แบบจำลองจราจรสำหรับระบบทางด่วนเขตกรุงเทพมหานคร

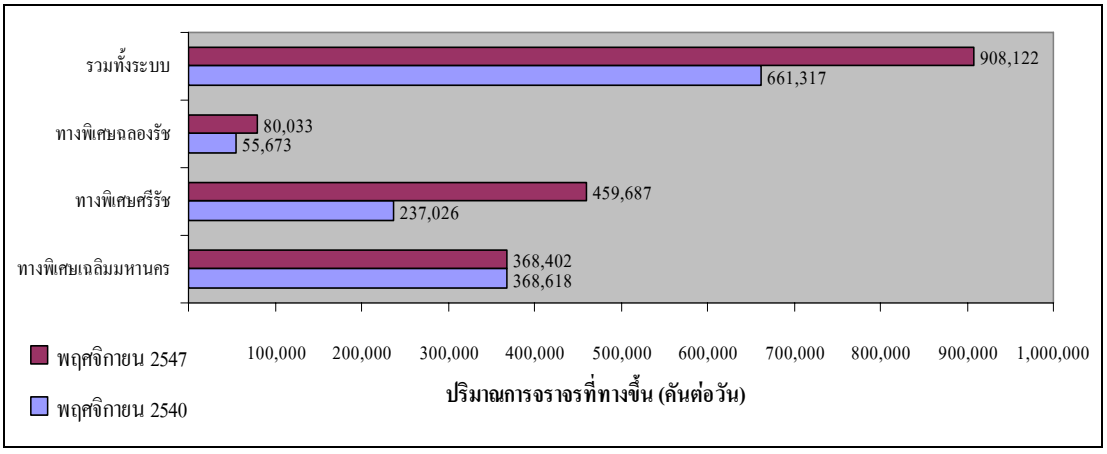
Traffic Model for Greater Bangkok Expressway System

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาจึงมีการเจริญเติบโตและขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการคมนาคมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาประเทศ เพราะก่อให้เกิดความสะดวกสบายในการติดต่อสื่อสาร และสืบเนื่องจากการเจริญเติบโตและการขยายตัวทางเศรษฐกิจนี้เอง จึงทำให้กรุงเทพมหานครที่เป็นเมืองหลวงของประเทศไทย และเป็นแหล่งศูนย์รวมความเจริญในด้านต่างๆ มีปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดปัญหาการจราจรรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ไม่ว่าจะเป็นการลดปริมาณผลิตผล การเพิ่มต้นทุนในการขนส่งสินค้า ส่งผลกระทบต่อการลงทุนและการท่องเที่ยว การสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนั้นยังก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ปัญหาความยากลำบากในการเข้าออกพื้นที่รวมทั้งเป็นอันตรายต่อคนเดินเท้า ปัญหาอุบัติเหตุ คุณภาพชีวิต สุขภาพ และความเป็นอยู่ของประชาชน เป็นต้น แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงเกิดขึ้นหลายแนวทางเลือก เพื่อลดความแออัดบนท้องถนน เช่น การควบคุมความต้องการในการเดินทาง(Traffic Demand Management) การจัดการระบบการจราจร (Traffic Management System) การปรับปรุงระบบขนส่งมวลชนสาธารณะ ทั้งระบบรถไฟฟ้าบีทีเอส ระบบรถไฟฟ้าใต้ดินและการก่อสร้างสายทางเพิ่มรวมถึงการก่อสร้างระบบโครงข่ายทางพิเศษ เป็นต้น โครงข่ายทางพิเศษเป็นทางเลือกหนึ่งในการเดินทางของประชาชนที่ใช้รถยนต์ในการเดินทางเข้าสู่ใจกลางเมืองได้โดยสะดวกและรวดเร็ว บรรเทาปัญหาการจราจรในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงเวลาเร่งด่วน นอกจากนั้นยังช่วยลดจำนวนยวดยานพาหนะบนถนนสายหลักอื่นๆได้อีกด้วย

ปัจจุบันมีการขยายโครงข่ายระบบทางพิเศษครอบคลุมทั่วพื้นที่เขตเมืองเพื่อช่วยบรรเทาปัญหาการจราจรในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลและมีส่วนช่วยยกระดับการขนส่งและจราจรให้กับประเทศอีกด้วย แต่ปัจจุบันพบว่า ปริมาณจราจรมีการเติบโตขึ้นค่อนข้างสูงในบางพื้นที่บนระบบทางพิเศษ เช่นระบบทางพิเศษศรีรัชมีปริมาณการจราจรสูงถึง 459,687 คันต่อวัน (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2547) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณการจราจรปี พ.ศ. 2540

บนระบบทางพิเศษขั้นเดียวกันมีปริมาณจราจรเพียง 237,026 คันต่อวัน (การทางพิเศษฯ, 2540) หรือเมื่อพิจารณาทั่วทั้งระบบโครงข่ายพบว่า มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความต้องการการเข้าใช้ระบบค่อนข้างสูง ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบปริมาณการจราจรที่ทางขึ้นบนระบบทางพิเศษทั้ง 3 สายทางในปี พ.ศ.2540 และปี พ.ศ.2547 หากย้อนกลับมาพิจารณาสภาพการจราจรในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการให้บริการของระบบมีค่าลดลงลงโดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน บางพื้นที่ต้องเผชิญกับสภาวะการจราจรที่คับคั่งเป็นพื้นที่กว้าง เช่น บริเวณทางแยกต่างระดับท่าเรือ ที่ต้องเผชิญกับสภาวะการจราจรที่คับคั่ง เนื่องจากปริมาณความต้องการในการเข้าใช้ระบบค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วนของวันและบริเวณสะพานพระราม 9 ทิศทางเข้าเมืองในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า เนื่องจากเกิดสภาวะคอขวดดังแสดงในภาพที่ 2 สภาพการจราจรบนโครงข่ายทางพิเศษที่แออัดคับคั่งอย่างนี้ หากมีอะไรมากระทบทำให้โครงข่ายทางพิเศษมีปัญหา เช่น เกิดอุบัติเหตุจราจร เหตุการณ์ยวดยานขัดข้อง ผิวจราจรมีความเสียหายหรือมีน้ำท่วมขัง ฝนตกหรือมีหมอกควัน เป็นต้น เหตุการณ์เหล่านั้นจะทำให้ผู้ใช้ทางต้องใช้เวลาในการเดินทางมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีผลกระทบต่อสังคมส่วนรวม ด้วยเหตุที่ได้กล่าวมาทั้งหมดร่วมกับการคำนึงถึงผลที่จะเกิดขึ้นในระยะยาว การศึกษาถึงมาตรการการจัดการบริหารระบบการจราจรบนระบบทางพิเศษ จึงเป็นจุดเริ่มต้นที่จำเป็นและต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง



<u>ภาพที่ 1</u> ปริมาณจราจรที่ทางขึ้นบนระบบทางพิเศษปี พ.ศ. 2540 และ 2547
ที่มา: การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2547)

<u>ภาพที่ 2</u> สภาพการจราจรที่แออัดและคับคั่งบนระบบทางพิเศษ
ที่มา: การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2547)

ดังนั้นเพื่อให้การวางแผนและการพัฒนาระบบทางพิเศษให้มีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาสภาพการจราจรและประเมินประสิทธิภาพของระบบทางพิเศษ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาวิเคราะห์และใช้เป็นฐานข้อมูลในการวางแผนการจัดการระบบการจราจรบนระบบทางพิเศษให้มีประสิทธิภาพเพื่อลดปัญหาการจราจรบนระบบทางพิเศษ

การวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่จะพัฒนาแบบจำลองจราจรบนระบบทางพิเศษและประยุกต์ใช้งานแบบจำลองจราจรโดยการจำลองสถานการณ์การเกิดอุบัติการณ์จราจรบนระบบทางพิเศษเพื่อประเมินผลกระทบทางด้านการจราจรและเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้แบบจำลองจราจรที่พัฒนาขึ้นนี้ยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการวางแผนการจัดการระบบการจราจรบนทางพิเศษให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแบบจำลองการจราจรในระดับจุลภาคบนระบบทางพิเศษเขตกรุงเทพมหานครเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สภาพการจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วนของวัน

2. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองจราจรกับการเกิดอุบัติการณ์บนระบบทางพิเศษ สำหรับเสนอแนะการปรับปรุงและพัฒนาระบบทางพิเศษให้มีประสิทธิภาพ

3. เพื่อศึกษาผลกระทบทางด้านจราจรและด้านเศรษฐศาสตร์ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดอุบัติการณ์จราจรบนระบบทางพิเศษของแต่ละกรณีวิเคราะห์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แบบจำลองจราจรที่ได้สามารถนำไปใช้ทดสอบมาตรการต่าง ๆ ด้านการจราจร เป็นการไม่กระทบกระเทือนต่อสภาพการจราจร อีกทั้งยังสามารถหาตัวชี้วัดสภาพการจราจรสำหรับใช้ประกอบในการตัดสินใจและกำหนดนโยบายต่อไปได้

2. เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงระบบทางพิเศษให้มีประสิทธิภาพ เช่น การปรับปรุงงานทางด้านวางแผนการกู้ภัยและงานซ่อมบำรุงรักษาบนระบบทางพิเศษ เป็นต้น

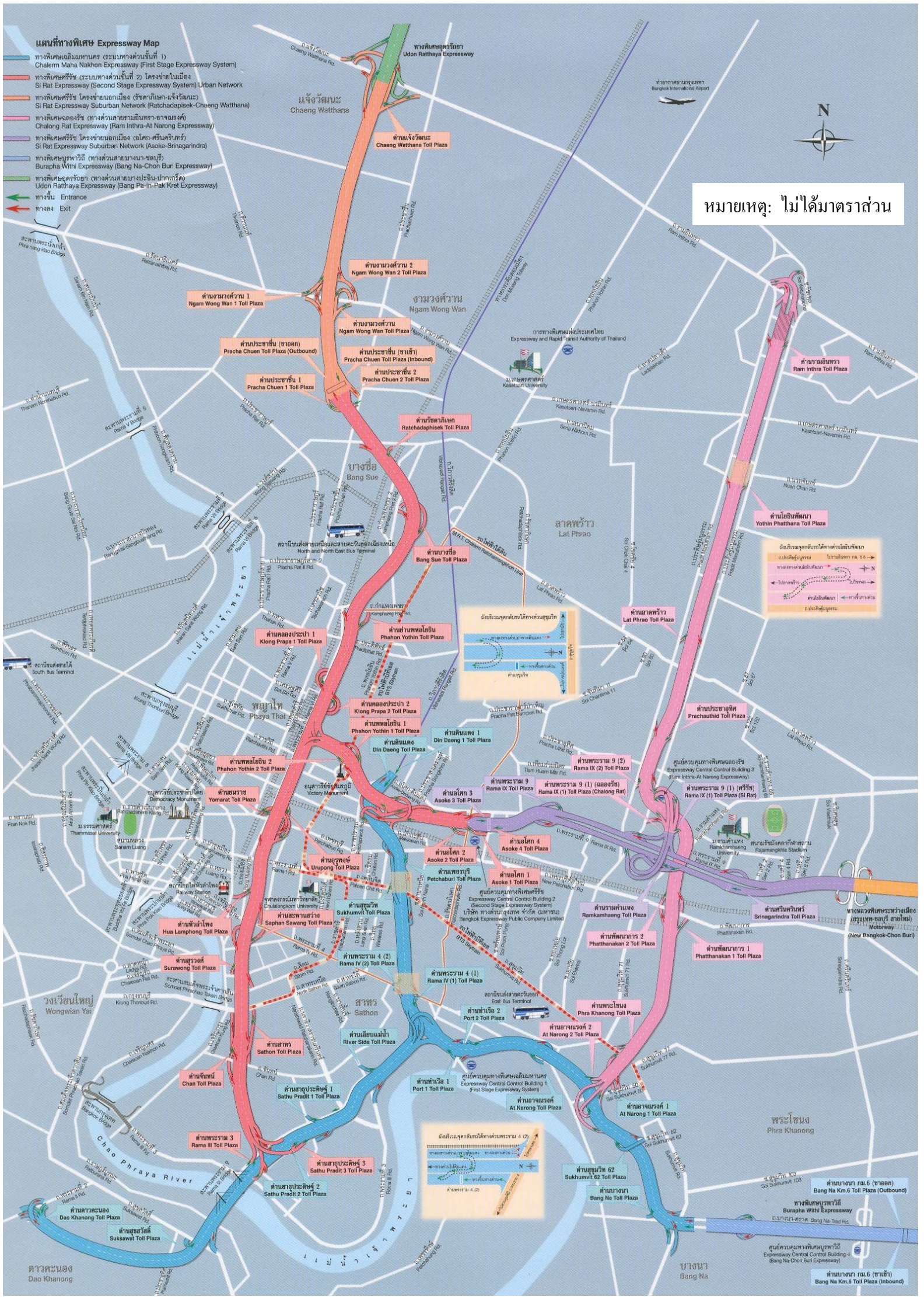
3. เป็นข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการอุบัติการณ์จราจรบนทางพิเศษ (Freeway Incident Management)

ข้อจำกัดของงานวิจัย

เนื่องจากการวิจัยจำเป็นต้องใช้ข้อมูลด้านการวางแผนขนส่งและการจราจรค่อนข้างมาก ดังนั้นการวิจัยนี้จึงใช้ข้อมูลต่าง ๆ เช่น ปริมาณการจราจรที่ใช้ระบบทางพิเศษ (O-D Ramp Matrix) ข้อมูลการสำรวจความเร็วและระยะเวลาในการเดินทางบนทางพิเศษของการทางพิเศษฯ ที่มีอยู่ให้เหมาะสมเพื่อลดระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการศึกษา

ขอบเขตและพื้นที่ศึกษา

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาการพัฒนาแบบจำลองจราจรในระดับจุลภาคโดยการใช้โปรแกรม Paramics เพื่อจำลองสภาพการจราจรบนทางพิเศษเฉลิมมหานคร (ระบบทางด่วนขั้นที่ 1) ทางพิเศษศรีรัช (ระบบทางด่วนขั้นที่ 2) เฉพาะส่วน A B และ C และทางพิเศษฉลองรัช (ระบบทางด่วนสายรามอินทรา-อาจณรงค์) ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 พื้นที่ศึกษา

การตรวจเอกสาร

1. <u>การศึกษาสภาพปัจจุบันของระบบทางด่วน</u>

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย เป็นรัฐวิสาหกิจที่ก่อตั้งขึ้นตามประกาศของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 290 ลงวันที่ 27 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2515 ให้ดำเนินการในรูปของรัฐวิสาหกิจ สังกัดกระทรวงคมนาคม โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะดำเนินการก่อสร้างหรือจัดให้มีทางพิเศษ บำรุงรักษาทางพิเศษ จัดดำเนินการหรือควบคุมธุรกิจเกี่ยวกับระบบการขนส่งมวลชน ตลอดจนดำเนินงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับทางพิเศษ เพื่ออำนวยความสะดวกและความรวดเร็วในการจราจรและการขนส่งเป็นพิเศษ ช่วยขจัดปัญหาและอุปสรรคในส่วนที่เกี่ยวกับเส้นทางคมนาคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งปัจจุบันทางด่วนหรือทางพิเศษได้เปิดให้บริการแล้วมี 5 สายทาง รวมระยะทางทั้งหมด 171.2 กิโลเมตรและมีการดำเนินการในด้านต่างๆ ดังนี้

1. ทางพิเศษเฉลิมมหานคร (ระบบทางด่วนขั้นที่ 1) มีระยะทางรวมทั้งหมด 27.1 กิโลเมตร ประกอบด้วย

- สายดินแดง - ท่าเรือ มีระยะทาง 8.9 กิโลเมตร
- สายบางนา - ท่าเรือ มีระยะทาง 7.9 กิโลเมตร
- สายดาวคะนอง - ท่าเรือ มีระยะทาง 10.3 กิโลเมตร

2. ทางพิเศษศรีรัช (ระบบทางด่วนขั้นที่ 2) มีระยะทางรวมทั้งหมด 38.4 กิโลเมตร ประกอบด้วย

- ส่วน A เริ่มจากถนนรัชดาภิเษกผ่านทางแยกต่างระดับพญาไทถึงถนนพระราม 9 มีระยะทาง 12.4 กิโลเมตร
- ส่วน B สายหลัก มีแนวเชื่อมต่อกับส่วน A ที่บริเวณทางแยกต่างระดับพญาไทแล้วไปเชื่อมต่อกับทางพิเศษเฉลิมมหานครที่บริเวณบางโคล่ มีระยะทาง 9.4 กิโลเมตร
- ส่วน C เชื่อมกับทางพิเศษส่วน A โดยเริ่มจากถนนรัชดาภิเษกถึงถนนแจ้งวัฒนะ มีระยะทาง 8.0 กิโลเมตร

- ส่วน D เริ่มจากถนนพระราม 9 ถึงถนนศรีนครินทร์ มีระยะทาง 8.6 กิโลเมตร

4. ทางพิเศษฉลองรัช (ทางด่วนสายรามอินทรา - อาจณรงค์) มีจุดเริ่มต้นจากถนนรามอินทรา กิโลเมตรที่ 5.5 ถึงอาจณรงค์ มีระยะทางรวมทั้งหมด 18.7 กิโลเมตร โดยมีถนนประดิษฐ์มนูธรรมขนานขนาบข้างจากรามอินทราไปถึงเอกมัย

5. ทางพิเศษบูรพาวิถี (ทางด่วนสายบางนา - ชลบุรี) มีระยะทางรวมทั้งหมด 55 กิโลเมตร เริ่มต้นที่บริเวณถนนบางนา - ตราด (กม. 2 + 500) ไปถึงชลบุรี (กม. 55 + 350)

6. ทางพิเศษอุดรรัถยา (ทางด่วนสายบางปะอิน - ปากเกร็ด) มีระยะทางรวมทั้งหมด 32 กิโลเมตร เริ่มต้นจากถนนแจ้งวัฒนะ - บางไทร โดยระยะที่ 1 เริ่มต้นจากถนนแจ้งวัฒนะ - เชียงราก และต่อเชื่อมกับถนนทางเข้ามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) มีระยะทาง 22 กิโลเมตร และระยะที่ 2 จากเชียงราก - บางไทร มีระยะทาง 10 กิโลเมตร

7. ระบบเก็บค่าผ่านทางจะมีลักษณะเป็นด่านเก็บเงินค่าผ่านทาง (Toll Plazas) และในแต่ละด่านจะมีช่องเก็บเงิน (Booths) ใช้ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบใช้พนักงานเก็บเงิน (Manual Toll Collection) ร่วมกับระบบเก็บค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Toll Collection) ที่ใช้บัตรทางด่วน (TAG) สำหรับการคิดอัตราค่าผ่านทางจะแบ่งเป็น 3 ระดับตามประเภทของรถ ได้แก่ รถ 4 ล้อ รถ 6-10 ล้อ และรถมากกว่า 10 ล้อ ซึ่งมีอัตราค่าผ่านทางดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราค่าผ่านทางพิเศษ

(หน่วย: บาท)

ทางพิเศษ	อัตราค่าผ่านทางแยกตามประเภทรถ		
	4 ล้อ	6 - 10 ล้อ	มากกว่า 10 ล้อ
ทางพิเศษเฉลิมมหานคร(ระบบทางด่วนขั้นที่ 1)	40	60	85
ด่านอาจณรงค์ 1 (บางนา)	30	50	75
ทางพิเศษศรีรัช (ระบบทางด่วนขั้นที่ 2)	40	60	85
ด่านศรีนครินทร์ ด่านรามคำแหง ด่านพระราม 9 ด่านอโศก 3	25	45	60
ด่านพระราม 9-1 (ศรีรัช)	15	35	50
ด่านประชาชื่น(ขาเข้า)	50	75	110
ด่านประชาชื่น(ขาออก)	10	15	25
ด่านประชาชื่น 1 ด่านประชาชื่น 2	15	20	30
ด่านงามวงศ์วาน 1 (ขาออก) ด่านงามวงศ์วาน 2 (ขาเข้า)	15	20	30
ทางพิเศษฉลองรัช (ทางด่วนสายรามอินทรา-อาจณรงค์)	30	50	70
ด่านลาดพร้าว ด่านพระราม 9-1 (ฉลองรัช) ด่านพระราม 9-2	20	40	60
ทางพิเศษอุดรรัถยา (ทางด่วนสายบางปะอิน-ปากเกร็ด)			
ด่านเมืองทองธานี	20	40	60
ด่านศรีสมาน	25	50	75
ด่านบางพูน ด่านเชียงราก	30	60	90
ด่านบางปะอิน	35	70	105
ทางพิเศษบูรพาวิถี (ทางด่วนสายบางนา- ชลบุรี)			
สำหรับ 20 กิโลเมตร (กม.) แรก	20	40	60
กิโลเมตรต่อไป เพิ่มกิโลเมตรละ	1	2	3

ที่มา: การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2547)

8. สิ่งอำนวยความสะดวกที่ให้บริการบนทางพิเศษ ประกอบด้วย

8.1 การตรวจสอบสภาพการจราจรและสอบถามเส้นทางผ่านทางเว็บไซต์ www.eta.co.th โดยการทางพิเศษฯ ได้จัดทำแผนที่แบบโต้ตอบได้ (Interactive Map) เพื่อให้ผู้ใช้บริการได้สอบถามข้อมูลเส้นทางและจุดขึ้นลง รวมทั้งเป็นการแนะนำสถานที่สำคัญต่างๆ ที่ใกล้ทางพิเศษ เช่น โรงแรม โรงพยาบาล สถานีตำรวจ โรงเรียน สถานที่ราชการ แหล่งท่องเที่ยว เป็นต้น และรายงานสภาพจราจรเป็นข้อมูลปัจจุบันให้ผู้ใช้บริการและประชาชนที่สนใจได้ศึกษาเพื่อความสะดวกในการวางแผนก่อนการเดินทาง

8.2 ศูนย์บริการข้อมูลผู้ใช้ทางพิเศษ (ETA Call Center) เป็นการบริการให้ผู้ใช้บริการทางพิเศษสามารถสอบถามเส้นทาง ข้อมูลด้านการจราจร รวมทั้งความช่วยเหลือกรณีรถขัดข้องหรือเกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษ ตลอดจนรับข้อร้องเรียน ข้อเสนอแนะต่างๆได้ตลอด 24 ชั่วโมง ผ่านโทรศัพท์หมายเลข 1543

8.3 โทรศัพท์ฉุกเฉิน เป็นโทรศัพท์ที่ติดตั้งอยู่บนขอบทางด้านซ้ายของทางพิเศษที่เปิดให้บริการทุกระบบ ดังนี้

- ทางพิเศษเฉลิมมหานคร ติดตั้งไว้ทุกๆ ระยะ 1 กิโลเมตร จำนวนทั้งสิ้น 51 จุด
- ทางพิเศษศรีรัช ติดตั้งไว้ทุก ๆ ระยะ 1 กิโลเมตร จำนวนทั้งสิ้น 58 จุด
- ทางพิเศษฉลองรัช ติดตั้งไว้ทุก ๆ ระยะ 500 เมตร จำนวนทั้งสิ้น 72 จุด
- ทางพิเศษบูรพาวิถี ติดตั้งไว้ทุก ๆ ระยะ 500 เมตร จำนวนทั้งสิ้น 216 จุด
- ทางพิเศษอุดรรัถยา ติดตั้งไว้ทุก ๆ ระยะ 1 กิโลเมตร จำนวนทั้งสิ้น 70 จุด

กรณีผู้ใช้บริการมีความประสงค์จะขอความช่วยเหลือ เพียงแค่ยกหูหรือกดปุ่มโทรศัพท์สัญญาณจะปรากฏที่ศูนย์ควบคุมทางพิเศษ ซึ่งพนักงานจะทราบได้ทันทีว่ามีเหตุฉุกเฉินหรือเกิดอุบัติเหตุที่จุดใดของระบบทางพิเศษ

8.4 ป้ายสัญญาณปรับได้ (Matrix Sign) เป็นป้ายสัญญาณที่ติดตั้งบริเวณเกาะกลางของทางพิเศษเป็นระยะ ๆ ข้อมูลส่วนใหญ่ที่ปรากฏบนป้ายสัญญาณดังกล่าวจะเป็นตัวเลขแสดง

ความเร็วที่ควรใช้บนทางพิเศษในกรณีฝนตกหรือมีหมอกหนาแน่น เป็นต้น นอกจากนี้ยังแสดงสัญลักษณ์บอกสภาพของช่องทางวิ่งทั้ง 3 ช่อง ว่าเปิดหรือปิด เช่น รูปตัวไอ (I) แสดงว่าเปิด ถ้าเป็นรูปตัวที (T) แสดงว่าปิด ทั้งนี้เพื่อเป็นการแจ้งหรือเตือนให้ผู้ใช้ทางทราบล่วงหน้า

8.5 ป้ายปรับเปลี่ยนข้อความ (Variable Message Sign: VMS) เป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ที่บอกข้อมูลต่าง ๆ ให้ผู้ใช้บริการสามารถทราบสภาพการจราจรได้ล่วงหน้าซึ่งส่วนใหญ่จะบอกสภาพการจราจรที่มีปัญหาหรือคำแนะนำต่าง ๆ โดยตำแหน่งการติดตั้งส่วนใหญ่จะติดตั้งก่อนถึงทางแยกต่างระดับหรือทางขึ้นทางด่วน

8.6 ป้ายบอกทาง (Overhead Sign) เป็นป้ายสีเขียวสำหรับบอกทางบนทางพิเศษเป็นระยะ ๆ เพื่อให้ผู้ใช้บริการได้เตรียมตัวและสามารถเข้าช่องทางไปสู่จุดหมายปลายทางได้ถูกต้อง

8.7 ป้ายแนะนำทางออกทางพิเศษ (Exit No.) คือป้ายบอกลำดับทางลงของทางพิเศษซึ่งติดตั้งอยู่ที่ด้านซ้ายของป้ายบอกทาง (Overhead Sign) ก่อนทางออกเป็นระยะ ๆ ได้แก่ 1,000 เมตร 500 เมตรและก่อนทางออก มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นสื่อข้อความบอกทางลงที่ชัดเจนและเข้าใจง่าย เพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถเตรียมตัวเข้าช่องทางให้ถูกต้องได้ล่วงหน้าก่อนถึงทางลงโดยจะมีคู่มือกำกับเลขทางลงและชื่อสถานที่ของจุดลงแจกผู้ใช้บริการที่ตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ

8.8 โทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) จะถูกติดตั้งบนทางพิเศษเป็นระยะ ๆ ตลอดแนวเส้นทางบนทางพิเศษทุกสาย เพื่อให้เห็นสภาพการจราจรบนทางพิเศษตลอด 24 ชั่วโมง

8.9 ศูนย์ควบคุมการจราจรบนระบบทางพิเศษ มีทั้งหมด 5 แห่งได้แก่

- ศูนย์ควบคุมทางพิเศษเฉลิมมหานคร (CCB1)
- ศูนย์ควบคุมทางพิเศษศรีรัช (CCB2)
- ศูนย์ควบคุมทางพิเศษฉลองรัช (CCB3)
- ศูนย์ควบคุมทางพิเศษบูรพาวิถี (CCB4)
- ศูนย์ควบคุมทางพิเศษอุดรรัถยา (CCB5)

ปัจจุบันทางพิเศษได้เปิดให้บริการไปแล้วระยะทางรวม 171.2 กิโลเมตรซึ่งเป็นโครงข่ายในเขตเมืองร่วมกับโครงข่ายทางพิเศษวงแหวนในเมืองระหว่างทางพิเศษเฉลิมมหานครและทางพิเศษศรีรัช ประกอบกับมีทางพิเศษฉลองรัชรองรับการจราจรในแนวเหนือใต้ มีทางพิเศษอุดรรัถยา รองรับการจราจรทางด้านทิศเหนือ และมีทางพิเศษบูรพาวิถีรองรับการจราจรทางด้านตะวันออกของกรุงเทพมหานครด้วย จึงทำให้การไหลเวียนของจราจรบนทางพิเศษและโครงข่ายถนนของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีความคล่องตัวยิ่งขึ้น ขณะนี้มีปริมาณรถที่เข้าใช้ทางพิเศษเฉลิมมหานครและทางพิเศษศรีรัช เฉลี่ยวันละประมาณ 600,000 เที่ยว ทางพิเศษฉลองรัช เฉลี่ยวันละประมาณ 40,000 เที่ยว ทางพิเศษอุดรรัถยา เฉลี่ยวันละประมาณ 20,000 เที่ยวและทางพิเศษบูรพาวิถี เฉลี่ยวันละประมาณ 25,000 เที่ยว

<u>คำนิยามเกี่ยวกับการศึกษาด้านการจราจร</u>

Transportation Research Board (2000) Highway Capacity Manual ได้ให้คำนิยามเกี่ยวกับการศึกษาด้านการจราจรไว้ดังนี้

1. สิ่งอำนวยความสะดวก (Facility) ได้แก่ สิ่งก่อสร้าง หรืออุปกรณ์ทุกชนิดที่เกี่ยวกับการจราจร ทั้งของยานพาหนะ และผู้ใช้ทาง เช่น ถนน ป้ายสัญญาณ หรือสัญญาณไฟ ทางข้ามทางเดิน ทางรถจักรยาน ป้ายรถประจำทาง ฯลฯ สิ่งอำนวยความสะดวกด้านการจราจร แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

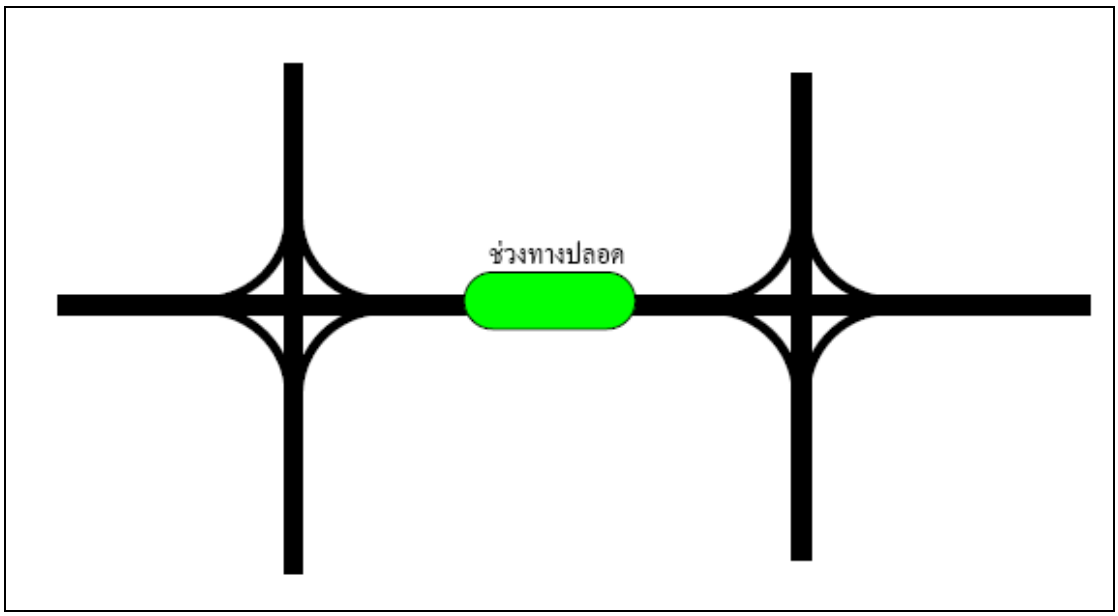
1.1 สิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อการไหลอย่างต่อเนื่อง (Uninterrupted Flow Facilities) คือ สิ่งอำนวยความสะดวกที่ไม่มีสิ่งก่อสร้าง หรืออุปกรณ์ใดๆ ที่อยู่นอกกระแสจราจรที่จะมารบกวนการไหลของกระแสจราจร เช่น ไม่มีสัญญาณไฟจราจรซึ่งถือเป็นอุปกรณ์ที่อยู่นอกกระแสจราจร ดังนั้นกระแสจราจรจะเป็นอย่างไรขึ้นอยู่กับปฏิกริยาซึ่งกันและกันของยานพาหนะในกระแสจราจรและปฏิกริยาซึ่งกันและกัน (Interactions) ของยานพาหนะกับสภาพทางกายภาพและสิ่งแวดล้อมของถนนเอง

1.2 สิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อการไหลอย่างไม่ต่อเนื่อง (Interrupted Flow Facilities) คือ สิ่งอำนวยความสะดวกที่มีสิ่งก่อสร้าง หรืออุปกรณ์ใดๆ ที่อยู่นอกกระแสจราจรที่จะมารบกวนการ

ไหลของกระแสจราจรเป็นครั้งคราว เช่น มีสัญญาณไฟจราจร ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะทำให้กระแสจราจรหยุดชะงัก หรือไหลช้าลง

2. ทางด่วน (Freeway) หมายถึง ถนนหรือทางที่มีการแบ่งช่องทางหรือทิศทางการจราจรอย่างชัดเจน ในแต่ละทิศทางจะมีช่องจราจร 2 ช่อง หรือมากกว่า มีการควบคุมการเข้าและออกทางด่วนอย่างสมบูรณ์ (Full Control of Access) ทางด่วนเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกประเภทเดียวที่จัดได้ว่าให้บริการชนิดการไหลอย่างต่อเนื่อง (Uninterrupted Flow) ไม่มีการรบกวนจากสิ่งภายนอกระบบการไหลของกระแสจราจร เช่น ป้ายสัญญาณไฟจราจร การเข้าออกทางด่วนกระทำได้เฉพาะบริเวณที่กำหนดไว้ให้เท่านั้น เช่น ที่ทางเชื่อม (Ramp) ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้ออกแบบให้ยานพาหนะสามารถใช้ความเร็วได้สูงในการเข้าออกทางด่วน กล่าวคือให้กระทบกระเทือนการไหลของกระแสจราจรของทางด่วนน้อยที่สุด ดังนั้นความเป็นไปได้หรือการดำเนินการของระบบทางด่วนจะขึ้นอยู่กับการไหลของกระแสจราจร คือปฏิกิริยาซึ่งกันและกันระหว่างยานพาหนะต่างๆ ในกระแสจราจรเป็นสำคัญ แต่สิ่งที่ไม่ควรละเลย คือ ลักษณะทางเรขาคณิตของทางด่วนเอง ตลอดจนสภาพแวดล้อม เช่น สภาพภูมิอากาศ แสงสว่าง สภาพผิวจราจร หรือปรากฏการณ์พิเศษใดๆ ที่สามารถรบกวนการไหลของกระแสจราจร ทางด่วนจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

2.1 ช่วงทางปลอด (Basic Freeway Segments) คือ ช่วงเส้นทางในระบบทางด่วนที่ไม่ถูกรบกวนเนื่องจากการเข้าออกของกระแสจราจร ณ บริเวณทางร่วม ทางเชื่อมเลย อีกทั้งไม่มีการเกิดการไขว้กัน หรือการเปลี่ยนช่องจราจรสลับกันของยานพาหนะ (Weaving) ณ บริเวณนี้ ดังแสดงในภาพที่ 4



<u>ภาพที่ 4</u> ทางด่วนช่วงทางปลอด

ที่มา: Transportation Research Board (2000)

เขตรบกวน (Influence Area) ในระบบการจราจรสามารถแยกตามประเภทของพื้นที่ได้ดังนี้

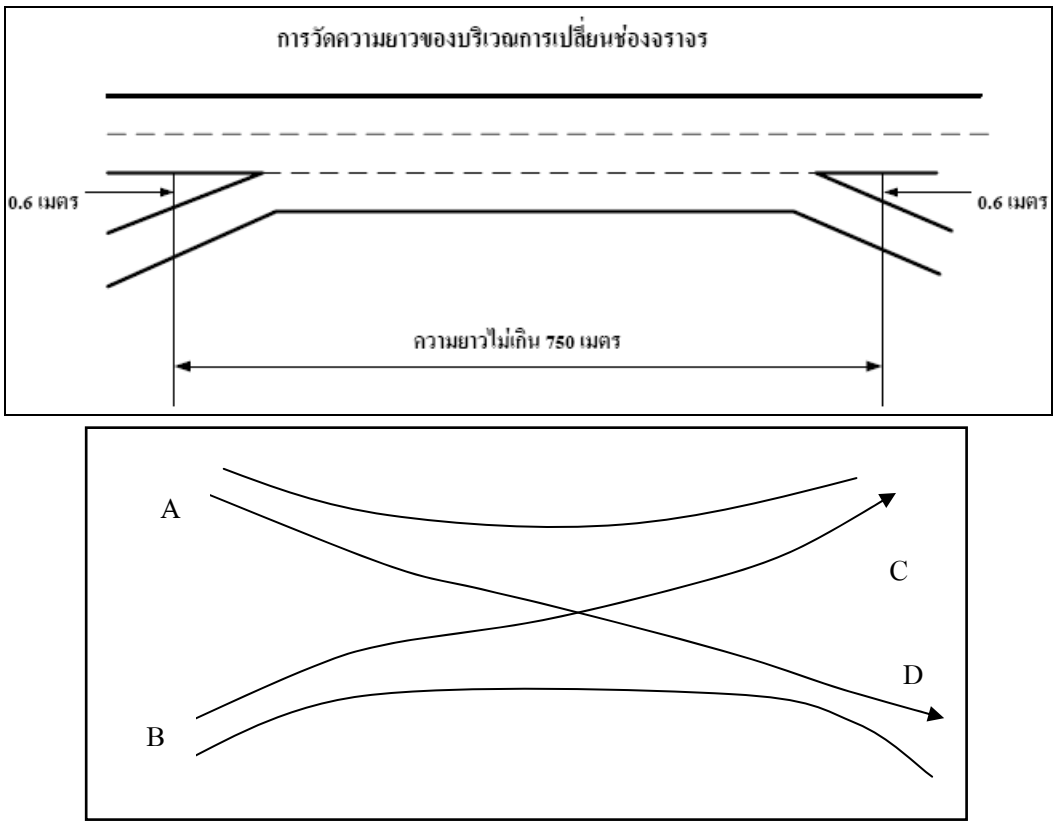
1) การเข้า (On Ramp) เขตการรบกวนจะครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ทางใต้กระแสจราจร (Downstream) ไปประมาณ 450 เมตร จากบริเวณทางเชื่อม (Ramp Junction)

2) การออก (Off Ramp) เขตการรบกวนจะครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ 450 เมตร เหนือกระแสจราจร (Upstream) จากจุดออก (Diverge Point) ถึงบริเวณทางเชื่อม (Ramp Junction)

3) บริเวณการเปลี่ยนช่องจราจร (Weaving Area) เขตการรบกวนในลักษณะเช่นนี้จะครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่จุดเข้า (Merge Point) ถึง จุดออก (Diverge Point) มีระยะไม่เกิน 750 เมตร

2.2 บริเวณการเปลี่ยนช่องจราจร (Weaving Area) คือ ส่วนของทางด่วนที่มีการเคลื่อนที่ไขว้กัน (Cross) ของการไหลของกระแสจราจร 2 กระแส หรือมากกว่า บริเวณดังกล่าวมักเกิดขึ้นเมื่อพื้นที่การเข้าสู่ (Merge Area) และพื้นที่ทางออก (Diverge Area) ทางด่วนที่อยู่ติดกัน

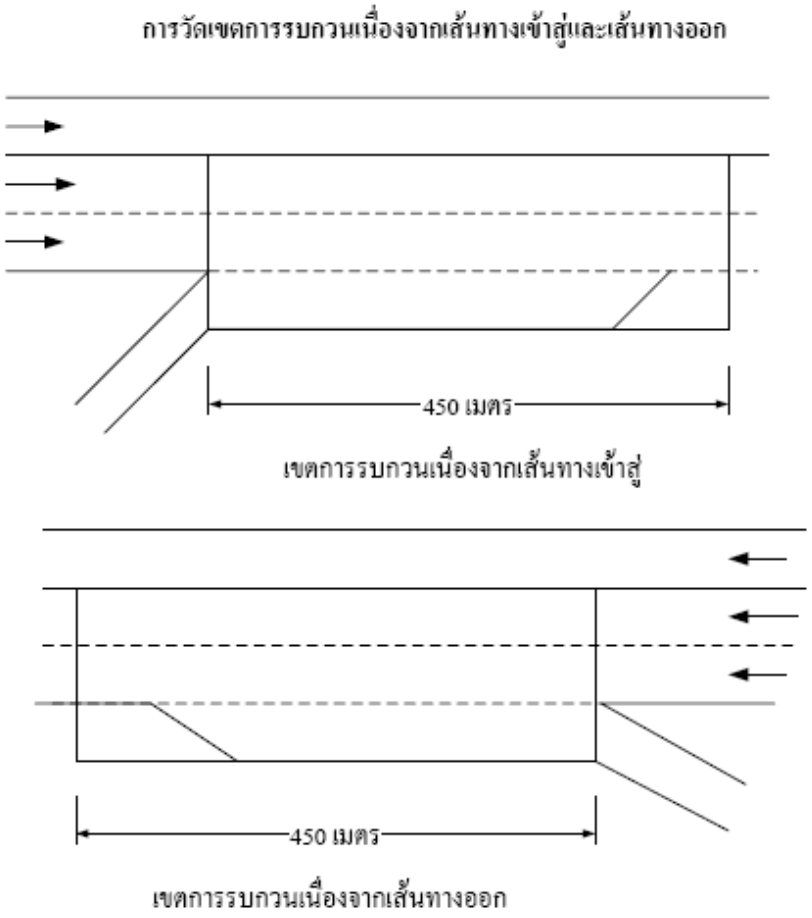
หรือเส้นทางการเข้าสู่ (On Ramp) และเส้นทางออก (Off Ramp) มีการเชื่อมด้วยช่องจราจรเสริมชนิดต่อเนื่อง (Continuous Auxiliary Lane) เพื่อระบายการจราจร ดังแสดงในภาพที่ 5



<u>ภาพที่ 5</u> ทางด่วนบริเวณการเปลี่ยนช่องจราจร

ที่มา: Transportation Research Board (2000)

2.3 บริเวณทางเชื่อม (Ramp Junction) คือ บริเวณหรือจุดที่เส้นทางการเข้าสู่ (On Ramp) หรือเส้นทางออก (Off Ramp) ตัดทางด่วน ณ บริเวณนี้ กระแสจราจรของทางด่วนจะถูกการจราจรเข้าออกรบกวนมาก ดังแสดงในภาพที่ 6



<u>ภาพที่ 6</u> ทางด่วนบริเวณทางเชื่อม

ที่มา: Transportation Research Board (2000)

3. ความเร็ว(Speed) คืออัตราการเคลื่อนที่ (Rate of Motion) มีหน่วยเป็นระยะทางต่อเวลา เช่น ไมล์ต่อชั่วโมง กิโลเมตรต่อชั่วโมง ฯลฯ

4. ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง (Average Travel Speed) หมายถึง ระยะทางช่วงหนึ่งที่กำหนดของถนนต่อเวลาเดินทางเฉลี่ย (Aveage Travel Time) ของยานพาหนะทั้งหมดที่แล่นผ่านช่วงระยะทางดังกล่าว ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางอาจเรียกว่าเป็นความเร็วเฉลี่ยตามระยะทาง

5. ความเร็วอิสระ (Free Flow Speed) หมายถึง ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนสิ่งอำนวยความสะดวกที่กำหนดให้โดยวัดภายใต้สภาพปริมาณจราจรต่ำ ผู้ขับขี่สามารถขับขี่ด้วยความเร็วได้ตามที่ต้องการ โดยที่ไม่ถูกจำกัดด้วยความล่าช้า

6. ระยะเวลาเดินทาง (Travel Time) หมายถึง เวลาทั้งหมดที่ใช้เพื่อการเดินทางซึ่งรวมความล่าช้าทั้งหมดด้วย

7. ปริมาณการจราจร (Traffic Volume) หมายถึง จำนวนยานพาหนะทั้งหมดที่แล่นผ่านจุดจุดหนึ่ง หรือระยะทางช่วงหนึ่งที่กำหนดของช่องจราจรหนึ่ง หรือของถนนสายหนึ่ง ภายในเวลาที่กำหนด (หนึ่งชั่วโมง หรือมากกว่า) ปริมาณกาจราจรสามารถระบุได้เป็น วัน เดือน ปี หรือแม้แต่เป็นรายชั่วโมง

8. Peak Hour Factor (PHF) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณการจราจรรายชั่วโมง (Hourly Volume) ต่ออัตราการไหลสูงสุดในช่วง 15 นาที ของชั่วโมงที่ทำการสำรวจ

PHF = ปริมาณการจราจรรายชั่วโมง/อัตราการไหลสูงสุดใน 1 ชั่วโมง

$$PHF = \frac{V}{4 \times V_{15}} \qquad (1)$$

โดยที่

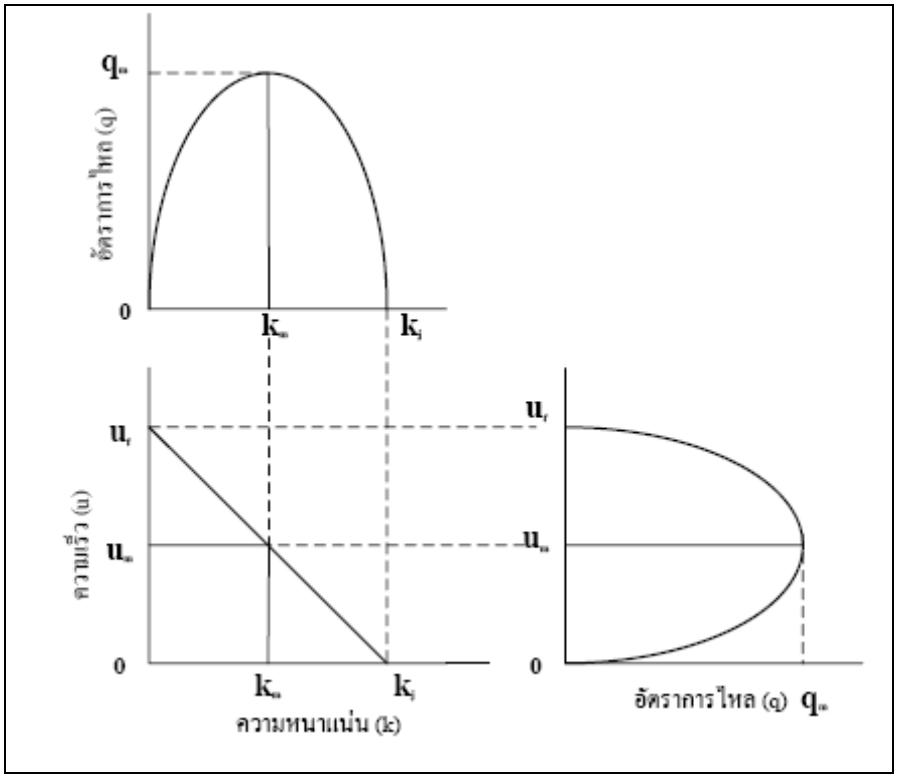
V = ปริมาณการจราจรรายชั่วโมง, คันต่อชั่วโมง

V_{15} = ปริมาณการจราจรในช่วง 15 นาที ที่มีปริมาณการจราจรสูงสุด , คันต่อ 15 นาที

ในการคำนวณ PHF โดยทั่วไปสามารถใช้ค่าปริมาณในช่วง 15 นาทีที่มีปริมาณการจราจรสูงสุด หรือ ในช่วง 15 นาทีใดๆ ที่น่าสนใจก็ได้

9. อัตราการไหล (Flow Rate) คือ ค่าเทียบเป็นรายชั่วโมงของยานพาหนะทั้งหมดที่แล่นผ่านจุดจุดหนึ่งที่กำหนด หรือช่วงความยาวหนึ่งของช่องจราจร หรือของถนน ภายในระยะเวลาที่กำหนดซึ่งน้อยกว่า 1 ชั่วโมง (โดยทั่วไปใช้ 15 นาที)

10. ความหนาแน่น (Density) หมายถึง จำนวนยานพาหนะทั้งหมดที่อยู่ในช่วงความยาวที่กำหนดของช่องจราจรหนึ่ง หรือถนนสายหนึ่ง คิดโดยเฉลี่ยภายในช่วงเวลาหนึ่ง มีหน่วยเป็น คัน/ไมล์ หรือ คัน/กิโลเมตร โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความเร็วและความหนาแน่นแสดงไว้ในภาพที่ 7



<u>ภาพที่ 7</u> ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความเร็ว และความหนาแน่น
ที่มา: Transportation Research Board (2000)

จากภาพข้างต้นสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความเร็ว และความหนาแน่นได้ว่า เมื่อความหนาแน่น (Density, k) ของรถยนต์บนถนนเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการไหล (Flow rate,q) เพิ่มขึ้นด้วย ในขณะเดียวกัน ความเร็ว(Speed, u) ของรถยนต์ก็จะลดลง เนื่องจากช่องว่างระหว่างรถยนต์แต่ละคันลดลง จนกระทั่งถึงจุดความจุของถนน(Capacity) หรือเป็นจุดที่อัตราการไหลของการจราจรสูงสุด (q_m) โดยความเร็วและความหนาแน่นที่จุดนี้เรียกว่า Optimum Speed (u_m) และ Optimum Density (k_m) ตามลำดับ และเมื่อความหนาแน่นยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องความเร็วและอัตราการไหลของการจราจร ก็จะลดลงเนื่องจากรถยนต์เริ่มมีการหยุดในบางขณะ จนกระทั่งถึงจุดที่รถยนต์ทุกคันหยุดสนิท คือ เกิดความหนาแน่นติดขัด (Jam Density, k_j) ความเร็วและอัตราการไหลจะเป็นศูนย์ เนื่องจากไม่มีรถผ่านจุดที่พิจารณาในช่วงที่กำหนด

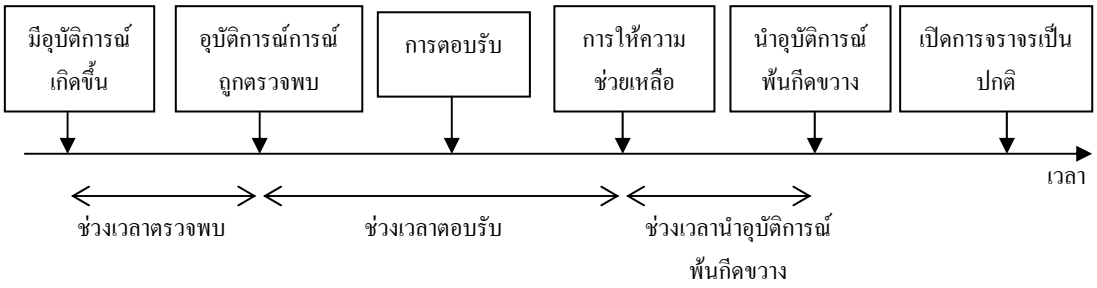
อุบัติการณ์จราจร

Giuliano (1989) ได้ให้ความหมายของอุบัติการณ์จราจร (Incident) ว่าเป็นเหตุการณ์ที่ไม่มีความแน่นอน ไม่สามารถกำหนดหรือทราบล่วงหน้า และไม่สามารถทำซ้ำที่ตำแหน่งเดิมในลักษณะเดิมได้ และเมื่อเกิดอุบัติการณ์จราจรขึ้นแล้ว จะส่งผลกระทบต่อสภาพการจราจรทั้งในทิศทางการเดินทางและในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้น อุบัติการณ์จราจรจึงหมายถึงเหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดปัญหาการจราจรที่ไม่เกิดขึ้นเป็นประจำและอุบัติเหตุจราจรเป็นส่วนหนึ่งของอุบัติการณ์จราจร

เมื่อเกิดอุบัติการณ์จราจรขึ้นแล้ว ความสามารถในการให้บริการของทางด่วน ณ จุดเกิดอุบัติการณ์จราจรจะมีค่าลดลง เนื่องจากมีบางส่วนหรือทั้งหมดของช่องจราจรถูกกีดขวาง หากความสามารถในการให้บริการของทางด่วนลดลงมีค่าน้อยกว่าปริมาณยวดยานที่ต้องการผ่านจุดเกิดอุบัติการณ์จราจรจะส่งผลให้ผู้ใช้ทางบางส่วนไม่สามารถผ่านจุดเกิดอุบัติการณ์จราจรได้ เกิดการสะสมของยวดยานเป็นแถวคอย ภายหลังการกู้ภัยหรือช่วยเหลือผู้ประสบเหตุและเปิดการจราจรเป็นปกติ ยวดยานในแถวคอยสามารถผ่านจุดเกิดอุบัติการณ์จราจรในปริมาณเท่ากับความสามารถในการให้บริการสูงสุดของทางด่วน จนกระทั่งสภาพการจราจรกลับคืนสู่สภาวะปกติ หรืออุบัติการณ์จราจรเป็นสาเหตุให้ผู้ใช้ทางรายอื่นสังเกตุการณ์อย่างแปลกใจทั้งในทิศทางการเดินทางและในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้ความเร็วของยวดยานลดลง ส่งผลให้ปริมาณยวดยานที่สามารถผ่านจุดเกิดอุบัติการณ์จราจรไปได้มีค่าลดลงและสะสมในแถวคอย ยวดยานในแถวคอยต้องเสียเวลาในการเดินทางมากขึ้น บางเหตุการณ์ผู้ประสบเหตุอาจสูญเสียชีวิตหรือทรัพย์สิน ก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจและสังคม และเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม

ระยะเวลาของอุบัติการณ์

ช่วงเวลาของอุบัติการณ์จราจร แบ่งเป็น 4 ช่วง ดังแสดงในภาพที่ 8



<u>ภาพที่ 8</u> ระยะเวลาของอุบัติการณ์จราจร

1) ช่วงเวลาตรวจพบ (Detection Time) คือช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเกิดเหตุจนถึงเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ควบคุมทางด่วนได้รับแจ้งเหตุ การตรวจพบอุบัติการณ์จราจรส่วนใหญ่ถูกใช้เวลาประมาณ 5-15 นาทีหลังเกิดเหตุ (Beaubien, 1994) เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ควบคุมทางด่วนสามารถตรวจพบอุบัติการณ์จราจร โดยการรายงานจากสายตรวจ รับแจ้งเหตุจากโทรศัพท์ฉุกเฉิน วิทยุสื่อสาร หรือโทรศัพท์มือถือ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์อัตโนมัติช่วยในการตรวจพบ เช่น Wire – loop detectors กับ Software ที่เหมาะสม ระบบสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทัศน์วงจรปิด เป็นต้น

2) ช่วงเวลาตอบรับ (Response Time) คือ ช่วงเวลาตั้งแต่เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ควบคุมทางด่วนรับแจ้งเหตุประสานงานกับพนักงานกู้ภัยหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้ความช่วยเหลือจนกระทั่งพนักงานกู้ภัยเข้าถึงจุดเกิดเหตุ ระยะเวลาของช่วงเวลาตอบรับขึ้นอยู่กับการจัดการของเจ้าหน้าที่ การประเมินสถานการณ์ และอำนาจการตัดสินใจของพนักงานกู้ภัย

3) ช่วงเวลานำพ้นกีดขวาง (Clearance Time) คือ ช่วงเวลาตั้งแต่พนักงานกู้ภัยเข้าถึงที่เกิดเหตุ ให้ความช่วยเหลือ จนกระทั่งนำยวดยานออกจากสถานที่เกิดเหตุและเปิดการจราจรเป็นปกติ

4) ช่วงเวลากลับสู่สภาพการจราจรปกติ (Recovery Time) คือ ช่วงเวลาตั้งแต่เปิดการจราจรเป็นปกติจนกระทั่งยวดยานในแถวคอยสามารถเคลื่อนที่ผ่านจุดเกิดเหตุได้ทั้งหมด

ผลกระทบต่อการจราจรเนื่องจากอุบัติการณ์บนทางด่วน

ผลกระทบต่อการจราจรเนื่องจากอุบัติการณ์จราจรที่เกิดขึ้นบนทางด่วน สามารถแยกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ผลกระทบต่อความสามารถในการให้บริการของทางด่วน

การศึกษาผลกระทบเนื่องจากอุบัติการณ์จราจรที่มีต่อความสามารถในการให้บริการของทางด่วน โดยนับจำนวนยวดยานที่ผ่านจุดเกิดอุบัติการณ์จราจรในคาบเวลาที่กำหนด เนื่องจากอุบัติการณ์จราจรเป็นเหตุการณ์ที่ไม่สามารถทราบได้ล่วงหน้า ดังนั้น พื้นที่ศึกษาจำเป็นต้องมีระบบสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทัศน์วงจรปิดและเครื่องวีดีทัศน์ Goolsby และ Smith (1971) ได้ศึกษาผลกระทบต่อการจราจรของอุบัติการณ์บน Gulf Freeway โดยเริ่มต้นบันทึกภาพเหตุการณ์ทันทีที่พนักงานประจำศูนย์ควบคุมทางด่วนรับแจ้งเหตุและตรวจสอบความถูกต้องด้วยกล้องโทรทัศน์วงจรปิด จนกระทั่งยวดยานคันที่ประสบเหตุสามารถเคลื่อนย้ายออกจากจุดเกิดเหตุและเปิดการจราจรเป็นปกติ ความสามารถในการให้บริการของทางด่วนที่จุดเกิดอุบัติการณ์จราจรคือจำนวนยวดยานในแถวคอยที่สามารถผ่านจุดเกิดอุบัติการณ์จราจรในคาบเวลา จากกลุ่มตัวอย่างเหตุการณ์ทั้งหมด 27 เหตุการณ์ ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 2 โดยพบว่า ทางด่วนที่มีการจัดการจราจรเป็น 3 ช่องทาง หากเกิดอุบัติการณ์จราจรกีดขวาง 1 ช่องทาง ทำให้ความสามารถในการให้บริการของทางด่วนลดลงร้อยละ 50 ซึ่งไม่สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพที่ลดลงร้อยละ 33 ถ้าอุบัติการณ์จราจรนั้นทำให้กีดขวางจราจรถึง 2 ช่องทาง ทำให้ความสามารถในการให้บริการของทางด่วนมีค่าลดลงถึงร้อยละ 79 โดยที่ความสามารถในการให้บริการของทางด่วนที่ลดลงเนื่องจากอุบัติเหตุจราจรมีค่าไม่แตกต่างกับเหตุการณ์ยวดยานขัดข้อง

ตารางที่ 2 ความสามารถในการให้บริการของทางด่วน ณ จุดเกิดอุบัติการณ์จราจร

สถานการณ์	จำนวนตัวอย่าง (นาที)	ค่าพิสัย (คัน/นาที)	ค่าเฉลี่ย (คัน/นาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (คัน/นาที)	อัตราปริมาณจราจรเฉลี่ย (คัน/ชั่วโมง)
สภาพการจราจรปกติ	312	70-80	92.6	6.3	5,560
อุบัติเหตุจราจรกีดขวาง 1 ช่องทาง					
ช่องจราจรด้านซ้าย	46	28-75	48.1	11.7	2,880
ช่องจราจรกลาง	42	18-77	42.7	11.4	2,560
ช่องจราจรด้านขวา	79	21-77	46.1	8.8	2,770
เหตุการณ์ยวดยานขัดข้องกีดขวาง 1 ช่องทาง	43	30-77	47.9	8.6	2,880
อุบัติเหตุจราจรกีดขวาง 2 ช่องทาง	53	4-39	19.1	7.3	1,150
อุบัติเหตุจราจรบนไหล่ทาง	254	20-102	67.1	13.1	4,030

ที่มา: Goolsby and Smith (1971)

ส่วนการศึกษาของ Morales (1989) ได้แนะนำความสามารถในการให้บริการของทางด่วนในช่วงเวลาที่ช่องจราจรหรือไหล่ทางถูกกีดขวาง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความสามารถในการให้บริการของทางด่วน ณ จุดเกิดอุบัติการณ์จราจร

จำนวนช่องจราจรในแต่ละทิศทาง	ความสามารถในการให้บริการสูงสุดของทางด่วน (คัน/ชั่วโมง)	ความสามารถในการให้บริการของทางด่วน กีดขวาง 1 ช่องทาง (คัน/ชั่วโมง)	ความสามารถในการให้บริการของทางด่วน กีดขวางไหล่ทาง (คัน/ชั่วโมง)
2	3,700	1,300	3,000
3	5,550	2,700	4,600
4	7,400	4,300	6,300

ที่มา: Morales (1989)

2. <u>ผลกระทบต่อเวลาการเดินทาง</u>

อุบัติการณ์จราจรเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผู้ใช้ทางในแถวคอยมีเวลาการเดินทางเพิ่มขึ้น เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สูญเปล่า และปัญหามลพิษทางอากาศ ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความล่าช้าในการเดินทาง (Delay) ได้แก่ ความสามารถในการให้บริการของทางด่วนทั้งในขณะเกิดเหตุและภายหลังเปิดการจราจรเป็นปกติ ปริมาณจราจรที่ต้องการผ่านจุดเกิดอุบัติการณ์จราจร และระยะเวลาของอุบัติการณ์จราจร

การบริหารจัดการอุบัติการณ์จราจรบนทางด่วน

การบริหารจัดการอุบัติการณ์จราจรบนทางด่วน หมายถึง การประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและการวางแผนสำหรับการจัดการกับการจราจรที่ติดขัดอันเนื่องจากอุบัติการณ์จราจรที่มีโอกาสเกิดขึ้นบนทุกๆ ส่วนของระบบทางด่วน โดยใช้ความสามารถของพนักงานและอุปกรณ์สำหรับการตรวจพบ การตรวจสอบความถูกต้อง การตอบรับอุบัติการณ์อย่างรวดเร็วและปลอดภัย เพื่อปรับปรุงให้สภาพการจราจรกลับคืนสู่สภาวะปกติโดยเร็วที่สุด

การบริหารจัดการอุบัติการณ์จราจรอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วยพื้นฐานสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่

1. การตรวจพบและตรวจสอบความถูกต้องของเหตุการณ์เป็นกระบวนการที่ทำให้ทราบถึงการเกิดของอุบัติการณ์จราจร ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะต้องมีความรวดเร็วและต้องตรวจสอบความถูกต้องของอุบัติการณ์ด้วย เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการแจ้งประสานงานแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องต่อไป ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ ตำแหน่งที่เกิดเหตุ สภาพการจราจรในขณะนั้น ลักษณะของอุบัติการณ์ อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการช่วยเหลือหรือกู้ภัย เป็นต้น โดยมีวิธีการสำหรับตรวจพบอุบัติการณ์ ดังนี้

1) ตรวจพบจากระบบเครื่องตรวจพบอุบัติการณ์จราจร (Incident Detector System) ที่ติดตั้งบนระบบทางด่วน

2) ตรวจพบจากโทรศัพท์ฉุกเฉินที่ติดตั้งไว้ข้างทาง

3) ตรวจพบจากโทรศัพท์มือถือของผู้ใช้ทาง

4) ตรวจพบจากการรายงานของสายตรวจบนทางด่วน

5) ตรวจพบจากระบบสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่สามารถควบคุมได้ในระยะไกล

สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของเหตุการณ์และเพื่อทราบถึงข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นเพิ่มเติม สามารถตรวจสอบได้จากการส่งสายตรวจที่อยู่ใกล้จุดเกิดเหตุที่สุดไปตรวจสอบหรือตรวจสอบจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่สามารถควบคุมได้ในระยะไกลที่ติดตั้งบนระบบทางด่วน โดยกล้องโทรทัศน์วงจรปิดต้องมีความสามารถได้เหมาะสม เช่น สามารถส่ายกล้องเป็นมุมกว้างได้ สามารถกระดกขึ้นลงได้ และสามารถเปลี่ยนการขยายในการจับภาพได้ ซึ่งการติดตั้งกล้องโทรทัศน์วงจรปิดต้องครอบคลุมและสามารถเห็นภาพได้ทุกจุดของทางด่วน

2. การบริหารจัดการอุบัติการณ์จราจร เนื่องจากศูนย์ควบคุมระบบทางด่วนเป็นศูนย์รวมของข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ตำแหน่งที่เกิดเหตุ ตำแหน่งของพนักงานกู้ภัยที่ใกล้จุดเกิดเหตุที่สุด สภาพการจราจรหลังเกิดเหตุ รวมถึงแผนการก่อสร้างหรือแผนการบำรุงรักษาทางด่วน ดังนั้นศูนย์ควบคุมระบบทางด่วนจึงมีหน้าที่ประสานงาน กระตุ้น และจัดการขอความร่วมมือไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตามความเหมาะสมของแต่ละบุคคลและอุปกรณ์ของหน่วยงานนั้นๆ นอกจากการบริหารจัดการของศูนย์ควบคุมระบบทางด่วนแล้ว ณ จุดเกิดเหตุยังต้องมีการบริหารจัดการด้วย โดยยึดหลักความปลอดภัยเป็นสำคัญ พนักงานกู้ภัยที่เข้าถึงที่เกิดเหตุต้องประเมินสถานการณ์ จัดลำดับก่อนหลังในการแก้ไขปัญหารวมทั้งนำพ้นกีดขวางอย่างรวดเร็ว ดังนั้นยวดยานของพนักงานกู้ภัยต้องสามารถเข้าถึงจุดเกิดเหตุได้รวดเร็วและมีความยืดหยุ่นสูง สามารถบรรทุกเครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยเหลืออื่นๆ เช่น แม่แรง น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ น้ำสะอาด สายลาก ถังลม ถังดับเพลิง และสารเคมีทำความสะอาดผิวจราจร เครื่องมือพื้นฐาน กรวยยาง และสัญญาณไฟลูกศร

3. การให้ข้อมูลข่าวสารแก่ผู้ใช้ทาง เป็นขบวนการหนึ่งที่ช่วยลดผลกระทบต่อการจราจรได้ เมื่อผู้ใช้ทางรับทราบข้อมูลอย่างทันเหตุการณ์ มีความถูกต้อง และเป็นประโยชน์ ทำให้ผู้ใช้ทางสามารถตัดสินใจเปลี่ยนเส้นทางเดินทาง ลดปริมาณยวดยานในแถวคอย ทำให้สภาพการจราจรกลับสู่สภาวะปกติโดยเร็ว ช่วยลดปัญหาอุบัติเหตุซ้ำซ้อนในแถวคอย โดยมีวิธีการแจ้งข้อมูลอุบัติการณ์จราจรแก่ผู้ใช้ทางดังนี้

1) รายงานอุบัติการณ์จราจรทางสถานีวิทยุกระจายเสียง

2) ประชาสัมพันธ์ทางสิ่งพิมพ์ สำหรับอุบัติการณ์จราจรที่มีแผนการแน่นอน

3) ประกาศเป็นสัญลักษณ์หรือข้อความด้วยป้ายสัญญาณปรับได้และป้ายปรับเปลี่ยนข้อความแบบถาวรหรือรถบรรทุกป้ายปรับเปลี่ยนข้อความ

โปรแกรมจำลองสภาพการจราจร

การจำลองสภาพจราจรเป็นการจำลองสภาพจราจรจากสถานที่จริงหรือสถานการณ์ที่สมมุติขึ้นโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า โปรแกรมจำลองสภาพจราจร ตัวอย่างการจำลอง เช่น การจำลองสภาพจราจรในเมือง การจำลองการควบคุมทางแยก เป็นต้น การจำลองสภาพจราจรมีข้อดีหลายประการ เช่น ช่วยประหยัดเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบการจราจรมีความซับซ้อนมาก ทำให้สามารถศึกษาผลกระทบต่อการจราจรเมื่อเกิดอุบัติการณ์ต่างๆ ที่ไม่สามารถสมมุติให้เกิดขึ้นจริงในภาคสนาม ทำให้มองเห็นสภาพจราจรและปัญหาการจราจร โดยรวมอย่างเป็นระบบและสามารถคาดการณ์ปัญหาจราจรที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต การจำลองสภาพจราจรจึงสามารถใช้ทดสอบการควบคุมจราจรรูปแบบใหม่ๆ และทดสอบซ้ำได้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้การจำลองจะให้ค่าตัววัดประสิทธิภาพการจราจรโดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องไปจัดเก็บข้อมูลในสนาม อย่างไรก็ดีการจำลองสภาพจราจรก็มีข้อด้อยบางประการ เช่น ต้องการใช้ข้อมูลพื้นฐานจำนวนมาก ใช้เวลามากในการสร้างโครงข่ายถนนและแบบจำลอง ใช้เวลาและงบประมาณมากเพื่อปรับเทียบ (Calibration) และตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลอง แต่เนื่องจากข้อดีที่ได้รับการจำลองสภาพจราจรมีมากกว่าข้อด้อยและเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าในระยะยาว ทำให้การจำลองสภาพจราจรเพื่อวิเคราะห์และควบคุมการจราจรได้รับความนิยมเป็นอย่างมากและมีใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน

1. ระดับของโปรแกรมจำลองสภาพจราจร

โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรจำนวนมากที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถจำแนกตามลักษณะของการจำลองสภาพจราจรได้เป็น 3 ระดับ คือ ระดับจุลภาค (Microscopic) ระดับมหภาค (Macroscopic) และระดับกึ่งจุลภาค (Mesoscopic) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค มักใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกันของยวดยาน (Car – Following Model) และแบบจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร

(Lane – Changing Model) เป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคัน การขับขี่ของยวดยานคันหน้าที่มีการเพิ่มความเร็ว ลดความเร็วและหยุด จะมีผลต่อการขับขี่ของยวดยานที่ขับตามมา แต่มักจะไม่มีการคำนึงถึงพฤติกรรมการขับขี่ที่ได้รับผลกระทบมาจากพฤติกรรมการขับขี่ของยวดยานข้างเคียง (ยกเว้นกรณีของการแซงหรือเปลี่ยนช่องทาง)

2) โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับมหภาค ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (Speed) ความหนาแน่น (Density) และอัตราการไหล(Flow) ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้จำลองกลุ่มยวดยาน โดยมีสมมุติฐานว่า การวิเคราะห์ค่าการจราจรหาได้จากการสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรการจราจรมหภาคที่ไม่คำนึงถึงหรือพิจารณาถึงค่าการจราจรหรือพฤติกรรมของยานพาหนะแต่ละคัน

3) โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับกึ่งจุลภาค เป็นการนำเอาลักษณะการจำลองสภาพการจราจรทั้งระดับมหภาคและระดับจุลภาคมาผสมผสานกัน

สืบเนื่องจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีสื่อสารและคอมพิวเตอร์ที่มีอย่างต่อเนื่อง ทำให้การพัฒนาโปรแกรมจำลองสภาพจราจรมีความก้าวหน้าและมีให้เลือกใช้จำนวนมากในปัจจุบัน แต่โปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นสูงในการนำไปประยุกต์ใช้ และผ่านการตรวจสอบความถูกต้องพร้อมกับได้รับการยอมรับนั้นมีอยู่ไม่มากนัก ในส่วนนี้จึงกล่าวถึงโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ในระดับสากลเท่านั้น ได้แก่ โปรแกรม AIMSUN 2, CORSIM, DRACULA, PARAMICS และ VISSIM (Woolley, 2001) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- โปรแกรม AIMSUN 2 (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Network) พัฒนาโดย J. Barcelo และ J.L. Ferrer ที่มหาวิทยาลัยโพลีเทคนิคในแคว้นกาตาลัน (Polytechnic University of Catalunya) เมืองบาร์เซโลนา ประเทศสเปน ปี ค.ศ. 1994 เป็นแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ใช้จำลองสภาพจราจรบนโครงข่ายถนนในเมืองและระหว่างเมือง สามารถประยุกต์ใช้กับระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System, ITS) ปัจจุบันมีการใช้โปรแกรม AIMSUN2 เชื่อมต่อกับระบบ SCOOT ในโครงการอุดหนุนการวิจัย DGVII

- โปรแกรม CORSIM (Coridor Microscopic Simulation) พัฒนาขึ้นโดย Federal Highway Administration ในปี ค.ศ. 1996 เป็นโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อย FRESIM ใช้ในการจำลองสภาพจราจรบนทางหลวง (Freeway) และ NETSIM ใช้จำลองสภาพจราจรในเมือง เป็นโปรแกรมระดับแนวหน้าที่ได้มีการนำมาใช้ทดสอบการออกแบบลักษณะทางกายภาพ (Geometric Confriguration) สามารถใช้จำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่และสัญญาณไฟปรับเปลี่ยนตามปริมาณจราจร แต่ไม่มีเครื่องมือช่วยในการคำนวณเพื่อให้การควบคุมทางแยกสัญญาณไฟที่ดีที่สุด

- โปรแกรม DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Micro simulation) พัฒนาโดยสถาบันการศึกษาด้านการขนส่งของมหาวิทยาลัยลีดส์ (Institute for Transport Studies, University of Leeds) เป็นแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ใช้จัดเส้นทางการเดินทางในเมือง (Urban Traffic Assignment Model) ที่สามารถจำลองสภาพการจราจรแต่ละวันได้ต่อเนื่องกันตลอด 24 ชั่วโมง ผู้ขับขี่แต่ละคนจะเลือกเส้นทางเดินทางตามสภาพการจราจรและประสบการณ์ที่เรียนรู้จากแบบจำลองย่อย

- โปรแกรม VISSIM พัฒนาโดย PTV System Solfware and Consulting GMBH ประเทศสาธารณรัฐเยอรมัน เป็นโปรแกรมระดับจุลภาคที่มีความยืดหยุ่นสูง ใช้สำหรับจำลองสภาพจราจรในเมืองและการให้บริการระบบขนส่งมวลชน ใช้ประเมินทางเลือกด้านการจัดการจราจรสามารถแสดงผลการจำลองสภาพจราจรในมุมมอง 3 มิติ และสามารถรายงานค่าสถิติต่างๆ ได้ เช่น รายละเอียดเวลาที่ใช้เดินทางและสถิติความล่าช้า สถิติความยาวแถวคอย รายละเอียดข้อมูลการจัดจังหวะควบคุมสัญญาณไฟจราจร การทำงานของอุปกรณ์ตรวจนับ และการขอสัญญาณไฟเขียวจากยานพาหนะ ในระบบขนส่งมวลชน สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางเคลื่อนที่ได้ของยวดยานกับเวลา (Time Space Diagram) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา (Speed Profile)

- โปรแกรม PARAMICS (Parallel Micro Simulation) เริ่มต้นพัฒนาขึ้นที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ขนานในเอดินเบอร์ (Edinburgh Parallel Computing Center) ประเทศสก๊อตแลนด์ ปี 1992 เป็นโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ใช้จำลองสภาพจราจรที่พิจารณาการขับขี่ของยวดยานแต่ละคันในโครงข่ายถนนที่มีการจราจรแออัด (Congested Network) สามารถแสดงผลการจำลองยวดยานแต่ละคันผ่านทางหน้าจอแสดงผลในมุมมอง 3 มิติ และสามารถแสดงความแตกต่าง

ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ได้อย่างชัดเจน โดยใช้สี สามารถใช้ทดสอบการแนะนำเส้นทาง (Route Guidance) การเลือกเส้นทางเดินทาง (Route Choice) และสามารถตรวจวัดมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการจราจรได้ เหมาะสำหรับใช้วางแผนจัดการจราจรและประเมินผลนโยบายการขนส่ง ทั้งในระดับพื้นที่ย่อย (Local Level) และระดับกลยุทธ์ (Startergic Level) สนับสนุนการวิเคราะห์ด้านระบบขนส่งอัจฉริยะ การจำลองอุบัติการณ์และการใช้ป้ายบอกข่าวสารการจราจรที่สามารถปรับเปลี่ยนข้อความได้

2. <u>ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร</u>

การจำลองสภาพจราจรใดๆที่แตกต่างกันจะได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันเสมอ อาจสังเกตได้จากการเคลื่อนที่ของยวดยานบนถนนหรือความยาวแถวคอยบนหน้าจอแสดงผล แต่ไม่สามารถระบุได้ชัดว่าการจำลองสภาพจราจรแบบใดมีประสิทธิภาพ หรือการจำลองสภาพจราจรแบบนั้นมีผลกระทบต่อการจราจรที่ทางแยก ถนนหรือการจราจรในภาพรวมอย่างไร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการจำลองสภาพจราจรมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น การปรับเปลี่ยนความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร การห้ามเลี้ยวที่ทางแยกบางแห่ง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจำลองสภาพจราจรได้ โปรแกรมจำลองสภาพจราจรจึงจัดเตรียมรายงานผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพจราจรในเชิงปริมาณที่เรียกว่า ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร (Indicators) ซึ่งตัววัดประสิทธิภาพการจราจรของแต่ละโปรแกรมอาจจะมีความเหมือนกัน คล้ายคลึงกัน หรือแตกต่างกันตามการออกแบบของแต่ละโปรแกรม

Biora *et al.* (1995) แนะนำตัววัดประสิทธิภาพการจราจรในเชิงปริมาณจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการควบคุมจราจรในเมืองดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรในเมือง

วัตถุประสงค์ของการควบคุม	ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร
ประสิทธิภาพในเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Efficiency)	- ความล่าช้าของยวดยานแต่ละประเภทที่ทางแยก - ความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับคนเดินเท้าที่ทางข้าม - มูลค่าของเวลาและค่าใช้จ่ายจริงในการเดินทาง - ความผันแปรของเวลาที่ใช้เดินทางจำแนกตามประเภทของการเดินทาง - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Costs of Operating) จำแนกตามการให้บริการขนส่ง
การอนุรักษ์สภาพแวดล้อม (Environmental Protection)	- ระดับเสียง - ระดับความสั่นสะเทือน - ระดับมลพิษ (CO HCs NOx ฝุ่น)
ความปลอดภัย (Safety)	- จำนวนคนที่ได้รับอุบัติเหตุจำแนกตามถนน ทางแยกและโครงข่าย
ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ (Accessibility)	- ประเภทของกิจกรรมที่สามารถทำได้ภายในเวลาและค่าใช้จ่ายที่กำหนดสำหรับแต่ละจุดเริ่มต้นการเดินทางและรูปแบบการขนส่ง (Mode) - ค่าถ่วงน้ำหนักของเวลาและค่าใช้จ่ายที่ใช้เดินทางโดนเฉลี่ยสำหรับแต่ละรูปแบบการขนส่ง
การพัฒนาแบบยั่งยืน (Sustainability)	- เหมือนในหัวข้อการอนุรักษ์สภาพแวดล้อม ความปลอดภัย และความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ - ปริมาณ CO_2 ทั้งหมดในพื้นที่ - ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองทั้งหมดในพื้นที่
ความเสมอภาคหรือความเท่าเทียมกัน (Equity)	- เหมือนในหัวข้อทั้งหมดข้างต้น แต่จำแนกตามกลุ่มที่ได้รับผลกระทบ
การฟื้นฟูสภาพเศรษฐกิจ (Economic Regeneration)	- เหมือนในหัวข้อการอนุรักษ์สภาพแวดล้อม ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ แต่จำแนกตามพื้นที่และภาคเศรษฐกิจ (Economic Sector)
การเงิน (Finance)	- ต้นทุนการดำเนินการจำแนกตามรูปแบบการขนส่ง - ต้นทุนการดำเนินงานและรายได้จากค่าจอดรถและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ - รายได้จากการจัดเก็บภาษีการใช้รถ

ที่มา: Biora Biora *et al.* (1995)

Algers *et al.* (1998) แนะนำว่า ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่นิยมใช้อาจจัดแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการควบคุมออกได้เป็น 5 กลุ่ม พร้อมกันนี้ได้แสดงร้อยละของการนิยมใช้ตัววัดประสิทธิผลซึ่งได้จากการสำรวจความคิดเห็นของผู้ใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรจำแนกตามวัตถุประสงค์ในการควบคุม

วัตถุประสงค์ของการควบคุม	ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร	ร้อยละ
ประสิทธิภาพ	- ความเร็ว	87
(Efficiency)	- เวลาที่ใช้เดินทาง	87
	- ระดับความแออัด	71
	- ความผันแปรที่ใช้เดินทาง (Travel Time Variability)	68
	- ความยาวแถวคอย (Queue Length)	65
	- ความสม่ำเสมอในการให้บริการขนส่งสาธารณะ (Public Transport Regularity)	26
	- การจัดแบ่งสัดส่วนของรูปแบบการเดินทาง (Modal Spilt)	16
ความปลอดภัย	- ระยะห่างระหว่างยานพาหนะในหน่วยเวลา	42
(Safety)	- การแซง (Overtaking)	26
	- จำนวนครั้งที่เกิดอุบัติเหตุ (Number of Accident)	16
	- ความรุนแรงของอุบัติเหตุ (Accident Severity)	16
	- จำนวนครั้งที่ชนกัน (Time to Collision)	16
	- ความปลอดภัยของคนเดินเท้า (Interactions with Pedestrians)	16
สิ่งแวดล้อม	- การปล่อยไอเสียรถยนต์ (Exhaust Emissions)	52
(Environment)	- ระดับมลพิษข้างถนน (Roadside Pollution Level)	16
ความสะดวกสบาย	- ความสะดวกสบายที่ได้รับจากการใช้บริการ (Physical Comfort)	3
(Comfort)	- ความเครียด (Stress)	0
ผลิตภาพ	- การบริโภคเชื้อเพลิง (Fuel Consumption)	48
(Technical Performance)	- ค่าใช้จ่ายในการใช้ยวดยาน (Vehicle Operating Cost)	6

ที่มา: Algers *et al.* (1998)

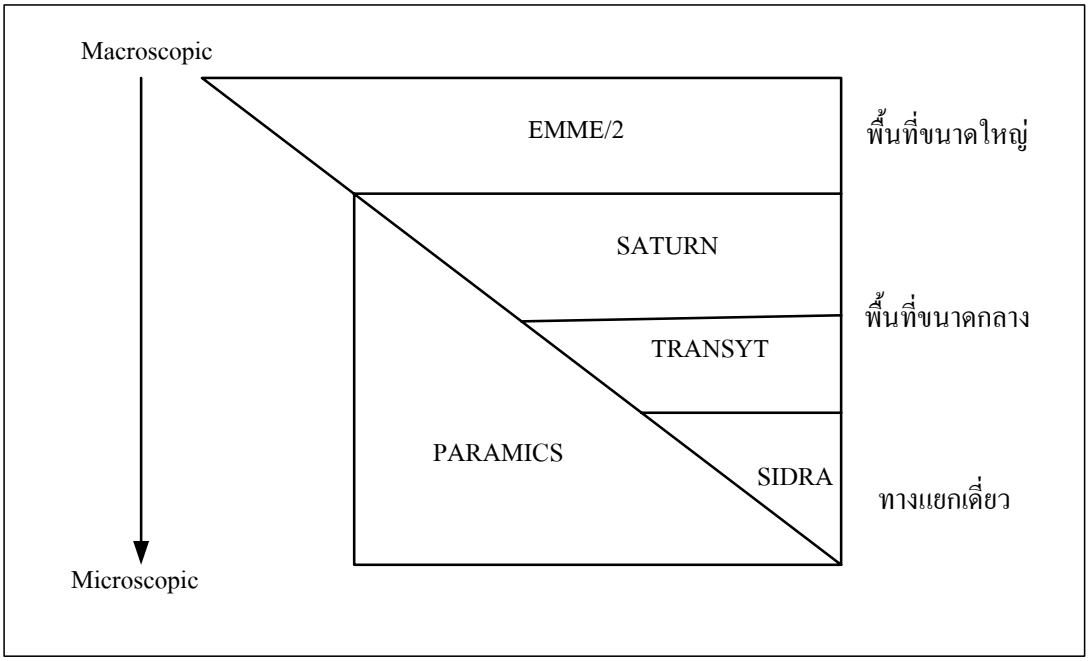
สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะใช้ โปรแกรม Paramics เป็นเครื่องมือในการพัฒนาแบบจำลองจราจรบนระบบทางด่วนเขตกรุงเทพมหาครเนื่องจากเป็นโปรแกรมที่มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ และมีการแสดงผลที่ดีมาก และปัจจุบันมีหน่วยงานวิจัย สถาบันการศึกษาและบริษัทต่างๆนำโปรแกรมไปใช้ในการวิเคราะห์และศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การนำโปรแกรม Paramics ไปประยุกต์ใช้งาน

ประเทศ	องค์กร	การนำไปใช้
Australia	Transport Systems Centre, University of South Australia	General Research and Calibration, Emission and ITS modeling
Australia	University of Qeenland	ITS modeling (VMS)
Australia	RTA and VicRoad	Major Project Investigation
United States	CALTRANS	Freeway modeling
United States	Institue of Transport Studies, University of California,Irvine	ITS Benchmarking
Canada	University of Toronto	ITS modeling
Singapore	LTA	Transportation Planning
Singapore	National University of singapore	General Research, Public Transport And ITS modeling
Thailand	Chulalongkorn University	ITS modeling and Traffic Management Application
Thailand	Asian Institue of Technology	ITS modeling and Traffic Management Application
Thailand	Khonkaen University	ITS modeling and Traffic Management Application

ที่มา: (ปรับปรุงจาก Wooley, 2001)

ความสามารถในการจำลองของโปรแกรมเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมจำลองสภาพจราจรอื่นๆ McKay (1999 อ้างอิงใน Wooley, 2001) ให้ความเห็นว่า โปรแกรม Paramics สามารถใช้จำลองทางแยกเดี่ยวถึงระดับพื้นที่ย่อย ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้จำลองสภาพจราจรระดับพื้นที่กว้าง ดังแสดงในภาพที่ 9 อย่างไรก็ตามโปรแกรม Paramics มีจุดเด่นที่สามารถจำลองพฤติกรรมของผู้ขับขี่และการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละประเภท ความสามารถในการจำลองที่จอดรถ ความสามารถในการจำลองการเกิดอุบัติการณ์ นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถนำรูปภาพถ่ายทางอากาศหรือรูปภาพพื้นที่ศึกษามาซ้อนทับกับโครงข่ายถนนจำลอง ทำให้เข้าใจองค์ประกอบของระบบการจราจรที่ทดสอบได้ดีขึ้น



<u>ภาพที่ 9</u> ความสามารถในการจำลองของโปรแกรม Paramics
ที่มา: (ปรับปรุงจาก McKay, 1999 อ้างถึงใน Wooley, 2001)

3. <u>แบบจำลองย่อยภายในโปรแกรม</u>

โปรแกรม Paramics ประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อยจำนวน 6 โปรแกรมที่มีความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

1) Paramics Modeller เป็นส่วนหลักที่ใช้ในการแสดงผลสภาพจราจรที่เกิดขึ้นผ่านทางกราฟิก ซึ่งมีส่วนการทำงานที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนพัฒนาแบบจำลอง ส่วนการประมวลผลแบบจำลองร่วมกับการแสดงผลใน 3 มิติ และส่วนแสดงผลจากการประมวลผลแบบจำลองทางด้านสถิติแบบทันกาล (Real Time) ร่วมกับแสดงผลทางด้านกราฟิกด้วย

2) Paramics Processor เป็นเครื่องมือในส่วนที่ใช้ปรับค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดคุณสมบัติของแบบจำลองที่แตกต่างกันออกไปในชุด (Batch Mode) ของการประมวลผลแบบจำลองแต่ละครั้ง โดยที่เครื่องมือนี้มีส่วนแสดงผลที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปกำหนดค่าพารามิเตอร์ใด ๆ เลือกผลการประมวลผลต่าง ๆ กันและสามารถปรับเปลี่ยนค่าองค์ประกอบใด ๆ ซึ่งจะให้ผลการประมวลผลเหมือนส่วน Modeller แต่จะใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่ามาก

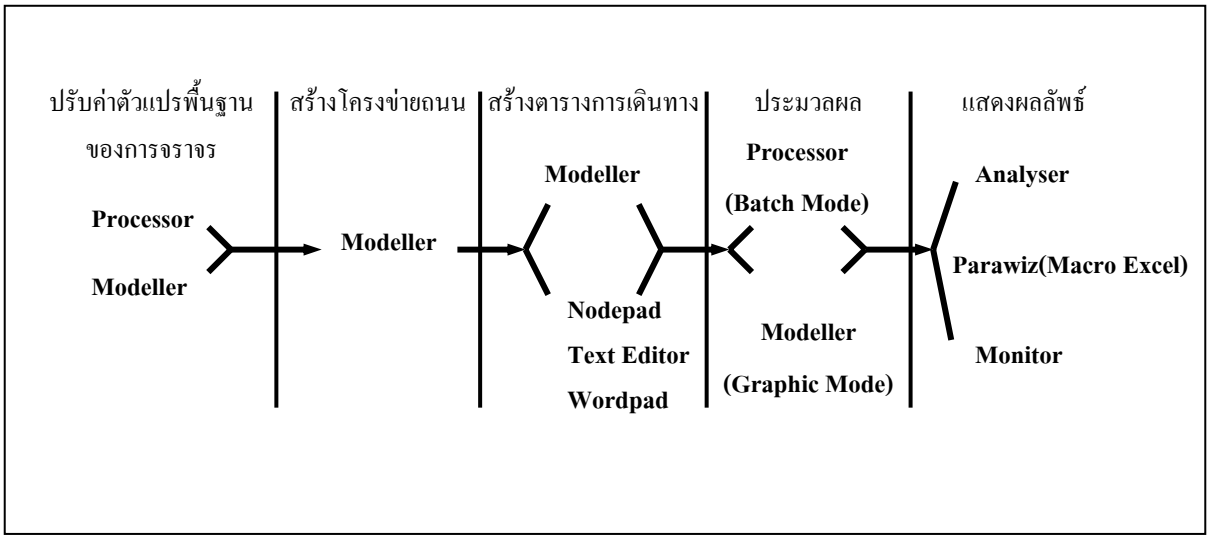
3) Paramics Analyser เป็นเครื่องมือในส่วนที่ใช้วิเคราะห์ผลและแสดงผลจากการทดสอบแบบจำลองซึ่งมีความยืดหยุ่นและให้ความสะดวกในการใช้งานสูง ผู้ใช้งานสามารถเปรียบเทียบผลความแตกต่างจากการประมวลผลจากผลที่ได้จากส่วน Modeller ได้ซึ่งให้ความรวดเร็วและเที่ยงตรงในการประมวลผลสูง

4) Paramics Programmer เป็นส่วนที่ใช้ประยุกต์การจำลองมีลักษณะค่อนข้างซับซ้อนช่วยปรับการจำลองสภาพจราจร โดยการเขียนแก้ไขโปรแกรมเพิ่มเติมซึ่งผู้ใช้งานส่วนใหญ่จะทำการปรับแบบจำลองของ ผู้ขับขี่ยวดยานและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้แบบจำลองที่มีความซับซ้อนมีสภาพเสมือนจริงมากที่สุด

5) Paramics Monitor เป็นส่วนที่ใช้วิเคราะห์ระดับมลภาวะที่เกิดจากการจราจร ซึ่งสามารถวัดผลได้ในแต่ละช่วงของเส้นทาง (Link) ของถนน โดยวัดรวมยวดยานทั้งหมดที่อยู่ในเส้นทาง

6) Paramics Estimator เป็นเครื่องมือสำหรับการประมาณค่าจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการเดินทาง (Origin-Destination Trip) ที่ใช้ในส่วน Modeller

จากแบบจำลองย่อยทั้งหมดข้างต้น สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลอง ดังแสดงในภาพที่ 10



<u>ภาพที่ 10</u> ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรม Paramics
ที่มา: ทวี (2546)

4. <u>ตัวแปรพื้นฐานของการจราจร</u>

ตัวแปรพื้นฐานของการจราจรของโปรแกรมที่มีผลต่อการจำลองการเคลื่อนที่ของยวดยาน การจัดเส้นทางการเดินทางที่ใช้ในการศึกษาวิจัย มีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตัวแปรพื้นฐานด้านการจราจรของโปรแกรม Paramics

ตัวแปรพื้นฐาน	รายละเอียด
ตัวเลขแรกเริ่ม (Initial Seed)	ตัวเลขที่ใช้สร้างตัวเลขสุ่มที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ตามกันของยวดยาน การเปลี่ยนช่องจราจร การเคลื่อนที่ของยวดยานที่ทางแยก
ความยาวของอุปกรณ์ตรวจนับ (Loop Length)	ความยาวของอุปกรณ์ตรวจนับบนพื้นผิวจราจร ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 2 เมตร
ระยะทางที่ใช้กำหนดสถานะของยวดยานที่จัดอยู่ในแถวคอย (Queue Distance)	ระยะห่างมากที่สุดระหว่างยวดยานคันหน้าและยวดยานคันหลังที่ใช้พิจารณาว่ายวดยานคันหลังอยู่ในแถวคอยหรือไม่ ถ้ายวดยานมีระยะห่างมากกว่าค่านี้ ยวดยานนั้นจะไม่จัดอยู่ในแถวคอย ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 10 เมตร
ความเร็วที่ใช้กำหนดสถานะของยวดยานที่จัดอยู่ในแถวคอย (Queue Speed)	ความเร็วมากที่สุดของยวดยานคันหลังที่ใช้พิจารณาว่ายวดยานคันหลังอยู่ในแถวคอยหรือไม่ ถ้ายวดยานมีความเร็วมากกว่าค่านี้ ยวดยานนั้นจะไม่จัดอยู่ในแถวคอย ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 7.19 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
ระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลา (Mean Headway)	ค่าเฉลี่ยของระยะห่างในหน่วยของเวลาระหว่างยวดยาน 2 คันที่เคลื่อนตามกัน ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 1 วินาที
ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ผู้ขับขี่ใช้โต้ตอบต่ออุบัติการณ์ (Mean Reaction Time)	ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ผู้ขับขี่ยวดยานใช้ตอบสนองต่ออุบัติการณ์ ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 0.5 วินาที
ระยะเวลาของช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที (Timestep)	ระยะเวลาของช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 0.5 วินาที
จำนวนช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที (Timestep Detail)	จำนวนช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที มีค่าเท่ากับส่วนกลับของระยะเวลาของช่วงย่อยใน 1 วินาที ดังนั้นค่าเริ่มต้นของโปรแกรมจึงเท่ากับ 2 วินาที
จำนวนช่วงเวลาย่อยที่ผู้ขับขี่สามารถจดจำความเร็วได้ (Speed Memory)	จำนวนช่วงเวลาย่อยที่ผู้ขับขี่สามารถจดจำความเร็วได้ ถ้าจำนวนช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที ลดลง เวลาที่ผู้ขับขี่ใช้ตอบสนองต่อเหตุการณ์จะมากขึ้น ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 3
ระยะห่างของเวลาที่ใช้รับส่งข้อมูลจราจรในแต่ละครั้ง (Feedback Period)	ช่วงเวลาที่ใช้รับส่งความล่าช้าที่ทางแยกในแต่ละทิศทางการจราจร และค่าใช้จ่ายในการเดินทางบนช่วงถนน เพื่อใช้คำนวณการจัดเส้นทางการเดินทาง ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 5 นาที

ที่มา: ทวี (2546)

5. <u>การพัฒนาแบบจำลองจราจรบนโปรแกรม Paramics</u>

การพัฒนาแบบจำลองจราจรบนโปรแกรม Paramics มีขั้นตอนที่พอสรุปได้ดังนี้

1) สร้างไฟล์แบบจำลองบนโปรแกรม Paramics และทำการกำหนดจุดอ้างอิงโดยใช้แผนที่ในลักษณะของไฟล์ AutoCAD (*.dxf) หรือ ไฟล์รูปภาพ (*.bmp) ซึ่งไฟล์ดังกล่าวจะต้องมีมาตรส่วนที่ถูกต้อง

2) สร้างโครงข่ายถนนโดยเริ่มจากการกำหนดจุดอ้างอิง (Node) เส้นทางเชื่อมระหว่างจุดอ้างอิง (Link) โซน (Zone) และกำหนดองค์ประกอบทางด้านเรขาคณิต (Geometry)

3) สร้างเมตริกกำหนดปริมาณการเดินทางจากโซนต้นทางไปยังโซนปลายทางรวมไปถึงปริมาณการเดินทางที่คงตัวเช่น การใช้รถประจำทาง

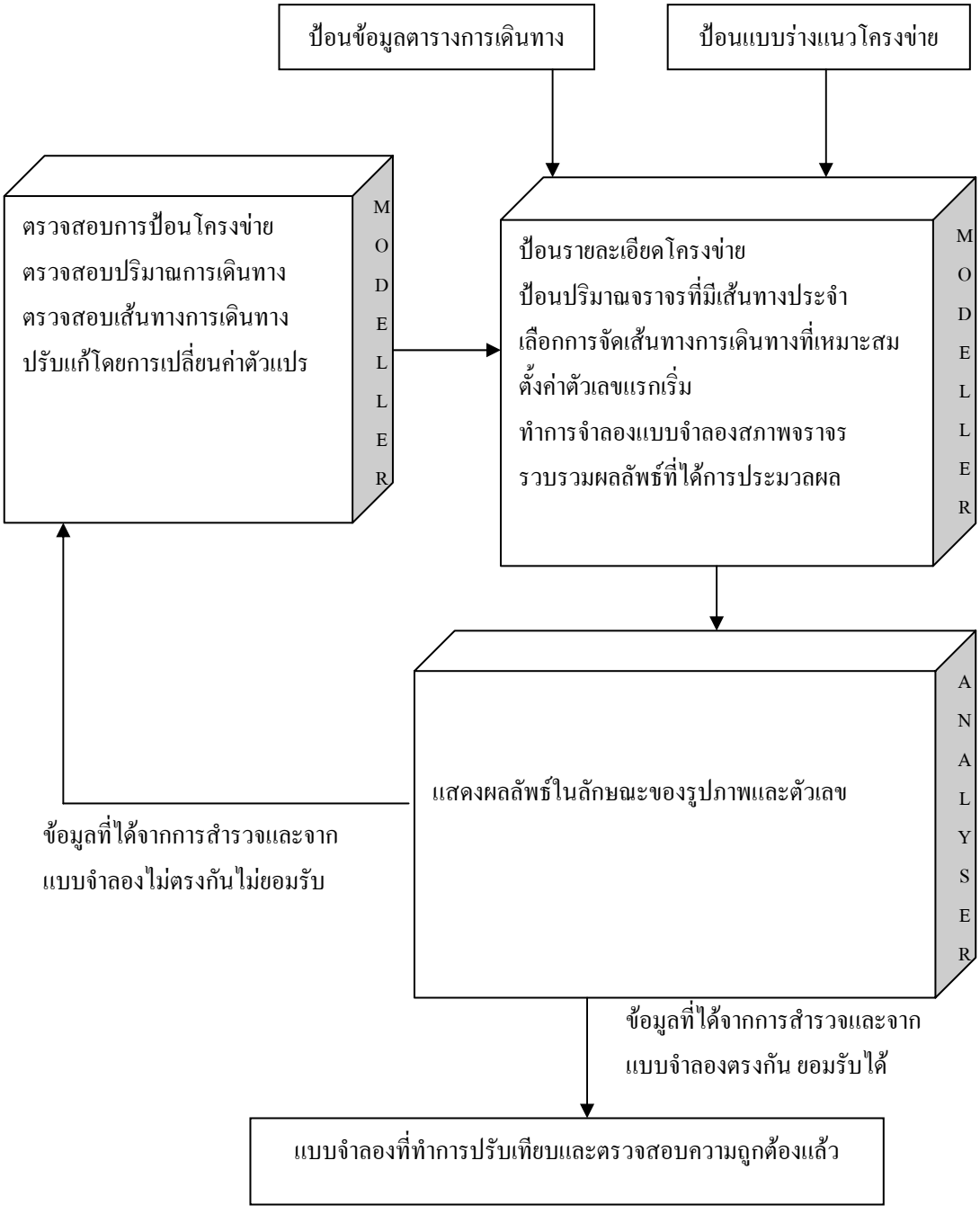
4) ทำการกำหนดวิธีการแจกแจงการเดินทาง (Assignment Techniques) ซึ่งสามารถเลือกวิธีได้ตามความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษา

5) การประมวลผลและการเก็บผลการศึกษา

6) การปรับแก้แบบจำลองเพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง

7) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

โดยสรุปกระบวนการพัฒนาแบบจำลองด้านการจราจรโดยการใช้งานโปรแกรม Paramics ดังแสดงในภาพที่ 11

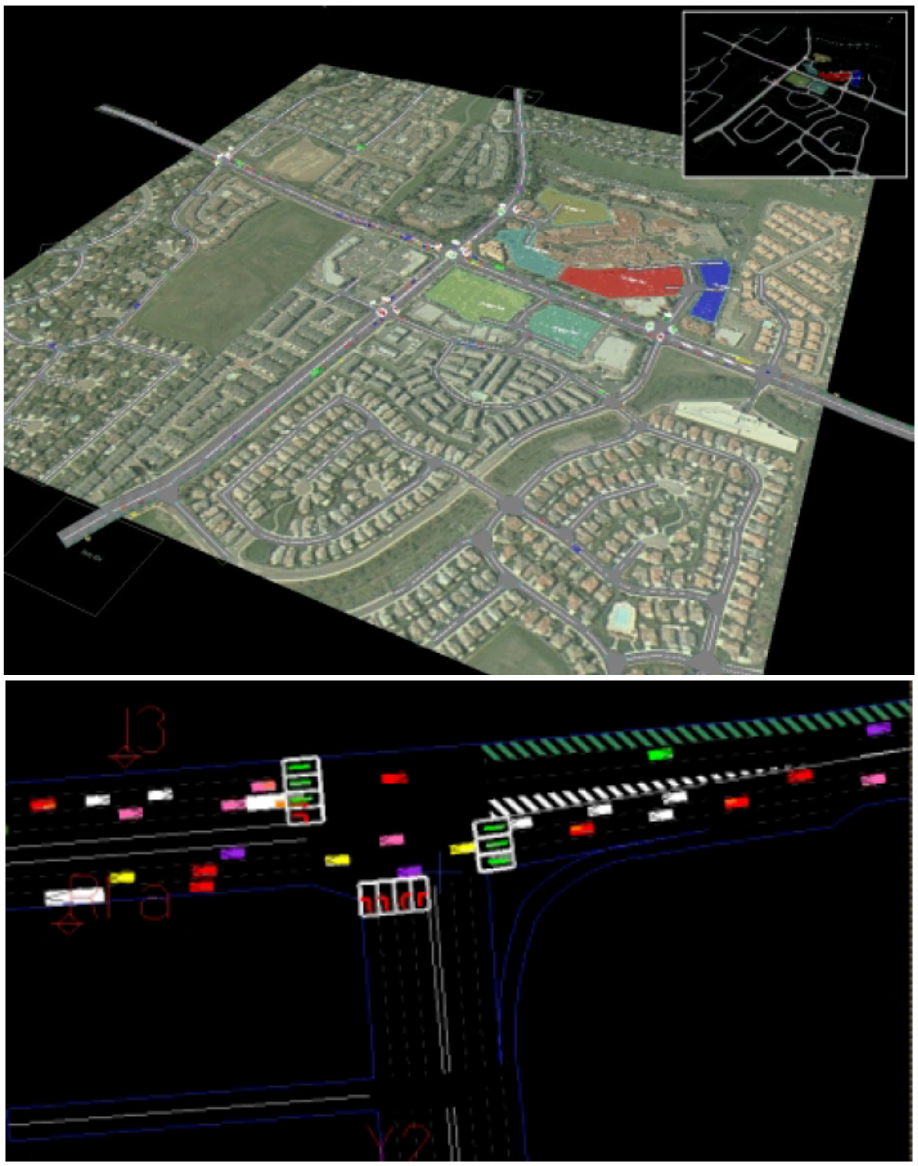


<u>ภาพที่ 11</u> กระบวนการทั่วไปในการจำลองสภาพการจราจรของโปรแกรม Paramics

ที่มา: Quadstone (2003)

5.1 การสร้างโครงข่าย

การสร้างโครงข่ายเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่สุดของแบบจำลองเนื่องจากการสร้างโครงข่ายที่มีความถูกต้องย่อมสามารถสะท้อนสภาพจราจรที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น และทำให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือสูง อย่างไรก็ตามโปรแกรม Paramics มีศักยภาพสูงในการสร้างโครงข่ายถนนที่มีจำนวนมากและซับซ้อนซึ่งผู้วิจัยสามารถสร้างโครงข่ายตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงโครงข่ายระดับประเทศได้ การสร้างโครงข่ายนั้นจำเป็นต้องอาศัยไฟล์ AutoCAD (*.dxf) หรือ ไฟล์รูปภาพ (*.bmp) ใช้เป็นพื้นหลังเพื่อกำหนดจุดอ้างอิงและเส้นทางซ้อนทับกับไฟล์ดังกล่าวซึ่งจะทำให้โครงข่ายมีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น เพราะทั้งนี้ข้อมูลที่จำเป็นต้องสร้างลงบนโครงข่ายได้แก่ ข้อมูลเชิงกายภาพและเรขาคณิตของเส้นทางและ ข้อมูลด้านการจราจร ข้อมูลเชิงกายภาพและเรขาคณิตของเส้นทางประกอบด้วย ประเภทถนน จำนวนช่องทาง ความกว้าง ทิศทางการเดินรถ รัศมีความโค้งของแนวเส้นทาง ความลาดชันของถนน ตำแหน่งเส้นหยุด ตำแหน่งของเครื่องตรวจวัด (Detector) เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งเป็นตัวอย่างการสร้างโครงข่ายถนนและองค์ประกอบที่สำคัญตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นและส่วนข้อมูลด้านการจราจรประกอบด้วย ปริมาณการจราจร จังหวะสัญญาณไฟ เฟสและทิศทางการเดินรถ เป็นต้น



ภาพที่ 12 ตัวอย่างการสร้างโครงข่ายถนนและองค์ประกอบสำคัญ

5.2 การกำหนดลักษณะยานพาหนะและผู้ขับขี่

การกำหนดลักษณะยานพาหนะเป็นการกำหนดสัดส่วนของยานพาหนะที่มีอยู่บนสภาพความเป็นจริงซึ่งโปรแกรมสามารถกำหนดลักษณะได้ 7 ประเภท เช่น รถยนต์ส่วนบุคคล รถขนส่งสินค้า รถเมล์ประจำทางขนาดใหญ่และเล็ก ทั้งนี้โปรแกรมสามารถกำหนดคุณลักษณะของยานพาหนะเช่น ความสูง ความยาว น้ำหนัก ความเร็วสูงสุด ความเร่งและความหน่วง รวมทั้งสามารถกำหนดพฤติกรรมผู้ขับขี่ในด้านความคุ้นเคยบนเส้นทาง (Familiarity) ได้

5.3 การสร้างตารางการเดินทางต้นทาง-ปลายทาง

การสร้างตารางการเดินทางเป็นขั้นตอนหนึ่งของโปรแกรมเพื่อกำหนดปริมาณการเดินทางจากโซนต้นทางไปยังโซนปลายทางซึ่งในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจำเป็นต้องสร้างตารางการเดินทางดังกล่าวด้วยตนเองจากเทคนิคต่างๆ ซึ่งถือเป็นขั้นตอนที่จะต้องใช้เวลาและงบประมาณอย่างสูงหากต้องการค่าที่มีความถูกต้อง อย่างไรก็ตามหากได้ข้อมูลการเดินทางแล้วจะนำไปเขียนบนไฟล์ชื่อ Demands ซึ่งสามารถกำหนดการปล่อยรถและแยกประเภทของรถได้อีกด้วย

5.4 การกำหนดวิธีการแจกแจงการเดินทาง

การกำหนดวิธีการแจกแจงการเดินทาง มีวิธีการที่สามารถเลือกได้คือ

1) วิธี All or Nothing วิธีนี้มีข้อสมมุติฐานว่าผู้ขับขี่เดินทางระหว่างโซนต้นทางไปยังโซนปลายทางด้วยเส้นทางเดียวที่ให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด วิธีดังกล่าวเหมาะสมสำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก มีปริมาณการจราจรต่ำและไม่มีการเปลี่ยนเส้นทางตามสภาพการจราจร

2) วิธี Stochastic วิธีนี้จะคำนึงถึงไม่แน่นอนในการเลือกใช้เส้นทางเดินทางซึ่งอาจจะมาจากการพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการเดินทางโดยตั้งสมมุติฐานว่าแต่ละเส้นทางมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอย่างสุ่มและผู้ขับขี่จะเลือกเส้นทางในการเดินทางโดยการพิจารณาค่าใช้จ่ายก่อนการเดินทางเป็นต้น

3) วิธี Dynamics Feedback วิธีนี้มีสมมุติฐานว่าผู้ขับขี่มีความคุ้นเคยกับเส้นทางและพร้อมที่จะเปลี่ยนเส้นทางหากมีข้อมูลกลับมายังผู้ขับขี่ วิธีการนี้ทำให้ผู้ขับขี่มีการพิจารณาเส้นทางในการเดินทางอยู่ตลอดเวลาโดยการคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดตามการรับรู้ที่ทันการณ์

5.5 การปรับเทียบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การปรับเทียบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองถือเป็นขั้นตอนท้ายสุดก่อนที่จะนำแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นไปใช้งานจริง เนื่องความถูกต้องของแบบจำลองย่อมสะท้อนถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลองนั้น เมื่อทำการพัฒนาแบบจำลองเสร็จสิ้นขั้นตอนต่อไปจะต้องทำการ

ปรับเทียบแบบจำลองให้มีความสอดคล้องใกล้เคียงกับสภาพการจราจรที่เป็นจริงมากที่สุด การปรับเทียบแบบจำลองเป็นขั้นตอนที่อาศัยความสามารถในการปรับเทียบแบบจำลองให้มีความเหมาะสมโดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ โดยผู้ใช้งานทั้งนี้เนื่องจากค่าที่โปรแกรมกำหนดมาอาจไม่สามารถถูกต้องสอดคล้องกับแต่ละสถานการณ์ การปรับเทียบนั้นจะต้องปรับเทียบองค์ประกอบ 3 ประเภทได้แก่

1) แบบจำลองการเคลื่อนตัวตามกันของรถ (Car Following Model)
2) แบบจำลองการเปลี่ยนช่องทางจราจร (Lane Changing Model)
3) แบบจำลองการยอมรับระยะระหว่างรถ (Gap Acceptance Model)

แต่ทั้งนี้การปรับเทียบดังกล่าวมีความละเอียดสูงจึงทำการคัดเลือกตัวแปรที่มักจะใช้เป็นตัวแปรหลักในการปรับเทียบ อาทิพฤติกรรมความก้าวร้าว (Driver Aggression) การรับรู้ของผู้ขับขี่ (Driver Awareness) ความเร่งและความหน่วงของยานพาหนะ ความเร็วยานพาหนะ ระยะห่างระหว่างรถ (Headway) และระยะเวลาตอบสนอง (Reaction time) แต่อย่างไรก็ดีตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดที่ควรใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองได้แก่ ระยะห่างระหว่างรถและระยะเวลาตอบสนอง

<u>การประเมินผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์</u>

การประเมินผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นวัตถุประสงค์ข้อหนึ่งในงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจว่าควรจะดำเนินการอย่างไรกับโครงข่ายในสภาพปัจจุบัน โดยจะทำการเปรียบเทียบสถานการณ์ระหว่างกรณีไม่มีและมีอุบัติการณ์จราจรเกิดขึ้นบนโครงข่าย

โดยทั่วไปการก่อสร้างหรือการปรับปรุงระบบโครงข่ายทางพิเศษย่อมทำให้เกิดผลประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ผลประโยชน์ทางตรงซึ่งเป็นผลประโยชน์ทางด้านการจราจรจะเกิดขึ้นกับผู้ใช้ถนนที่สามารถเห็นได้ชัดเจนและวัดมูลค่าได้ประกอบด้วยการประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้รถ (Vehicle Operating cost, VOC) การลดมูลค่าเวลาในการเดินทาง (Value of Time, VOT) สำหรับผลประโยชน์ทางอ้อมที่เห็นได้ชัดส่วนหนึ่งคือ ผลกระทบทางด้านมลพิษต่อผู้ที่พักอาศัยหรือผู้ที่มีกิจกรรมอยู่บริเวณริมถนน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะผลกระทบทางด้าน

การจราจรซึ่งจะเป็นการสูญเสียผลประโยชน์เนื่องจากการจราจรติดขัดมากขึ้นเพราะได้รับผลกระทบจากการเกิดอุบัติการณ์จราจร

1. <u>ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ(Vehicle Operating Cost)</u>

ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ จะสูงขึ้นหากการจราจรติดขัดและไม่คล่องตัวโดยจะลดลงอย่างรวดเร็วหากยานพาหนะสามารถเคลื่อนตัวได้รวดเร็วขึ้น ดังนั้นการลดค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะจึงเป็นประโยชน์ตอบแทนที่สำคัญประการหนึ่งที่จะได้รับจากโครงข่ายทางพิเศษ

ค่าใช้จ่ายในการใช้พาหนะแต่ละประเภทขึ้นกับความเร็วเฉลี่ยในสภาวะติดขัด (Congestion Effected Average Speed) ค่าใช้จ่ายนี้เป็นผลรวมของค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากน้ำมันเชื้อเพลิง ชิ้นส่วน อุปกรณ์ การซ่อมบำรุง น้ำมันเครื่อง การเสื่อมราคา ดอกเบี้ย และการสึกหรอของยาง

ตารางที่ 8 แสดงค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ (RC) สำหรับยานพาหนะทั้ง 9 ประเภทในรูป RC = A*speed+B

<u>ตารางที่ 8</u> ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะและความเร็ว

ประเภทของยานพาหนะ	ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ (บาท/คัน -กม.) ขึ้นกับความเร็ว (V.กม./ชม.)
รถยนต์ส่วนบุคคล	RC = -0.042*V+5.5589
รถบรรทุกขนาดเล็ก/ปิคอัพ	RC = -0.0421*V+4.6772
รถบรรทุกขนาดกลาง (2 เพลา, 6 ล้อ)	RC = -0.0283*V+5.7962
รถบรรทุกขนาดใหญ่ (3 เพลา, 10 ล้อ)	RC = -0.0991*V+10.725
รถบรรทุกพ่วง (5 เพลา, 18 ล้อ)	RC = -0.1254*V+16.141
รถโดยสารประจำทางขนาดเล็ก/รถตู้/รถปิคอัพโดยสาร	RC = -0.0258*V+5.215
รถโดยสารประจำทางขนาดกลาง/ไมโครบัส	RC = -0.0259*V+6.4828
รถโดยสารประจำทางขนาดใหญ่/ประจำทาง ขสมก.	RC = -0.1004*V+14.076
รถจักรยานยนต์	RC = -0.008*V+1.1202
Composite Vehicle	RC = -0.04886*V+6.758013

หมายเหตุ : ราคาทางเศรษฐกิจปี 2538

ที่มา: TP3 (OCMLT, 1998)

2. <u>มูลค่าเวลาในการเดินทาง (Values of Time)</u>

วัชรินทร์ (2542) ระบุว่า มูลค่าเวลาในการเดินทาง หมายถึง มูลค่า (ที่เทียบเท่ากับเงิน) ที่ต้องสูญเสียไปในการเดินทางและได้แนะนำวิธีการหามูลค่าเวลาการเดินทางของผู้โดยสารที่สำคัญดังนี้

1. วิธีการหารายได้ต่อชั่วโมงจากอัตราค่าจ้างของผู้โดยสารที่ใช้รูปแบบการเดินทางต่าง ๆ กัน เช่น ผู้โดยสารรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ผู้โดยสารรถขนส่งสาธารณะ

2. วิธีการสำรวจความคิดเห็นของผู้โดยสาร ซึ่งจะเป็นมูลค่าของผู้โดยสารที่จ่ายเงินสำหรับการลดเวลาในการเดินทาง โดยทั่วไปและเดินทางของผู้โดยสารจะขึ้นอยู่กับอัตราค่าจ้างที่เขาได้รับ

3. วิธีการศึกษาเกี่ยวกับทางเลือกในการเดินทางของผู้โดยสารเมื่อมีทางเลือกหลายๆ ทาง รวมทั้งเวลาเดินทางและค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่าง ๆ กัน

โครงการ UTDM (1998) ได้ประมาณมูลค่าผู้โดยสาร ผลการสำรวจตามที่พักอาศัย โดยคำนวณจาก 25% ของรายได้เฉลี่ยต่อชั่วโมงของแต่ละครัวเรือน แยกตามการครอบครองยานพาหนะได้มูลค่า ดังต่อไปนี้ (ราคา ณ ปี 2538)

1) ผู้โดยสารรถยนต์ส่วนบุคคล/แท็กซี่ 57 บาท/ชั่วโมง
2) ผู้ใช้รถจักรยานยนต์ 28 บาท/ชั่วโมง
3) ผู้โดยสารรถประจำทาง 26 บาท/ชั่วโมง

โครงการ Transport Policy and Planning Project, TP3 (1998) ของ สนข. ได้ประมาณมูลค่าเวลาของผู้โดยสารจากของโครงการ UTDM (1998) โดยพิจารณาว่ามูลค่าเวลาของผู้โดยสารรถยนต์ส่วนบุคคลใช้เพียงประมาณ 35% ของเวลา การเดินทางที่ลดลงได้เพื่อให้เกิดผลผลิตทางเศรษฐกิจ (เวลาส่วนที่เหลือใช้เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ) จะได้ว่ามูลค่าเวลาของผู้โดยสารเท่ากับ 20 บาทต่อชั่วโมง ราคาปี 2538/2539)

สำหรับมูลค่าเวลาของพนักงานขับรถและผู้ช่วยสำหรับยานพาหนะประเภทต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 9

<u>ตารางที่ 9</u> มูลค่าเวลาของพนักงานขับรถและผู้ช่วย

ประเภทของยานพาหนะ	พนักงาน	ค่าใช้จ่าย (บาท/เดือน)			บาท/คัน-ชม.	
		เงินเดือน	ค่าเบี้ยเลี้ยง	รวม	การเงิน	เศรษฐกิจ
รถบรรทุกขนาดเล็ก	พนักงานขับรถ	6,000	0	6,000	27.78	25.00
	ผู้ช่วย	0	0	0	0.00	0.00
รถบรรทุกขนาดกลาง	พนักงานขับรถ	8,000	3,375	11,375	52.66	48.96
	ผู้ช่วย	3,000	1,620	4,620	21.39	20.00
รถบรรทุกขนาดใหญ่	พนักงานขับรถ	10,000	4,050	14,050	65.05	60.42
	ผู้ช่วย	4,000	2,025	6,025	27.89	26.04
รถบรรทุกพ่วง	พนักงานขับรถ	12,000	4,725	16,725	77.43	71.88
	ผู้ช่วย	4,000	2,025	6,025	27.89	26.04
รถโดยสารประจำทางขนาดเล็ก	พนักงานขับรถ	7,000	0	7,000	32.41	29.17
	ผู้ช่วย	0	0	0	0.00	0.00
รถโดยสารประจำทางขนาดกลาง	พนักงานขับรถ	7,000	4,050	11,050	51.16	47.92
	ผู้ช่วย	3,000	1,620	4,620	21.39	20.00
รถโดยสารประจำทางขนาดใหญ่	พนักงานขับรถ	7,000	4,050	11,050	51.16	47.92
	ผู้ช่วย	6,000	3,240	9,240	42.78	40.00

ที่มา: TP 3 (OCMLT, 1998)

จากสมมติฐานว่าจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย (ไม่รวมพนักงานขับรถและผู้ช่วย) ในรถยนต์ส่วนบุคคลเท่ากับ 1.4 คน ในรถบรรทุกขนาดเล็กเท่ากับ 1.0 คน ในรถโดยสารขนาดเล็กเท่ากับ 7.0 คน ในรถโดยสารขนาดกลางเท่ากับ 20 คน ในรถโดยสารขนาดใหญ่เท่า 40.0 คน และบนรถจักรยานยนต์เท่ากับ 1.0 คน จะได้มูลค่าเวลาของผู้โดยสาร (รวมมูลค่าเวลาของพนักงานขับรถและผู้ช่วย) ของยานพาหนะแต่ละประเภทดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 มูลค่าเวลาของผู้โดยสาร (รวมมูลค่าเวลาของพนักงานขับรถและผู้ช่วย)

ประเภทของยานพาหนะ	ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะ (บาท/คัน-กม.) ขึ้นกับความเร็ว (V.กม./ชม.)
รถยนต์ส่วนบุคคล	TC = 28.0
รถบรรทุกขนาดเล็ก/ปิคอัพ	TC = 45.0
รถบรรทุกขนาดกลาง (2 เพลา, 6 ล้อ)	TC = 69.0
รถบรรทุกขนาดใหญ่ (3 เพลา, 10 ล้อ)	TC = 86.5
รถบรรทุกพ่วง (5 เพลา, 18 ล้อ)	TC = 97.9
รถโดยสารประจำทางขนาดเล็ก/รถตู้/รถปิคอัพโดยสาร	TC = 169.2
รถโดยสารประจำทางขนาดกลาง/ไมโครบัส	TC = 467.9
รถโดยสารประจำทางขนาดใหญ่/ประจำทาง ขสมก.	TC = 887.9
รถจักรยานยนต์	TC = 20.0
Composite Vehicle	TC = 180.8

หมายเหตุ : ราคาทางเศรษฐกิจปี 2538

ที่มา: TP3 (OCMLT, 1998)

สำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะและมูลค่าเวลาจากผลการศึกษาของโครงการ Transport Policy and Planning Project, TP3 (1998) ในการประเมินผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการจราจร

การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์

วิโรจน์ รุโจปการ (2542) ระบุว่า แบบจำลองจราจรและขนส่งจะให้ผลการวิเคราะห์ที่แสดงจำนวนระยะทางและระยะเวลาการเดินทางทั้งหมดบนโครงข่ายถนนในหน่วยของคัน-กิโลเมตรและคัน-ชั่วโมงต่อช่วงเวลาเร่งด่วนที่ทำการศึกษาหรือที่เรียกเต็มๆ ว่า คัน-รถยนต์นั่ง-กิโลเมตรและคัน-รถยนต์นั่ง-ชั่วโมง โดยเป็นหน่วยที่ปรับให้ยวดยานทุกประเภทอยู่บนฐานพิจารณาเดียวกัน แล้วนำผลการวิเคราะห์ที่ได้คูณด้วยมูลค่าเวลาและค่าใช้จ่ายในการใช้ยานพาหนะที่เหมาะสมเพื่อคำนวณหามูลค่ารวมของเวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทางทั้งหมดที่เกิดขึ้น ประโยชน์โครงการใดโครงการหนึ่ง สามารถประมาณการได้จากการนำผลคูณที่ได้ในกรณีที่มีโครงการบรรจุอยู่ในโครงข่ายคมนาคมขนส่งกับผลคูณที่ได้ในกรณีฐานมาหักลบกัน

การสูญเสียทางด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับงานวิจัยนี้จะเป็นผลต่างของค่าใช้จ่ายระหว่างกรณีไม่มีอุบัติการณ์จราจรเปรียบเทียบกับกรณีมีอุบัติการณ์จราจรเกิดขึ้นบนโครงข่าย ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

มูลค่าการสูญเสียเวลา = (Δ คัน-รถยนต์นั่ง-ชั่วโมง)(VOT)(ระยะเวลา) (2)

มูลค่าการสึกหรอจากการใช้ยานพาหนะ = (Δ คัน-รถยนต์นั่ง-กม.)(VOC)(ระยะเวลา) (3)

โดยที่ :

มูลค่าการการสูญเสียเวลา = ค่าการสูญเสียเวลา มีหน่วยเป็นบาท

มูลค่าการสึกหรอจากการใช้ยานพาหนะ = ค่าการสูญเสียจากการใช้ยานพาหนะมีหน่วยเป็นบาท

Δ คัน-รถยนต์นั่ง-ชั่วโมง = ผลต่างของจำนวนระยะเวลาเดินทางทั้งหมดเมื่อเทียบกรณีไม่มีและมีอุบัติการณ์จราจรมีหน่วยเป็นคัน-รถยนต์นั่ง-ชั่วโมงต่อชั่วโมงเร่งด่วน

Δ คัน-รถยนต์นั่ง-กิโลเมตร =ผลต่างของจำนวนระยะทางทั้งหมดที่ต้องการเดินทางเมื่อเทียบกรณีมีและไม่มีอุบัติการณ์จราจรมีหน่วยเป็นคัน-รถยนต์นั่ง-กิโลเมตรต่อชั่วโมงเร่งด่วน

VOT = มูลค่าเวลาคำนวณจากรายได้เฉลี่ยประชากร หน่วยเป็นบาท/คัน-รถยนต์นั่ง-ชั่วโมง

VOC = มูลค่าการใช้ยานพาหนะตามระยะทาง หน่วยเป็นบาท/คัน-รถยนต์นั่ง-กิโลเมตร

ระยะเวลา = ระยะเวลาที่เกิดอุบัติการณ์จราจร

งานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรชัย และคณะ (2544) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม Parmics ในการจัดการระบบจราจรบริเวณศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยเน้นในการจัดการจราจรเพื่อรองรับการเปิดให้บริการของศูนย์หัวใจสิริกิตติ์ โรงพยาบาลทันตกรรม ซึ่งเป็นอาคารที่ก่อสร้างขึ้นใหม่ ในการศึกษานี้ได้เสนอแนวทางการจัดการจราจรเพื่อแก้ไขปัญหาการจราจร 4 ทางเลือก ประกอบด้วยทางเลือกที่ 1 คือไม่ทำอะไรเลย ทางเลือกที่ 2 คือลดจำนวนจุดขัดแย้งต่างๆ ในโครงข่ายถนน ทางเลือกที่ 3 คือการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการจราจรและทางเลือกที่ 4 คือการรวมทางเลือกที่ 2 กับทางเลือกที่ 3 เข้าด้วยกัน จากการศึกษาและการประยุกต์ใช้โปรแกรม Paramics เพื่อจำลองสภาพการจราจรก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงทางเลือกต่างๆ โดยใช้ดัชนีทางวิศวกรรมจราจร คือ ความเร็ว (Speed) และระดับการให้บริการของถนน (Level of Service , LOS) เป็นตัวเปรียบเทียบประเมินทางเลือก จากการศึกษาพบว่าทางเลือกที่ 2 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด โดยจากการศึกษานี้จะทำให้เราได้ทราบเกี่ยวกับตัวชี้วัดของโปรแกรมจำลองสภาพจราจร

พลกฤษณ์ และมนสิชา (2544) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการจัดการระบบการจราจรบริเวณหน้าศูนย์อาหารและบริการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อออกแบบระบบจราจรต้นแบบโดยใช้หลักการดัดแปลงสิ่งแวดล้อมในการจัดระบบจราจรเพื่อปรับปรุงสภาพความปลอดภัยและคุณภาพสิ่งแวดล้อมของถนนเพื่อผู้ใช้ถนนทุกๆคน โดยใช้โปรแกรม Paramics ในการจำลองสภาพการจราจรบนถนนในช่วงก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มจากการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร ณ ทางแยกและบนช่วงถนนโดยแยกพาหนะตามประเภทต่างๆ ข้อมูลการเดินทาง (จุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง) และความเร็วของยานพาหนะแต่ละคัน ตลอดจนปริมาณคนเดินข้ามถนน สภาพภูมิประเทศและสิ่งก่อสร้างต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการทำแผนที่โดยใช้โปรแกรม AutoCAD R14 และโปรแกรม Paramics จำลองสภาพการจราจรเช่น ปริมาณจราจร ความเร็ว เวลาในการเดินทาง ความล่าช้า เป็นต้น ซึ่งมีผลกระทบต่อความปลอดภัยและคุณภาพสิ่งแวดล้อม มีการกำหนดโซนต่างๆ เพื่อควบคุมพฤติกรรมผู้ใช้รถและคนเดินเท้า การสร้างสิ่งกีดขวางเพื่อชะลอความเร็วของยานพาหนะ การกำหนดทิศทางการแล่นของยานพาหนะ กำหนดเส้นทางรถโดยสารประจำทางและที่จอดรถโดยสารประจำทาง การลดความกว้างของผิวจราจรของถนน ขยายความกว้างของเกาะกลางถนน เพื่อศึกษาสภาพจราจร ความปลอดภัยและคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยจากการจำลองของโปรแกรม Paramics ทำให้ผู้วิจัยสามารถปรับปรุงการออกแบบการจัดการระบบการจราจร จนกระทั่งได้ค่าความปลอดภัยและคุณภาพ

สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษทางเสียงในระดับที่น่าพอใจ จึงสรุปเป็นแบบแปลนของระบบการจราจร ที่นำไปดำเนินการก่อสร้างจริง ทั้งนี้เพื่อพิสูจน์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้ทดลองสร้างแบบจำลองตามสภาพการณ์ที่เป็นอยู่จริงและนำค่ากระแสจราจรและความเร็วของยานพาหนะที่ได้จากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้วัดจริง สำหรับการศึกษานี้จะใช้ความเร็ว เวลาในการเดินทาง ความล่าช้า เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจรและจากผลการทดลองพบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้ในการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นได้

ทวี (2546) ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม Paramics ในการพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่มีประสิทธิภาพสำหรับสภาพจราจรอิ่มตัวและอิ่มตัวมาก โดยการเขียนโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface, API) เพิ่มเติมเข้าไป โดยมีหลักการในการพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟคือ การปรับสัญญาณไฟให้สอดคล้องกับข้อมูลการจราจรแบบทันกาลและป้องกันการเกิดแถวคอยกีดขวางทางแยกต้นทาง และทำการทดสอบบนโครงข่ายถนนที่มีระยะห่างระหว่างทางแยกเท่ากันจำนวน 2 โครงข่าย โดยใช้ระยะห่างระหว่างทางแยก รูปแบบและปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกแตกต่างกัน ตัววัดประสิทธิภาพของการควบคุม ได้แก่ จำนวนยวดยานที่ตกค้างในโครงข่าย จำนวนยวดยานที่ออกจากโครงข่าย ความเร็วเฉลี่ย เวลาหยุดนิ่ง ระยะทางที่ยวดยานวิ่งบนโครงข่ายรวม(คัน-กิโลเมตร) และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง เป็นต้น และ เพื่อให้แน่ใจว่าโปรแกรมสามารถจำลองสภาพการจรารได้ถูกต้องจึงทำการตรวจสอบการจำลองสภาพการจราจร โดยใช้ ตารางการเดินทางกับปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายจริง การนับปริมาณจราจรโดยอุปกรณ์ตรวจนับบนพื้นผิว ซึ่งผลการวิจัยพบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองและจากทฤษฎีหรือในสนามมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกันจึงพอสรุปได้ว่า การศึกษานี้ค่อนข้างสมบูรณ์และเชื่อถือได้

พนกฤษณ และธีรชัย คมปรัชญา (2546) ศึกษาการประเมินทางเลือกในการจัดการระบบจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง จังหวัดขอนแก่นโดยใช้โปรแกรม Paramics ประยุกต์ใช้ในการประเมินและเปรียบเทียบทางเลือกต่างๆ ซึ่งมีทั้งหมด 6 ทางเลือก โดยทำรังวัดเพื่อทำแผนที่บริเวณศึกษา สำรวจจังหวะและรอบสัญญาณไฟ ปริมาณจราจรและข้อมูลการเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทาง โดยวิธีการบันทึกหมายเลขทะเบียนเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการหาปริมาณจราจรที่เข้าและออกจากพื้นที่ย่อยต่างๆ จากนั้นนำไปสร้างเป็นตารางการเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทาง (OD Matrix) ในโปรแกรม Paramics สำหรับการศึกษานี้จะใช้ความเร็ว ความล่าช้า ความยาวแถวคอยเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจรจากผลการศึกษาพบว่า ทางเลือกที่ 2 ซึ่งเป็นการตัดถนนใหม่ด้านหลังศาลเจ้าแม่ธรณีเป็นถนน 4 ช่องจราจร แล้วรวมพื้นที่อนุสาวรีย์

ประชาธิปไตยกับศาลเจ้าแม่ธรณีให้เป็นผืนเดียวกันและจัดการจราจรให้เป็นวงเวียนขนาดใหญ่และยกเลิกสัญญาณไฟ เป็นทางเลือกสามารถลดปัญหาการจราจรและอุบัติเหตุได้ดีและเหมาะสมที่สุด

เอกรินทร์ (2546) ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม Paramics ร่วมกับ Intelligent Transportation Systems (ITS) โดยเฉพาะ Advanced Traveler Information System (ATIS) ในการแจ้งบอกข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการการเกิดอุบัติการณ์จราจรบนทางด่วนให้ผู้ใช้ทางทราบล่วงหน้า เพื่อให้ผู้ใช้ทางสามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางการเดินทาง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการจราจรที่เกิดจากอุบัติการณ์ดังกล่าวได้ โดยเลือกพื้นที่ศึกษาบริเวณทางด่วนขั้นที่ 2 ช่วงระหว่างจุดตัดถนนรัชดาภิเษกถึงจุดตัดถนนศรีอยุธยา รวมระยะทางประมาณ 7.2 กิโลเมตร ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆในสนาม เช่น ความเร็ว ปริมาณจราจร เป็นต้น แล้วนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในโปรแกรม Paramics และนำผลที่ได้จากการประมวลผลเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ถ้าหากผลที่ได้ไม่ตรงกันก็ทำการปรับเทียบจนกว่าข้อมูลจะใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นก็เป็นการประยุกต์ใช้งานโดยการจำลองอุบัติการณ์ขึ้นบนโครงข่ายและรูปแบบของอุบัติการณ์จะมี 2 ลักษณะ คือ Road Incident และ Vehicles Incident ซึ่งผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1) การเกิดอุบัติการณ์ขึ้นบนโครงข่าย ทำให้เวลาเดินทางเฉลี่ยบนโครงข่ายเพิ่มขึ้นประมาณ 12 – 15 % และมีผลทำให้ความเร็วเฉลี่ยบนโครงข่ายลดลงประมาณ 4 – 27 % และเมื่อมีนำเอา Traveler Information System มาใช้งานบนโครงข่ายจะพบว่า การเคลื่อนตัวของรถดีขึ้น โดยจะประหยัดเวลาการเดินทาง ประมาณ 3 –14 % ของเวลาเดินทางเฉลี่ย และความเร็วเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2 – 20 %

2) เมื่อระยะเวลาของการเกิดอุบัติการณ์ยาวนาน ก็จะส่งผลกระทบกับประสิทธิภาพของโครงข่ายมากด้วย

3) การเกิดอุบัติการณ์ที่ช่องจราจรกลาง จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายมากกว่า ช่องจราจรอื่น

การศึกษานี้ค่อนข้างจะสมบูรณ์ แต่มีข้อสังเกตอย่างหนึ่งคือพื้นที่ศึกษาค่อนข้างจะมีขนาดเล็กเกินไปและวิเคราะห์ในแง่ของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางด้านการจราจรบางตัวเช่น ความเร็วเฉลี่ยและระยะเวลาการเดินทาง เท่านั้น หากนำมาพิจารณาศึกษาให้โครงข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อครอบคลุมระบบทางพิเศษประกอบกับมีการประเมินผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยจะทำให้การศึกษามีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

กนกวรรณ และคณะ (2547) ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม Paramics ในการจัดการระบบจราจรบริเวณสี่แยกสามเหลี่ยมในจังหวัดขอนแก่น เพื่อจำลองสภาพการจราจรก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงทางเลือกต่างๆ ซึ่งมีทั้งหมด 4 ทางเลือก โดยใช้ความยาวแถวคอย (Queue Length) เป็นดัชนีชี้วัดในการตัดสินใจ จากผลการศึกษาพบว่า ทางเลือกที่ 4 คือ การสร้างทางลอด (Underpass) ในแนวถนนมะลิวัลย์และประชาสโมสร พร้อมกับติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติเป็นทางเลือกทางเทคนิคที่ดีที่สุด แต่ยังไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากการพิจารณาเลือกโครงการเพื่อแก้ไขปัญหาการจราจร ควรนำการศึกษาผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการปรับปรุงภูมิทัศน์มาประกอบการพิจารณาด้วย