตของถนน (ระดับความลาดชันขึ้นและลงความยาวของระดับความลาดชันและจำนวนของช่องจราจร) ลักษณะประสิทธิภาพของยานพาหนะ (ความยาวน้ำหนักและอัตรากำลังของยานพาหนะ) และการไหลของกระแสจราจร (ปริมาณจราจรทิศทางการแยกของสองช่องทางจราจรร้อยละของยานพาหนะประเภทต่างๆและความเร็วของยานพาหนะ) โดยปัจจัยที่เป็นการไหลของกระแสจราจรได้กำหนดเป็นค่าระดับปริมาณจราจร (1 ถึง 6) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าระดับการให้บริการ(A ถึง F) ดังนั้นจะแสดงให้เห็นถึงช่วงปริมาณจราจรที่สอดคล้องกับค่าระดับการให้บริการสำหรับชนิดของการไหลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในวิธีการนี้ต่อมาจะใช้ผลจากการรวมกันของวิธีการเทียบจำนวนของรถวิ่งผ่านและวิธีการค่าความล่าช้าโดยสังเกตเห็นว่าที่บนทางหลวงหลายช่องจราจรจะมีการวิ่งแซงของยานพาหนะเมื่อมีสิ่งกีดขวางเท่านั้นซึ่งจะเกิดขึ้นสอดคล้องกับการไหลกระแสจราจร เนื่องจากการวัดค่าความล่าช้าไม่อาจทำได้โดยตรงดังนั้นจึงได้สร้างแบบจำลองเพื่อหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับทางหลวงหลายช่องทางจราจรสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$E_T = \frac{\left(\frac{OT_i}{VOL_i}\right)\left\{\left(\frac{1}{TSSP}\right)-\left(\frac{1}{MPCSP}\right)\right\}}{\left(OT_{ij}VOL_{LPC}\right)\left[\left(\frac{1}{AVCRSP}\right)-\left(\frac{1}{MPCSP}\right)\right]} \qquad (2\text{-}9)$$

เมื่อ E_T คือ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับรถบรรทุกหนักและรถโดยสาร

OT_i คือ จำนวนของรถที่วิ่งแซงยานพาหนะประเภท i โดยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

VOL_i คือ ปริมาณของยานพาหนะประเภท i

OT_{LPC} คือ จำนวนของรถที่วิ่งแซงรถยนต์นั่งส่วนบุคคลคันที่มีสมรรถนะต่ำ โดยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลอื่น

VOL_{LPC} คือ ปริมาณของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลคันที่มีสมรรถนะภาพต่ำ

TSSP คือ ความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรแบบผสม

MPCSP คือ ความเร็วเฉลี่ยของกระแสการจราจรแบบทั่วไปด้วยรถยนต์ที่มีสมรรถนะภาพ

AVCRSP คือ ความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรด้วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่านั้น

ZHAO (1998) ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความล่าช้า โดยสามารถแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$D_PCE_i = 1 + \frac{\Delta d_{ij}}{d_0} \tag{2-10}$$

โดย

D_PCE_i = ค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลจากความล่าช้า

Δd_{ij} = ความล่าช้าที่เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากการผสมของยานพาหนะประเภท i ในสภาวะ j

d_0 = ความล่าช้าพื้นฐานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

ความล่าช้าที่เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากการผสมของยานพาหนะประเภท i ในสภาวะ j (Δd_{ij}) สามารถวิเคราะห์ได้จากความล่าช้าจากผลของแบบจำลองสภาพจราจรดังแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\Delta d_{ij} = \left(D_{ij} - D_0\right)/V_i \tag{2-11}$$

โดย

D_{ij} = ความล่าช้าทั้งหมดอันเนื่องมาจากการผสมของยานพาหนะประเภท i ในสภาวะ j

D_0 = ความล่าช้าทั้งหมดในกรณีที่กระแสจราจรมีแต่รถยนต์นั่งส่วนบุคคล

V_i = จำนวนยวดยานของยานพาหนะประเภท i

Chitturi and Benekohal (2007) ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง โดยใช้หลักการวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความล่าช้าซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับทางแยกมาใช้กับบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งความล่าช้าถูกใช้ในการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเนื่องจากความล่าช้าเป็นค่าที่สะท้อนถึงผลกระทบของรถขนาดใหญ่ได้ดีกว่าค่าระยะห่างเชิงเวลา

2.1.6 ตารางสรุปการวิธีการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

วิธีการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล	1.การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความเร็ว	2.การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการคำนวณความล่าช้า	3.การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากการค่าความหนาแน่น
สมมติฐาน	แนวคิดของการนำความเร็วมาวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีพื้นฐานจากหลักการว่า การลดลงของความเร็วมีสาเหตุมาจากจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ยวดยานแต่ละประเภทจะทำให้ความเร็วลดลงในระดับที่ต่างกันไป โดยที่ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะได้จากการเปรียบเทียบการลดลงของความเร็วซึ่งมีสาเหตุมาจากจำนวนยานพาหนะประเภทต่างๆ	ยานพาหนะที่วิ่งเร็วมักจะถูกกีดขวางโดยยานพาหนะที่วิ่งช้ากว่า เป็นผลทำให้เกิดความล่าช้าขึ้น	การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความหนาแน่น โดยเชื่อมโยงค่าอัตราการไหลแบบผสมและอัตราการไหลแบบพื้นฐาน โดยค่าความหนาแน่นจะถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดค่าเทียบเท่าระดับการให้บริการ สามารถใช้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างการไหลจราจรกับการเทียบค่าปริมาณความหนาแน่นได้
ข้อมูลที่ต้องการ	• ความเร็วของกระแสจราจร • จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภท • จำนวนยานพาหนะในทิศทางตรงกันข้าม	• ความล่าช้าทั้งหมดในกรณีที่กระแสจราจรที่มีแต่รถยนต์นั่งส่วนบุคคล • ความล่าช้าทั้งหมดอันเนื่องมาจากการผสมของยานพาหนะประเภทอื่นๆ • จำนวนยวดยานของยานพาหนะประเภทอื่นๆ ในกระแสจราจร	• Speed-flow Curve ของ mix traffic • Speed-flow Curve ของรถยนต์ส่วนบุคคล

ตารางสรุปการวิธีการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (ต่อ)

วิธีการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล	1.การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความเร็ว	2.การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการคำนวณความล่าช้า	3.การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากการค่าความหนาแน่น
อุปกรณ์ที่ใช้	• อุปกรณ์ตรวจจับความเร็ว • อุปกรณ์นับรถ • อุปกรณ์จดบันทึก	• กล้องวีดีโอ หรือ เครื่องช่วยนับ • อุปกรณ์เก็บค่าความเร็ว เช่น Radar gun, Laser gun หรือนาฬิกาจับเวลา	• กล้องวีดีโอ หรือเครื่องช่วยนับ • อุปกรณ์เก็บค่าความเร็ว
ข้อจำกัด	เป็นวิธีที่เหมาะสำหรับสภาพจราจรปกติ ผลจากการศึกษาที่ผ่านมาในประเทศไทย พบว่าแบบจำลองไม่มีเสถียรภาพ มีความน่าเชื่อถือในเชิงสถิติต่ำ	การเก็บข้อมูลความล่าช้าในสนามนั้นต้องใช้งบประมาณในการเก็บข้อมูลค่อนข้างสูง และหากใช้แบบจำลองสภาพจราจรในการวิเคราะห์ จำเป็นที่จะต้องมีความชำนาญในการใช้แบบจำลอง เพื่อให้ข้อมูลจากแบบจำลองมีความสมจริง	ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่คำนวณได้จะมีค่าลดต่ำลงเมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มมากขึ้น และเมื่อปริมาณการจราจรมีค่าต่ำมากๆ จะไม่สามารถคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ ซึ่งผลการคำนวณที่ได้ไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง

ตารางสรุปการวิธีการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (ต่อ)

วิธีการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์ นั่งส่วนบุคคล	4.การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน	5.การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากการตามของกลุ่มยวดยาน
สมมติฐาน	แนวคิดของวิธีวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานคือกลุ่มของยวดยานเกิดจากสมมติฐานที่ว่ารถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารมีความเร็วและความสามารถในการเร่งความเร็วต่ำกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจึงมีโอกาสที่จะถูกยานพาหนะที่ขับเร็วขับตามได้ทัน และเมื่อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลตามทันยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่จะเกิดความยากลำบากกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในการที่จะขับแซงยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่อันเนื่องมาจากความสูงความกว้างหรือความยาวของยานพาหนะ จึงมีแนวโน้มที่จะเป็นผู้ที่ก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานสูงกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล	ยานพาหนะที่วิ่งเร็วมักจะได้รับผลกระทบจากยานพาหนะที่วิ่งช้ากว่า และการเพิ่มจำนวนของผู้ตามมีความสัมพันธ์กับปริมาณจราจรในทิศทางนั้นๆ จึงสร้างแบบจำลองจากจำนวนรถแต่ละประเภทที่วิ่งตามกันแล้วคำนวณค่าเทียบเท่าจากค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรของรถแต่ละประเภท
ข้อมูลที่ต้องการ	• ร้อยละของการเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานของยานพาหนะประเภทต่างๆ • ร้อยละของจำนวนยานพาหนะประเภทต่างๆ ในกระแสจราจร	• จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทในกลุ่มยวดยาน • จำนวนยานพาหนะทิศตรงข้าม (2 Lanes highway)
อุปกรณ์ที่ใช้	• อุปกรณ์นับรถ • อุปกรณ์จดบันทึก	• อุปกรณ์นับรถ • อุปกรณ์จดบันทึก
ข้อจำกัด	ไม่เหมาะกับสภาพจราจรบางเบา เพราะจะไม่เกิดกลุ่มของยวดยาน และไม่สามารถวิเคราะห์รถขนาดเล็กที่มีความเร็วในการขับขี่ช้าได้ อย่างเช่นรถจักรยานยนต์	ไม่เหมาะกับสภาพจราจรบางเบา เพราะจะไม่เกิดกลุ่มของยวดยาน และไม่สามารถวิเคราะห์รถขนาดเล็กที่มีความเร็วในการขับขี่ช้าได้ อย่างเช่นรถจักรยานยนต์

2.1.7 วิธีการใช้แบบจำลองสภาพจราจร (Traffic Simulation Method)

St.John and Kobett (1978) สร้างความสัมพันธ์เชิงซ้อนสำหรับใช้ในการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลบนถนนสองช่องทางจราจร โดยพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ระดับจุลภาค (Microscopic Simulation) ซึ่งสามารถทำการจำลองได้กับยานพาหนะถึง 13 ประเภท โดยใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยเป็นพื้นฐานในการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

Skabardonis et al. (1994) ได้นำเสนอวิธีการในการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค VISSIM ในการวิเคราะห์ค่าการไหลอิ่มตัว (Saturation Flow Rate) ของกรณีที่กระแสจราจรมีรถยนต์นั่งส่วนบุคคลประเภทเดียว กับในกรณีที่กระแสจราจรมีสัดส่วนรถบรรทุกเป็นค่าต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลที่เปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนของรถบรรทุก รวมถึงมีการวิเคราะห์ในเรื่องของเปอร์เซ็นต์ความลาดชันกับค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

2.1.8 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.2 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของสำนักอำนวยความปลอดภัย (กรมทางหลวง, 2555)

ชนิดของยานพาหนะ	Passenger Car Equivalents (PCEs)
รถจักรยานยนต์และรถสามล้อ	0.33
รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน รถนั่งเกิน 7 คน และรถบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ	1.00
รถโดยสารขนาดเล็ก รถโดยสารขนาดกลาง และรถบรรทุกขนาดกลาง 6 ล้อ	1.50
รถโดยสารขนาดใหญ่	2.10
รถบรรทุกขนาด 10 ล้อ รถบรรทุกพ่วง และ รถบรรทุกกึ่งพ่วง	2.50

ตารางที่ 2.3 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลในแบบจำลองสภาพจราจรระดับกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (eBUM) (สนข., 2555)

ชนิดของยานพาหนะ	Passenger Car Equivalents (PCEs)
รถจักรยานยนต์	0.25
รถสามล้อเครื่อง	0.70
รถยนต์ รถบรรทุกขนาดเล็ก	1.00
รถยนต์โดยสารขนาดเล็ก	1.50
รถโดยสารขนาดใหญ่	2.00
รถบรรทุกขนาดใหญ่ รถบรรทุกพ่วงหรือกึ่งพ่วง	2.50
อื่นๆ	1.00

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการจราจร

การรวบรวมข้อมูลการจราจรเป็นส่วนสำคัญที่สุดส่วนหนึ่งในการวิจัยด้านวิศวกรรมจราจร เนื่องจากในงานวิจัยนั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลการจราจรที่ถูกต้องแม่นยำ ไม่ว่าจะเป็นการนำข้อมูลการจราจรที่ได้รวบรวมไปตรวจสอบหรือสร้างแบบจำลองให้มีความถูกต้อง โดยการรวบรวมข้อมูลจราจรในงานวิจัยนี้แบ่งได้เป็น 2 ข้อมูลหลักคือ การเก็บข้อมูลปริมาณการจราจรและการเก็บข้อมูลความเร็ว

2.2.1 การเก็บข้อมูลปริมาณการจราจร

วิธีเก็บข้อมูลปริมาณการจราจรนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสามารถจำแนกได้ออกเป็น 4 วิธีดังนี้

1. วิธีการใช้คนนับ (Manual Count)

การสำรวจจราจรด้วยวิธีใช้คนนับ เป็นวิธีที่สะดวกและง่ายต่อการเก็บข้อมูลปริมาณการจราจร โดยผู้นับทำการนับจำนวนยวดยานที่ผ่านพร้อมบันทึกลงบนกระดาษ อย่างไรก็ตามเมื่อมีปริมาณจราจรเพิ่มมากขึ้นอาจจำเป็นต้องใช้เครื่องมือช่วยนับรถ (Traffic Counter) เพื่อป้องกันความผิดพลาด อีกทั้งมีความเหมาะสมกรณีที่ต้องนับรถแบบแยกประเภทอีกด้วย ซึ่งวิธีการนี้มีข้อดีคือ สามารถจำแนกประเภทรถ จำนวนรถเลี้ยว จำนวนผู้โดยสารและจำนวนคนเดินเท้าได้ แต่มีข้อเสียคือ ไม่เหมาะกับการเก็บข้อมูลการจราจรที่มีปริมาณหนาแน่นเนื่องจากเกิดความผิดพลาดได้ง่าย มีข้อจำกัดในเรื่อง

ฤดูกาลและช่วงเวลา เช่น เวลากลางคืน รวมทั้งยังมีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากต้องใช้แรงงานมาก โดยจำนวนผู้นับรถนั้นจะขึ้นกับจำนวนช่องจราจรบนถนนและประเภทของข้อมูลที่ต้องการ เช่น การนับแยกประเภทรถ แนวทางการวางแผนจำนวนผู้นับรถอาจพิจารณาได้จาก ตารางที่ 2.4 ซึ่งการนับรถควรแยกคนนับรถในแต่ละทิศทางการจราจร

ตารางที่ 2.4 แนวทางการจัดจำนวนผู้นับรถ

รูปแบบถนนและจำนวนผู้นับ	**จำนวนคันต่อชั่วโมงที่สามารถนับได้ต่อ 1 คนนับรถ**
1) ถนน 2 ช่องจราจร และ - 1 คนนับหนึ่งทิศทาง และ - แยกประเภทรถ	500 คัน/ชม. ในหนึ่งทิศทาง
2) ถนน 2 ช่องจราจร และ - 1 คนนับทั้งสองทิศทาง และ - แยกประเภทรถ	200 คัน/ชม. ทั้งสองทิศทาง
3) ถนน 2 ช่องจราจร และ - 1 คนนับทั้งสองทิศทาง และ - ไม่ต้องนับแยกประเภท	800 คัน/ชม. ทั้งสองทิศทาง

2. วิธีการสำรวจโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical Count Method)

วิธีการสำรวจโดยใช้เครื่องมือนั้นจะใช้อุปกรณ์แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนตัวจับคลื่นและเครื่องนับซึ่งตัวจับคลื่นจะทำหน้าที่นับรถที่เคลื่อนผ่านโดยจะส่งสัญญาณไปยังเครื่องนับต่อจากนั้นเครื่องนับจะทำการนับตามสัญญาณที่ส่งเข้ามา ตัวจับคลื่นมีมากมายหลายชนิด เช่น ชนิดโลหะกระทบ ชนิดใช้ความดัน ชนิดใช้ของเหลวแทนความดัน ชนิดใช้สนามแม่เหล็ก และชนิดใช้ลำแสง ข้อดีของวิธีนี้คือประหยัดเมื่อต้องการนับปริมาณการจราจรเป็นเวลานานและสามารถใช้งานได้ตลอดเวลา เช่น การนับทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืน นับตลอดสัปดาห์ นับตลอดเดือนหรือตลอดปี ส่วนข้อเสียคือบางชนิดไม่สามารถแยกประเภทของรถได้ ปริมาณรถที่เลี้ยว ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์สูง อุปกรณ์มีการชำรุดเสียหายและจะต้องมีการแปลงแก้ไขข้อมูล เพื่อความเหมาะสมในกรณีที่ใช้ในบริเวณที่มีรถบรรทุก ในประเทศไทยนิยมใช้ชนิดใช้ความดัน (Pneumatic Detector) โดยเครื่องมือจะประกอบด้วยสายยางวางพาดอยู่บนผิวถนน เมื่อรถแล่นผ่าน ล้อจะทับสายยางทำให้เกิดความดันส่ง

คลื่นไปยังเครื่องนับ แล้วเครื่องนับทำงานบันทึกจำนวนรถ โดยทั่วไปแล้วเครื่องมือชนิดนี้จะออกแบบให้ล้อทับสองครั้งมีค่าเท่ากับรถหนึ่งคัน ซึ่งในกรณีที่มีรถมากกว่า 2 เพลา เช่น รถบรรทุก จะทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อน จำเป็นต้องทำการปรับแก้ค่าปริมาณรถ

รูปที่ 2.3 อุปกรณ์และการติดตั้ง Pneumatic Road Tube บนผิวถนน

3. การสำรวจโดยใช้ภาพถ่าย (Photographic Techniques)

การนับปริมาณการจราจรสามารถใช้ภาพถ่ายในการศึกษาได้ ซึ่งอาจจะบันทึกเป็นวีดีทัศน์ หรือถ่ายจากกล้องถ่ายรูป โดยเหมาะที่จะถ่ายจากที่สูงซึ่งสามารถมองเห็นได้ทั่วบริเวณ เช่น การบันทึกภาพถ่ายจากตึกสูงหรือถ่ายจากเครื่องบิน แล้วจึงนับจำนวนพาหนะที่ปรากฏในภาพถ่าย ซึ่งจะได้ผลเต็มที่และนับได้จำนวนที่ถูกต้องแน่นอน แต่ค่าใช้จ่ายจะสูง ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถบันทึกร่ายละเอียดของข้อมูลได้พร้อมกันจำนวนมาก ไม่ต้องใช้แรงงานในการสำรวจเยอะและยังสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ตรวจสอบได้ ข้อเสียของวิธีนี้คือ จะต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการถอดข้อมูล

4. วิธีการเคลื่อนที่ของรถ (Moving Vehicle Method)

ใช้รถทดสอบวิ่งไปบนเส้นทาง โดยขับรถทดสอบให้เร็วเท่าความเร็วของรถในกระแสจราจร (Average Speed Method) ถ้ารถทดสอบเป็นรถนั่งส่วนบุคคลก็สามารถใช้วัดเวลาเดินทางรถนั่งส่วนบุคคลได้ดี ผู้วัดซึ่งอยู่ในรถทดสอบจะบันทึกเวลาเดินทางถึงจุดควบคุมแต่ละจุด ในขณะที่ผู้วัดความล่าช้าจับเวลาความล่าช้าพร้อมกับบันทึกสาเหตุของความล่าช้าลงในแบบฟอร์มที่เตรียมไว้

2.2.2 การเก็บข้อมูลความเร็ว

การเก็บข้อมูลความเร็วนั้นสามารถทำได้หลายวิธี โดยในการวิจัยนี้ได้เลือกทำการเก็บข้อมูลความเร็วเฉพาะจุด (Spot Speed) ซึ่งมีวิธีการเก็บ 2 แบบคือ การเก็บโดยใช้เครื่องตรวจจับเรดาห์และการเก็บโดยใช้เรื่องวัดอัตโนมัติ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความสะดวกและต้นทุนที่แตกต่างกัน

1. วิธีการใช้เครื่องตรวจจับเรดาห์ (Radar Detection)

วิธีนี้เป็นการใช้เครื่องมือคือ ปืนยิงความเร็ว (Radar Speed Gun) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วชนิดพกพาซึ่งใช้มือควบคุมการทำงาน สามารถติดตั้งในรถยนต์ รวมถึงติดตั้งบนขาตั้งกล้อง โดยการทำงานของอุปกรณ์ Radar Speed Gun จะส่งคลื่นความถี่คงที่ช่วงความยาวคลื่น 2.4 GHz เมื่อคลื่นที่ถูกปล่อยออกไปกระทบพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่เข้าหาเครื่องตรวจวัด คลื่นจะสะท้อนกลับมาโดยมีความยาวคลื่นขยับไปทางคลื่นสั้น (Blue Shift) ในทางตรงข้ามหากพาหนะมีการเคลื่อนที่ออกห่างเครื่องตรวจวัด คลื่นจะสะท้อนกลับมาโดยมีความยาวคลื่นขยับไปทางคลื่นยาว (Red Shift) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ ดอปเปลอร์ (Doppler Effect) ผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถคำนวณและแสดงผลความเร็วบนอุปกรณ์ตรวจวัดทันที ความถี่สะท้อนกลับเปลี่ยนแปลงจากความถี่ที่ปล่อย (Frequency Different) เป็นดังสมการ

$$\Delta f = \frac{2v}{c} f \tag{2-12}$$

โดยที่ v คือ ความเร็วของพาหนะที่เคลื่อนที่

c คือ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 2.89x108 m/s

f คือความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกจาก Radar Speed Gun ~2.4 GHz

รูปที่ 2.4 การใช้อุปกรณ์ปืนยิงความเร็วตรวจวัดความเร็วยานพาหนะ
(ที่มา: www.sciencephoto.com)

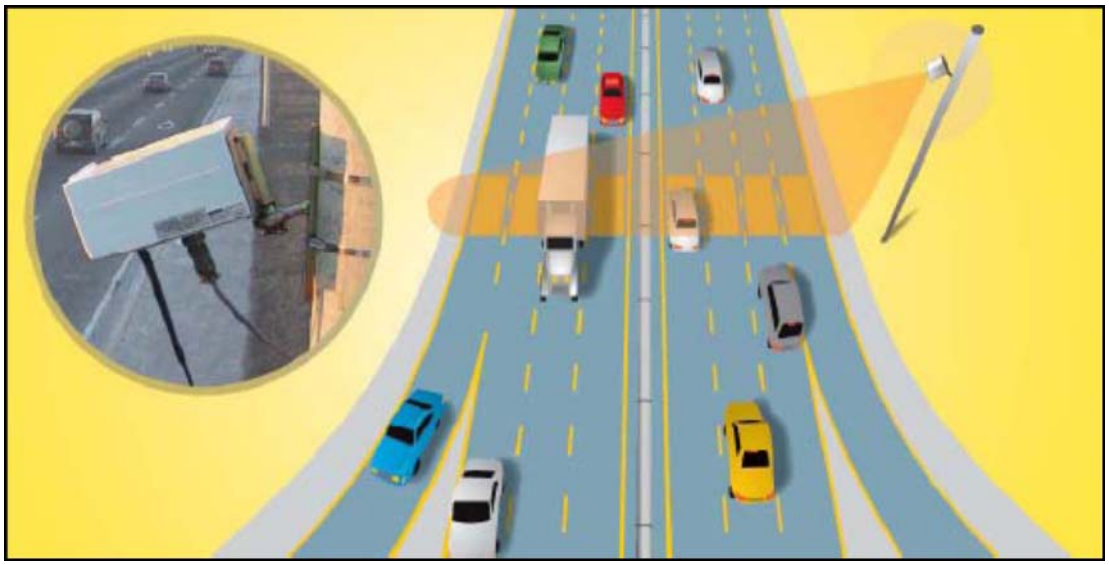
เนื่องจากปืนยิงความเร็วเป็นเครื่องมือที่ไม่สามารถยิงทำมุมตรงกับยวนพาหนะได้จึงทำให้ผลที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงคือ ข้อมูลที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าความเร็วจริงของยานพาหนะเสมอซึ่งค่าความเร็วที่จะนำไปใช้สามารถปรับแก้ได้จากการคำนวณมุม ดังสมการ

ความเร็วที่แท้จริงของยานพาหนะ = ความเร็วที่วัดได้ $\times$ cosine (α) (2-13)

โดยหากมุมที่ทำการวัดน้อยกว่า 15 องศา ความเร็วที่วัดได้นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 MPH นอกจากนั้นการใช้ปืนยิงความเร็วยังมีผลให้ผู้ใช้ถนนเกิดการระวังตัวเมื่อพบเห็นทำให้เกิดการชะลอความเร็วจึงอาจทำให้ความเร็วที่เก็บมาได้นั้นต่ำกว่าความเร็วจริงที่วิ่งตามปกติ

2. วิธีการใช้เครื่องวัดอัตโนมัติ (Automatic Counters)

วิธีการใช้เครื่องวัดอัตโนมัติ คือการนำเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วและบันทึกค่าอัตโนมัติมาใช้ซึ่งเครื่องมือที่สามารถวัดและบันทึกผลอัตโนมัติได้นั้นมีหลายชนิดโดยแบ่งเป็นเครื่องวัดที่ติดตั้งบนหรือใต้ผิวทาง เช่น Pneumatic Road Tube, Inductive Loop Detectors, Magnetic Sensors และเครื่องมือที่ใช้วัดที่ติดตั้งอยู่เหนือผิวทาง เช่น Video Image Processors, Microwave Radar Sensors, Active Infrared Sensors, Passive Infrared Sensors, Ultrasonic Sensors, Passive Acoustic Sensors เป็นต้น โดยเครื่องมือวัดอัตโนมัติมีข้อดีคือ สะดวกในการใช้งาน สามารถบันทึกข้อมูลหลายตัวแปรพร้อมกันได้และไม่ต้องเสียค่าแรงงานแต่มีข้อเสียคือ ราคาต้นทุกค่อนข้างสูง เครื่องมือมีข้อจำกัดในการติดตั้งเคลื่อนย้าย จึงควรเลือกใช้เครื่องมือให้เหมาะกับข้อจำกัดการเก็บข้อมูล



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการติดตั้งใช้งานของเครื่อง Microwave Radar Sensors
(ที่มา: www.sciencephoto.com)

2.3 การวิเคราะห์สภาพการจราจรโดยใช้แบบจำลองระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Model)

การวิเคราะห์การจราจร (Traffic Simulation) เป็นการวิเคราะห์การจราจรโดยอยู่บนหลักการของแบบจำลองระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Model) ซึ่งจะพิจารณาถึงพฤติกรรมการสัญจรของยานพาหนะแต่ละคัน (Individual Vehicle Behavior)มีหลักการสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ ทฤษฎีการขับรถตามกัน (Car Following Theory) ความสามารถในการแทรกช่องว่างระหว่างยานพาหนะ (Gap Acceptance) การเปลี่ยนช่องทางจราจร (Lane Changing) โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาและประเมินผลกระทบทางด้านการจราจรที่เกิดขึ้น ภายหลังจากการออกแบบปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของทางหลวงหรือทางแยก ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความสอดคล้องกับสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ จึงได้มีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ดังกล่าวในงานออกแบบทางหลวง งานออกแบบทางแยกต่างระดับ งานออกแบบปรับปรุงทางด้านเรขาคณิต และอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนของการคัดเลือกรูปแบบทางเลือกในกระบวนการออกแบบแนวคิดเบื้องต้น (Conceptual Design) ซึ่งตัวชี้วัดสภาพการจราจรที่ได้จากการวิเคราะห์ ได้แก่ ความล่าช้าในการเดินทาง ระยะเวลาในการเดินทาง ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง ความยาวแถวคอยสูงสุด ตัวชี้วัดต่างๆ เหล่านี้จะนำมาเป็นปัจจัยในการพิจารณาสำหรับเปรียบเทียบรูปแบบทางเลือกทางด้านวิศวกรรมซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบรายละเอียด (Detailed Design) ที่มีความถูกต้องและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น รวมทั้งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์หาแนวทางการออกแบบเพื่อให้การจราจรในพื้นที่ศึกษามีความคล่องตัวและสามารถรองรับการจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากข้อมูลที่มีการสำรวจและเก็บรวบรวม พร้อมทั้งประเมินและวิเคราะห์สภาพการจราจร ทำให้สามารถเสนอแนะรูปแบบและทางเลือกในการแก้ปัญหาจราจรได้อย่างเหมาะสม ซึ่งถ้ามีการใช้แบบจำลองจราจรระดับจุลภาค จะทำให้การเสนอแนะรูปแบบและทางเลือกในการแก้ปัญหาจราจรมีความแม่นยำและถูกต้องมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งสามารถนำภาพเคลื่อนไหว (Traffic Animation) เพื่อให้เกิดความเข้าใจและความน่าเชื่อถือในงานการศึกษาทางด้านจราจรมากยิ่งขึ้น

จากเหตุผลดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้ปัจจุบันได้มีผู้คิดค้นและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้จำลองสภาพจราจรขึ้นมากมาย ซึ่งแต่ละโปรแกรมจะมีทั้งจุดเด่นและจุดด้อยที่แตกต่างกันไป ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะอธิบายเฉพาะโปรแกรม VISSIM และการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองสภาพจราจร CORSIM PARAMICS และ VISSIM เนื่องจากโปรแกรมที่กล่าวมานี้ เป็นโปรแกรมที่พบบ่อยในงานวิศวกรรมจราจรของประเทศไทยในปัจจุบัน

2.3.1 การศึกษาจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค VISSIM

Kaseko (2002) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร 3 โปรแกรม ประกอบด้วย VISSIM CORSIM และ SYNCHRO/SIMTRAFFIC เพื่อคัดเลือกโปรแกรมที่เหมาะสมสำหรับใช้ในโครงการของ Nevada Department of transport (NDOT) โดยในการศึกษาได้ทำการประเมินความสามารถของโปรแกรม ใน 2 เงื่อนไข คือ (1) เงื่อนไขการจราจรบนทางด่วนและทางแยกต่างระดับ ซึ่งได้แบ่งการจำลองออกเป็น 4 สถานการณ์ ประกอบด้วย ช่วงทางด่วนทั่วไป บริเวณ (Ramp Metering) ช่วงทางด่วนที่มีช่องจราจรเฉพาะ (High Occupancy Vehicles, HOV) และบริเวณที่มีการก่อสร้างหรือซ่อมแซมผิวจราจร (Work Zone) โดยโปรแกรมที่ถูกประเมินในเงื่อนไขนี้ คือ VISSIM และ CORSIM พื้นที่ศึกษาในเงื่อนไขนี้ คือ US-95 Freeway ช่วงระหว่าง I-15 Interchange ถึง Lake Mead Interchange และ (2) เงื่อนไขการจราจรบนโครงข่ายถนนในเมืองทั่วไป ซึ่งทางแยกถูกควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบทำงานประสานกัน ซึ่งผลการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรม แสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรม CORSIM, VISSIM และSIM TRAFFIC (ที่มา: Kaseko, 2002)

ประเด็นเปรียบเทียบ	โปรแกรม		
	CORSIM	VISSIM	SIM TRAFFIC
1.การสร้างโครงข่ายถนนและสิ่งอำนวยความสะดวก (Coding)	ง่าย	มีความยืดหยุ่นสูง	ง่ายที่สุด
2. การ Run แบบจำลองสภาพการจราจร	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ง่ายที่สุด
3. Operational ของวงเวียน	ทำไม่ได้	ทำได้	ทำไม่ได้
4. Operational ของระบบขนส่งมวลชน	Bus	Bus, LRT	ทำไม่ได้
5. การจำลองการข้ามถนนของคนเดินเท้า	ทำไม่ได้	ทางแยก, ช่วงถนน	ทำไม่ได้
6. การใช้งานตามวัตถุประสงค์	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
7. จำนวนแฟ้มข้อมูลของ Output	1	มากกว่า 1 แฟ้ม	ไม่ระบุ
8. นำเสนอ Output ในระดับ Aggregate	นำเสนอ	ไม่นำเสนอ	ไม่ระบุ
9. นำเสนอ Output ในระดับ Disaggregate	นำเสนอ	นำเสนอ	ไม่ระบุ

Chaipanha and Klungboonkrong (2010) ได้ทำการวิเคราะห์ทางเลือกของระบบการจัดการจราจร ณ บริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง จังหวัดขอนแก่นและได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคต่างๆ ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (ที่มา: Chaipanha and Klungboonkrong, 2010)

ประสิทธิภาพในการจำลองสภาพจราจร	โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับ					
	AIMSUN	CORSIM	FRESIM	NETSIM	PARAMICS	VISSIM
ประสิทธิภาพในการจำลองทั่วไป						
เครื่องมือตรวจจับยวดยาน (Vehicle Detectors)		×				
วงเวียน (Roundabout)	×		×	×		
การปรับขอบทาง (Curb)	×		×	×		
การควบคุมการเข้าถึงพื้นที่ (Zone Access Control)	×			×		
ระบบขนส่งสาธารณะ (Public Transport)						
สัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ (Fixed time)						
การแสดงผลสามมิติ (3D)		×	×	×		
ประสิทธิภาพในการจำลองสิ่งอำนวยความสะดวกและสถานการณ์ต่างๆ						
สัญญาณไฟจราจรแบบเชื่อมโยง (Co-ordinated Traffic Signals)			×			
สัญญาณไฟจราจรแบบปรับตามปริมาณจราจรได้ (Adaptive traffic signals -Vehicle actuated)		×	×	×		
การจัดลำดับสิทธิพิเศษแก่ระบบขนส่งสาธารณะ (Public Transport)			×			
เส้นทางของระบบขนส่งสาธารณะ (Bus Route)			×			
ช่องจราจรเฉพาะสำหรับระบบขนส่งสาธาณะ		×	×			
การยับยั้งการจราจร (Traffic Claming)	×	×	×	×		
การควบคุมการเข้าออกทางด่วน				×		
รถจักรยานยนต์ (Motercycles)	×	×	×	×	×	
คนเดินเท้า (Predestrians)	×		×			
ที่จอดรถ (Parking)	×	×	×	×		

จากตารางที่ 2.6 (Chaipanha and Klungboonkrong, 2010) ได้สรุปว่าโปรแกรม PARAMICS มีความเหมาะสมในการจำลองสภาพการจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองในการศึกษาครั้งนี้ถึงแม้ว่าโปรแกรม PARAMICS จะมีข้อด้อยและข้อจำกัดซึ่งไม่สามารถจำลองจักรยานยนต์และรถจักรยานได้ซึ่งปัจจุบันมีเพียงโปรแกรม VISSIM เท่านั้นที่สามารถทำได้

เสกสรร บุญฉวี (2011) ได้วิเคราะห์ระยะห่างที่เหมาะสมของทางแยกในลักษณะพิเศษโดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคกล่าวไว้ว่า โปรแกรม VISSIM ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกที่ University of Karlsruhe ประเทศเยอรมนี ในช่วงต้นทศวรรษที่ 1970 และถูกพัฒนาต่อโดยบริษัท Planung Transport Verkehr [PTV] (Velez, 2006) โดยเป็นส่วนหนึ่งของ PTV Vision ซึ่งเป็นชุดโปรแกรมที่ใช้ในการวางแผนการคมนาคมขนส่งและงานด้านวิศวกรรมจราจร VISSIM เป็นโปรแกรมที่ถูกใช้สำหรับการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคทั้งบนโครงข่ายถนนในเขตเมืองและบนระบบทางด่วนแบบอเนกประสงค์ เนื่องจากมีความสามารถหลากหลายทั้งการจำลองและวิเคราะห์สภาพการจราจรในเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น วงเวียน ทางแยกทั้งที่ถูกควบคุมและไม่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร ทางแยกต่างระดับ ด่านเก็บเงินค่าผ่านทาง (Toll Plaza) ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และ Ramp Meter เป็นต้น ข้อมูลที่รายงานในผลการจำลองของโปรแกรมประกอบด้วยตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้งานด้านการจราจร (เช่น ปริมาณจราจร ความเร็วเฉลี่ย เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ความล่าช้า ความยาวแถวคอย และจำนวนครั้งของการหยุด) ระดับมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการจราจร และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยก เป็นต้น (Kaseko, 2002) และงานศึกษาของ (เสกสรร บุญฉวี, 2011) ยังได้กำหนดหลักเกณฑ์และทำการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองสภาพจราจร PARAMICS และ VISSIM เพื่อทำการคัดเลือกโปรแกรมที่มีความสามารถเหมาะสมกับงานศึกษามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรกับหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร (ที่มา: เสกสรร บุญฉวี, 2011)

หลักเกณฑ์ในการพิจารณา	โปรแกรม	
	PARAMICS	VISSIM
1. สามารถจำลองพฤติกรรมการขับขี่และการเคลื่อนที่ของยานยนต์แต่ละคัน ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และสมเหตุสมผลตามหลักวิศวกรรมจราจร	ผ่าน	ผ่าน
2. เป็นโปรแกรมที่สามารถจัดหาได้	ผ่าน	ผ่าน
3. การจำลองการขับขี่ในเลนซ้าย	ผ่าน	ผ่าน
4. รองรับการใช้งานภาพถ่ายทางอากาศ	ผ่าน	ผ่าน
5. การสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีความโค้ง	ผ่าน	ผ่าน
6. รองรับความยาว Links น้อยกว่า 50 ฟุต	มีข้อจำกัด	ผ่าน
7. การจำลองสภาพการจราจรในสภาวะอิ่มตัว	ผ่าน	ผ่าน
8. การจำลองการเกิด Queue Spillback	ผ่าน	ผ่าน
9. การจำลองสัญญาณไฟจราจรแบบทำงานประสานกันหลายทาง	ผ่าน	ผ่าน
10. ความเหมาะสมของ MOEs ที่ใช้	ผ่าน	ผ่าน
11. แสดงผลในรูปแบบ 3D Animation	มีข้อจำกัด	ผ่าน
12. การทำงานบน PC	ผ่าน	ผ่าน

ในการคัดเลือกโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรเพื่อใช้ในงานศึกษานี้ จะพิจารณาจากเกณฑ์ในการคัดเลือกที่กำหนดขึ้นในข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ก่อน จากนั้นจึงจะทำการพิจารณาโปรแกรมที่ผ่านเกณฑ์ทั้งข้อที่1 และข้อที่ 2 โดยใช้เกณฑ์ข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 12 ต่อไป โดยโปรแกรมที่ผ่านเกณฑ์ในข้อที่ 1 และข้อที่ 2 คือ โปรแกรม PARAMICS และโปรแกรม VISSIM ซึ่งผลการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรม PARAMICS และโปรแกรม VISSIM โดยใช้เกณฑ์ในคัดเลือกข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 12 สรุปได้ว่า VISSIM เป็นเพียงโปรแกรมเดียวที่ผ่านเกณฑ์ในการคัดเลือกทุกข้อ ดังนั้น VISSIM จึงถูกคัดเลือกให้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคในงานศึกษาของ (เสกสรร บุญฉวี, 2011)

2.3.2 กระบวนการในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค VISSIM

ในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Traffic Micro Simulation Modeling Analysis Process) แบ่งออกได้เป็น 7 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.16 โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และขั้นตอนของการศึกษา (Identification of Project Purpose, Scope and Approach) เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการกำหนดเป้าหมาย กำหนดทรัพยากร (ค่าใช้จ่ายและเวลา) และวางแผนการบริหารจัดการในการศึกษา

- การสำรวจและรวบรวมข้อมูล รวมถึงการประมวลผลข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง (Data Collection and Preparation) เป็นขั้นตอนที่ต้องทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูล รวมถึงการประมวลผลข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาและการสอบเทียบแบบจำลอง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย ลักษณะทางเรขาคณิตและ การควบคุมการจราจรของโครงข่ายถนน ปริมาณจราจร เช่น รถยนต์ส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ รถบรรทุกขนาดกลางและใหญ่ พร้อมทั้งความต้องการในการเดินทางในสภาพปัจจุบันข้อมูลของการเดินทางรูปแบบอื่นๆ เช่น ระบบขนส่งสาธารณะ และคนเดินเท้า และข้อมูลที่ใช้สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง เช่นเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ความล่าช้าในการเดินทาง และความยาวแถวคอย เป็นต้น

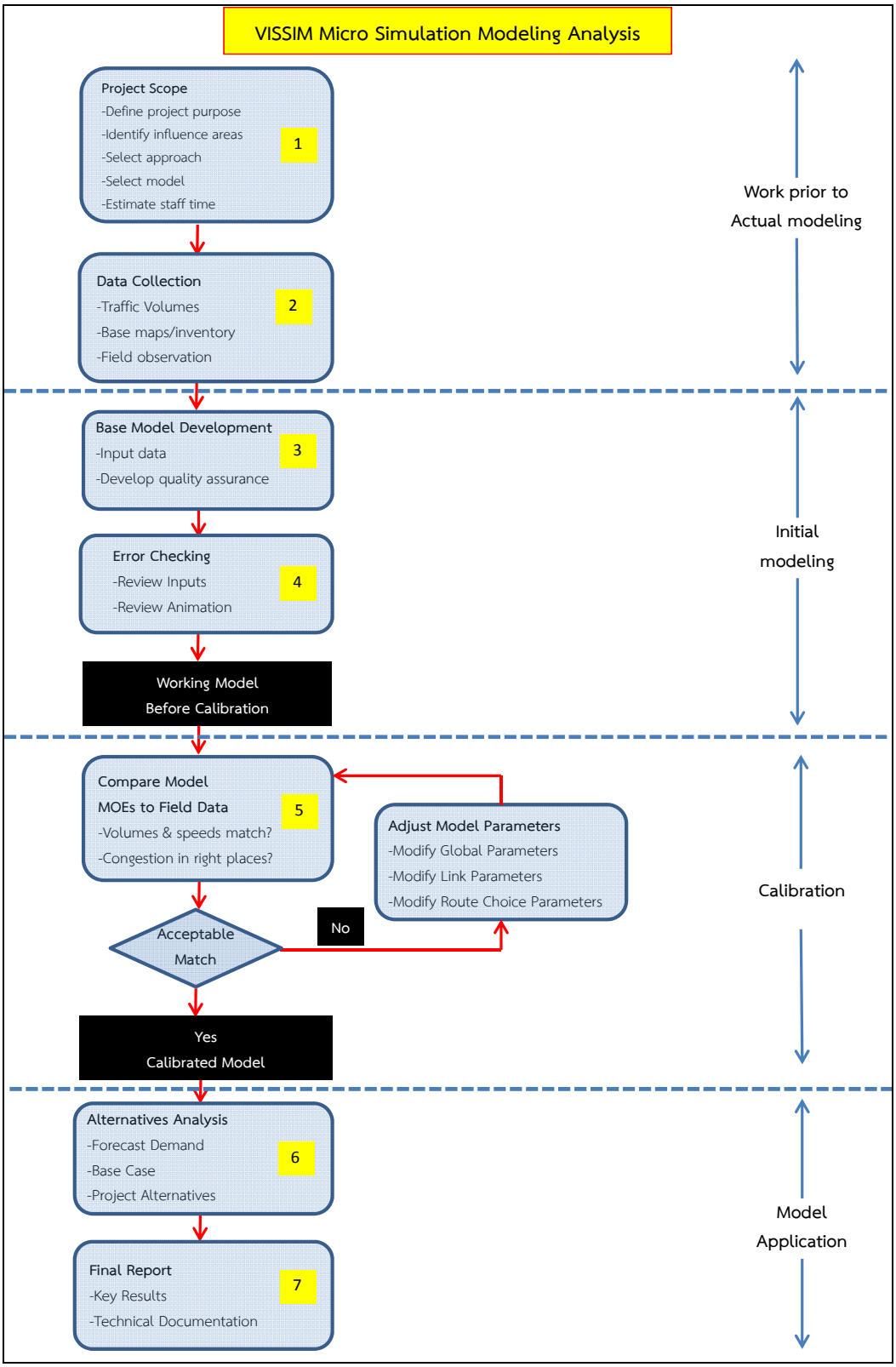
- การพัฒนาแบบจำลองฐาน (Base Model Development) การพัฒนาแบบจำลองมีลักษณะเป็นการสร้างชั้น (Layer) ของข้อมูลหลายๆ ชั้นซ้อนกัน โดยชั้นข้อมูลชั้นแรกที่ถูกสร้าง ได้แก่ Link-Node Diagram ซึ่งถือเป็นรากฐานของแบบจำลอง จากนั้นจะทำการสร้างชั้นข้อมูลอื่นๆ บน Link-Node Diagram โดยชั้นข้อมูลชั้นที่ 2 ที่ถูกสร้าง คือ ข้อมูลการควบคุมการจราจรและลักษณะการดำเนินการจราจรของแต่ละ Link เรียกว่า ชั้นโครงข่ายพื้นฐาน (Basic Network) ชั้นข้อมูลชั้นที่ 3 ที่ถูกสร้าง คือ ความต้องการและพฤติกรรมในการเดินทาง ซึ่งจะถูกเพิ่มเข้าไปในชั้นโครงข่ายพื้นฐาน และชั้นข้อมูลชั้นสุดท้ายของแบบจำลองสภาพการจราจร คือ ข้อมูลควบคุมการ Run แบบจำลองสภาพการจราจร

- การตรวจสอบหาข้อผิดพลาดของแบบจำลอง (Error Checking) เป็นขั้นตอนที่ต้องทำการตรวจสอบและค้นหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการสร้างชั้นของข้อมูลต่างๆ และการป้อนข้อมูลต่างๆ เข้าสู่แบบจำลอง

- การสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง (Model Calibration and Validation) เป็นขั้นตอนที่ทำการคัดเลือกตัวแปรด้านพฤติกรรมการขับขี่บางตัวแปรในแบบจำลอง และทำการปรับแก้ค่าตัวแปรดังกล่าว ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาพการจราจรของทั้งโครงข่ายถนน (Global Parameter) เช่น

ความเร็วที่ต้องการใช้ในการขับขี่ อัตราเร่งและอัตราหน่วงสูงสุดของยานยนต์ และเวลาห่างน้อยที่สุด เป็นต้น และตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาพการจราจรเฉพาะช่วงถนนช่วงใดช่วงหนึ่ง (Local Parameter) ซึ่งในการศึกษาส่วนใหญ่ ประกอบด้วย ความเร็วเฉลี่ยและปริมาณจราจรในทิศทางต่างๆ ที่ทางแยก ความยาวแถวคอยในแต่ละขาทางแยก พื้นที่ที่ใช้ในการเปลี่ยนช่องจราจร รวมถึงรอบสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกและที่จุดต่อเชื่อมเข้าสู่ทางด่วน เป็นต้น จากนั้นจึงทำการ Run แบบจำลอง แล้วนำค่าตัวชี้วัดที่ได้จากผลการจำลองไปเปรียบเทียบกับค่าตัวชี้วัดที่ได้จากการสำรวจ ถ้าพบว่า ผลการเปรียบเทียบมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งจะกระทำกระบวนการดังที่กล่าวมาในข้างต้นซ้ำอีก จนกระทั่งได้ค่าตัวแปรที่ให้ค่าตัวชี้วัดที่ได้จากการจำลองใกล้เคียงกับค่าตัวชี้วัดที่ได้จากการสำรวจมากที่สุด นอกจากนี้ ยังต้องทำการทวนสอบความถูกต้องของค่าตัวแปรที่ได้ โดยการ Run แบบจำลอง โดยใช้ค่าตัวแปรที่ให้ผลการเปรียบเทียบที่ดีที่สุด กับข้อมูลเงื่อนไขการจราจรชุดใหม่ แล้วนำค่าตัวชี้วัดที่ได้จากการจำลองไปเปรียบเทียบกับค่าตัวชี้วัดที่ได้จากการสำรวจของข้อมูลเงื่อนไขการจราจรชุดใหม่ ถ้าผลการเปรียบเทียบมีค่าแตกต่างอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ค่าตัวแปรดังกล่าวจะถูกยอมรับให้นำไปใช้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรต่อไป

- การทดสอบกับทางเลือกที่ถูกนำเสนอ (Alternatives Testing) เป็นขั้นตอนที่ต้องประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรในการประเมินแบบหลายทางเลือก โดย ผู้ศึกษาจะต้องทำการพัฒนาแบบจำลองของทางเลือกทุกทางเลือกที่ถูกนำเสนอ และทำการ Run แบบจำลองทุกแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่ โดยใช้ค่าตัวแปรที่ได้จากกระบวนการสอบเทียบกับเงื่อนไขการจราจรที่ต้องการทดสอบ จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งาน ด้านการจราจรที่ได้จากการ Run แบบจำลองของทางเลือกทุกทางเลือกและทำการประเมินหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดต่อไป
- การจัดทำรายงานสรุปผลการศึกษา และรายงานทางด้านเทคนิคของการศึกษา (Final Report and Technical Documentation เป็นขั้นตอนที่ต้องจัดทำรายงานทั้งทางด้านเทคนิคในการพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง รายงานสรุปผลผลการสอบเทียบแบบจำลอง และผลการวิเคราะห์ทางเลือกต่างๆ ที่ถูกนำเสนอรวมถึงการจัดเตรียมข้อมูลและวิธีการนำเสนอผลการศึกษา



รูปที่ 2.16 แผนผังกระบวนการในการพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Dowling et al., 2004)