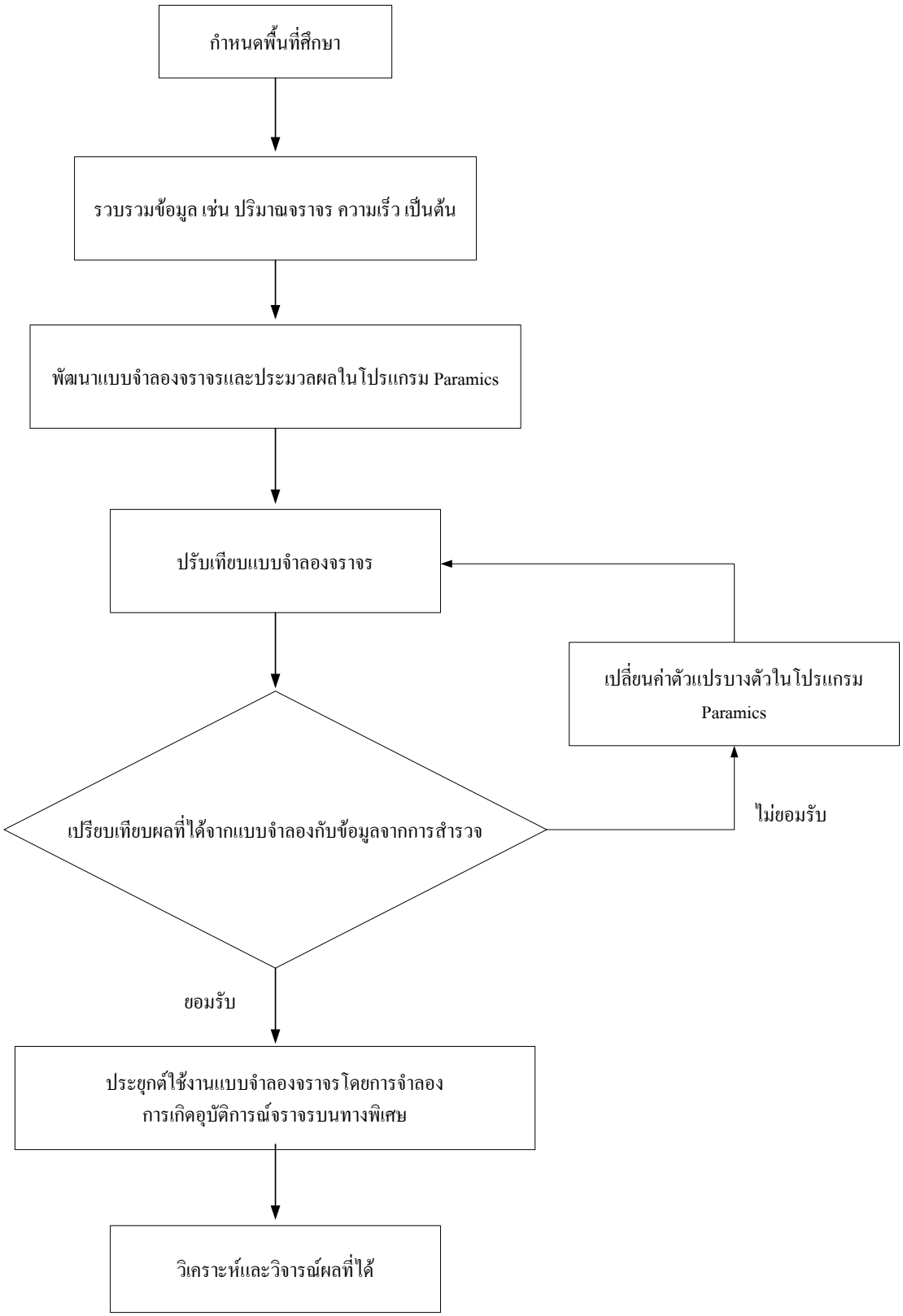
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์	จำนวน 1 เครื่อง
2. เครื่องพิมพ์คอมพิวเตอร์	จำนวน 1 เครื่อง
3. เครื่อง Scanner	จำนวน 1 เครื่อง
4. ซอร์ฟแวร์โปรแกรมระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows	จำนวน 1 ชุด
5. ซอร์ฟแวร์โปรแกรม Microsoft Office	จำนวน 1 ชุด
6. ซอร์ฟแวร์โปรแกรม Paramics	จำนวน 1 ชุด

วิธีการ

ขั้นตอนการวิจัยสามารถสรุปเป็นแผนผัง ดังแสดงไว้ในภาพที่ 13 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



<u>ภาพที่ 13</u> แผนผังแสดงขั้นตอนการวิจัย

1. <u>การเก็บรวบรวมข้อมูล</u>

เพื่อความสามารถในการประเมินถึงประสิทธิภาพในการพัฒนาแบบจำลองต่าง ๆ กระบวนการรวบรวมข้อมูลจัดเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากข้อมูลที่ครบถ้วนและถูกต้องย่อมส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีประสิทธิภาพสูงด้วย ในการศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูลด้านกายภาพ (Physical Data) และข้อมูลด้านจราจร (Traffic Data) ดังนี้

1.1. ข้อมูลด้านกายภาพ (Physical Data) ประกอบด้วยข้อมูลลักษณะเรขาคณิต (Geometry) ของโครงข่ายระบบทางพิเศษ เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลจำนวนช่องจราจร ลักษณะของช่องทาง ความกว้าง ความยาวในแต่ละส่วนของทางพิเศษ โค้งราบ โค้งดิ่ง ฯลฯ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้รวบรวมได้จากการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ในลักษณะของแปลนตามเลขที่สัญญาต่าง ๆ เพื่อนำมาปรับเป็นไฟล์รูปภาพ (*.bmp) เพื่อใช้ในการกำหนดตำแหน่งต่างๆ ในรูปแบบแผนที่ซ้อนทับ (Overlay) ซึ่งต้องทำการปรับเปลี่ยนขนาดของภาพให้มีขนาด 64x64 (ขนาดเล็กสุด) 128x128 256x256 512x512 หรือ 1028x1028 พิกเซล (ขนาดใหญ่สุด) โดยใช้โปรแกรมตกแต่งรูปภาพ เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายในส่วน Modeller ต่อไป

1.2. ข้อมูลด้านจราจร (Traffic Data) ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลในระดับทุติยภูมิ (Secondary Data) ประกอบด้วยข้อมูลการเดินทางต้นทางปลายทาง (O-D Trip) ซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณการจราจรต่อวัน ณ ทางเข้า-ออกจากระบบทางพิเศษ ข้อมูลลักษณะของรถ สัดส่วนของรถแต่ละประเภท ความเร็วจำกัดในแต่ละเส้นทาง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในขั้นต้น ข้อมูลปริมาณการจราจรบนช่วงหลักและข้อมูลทางด้านความเร็วเฉลี่ยบนช่วงหลักของแต่ละช่วงบนโครงข่ายทางพิเศษในชั่วโมงเร่งด่วนเช้าเพื่อใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง

จากการรวบรวมข้อมูลด้านจราจรซึ่งเป็นข้อมูลจากการสำรวจโดยบริษัท มูเชล (ประเทศไทย) จำกัด เมื่อวันศุกร์ที่ 28 พฤศจิกายน 2540 (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2541) พอสรุปเป็นประเด็นย่อย ๆ ได้ดังนี้

1) ปริมาณการจราจรในแต่ละช่วงของทางพิเศษ จากข้อมูลจะพบว่า ช่วงของทางพิเศษที่มีปริมาณการจราจรสูงสุด คือจากด่านท่าเรือ 1 ถึงทางแยกต่างระดับท่าเรือ (มุ่งทิศเหนือ) มีปริมาณการจราจร 131,032 คันต่อวัน ช่วงของทางพิเศษที่มีปริมาณการจราจรสูงรองลงมา คือจาก

ด่านอาจณรงค์ถึงด่านท่าเรือ 1 (มุ่งทิศเหนือ) มีปริมาณการจราจร 124,771 คันต่อวันและช่วงของทางพิเศษที่มีปริมาณการจราจรสูงมากกว่า 100,000 คันต่อวัน ประกอบด้วยช่วงจากด่านสุขุมวิท 62 ถึงทางแยกต่างระดับท่าเรือ (มุ่งทิศเหนือ) มีปริมาณการจราจร 107,163-131,032 คันต่อวัน ช่วงจากทางแยกต่างระดับท่าเรือถึงทางแยกต่างระดับมักกะสัน (มุ่งทิศเหนือ) มีปริมาณการจราจร 108,500-121,248 คันต่อวัน ช่วงจากด่านเพชรบุรี ถึงด่านสุขุมวิท (มุ่งทิศใต้) มีปริมาณการจราจร 103,571 คันต่อวันและช่วงจากทางแยกต่างระดับท่าเรือถึงด่านสุขุมวิท 62 (มุ่งทิศใต้) มีปริมาณการจราจร 101,164 – 110,397 คันต่อวัน

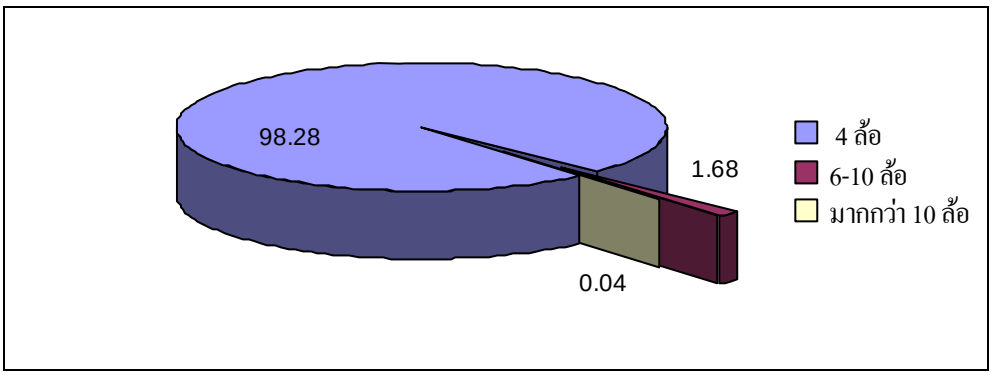
2) ลักษณะการครอบครองยวดยานของผู้ใช้ทางพิเศษ จากข้อมูลจะพบว่าสัดส่วนของยานพาหนะบนระบบทางพิเศษแบ่งตามประเภทของรถที่ใช้ในการเดินทาง เป็นรถยนต์ส่วนตัวมากที่สุด ประมาณ 73.85 % รองลงมาคือรถบริษัท ประมาณ 17.77% รถแท็กซี่ประมาณ 5.72% และรถราชการ รัฐวิสาหกิจประมาณ 2.66% ซึ่งข้อมูลนี้มาจากการสัมภาษณ์ผู้ใช้ทางพิเศษ จำนวนผู้ที่อยู่ในรถทั้งหมด (รวมผู้โดยสารและคนขับ) แสดงในตารางที่ 11 ซึ่งข้อมูลปริมาณการครอบครองยวดยานของผู้ใช้ทางพิเศษ และคิดเป็นจำนวนผู้ที่อยู่ในรถทั้งหมดเฉลี่ย 1.92 คนต่อคัน

ตารางที่ 11 สัดส่วนของปริมาณการครอบครองยวดยาน

ปริมาณการครอบครองยวนยาน (คน/คัน)	สัดส่วน (%)
1	45.02
2	37.28
3	10.4
4	3.75
มากกว่า 4	1.15

ที่มา: การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2541)

3) ประเภทของยวดยานที่ใช้ระบบทางพิเศษ จำแนกตามอัตราการคิดค่าผ่านทาง แบ่งเป็น 3 ระดับคือ รถ 4 ล้อ รถ 6-10 ล้อ และรถมากกว่า 10 ล้อ ดังแสดงสัดส่วนในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 สัดส่วนของยวนยานที่เข้าใช้ระบบทางพิเศษ
ที่มา: การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2541)

4) ระยะเวลาการเดินทางเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง ได้แสดงในตารางที่ 12 ซึ่งเป็นข้อมูลในช่วงเร่งด่วนเช้าของระบบทางพิเศษขั้นที่ 1 ขั้นที่ 2 และทางพิเศษฉลองรัช (รามอินทรา – อาจณรงค์) ซึ่งข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางและระยะเวลาการเดินทางเฉลี่ยเป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจโดยวิธี Moving Car Method

ตารางที่ 12 ระยะเวลาการเดินทางเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางบนระบบทางพิเศษ

ระบบทางพิเศษ	ระยะเวลาการเดินทางเฉลี่ย (นาที)	ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
ขั้นที่ 1	22.78	67.93
ขั้นที่ 2	32.36	52.66
รามอินทรา- อาจณรงค์	13.91	72.60

ที่มา: การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2541)

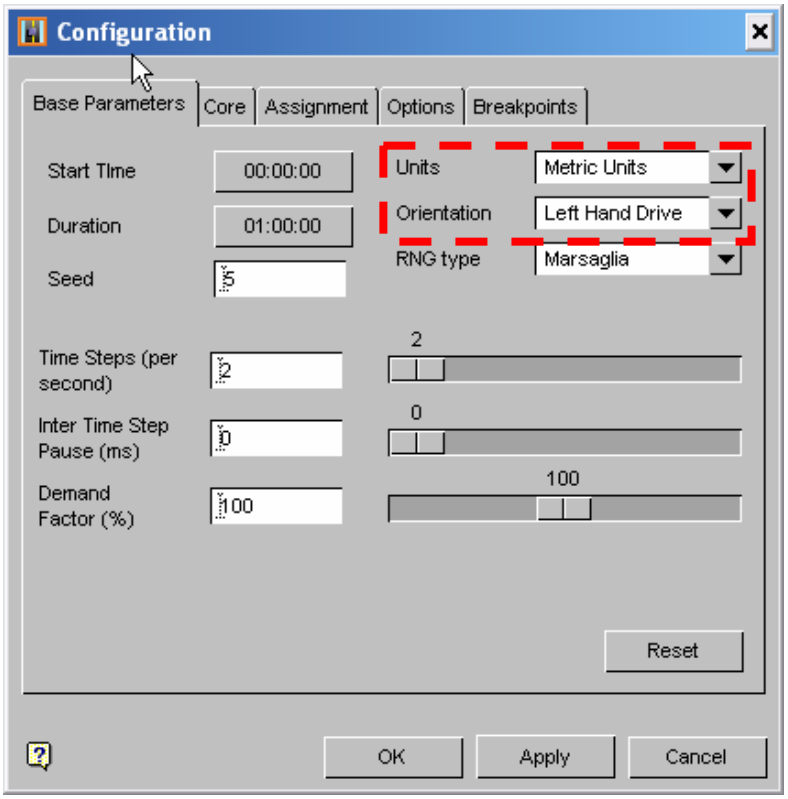
2. <u>การพัฒนาแบบจำลอง</u>

การพัฒนาแบบจำลองการจราจรในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม Paramics ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการแสดงผลได้ดี สามารถกำหนดลักษณะพฤติกรรมในระดับจุลภาค รวมไปถึงสามารถพัฒนาแบบจำลองที่เอื้อประโยชน์ต่อผู้ใช้งานในหลายประการ โดยในส่วนนี้จะกล่าวถึงกระบวนการในการพัฒนาแบบจำลองเป็นขั้นตอนโดยละเอียดประกอบด้วย

1. การสร้างโครงข่ายแบบจำลอง (Model Construction)

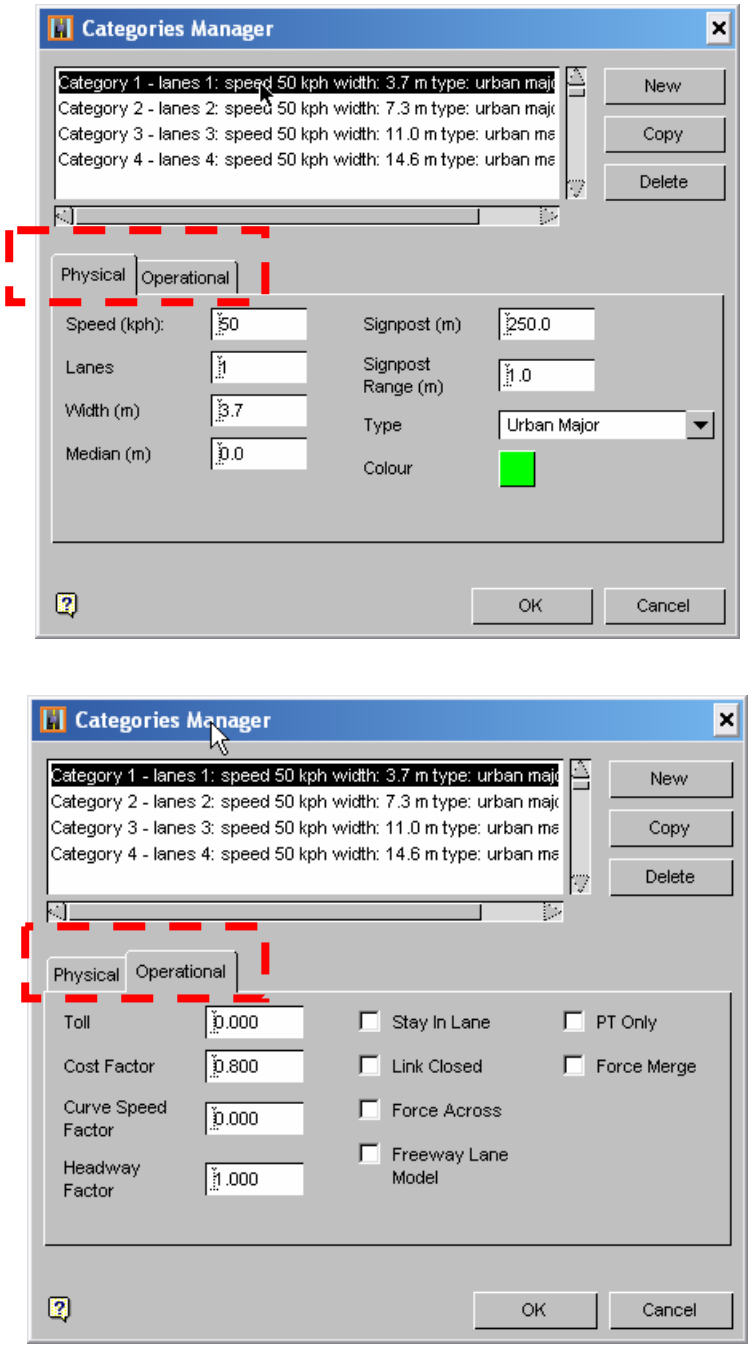
การสร้างโครงข่ายแบบจำลองโดยโปรแกรม Paramics มีขั้นตอนดังนี้

1) ในการสร้างเริ่มจากการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการขับขี่ในประเทศไทย โดยการกำหนดมาตราส่วนให้เป็นระบบเมตริก และการขับขี่ชิดซ้ายดังแสดงในภาพที่ 15

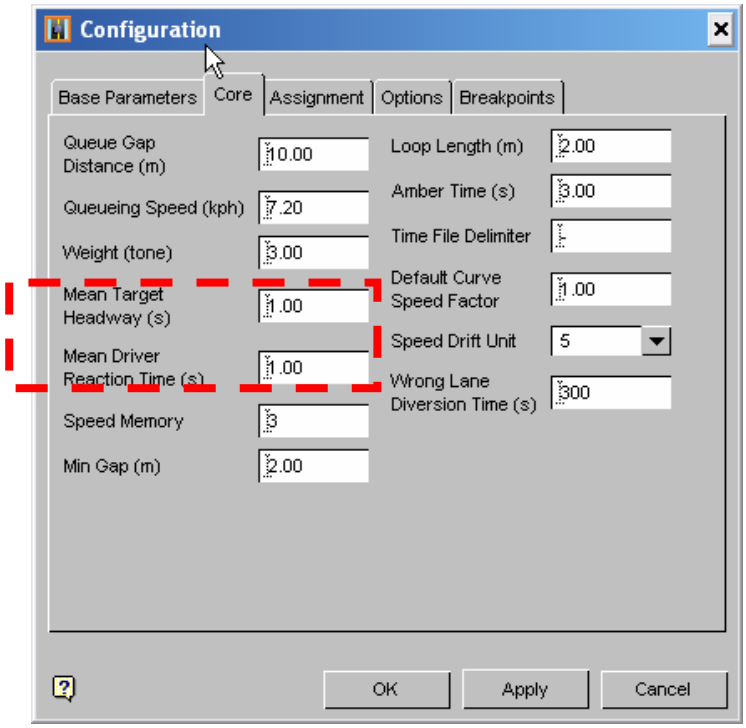


<u>ภาพที่ 15</u> การกำหนดค่าเริ่มต้นให้สอดคล้องกับสภาพการจราจรในประเทศไทย

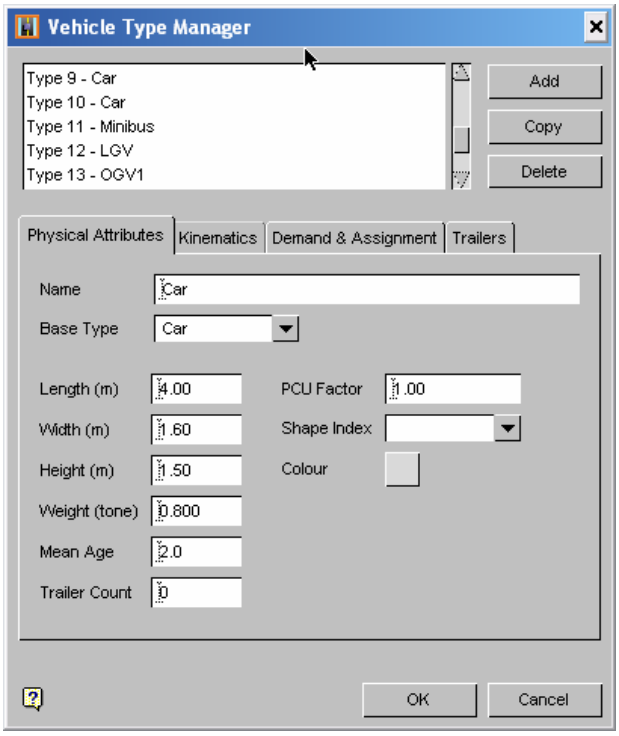
การกำหนดคุณลักษณะของช่องทาง ประเภทของถนน ประเภทของยานพาหนะ รวมไปถึงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ด้านพฤติกรรมผู้ขับขี่ ได้แก่ระยะห่างระหว่างยวดยาน (Headway) และระยะเวลาตอบสนอง (Reaction Time) ดังแสดงในภาพที่ 16 – 18



<u>ภาพที่ 16</u> การกำหนดค่าเริ่มต้นให้สอดคล้องกับสภาพการจราจรในประเทศไทย

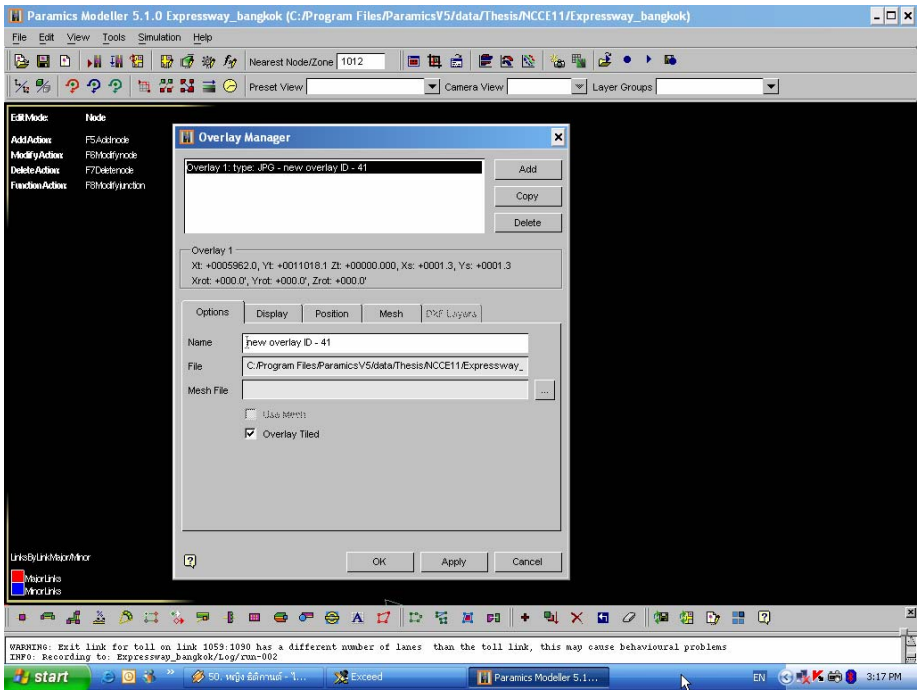


ภาพที่ 17 การกำหนดค่าเริ่มต้นให้สอดคล้องกับสภาพการจราจรในประเทศไทย (ต่อ)

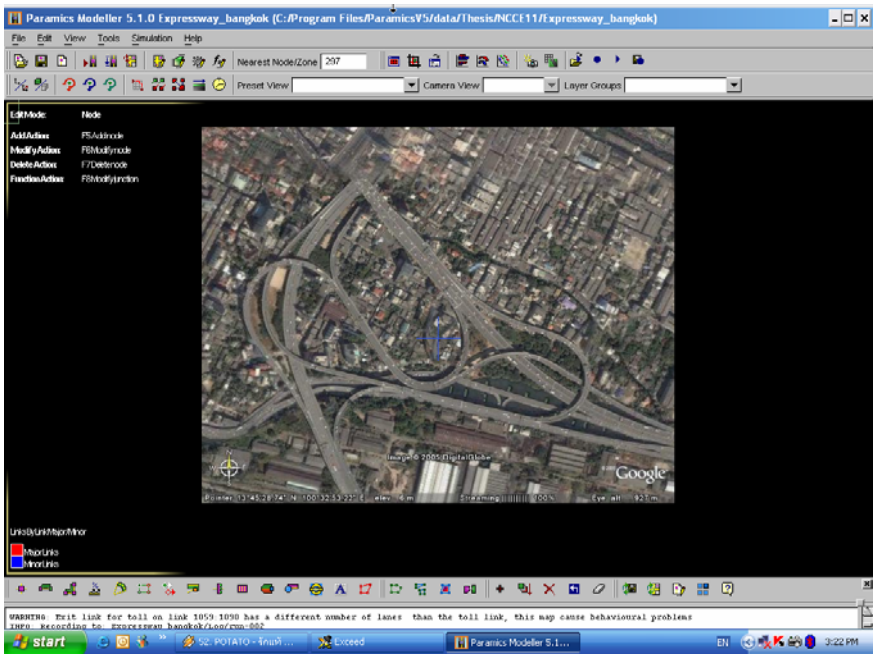


ภาพที่ 18 การกำหนดค่าเริ่มต้นให้สอดคล้องกับสภาพการจราจรในประเทศไทย (ต่อ)

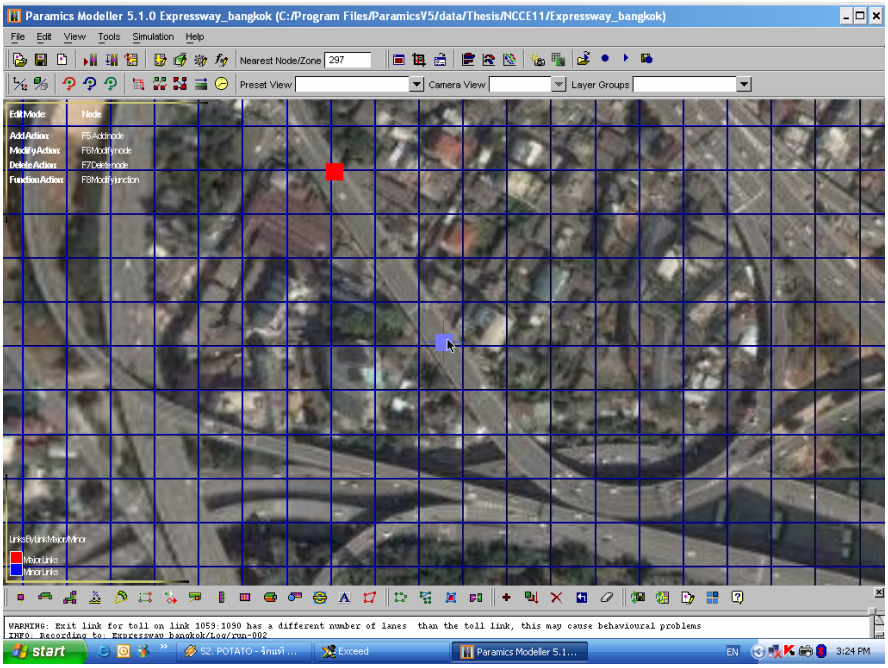
2) ขั้นตอนต่อไปคือการนำไฟล์รูปภาพ *.bmp หรือไฟล์ *.dxf ที่ได้รับการปรับขนาดแล้วมาใช้งานในส่วนซ้อนทับ (Overlay) แล้วทำการปรับตำแหน่งและขนาดอีกครั้งโดยเปรียบเทียบกับเส้นกรอบจัตุรัสที่โปรแกรมกำหนด (Grid Line) เมื่อรูปที่ได้มีความถูกต้องในด้านตำแหน่งและขนาดแล้วผู้เขียนโปรแกรมจะต้องทำการวางตำแหน่งจุดอ้างอิง (Node) แล้วทำการเชื่อมจุดอ้างอิงด้วยเส้นทาง (Link) ซึ่งสามารถเลือกประเภทของเส้นทางที่ได้กำหนดไว้ในส่วน Edit>>Categories นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถกำหนดลักษณะเส้นทางในรูปแบบที่มีลักษณะพิเศษได้เช่น การกำหนดช่องทางเดินรถโดยสาร ช่องทางพิเศษในการควบคุมประเภทยานพาหนะในการเข้าใช้ความเร็วจำกัด ฯลฯ ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในส่วน Edit>>Restrictions และในขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการสร้างโครงข่ายคือการปรับเปลี่ยนเส้นขอบทาง เส้นหยุด ฯลฯ ดังแสดงในภาพที่ 19 – 23 เพื่อให้แบบจำลองมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นตาม ภาพที่ 24 แสดงลักษณะโครงข่ายทั่วไปและรายละเอียดของลักษณะเส้นทางบนระบบทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานคร เช่นโครงข่ายพื้นที่โดยรวม โครงข่ายบริเวณแยกต่างระดับ ตำแหน่งทางขึ้น-ลง ป้ายจราจร ลักษณะช่องทางบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง โซนทางเข้า- ออก เครื่องตรวจวัดการจราจร เป็นต้น โดยใช้โปรแกรม Paramics



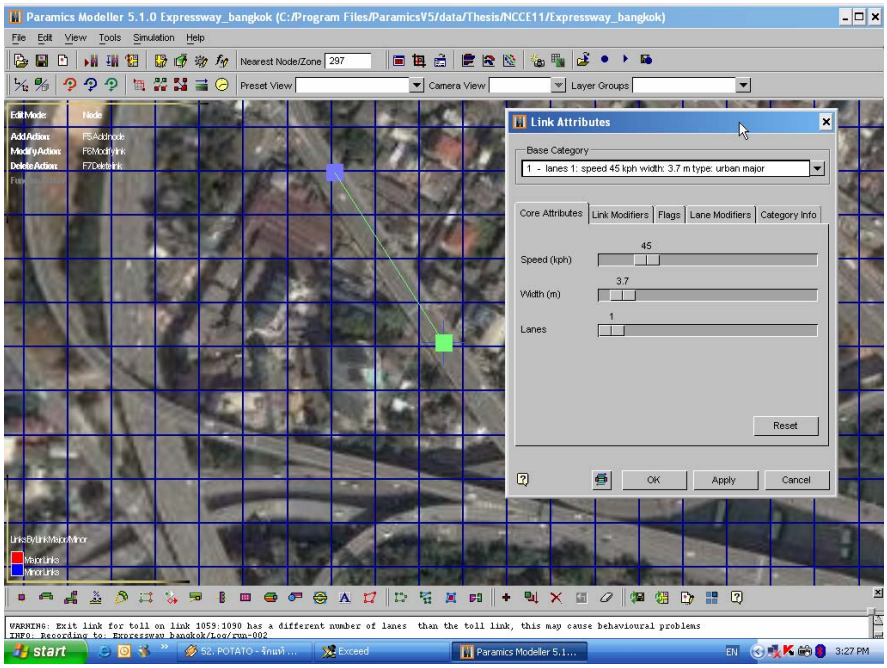
ภาพที่ 19 การนำไฟล์รูปภาพเข้าสู่โปรแกรมเพื่อทำเป็น Overlay สำหรับการสร้างโครงข่าย



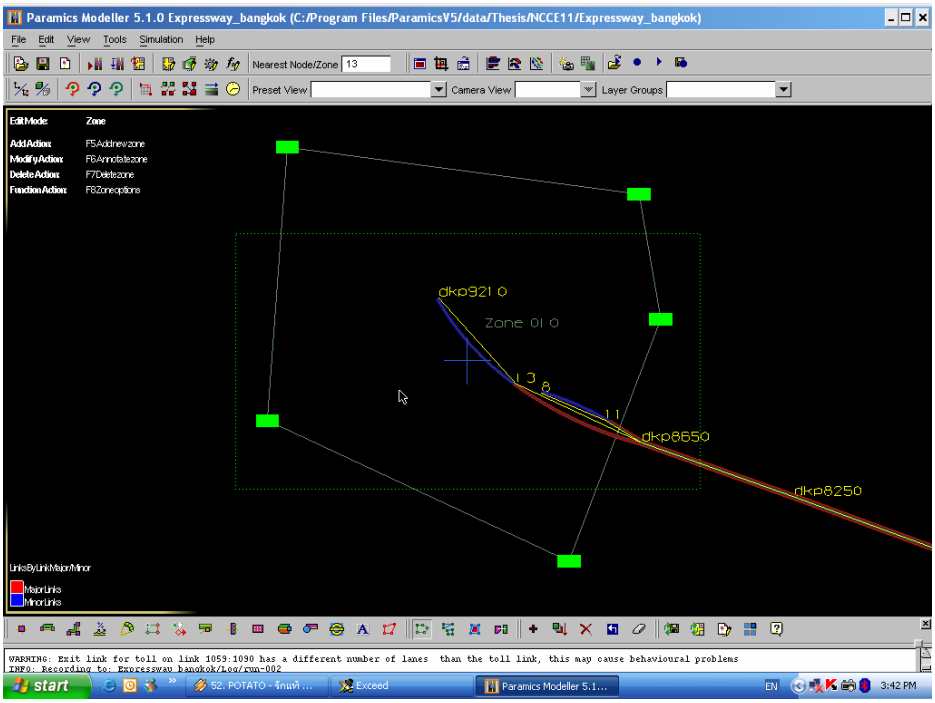
ภาพที่ 20 ตัวอย่างภาพที่นำมาทำเป็น Overlay สำหรับการสร้างโครงข่าย



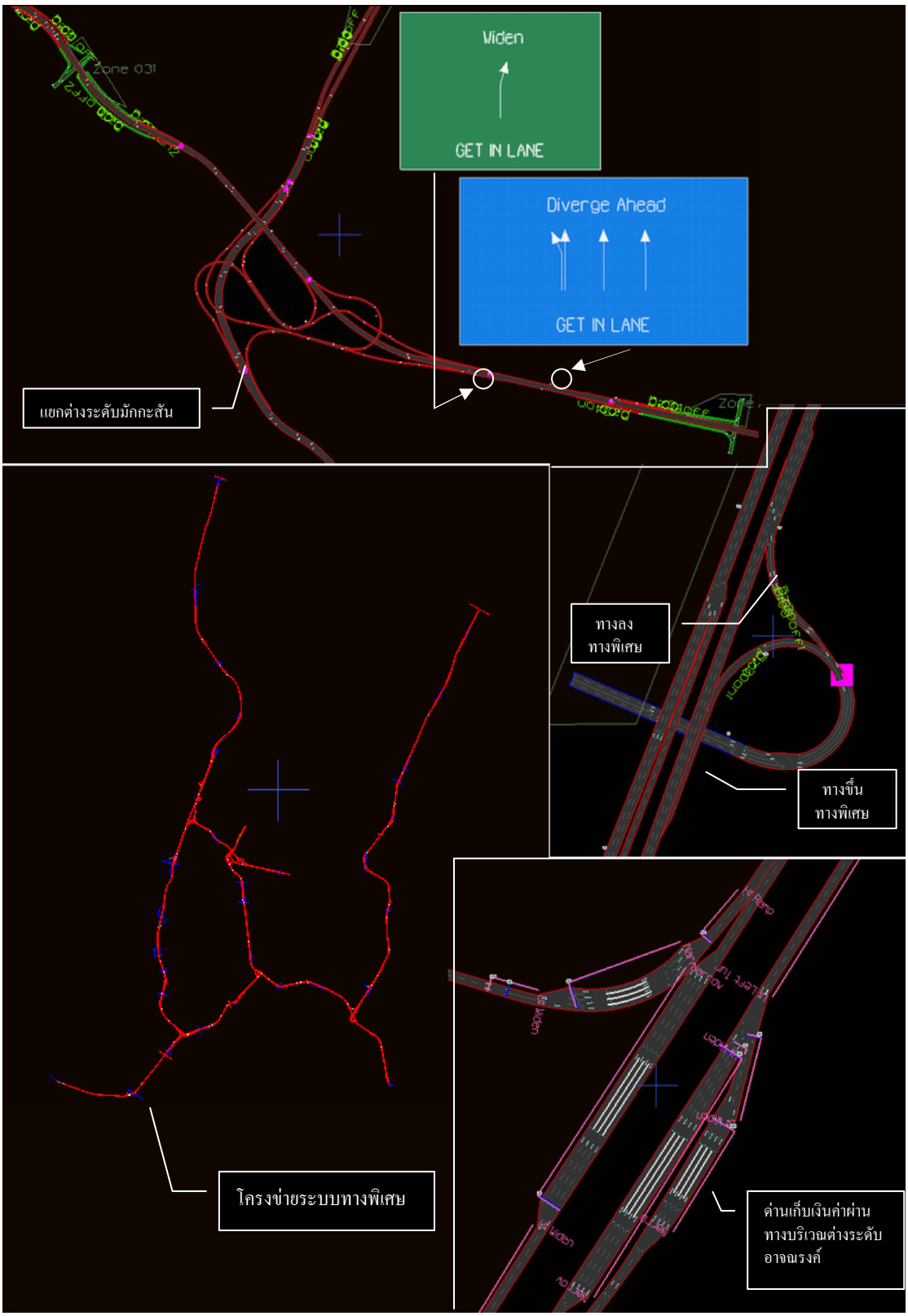
ภาพที่ 21 การสร้าง Node ในโปรแกรม Paramics



ภาพที่ 22 การสร้าง Link ในโปรแกรม Paramics



ภาพที่ 23 การสร้าง Zone ในโปรแกรม Paramics



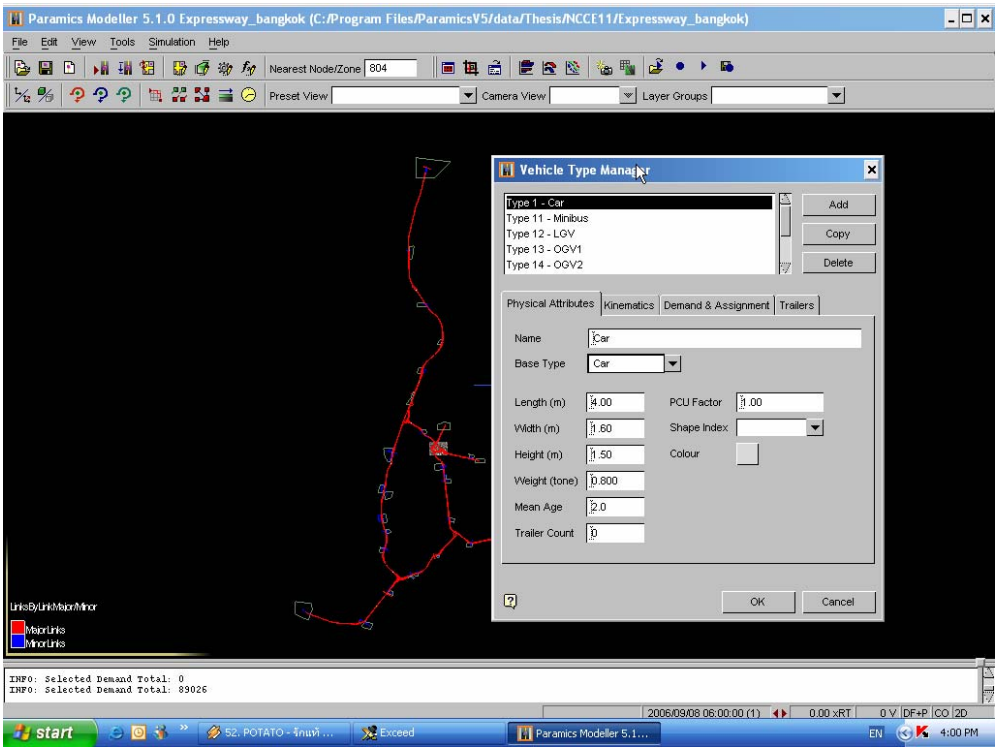
ภาพที่ 24 ลักษณะโครงข่ายทางพิเศษที่สร้างจากโปรแกรม Paramics

2. ยานพาหนะ (Vehicle) การกำหนดลักษณะและสัดส่วนของยานพาหนะในโปรแกรม Paramics สามารถทำได้ในส่วน Edit>>Vehicle ดังแสดงในภาพที่ 25 ในการศึกษานี้สามารถแบ่งประเภทของยานพาหนะได้ 6 ประเภทซึ่งจัดแบ่งตามลักษณะของยวดยาน เช่นความยาว ความสูง ความกว้าง ความเร็วสูงสุดและสัดส่วนของรถที่เข้าใช้เส้นทาง พร้อมทั้งค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลสำหรับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ประเภท ลักษณะ และสัดส่วนของรถ ค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล

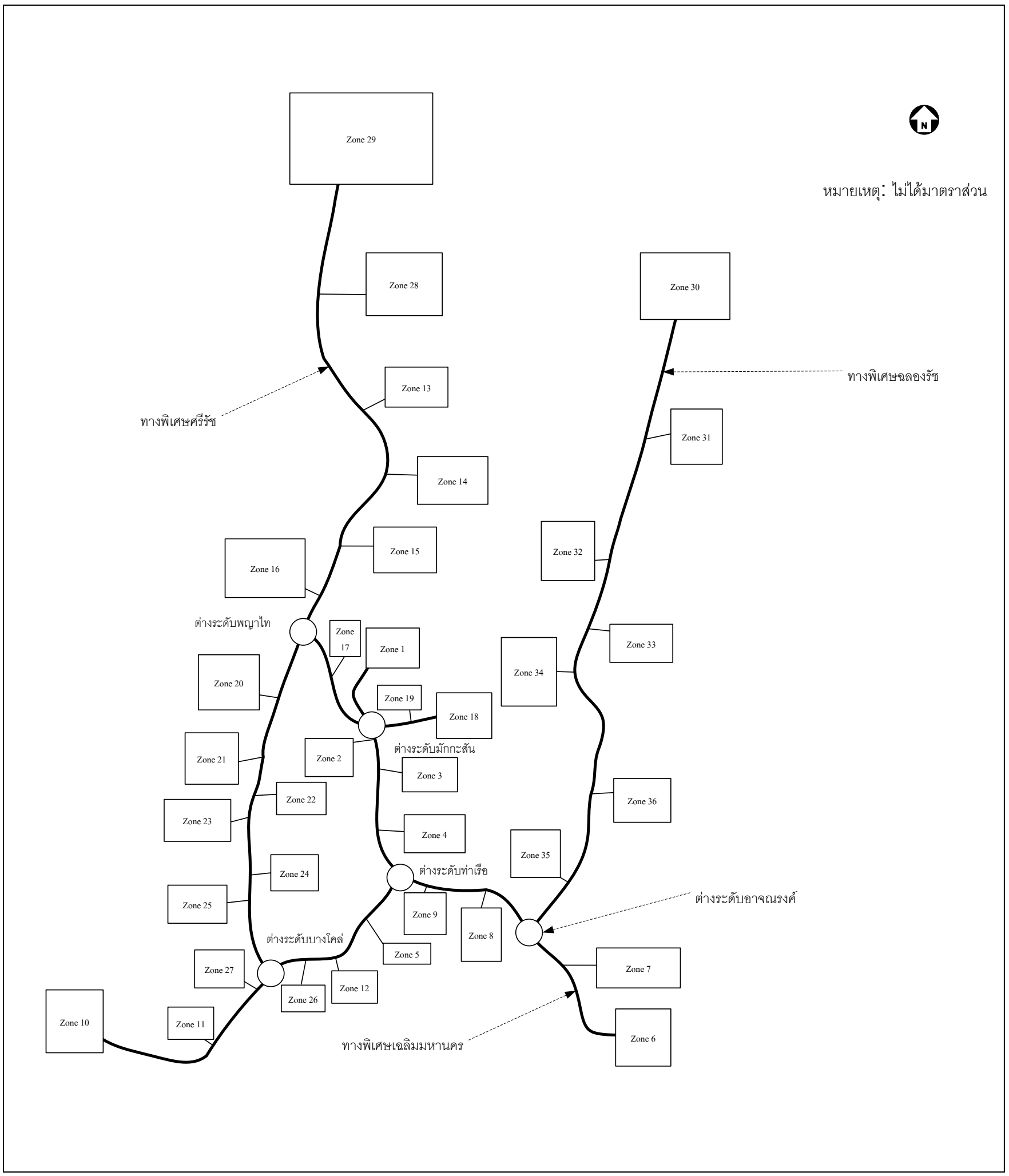
ประเภทของยานพาหนะ	ความยาว (เมตร)	ความสูง (เมตร)	ความกว้าง (เมตร)	ความเร็วจำกัด (กม./ชม.)	สัดส่วน (เปอร์เซ็นต์)	PCUs
รถยนต์ส่วนบุคคล (CAR)	4	1.5	0.8	158.4	98.26	1.00
รถบรรทุกเล็ก (LGV) 6 ล้อ	6	2.6	2.5	126.0	0.22	1.43
รถบรรทุกขนาดกลาง (OGV1)10 ล้อ	8	3.6	15.0	104.4	0.09	2.00
รถบรรทุกขนาดใหญ่ (OGV2) > 10 ล้อ	11	4.0	38.2	118.8	0.04	3.00
รถโดยสารประจำทาง (Bus)	10	4	2.5	61.2	1.37	2.00
รถโดยสารประจำทางขนาดเล็ก (Minibus)	6	4	2.5	61.2	0.02	1.43

ที่มา: Quadstone (2003)

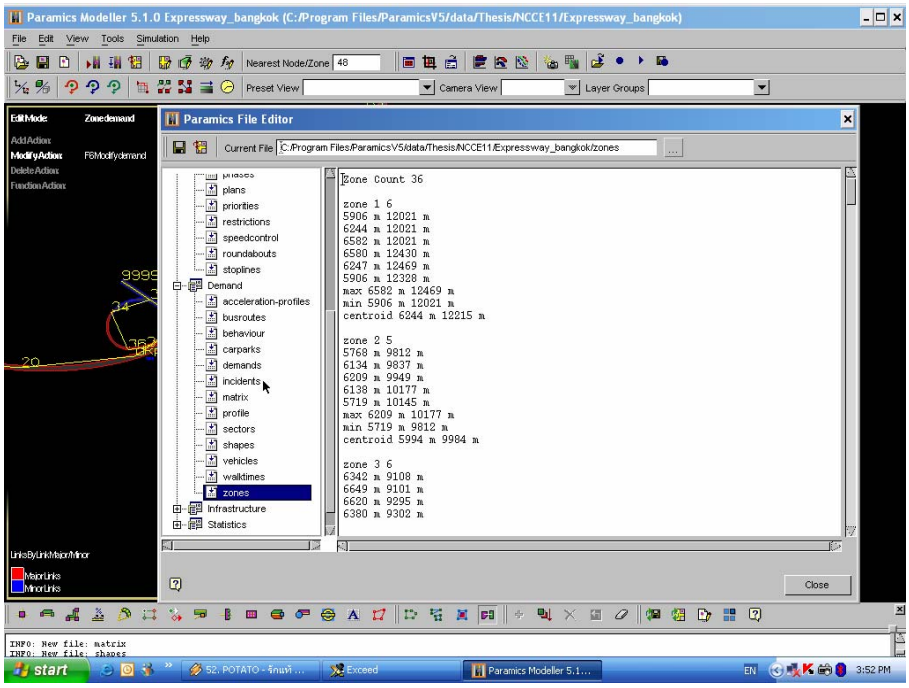


<u>ภาพที่ 25</u> การกำหนดลักษณะและคุณสมบัติของยานพาหนะในโปรแกรม Paramics

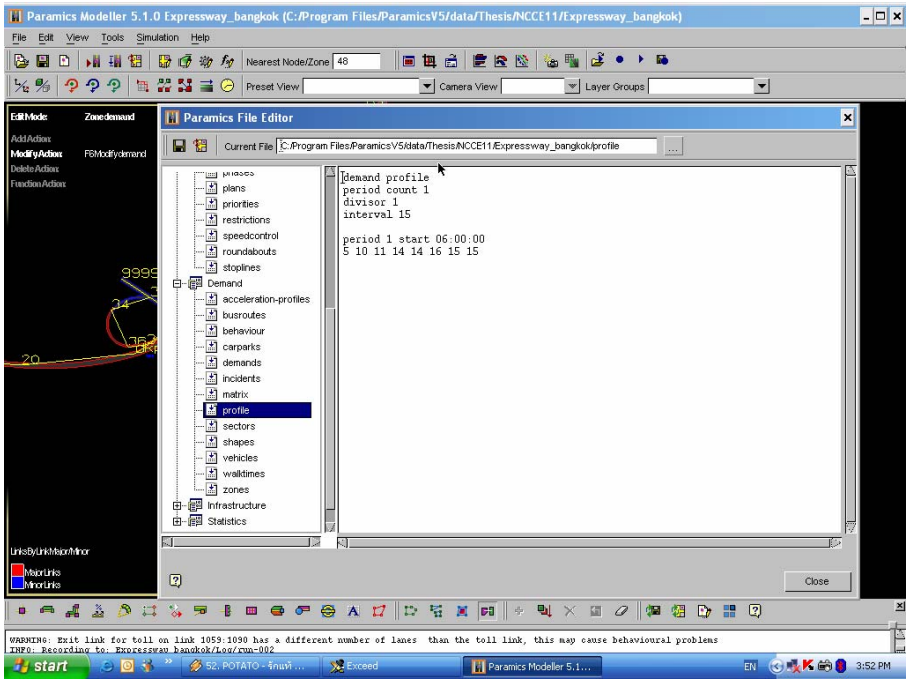
3. พื้นที่ย่อยและตารางการเดินทาง (Zoning and Traffic Demand) การกำหนดพื้นที่ย่อยต้นทางปลายทางสำหรับการเดินทางในแบบจำลองโครงข่ายทางพิเศษในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครซึ่งได้จัดแยกตามพื้นที่ย่อยตามทางเข้าและทางออกจากระบบทางพิเศษโดยแบ่งพื้นที่ย่อยออกเป็น 36 พื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 26 และตารางผนวกที่ ค1 และได้ทำการกำหนดค่าปริมาณการเดินทางซึ่งเป็นข้อมูลในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าของวันทำการตั้งแต่ช่วงเวลา 06.00-08.00 น. ดังแสดงในตารางผนวกที่ ค2 ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะทำการกำหนดเป็นตารางการเดินทางลงในไฟล์ชื่อ Demands และไฟล์ Profile เพื่อกำหนดการปล่อยยานพาหนะออกจากโซนเป็นช่วงเวลา ดังแสดงข้อมูลไฟล์ตัวอย่าง Demands และ Profile ในภาพที่ 27 – 30



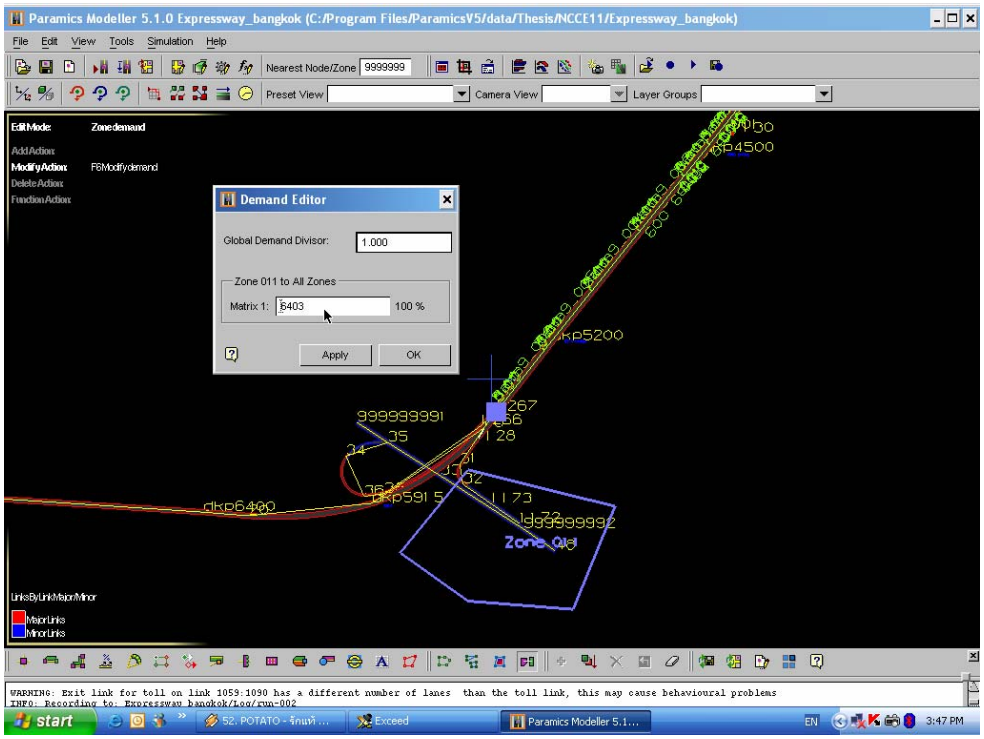
ภาพที่ 26 การแบ่งพื้นที่ย่อย (Zone) ในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 27 การสร้างและการแก้ไข Zone ผ่าน Paramics File Editor ในโปรแกรม Paramics



ภาพที่ 28 การกำหนด Profile ในโปรแกรม Paramics

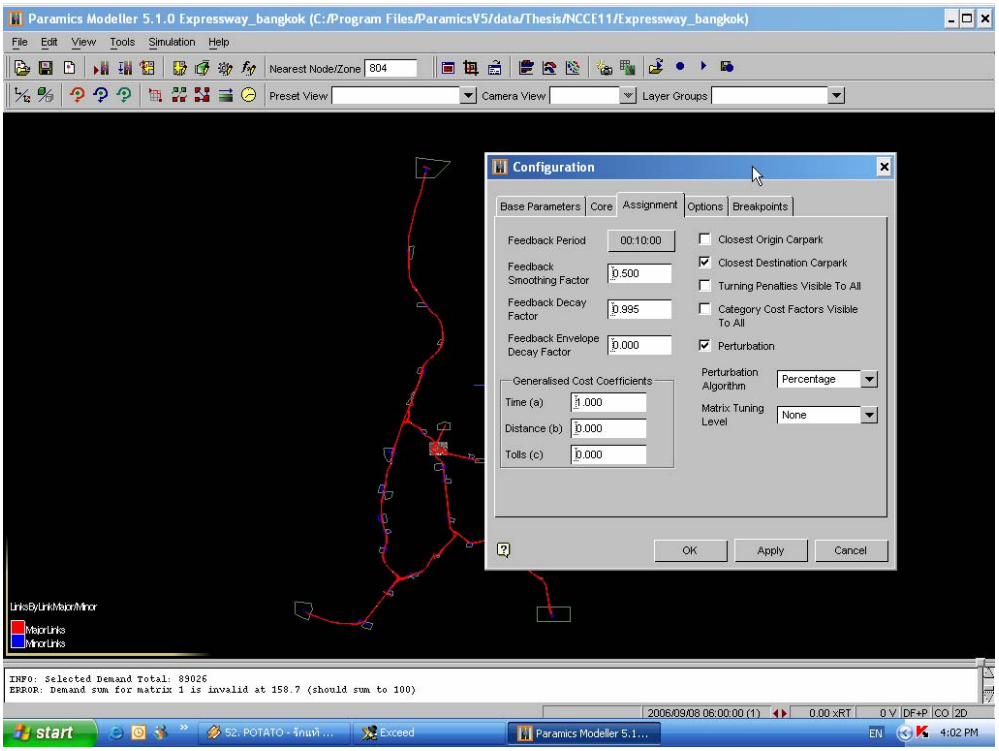


ภาพที่ 29 การสร้างปริมาณการเดินทางลงใน Zone ผ่าน Demand Editor ในโปรแกรม Paramics

4. การกำหนดวิธีการแจกแจงการเดินทาง (Assignment Techniques) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองทางด้านการจราจรในระดับจุลภาคเพื่อให้เกิดแบบจำลองที่สามารถอธิบายสภาพการจราจรได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง สำหรับการศึกษานี้ได้จำลองการเดินทางบนระบบทางพิเศษซึ่งการเดินทางค่อนข้างแน่นอนเนื่องจากเป็นระบบโครงข่ายที่ไม่ซับซ้อน แต่ด้วยเหตุผลทางด้านสภาวะการจราจรติดขัดในบางช่วงเวลาบนระบบทางพิเศษ ดังนั้นจึงได้เลือกวิธีการแจกแจงการเดินทางโดยใช้วิธี All or Nothing วิธี Stochastic และวิธี Dynamics Feedback เนื่องจากได้คำนึงถึงปัจจัยในด้านความไม่แน่นอนในการเลือกใช้เส้นทางเดินทางซึ่งอาจจะมาจากการพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการเดินทางและผู้ขับขี่มีความคุ้นเคยกับเส้นทางซึ่งพร้อมที่จะเปลี่ยนเส้นทางหากมีการข้อมูลกลับมายังผู้ขับขี่ซึ่งวิธีการนี้ทำให้ผู้ขับขี่ได้พิจารณาเส้นทางในการเดินทางอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดตามการรับรู้ที่ทันการณ์

การกำหนดค่าวิธีการแจกแจงการเดินทางในโปรแกรม Paramics จะทำการในส่วน Edit>>Configuration>>Assignment หรือจะทำการปรับแก้ได้โดยตรงจากไฟล์ Configuration ร่วมกับการกำหนดค่าการรบกวน (Perturbation) และค่าความคุ้นเคย (Familiarity) ในไฟล์ Vehicles

ดังแสดงตัวอย่างไฟล์ Configuration และ Vehicles ซึ่งเป็นการกำหนดค่าการแจกแจงการเดินทางดังแสดงในภาพที่ 30 และแสดงรายละเอียดในภาคผนวกที่ ข



ภาพที่ 30 การกำหนดวิธีการแจกแจงเส้นทางการเดินทางใน โปรแกรม Paramics

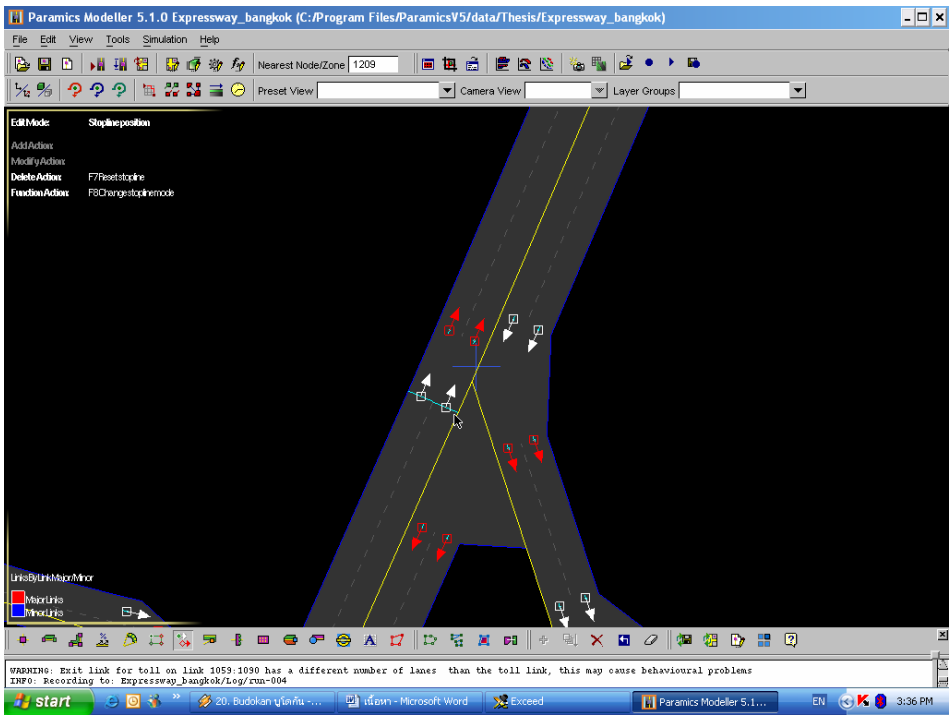
กระบวนการสร้างโครงข่ายทางพิเศษเพื่อสร้างแบบจำลองจราจรนั้น สำหรับการวิจัยนี้ได้อธิบายขั้นตอนและวิธีการอย่างละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ข

3. <u>การปรับเทียบและการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง</u>

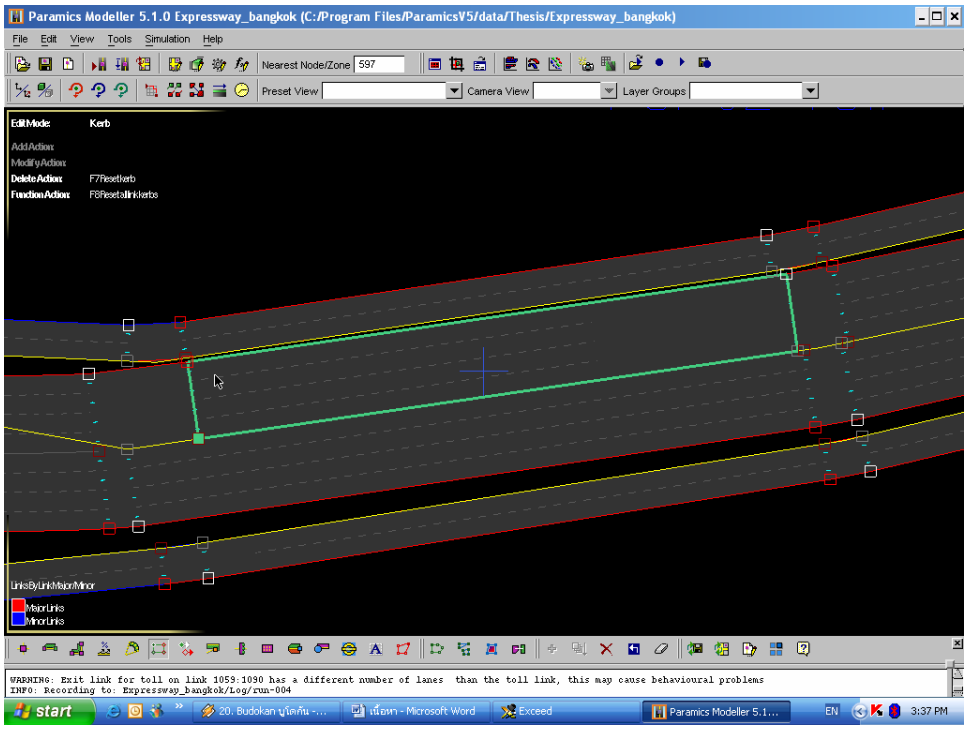
ความถูกต้องและความสามารถในการประยุกต์ใช้แบบจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องผ่านการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเพื่อให้มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด เนื่องจากแบบจำลองทางด้านการจราจรมีพารามิเตอร์ที่ต้องคำนึงถึงเป็นจำนวนมาก อีกทั้งการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นตัวแทนในการพัฒนาแบบจำลอง ตัวแปรต่าง ๆ ล้วนเกิดจากการกำหนดค่าไว้แล้วทั้งสิ้น ซึ่งอาจมีความไม่เหมาะสมและถูกต้องตรงกับสภาพการจราจรที่เป็นจริงในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นการปรับเทียบแบบจำลองร่วมกับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองถือเป็นขั้นตอนที่ผู้ศึกษาต้องให้ความสำคัญ

1. การปรับเทียบแบบจำลอง

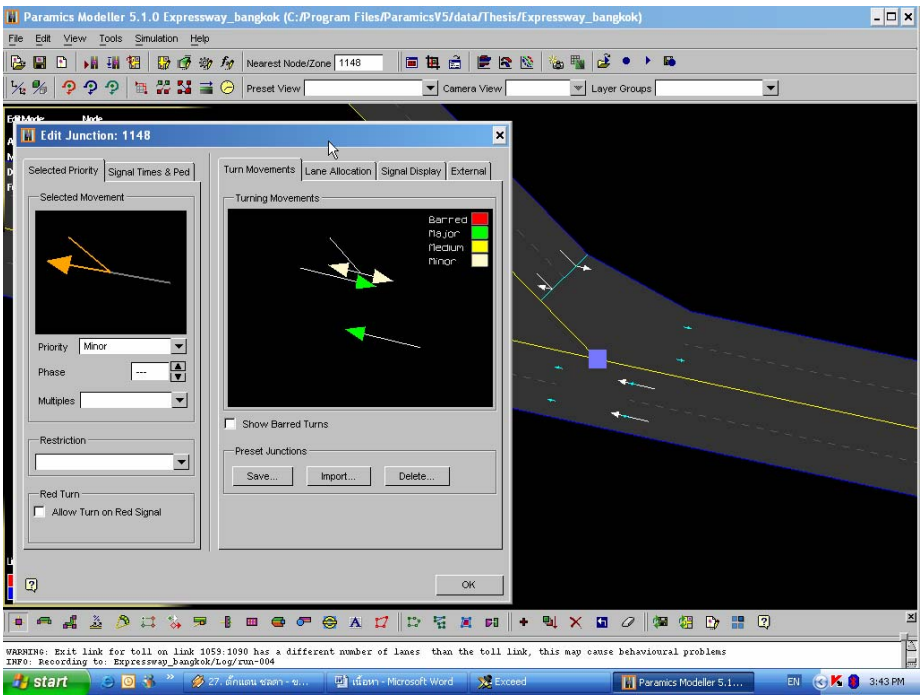
การปรับเทียบแบบจำลองมีวัตถุประสงค์เพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือเพียงพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งมีขั้นตอนคือการปรับเทียบในกระบวนการประมวลผลแบบจำลอง ทำการตรวจสอบลักษณะโครงข่ายร่วมกับการสังเกตพฤติกรรมการขับขี่ สภาพแวดล้อมทั่วไปของแบบจำลองที่ไม่น่าจะเกิดขึ้นและแตกต่างจากความเป็นจริงด้วยสายตา (Visual Check) โดยดำเนินการในส่วน Modeller ในการตรวจสอบเบื้องต้นนี้สามารถแก้ไขปัญหาโดยการปรับเส้นหยุดซึ่งเป็นตัวกำหนดขอบเขตในแต่ละช่วง (Link) การปรับเส้นขอบทาง ค่าระดับ ความลาดชัน การควบคุมการเลี้ยว การให้สิทธิในช่องทาง อีกทั้งการปรับเปลี่ยนรูปแบบการกระจายพฤติกรรมการขับขี่ ดังแสดงในภาพที่ 31 – 34



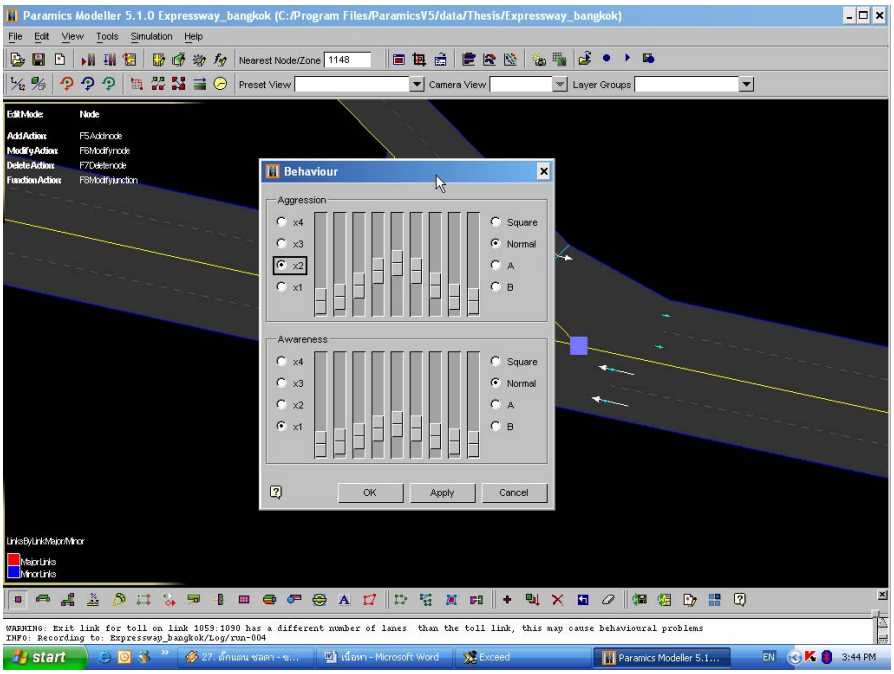
ภาพที่ 31 การปรับแก้ไขเส้นหยุดให้ตรงกับสภาพจริงใน โปรแกรม Paramics



ภาพที่ 32 การแก้ไขให้เส้นขอบทางตรงกับสภาพจริงในโปรแกรม Paramics



ภาพที่ 33 การแก้ไขการเลี้ยวและการให้สิทธิในช่องทางให้ตรงกับสภาพจริงในโปรแกรม Paramics



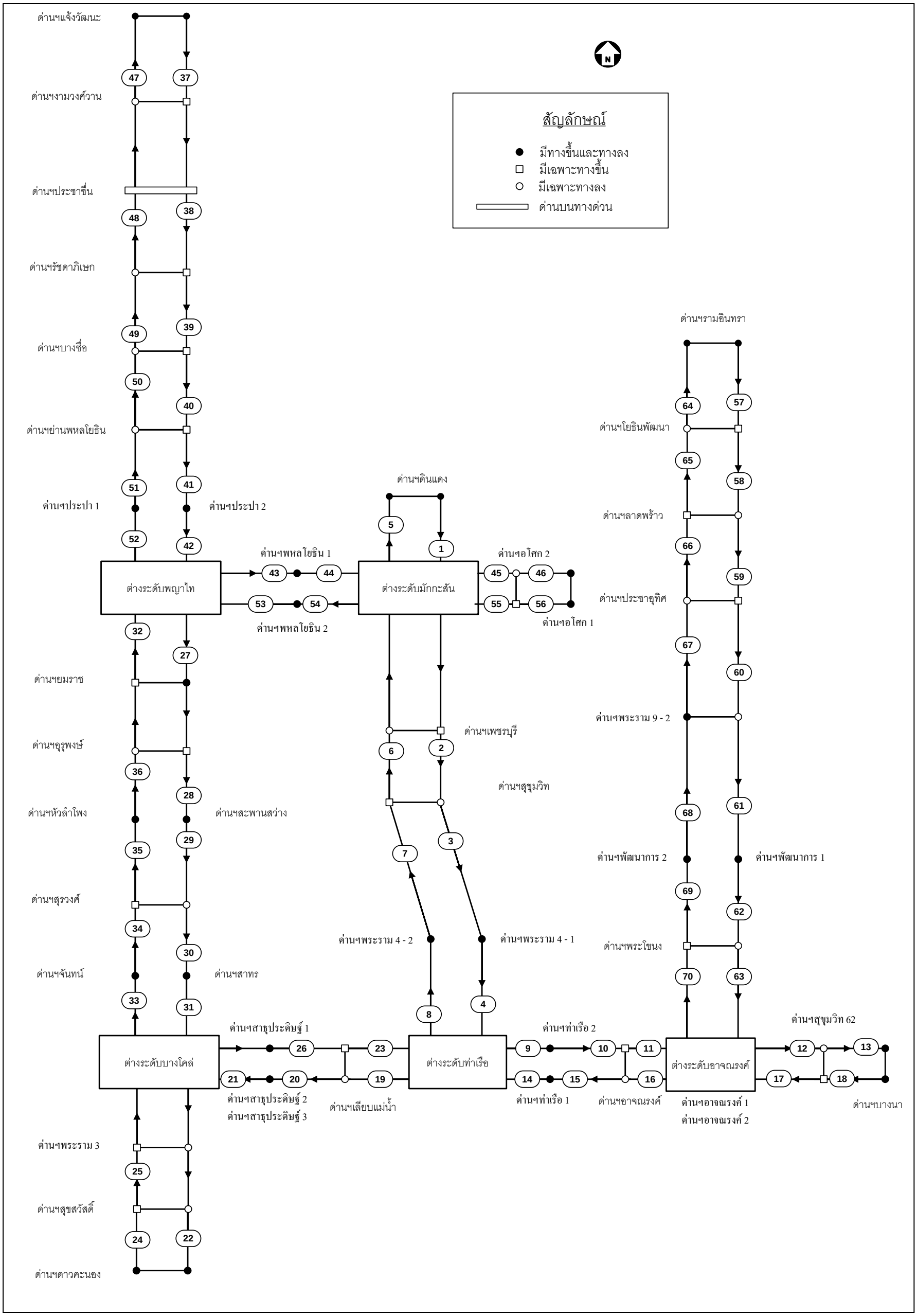
ภาพที่ 34 การแก้ไขพฤติกรรมในการขับขี่ให้ตรงกับสภาพจริงในโปรแกรม Paramics

หลังจากที่ได้ทำการปรับเทียบในขั้นต้นแล้วกระบวนการปรับเทียบโดยใช้การทดสอบผลลัพธ์ของแบบจำลอง คือการประมวลผลแบบจำลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งต้น (Seed) และเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นค่าระยะห่างระหว่างรถ (Mean Headway) และระยะเวลาตอบสนอง (Reaction Time) เพื่อให้ได้ผลถูกต้องตามหลักสถิติ ทั้งนี้ในการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์นั้นผู้ใช้สามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรหลักในแบบจำลองพื้นฐานเช่น เปลี่ยนแบบจำลองการเคลื่อนตัวของรถ (Car Following model) แบบจำลองการเปลี่ยนช่องทาง (Lane Changing Model) แบบจำลองการยอมรับระยะระหว่างรถ (Gap Acceptance model) ในโปรแกรม Paramics ผ่าน Programmer เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สอดคล้องกับแต่ละพื้นที่ได้ สำหรับแบบจำลองจราจรนี้มีตัวแปรทางด้านการจราจรที่มีความละเอียดสูงและมีหลายตัวแปรซึ่งต้องอาศัยเวลาในการปรับเปลี่ยนแบบจำลองดังกล่าว อีกทั้งใช้เวลาในการศึกษามาก การปรับเทียบแบบจำลองสำหรับการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญเพียง 2 ตัวได้แก่ ค่าระยะห่างระหว่างรถและ ระยะเวลาตอบสนอง (Yonel *et al.*, 2002)

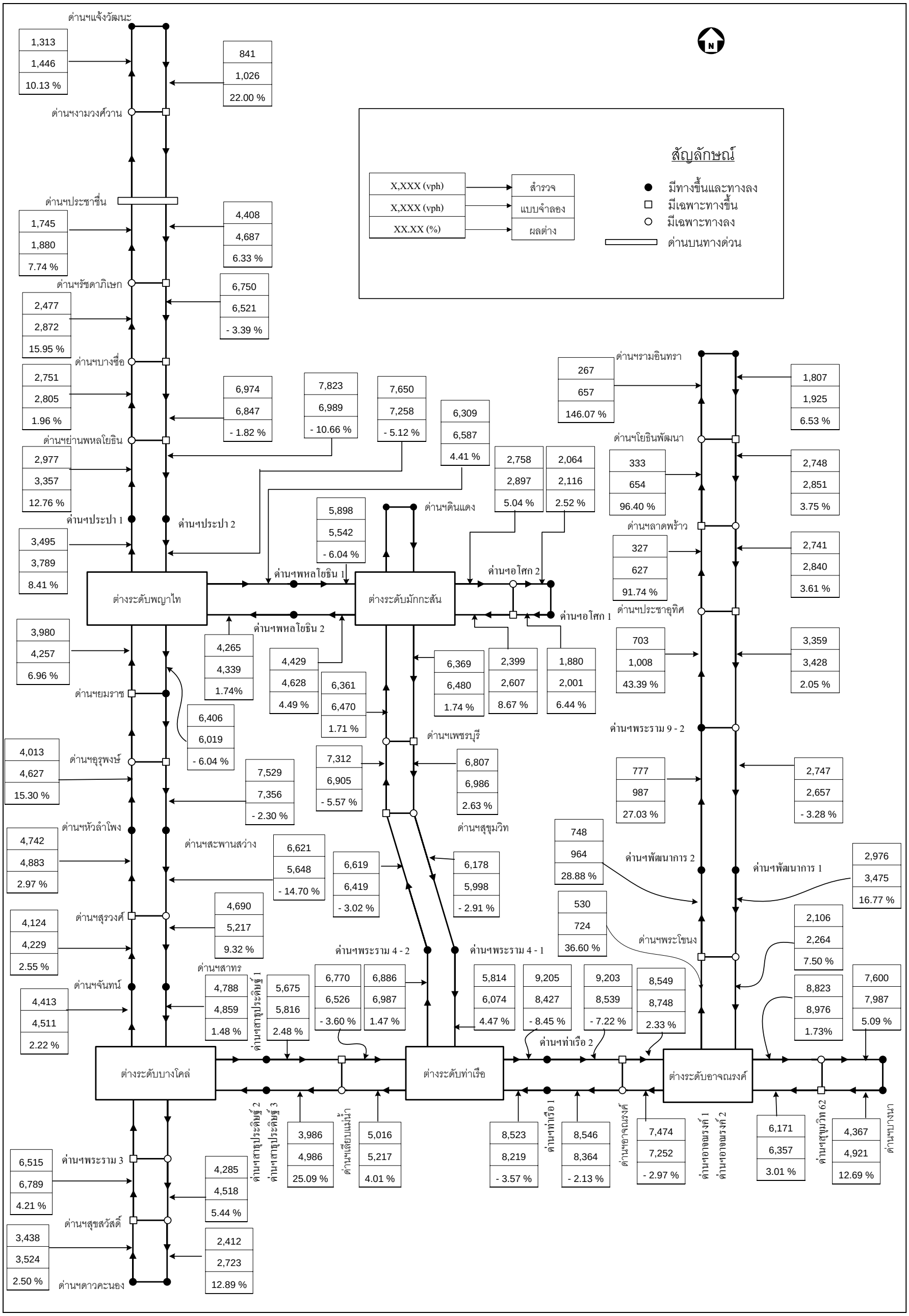
ค่าเดิมที่โปรแกรมกำหนดสำหรับค่าระยะห่างระหว่างรถและ ระยะเวลาตอบสนองคือ 1.0 วินาที แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Highway Capacity Manual 1985 ได้ให้ค่าระยะห่างระหว่างรถเท่ากับ 2.0 วินาที จากการศึกษาของ Johansson *et al.* (1971) แนะนำว่าค่าระยะเวลาตอบสนองควรอยู่ระหว่าง 0.3 -2.0 วินาที สำหรับการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าทั้งสองเป็นค่าที่ได้ศึกษาในต่างประเทศอาจมีความไม่เหมาะสมกับพฤติกรรมการขับขี่ที่แท้จริงของประเทศไทย แต่ทั้งนี้ได้มีการศึกษาในด้านการประเมินระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบเป็นพื้นที่ในกรุงเทพมหานครด้วยการจำลองคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการศึกษาในพื้นที่ย่านธุรกิจพบว่าให้ค่าระยะห่างระหว่างรถเท่ากับ 1.3 วินาทีและระยะเวลาตอบสนองมีค่า 1.3 วินาที (Lianyu Chu *et al.*, 2003) และจากการศึกษาของเอกรินทร์ (2546) ที่ทำการศึกษาบนระบบทางพิเศษศรีรัช พบว่า ได้ระยะห่างระหว่างรถเท่ากับ 0.8 วินาที และค่าระยะเวลาตอบสนองเท่ากับ 0.8 และเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม จึงได้ทำการศึกษาค่าทั้งสองอีกครั้งโดยอาศัยช่วงที่มีการศึกษาไว้แล้วดังที่ได้กล่าวมา

การทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์เพื่อหาค่าที่ถูกต้องในการศึกษานี้มีกระบวนการคือการปรับเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างรถและระยะเวลาตอบสนองในการประมวลผลแต่ละครั้งร่วมกับการเปลี่ยนค่าตั้งต้น (Seed) และผลที่ต้องการนำมาวิเคราะห์คือ ค่าปริมาณการจราจรและค่าความเร็วโดยเฉลี่ยบนระบบทางพิเศษ โดยจากการศึกษานี้ ได้เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากแบบจำลองและปริมาณการจราจรบนระบบทางพิเศษจากการสำรวจ ในปี พ.ศ. 2540 ซึ่งมีจุดสำรวจ

บนระบบทางพิเศษดังแสดงในภาพที่ 35 ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 36 และตารางที่ 14 ซึ่งมีค่าความแตกต่างร้อยละ 9.58และ ให้ค่า R^2 = 0.979 ดังแสดงในภาพที่ 37 และการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยจากการสำรวจและจากแบบจำลอง ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 38 และตารางที่ 15 ซึ่งได้ค่าความแตกต่างร้อยละ 15.30 และ ค่า R^2 = 0.768 ดังแสดงในภาพที่ 39



ภาพที่ 35 ตำแหน่งจุดสำรวจปริมาณจราจรและความเร็วเฉลี่ยบนโครงข่ายทางพิเศษ ปี พ.ศ. 2540



ภาพที่ 36 ผลการปรับเทียบปริมาณจราจรบนโครงข่ายทางพิเศษ ปี พ.ศ. 2540

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบปริมาณจราจรจากแบบจำลองและจากการสำรวจ

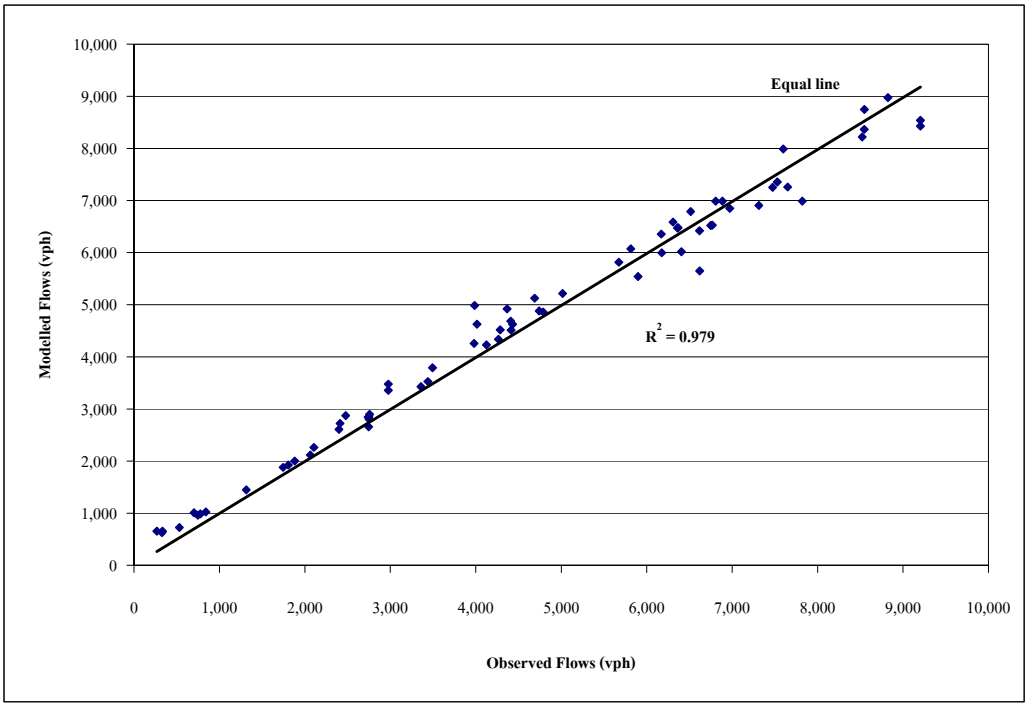
ลำดับที่	เส้นทาง (ช่วง)	ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง)		
		สำรวจปี 2540	แบบจำลอง	% ผลต่าง
1	1 - 2	6,369	6,480	1.74
2	2 - 3	6,807	6,986	2.63
3	3 - 4	6,178	5,998	-2.91
4	4 - PI	5,814	6,074	4.47
5	2 - 1	6,361	6,470	1.71
6	3 - 2	7,312	6,905	-5.57
7	4 - 3	6,619	6,419	-3.02
8	PI - 4	6,886	6987	1.47
9	PI - 9	9,205	8,427	-8.45
10	9 -8	9,203	8,539	-7.22
11	8 – AI	8,549	8,748	2.33
12	AI – 7	8,823	8,976	1.73
13	7 – 6	7,600	7,987	5.09
14	9 – PI	8,523	8,219	-3.57
15	8 – 9	8,546	8,364	-2.13
16	AI – 8	7,474	7,252	-2.97
17	7 – AI	6,171	6,357	3.01
18	6 - 7	4,367	4,921	12.69
19	PI – 5	5,016	5,217	4.01
20	5 – 26	3,986	4,986	25.09
21	26 – 11	4,285	4,518	5.44
22	11 – 10	2,412	2,723	12.89
23	5 – PI	6,770	6,526	-3.60
24	10 – 11	3,438	3,524	2.50
25	11 – 27	6,515	6,789	4.21
26	12 - 5	5,675	5,816	2.48
27	PHI – 20	6,406	6,019	-6.04
28	20 – 22	7,529	7,356	-2.30
29	22 – 23	6,621	5,648	-14.70
30	23 - 24	4,690	5,127	9.32

ตารางที่ 14 (ต่อ)

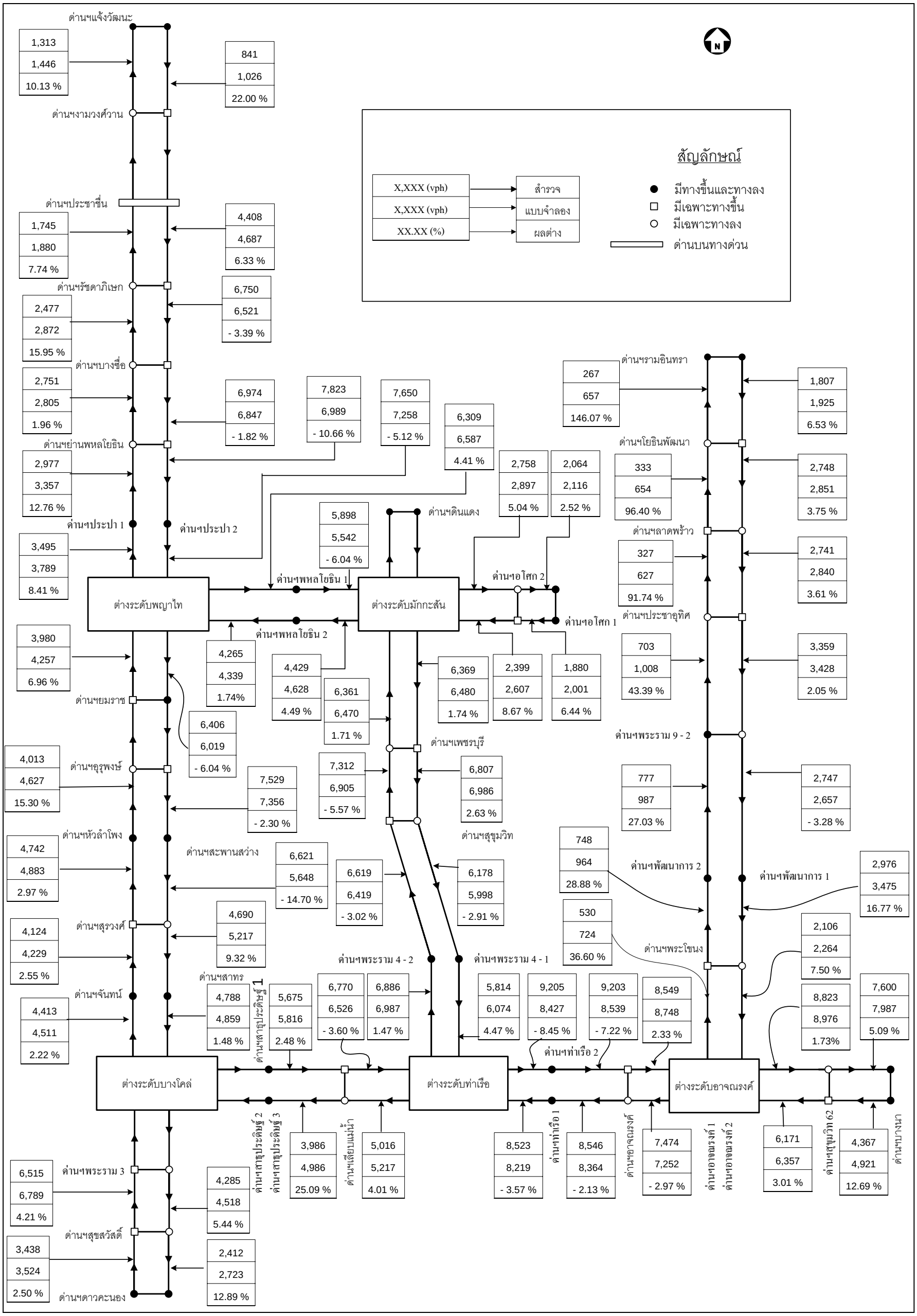
ลำดับที่	เส้นทาง (ช่วง)	ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง)		
		สำรวจปี 2540	แบบจำลอง	% ผลต่าง
31	24 – BI	4,788	4,859	1.48
32	20 – PHI	3,980	4,257	6.96
33	BI – 25	4,413	4,511	2.22
34	25 - 23	4,124	4,229	2.55
35	23 – 21	4,742	4,883	2.97
36	21 - 20	4,013	4,627	15.30
37	29 – 28	841	1,026	22.00
38	28 – 13	4,408	4,687	6.33
39	13 – 14	6,750	6,521	-3.39
40	14 – 15	6,974	6,847	-1.82
41	15 – 16	7,823	6,989	-10.66
42	16 – PHI	7,650	7,258	-5.12
43	PHI - 17	6,309	6,587	4.41
44	17 – MI	5,898	5,542	-6.04
45	MI – 19	2,758	2,897	5.04
46	19 – 18	2,064	2,116	2.52
47	28 – 29	1,313	1,446	10.13
48	13 – 28	1,745	1,880	7.74
49	14 – 13	2,477	2,872	15.95
50	15 – 14	2,751	2,805	1.96
51	16 – 15	2,977	3,357	12.76
52	PHI – 16	3,495	3,789	8.41
53	17 – PHI	4,265	4,339	1.74
54	MI – 17	4,429	4,628	4.49
55	19 - MI	2,399	2,607	8.67
56	18 - 19	1,880	2,001	6.44
57	30 – 31	1,807	1,925	6.53
58	31 – 32	2,748	2,851	3.75
59	32 – 33	2,741	2,840	3.61

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ที่	เส้นทาง (ช่วง)	ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง)		
		สำรวจปี 2540	แบบจำลอง	% ผลต่าง
60	33 – 34	3,359	3,428	2.05
61	34 – 36	2,747	2,657	-3.28
62	36 – 35	2,976	3,475	16.77
63	35 – AI	2,106	2,264	7.50
64	31 – 30	267	657	146.07
65	32 – 31	333	654	96.40
66	33 – 32	327	627	91.74
67	34 – 33	703	1,008	43.39
68	36 – 34	777	987	27.03
69	35 – 36	748	964	28.88
70	AI – 35	530	724	36.60
		Average		9.58



ภาพที่ 37 ค่า R^2 จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรจากแบบจำลองและจากการสำรวจ



ภาพที่ 38 ผลการปรับเทียบความเร็วเฉลี่ยบนโครงข่ายทางพิเศษ ปี พ.ศ. 2540

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบความเร็วจากแบบจำลองและจากการสำรวจ

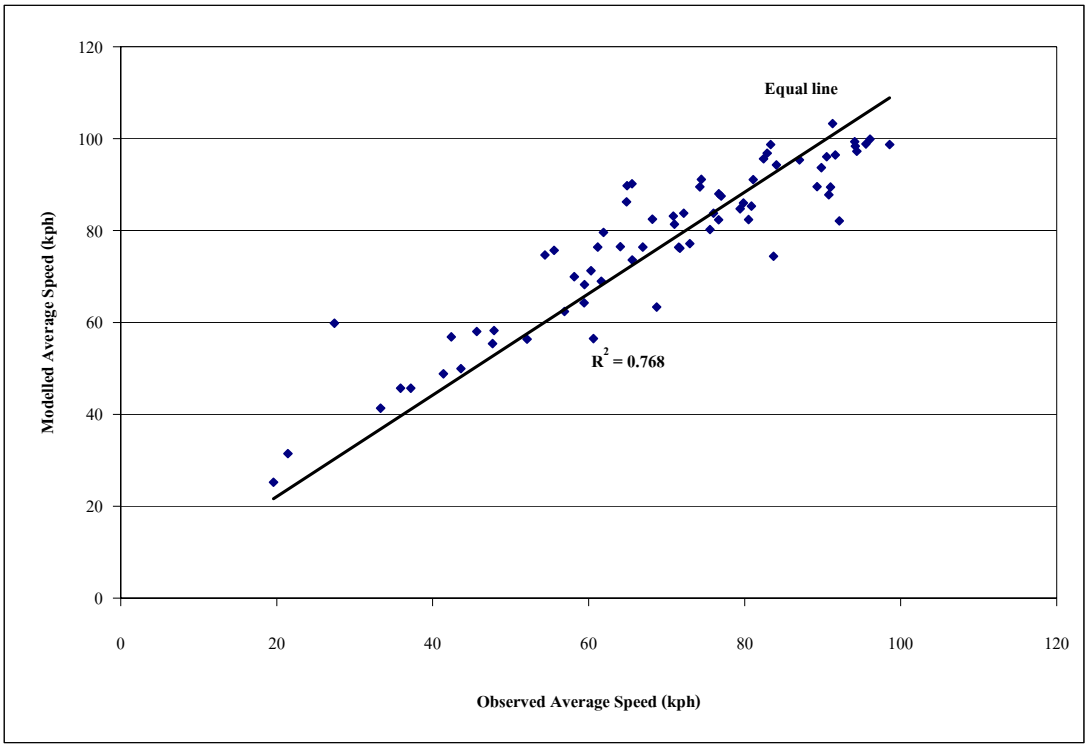
ลำดับที่	เส้นทาง (ช่วง)	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		
		สำรวจปี 2540	แบบจำลอง	% ผลต่าง
1	1 - 2	98.60	98.69	0.09
2	2 - 3	47.87	58.23	21.64
3	3 - 4	84.07	94.27	12.13
4	4 - PI	19.58	25.23	28.86
5	2 - 1	70.85	83.12	17.32
6	3 - 2	37.19	45.68	22.83
7	4 - 3	64.06	76.48	19.39
8	PI - 4	60.61	56.49	-6.80
9	PI - 9	43.60	49.94	14.54
10	9 -8	94.19	98.37	4.44
11	8 – AI	92.13	82.08	-10.91
12	AI – 7	80.87	85.32	5.50
13	7 – 6	89.82	93.67	4.29
14	9 – PI	82.89	96.84	16.83
15	8 – 9	79.41	84.73	6.70
16	AI – 8	65.58	73.61	12.24
17	7 – AI	90.79	87.79	-3.30
18	6 - 7	89.29	89.54	0.28
19	PI – 5	70.99	81.39	14.65
20	5 – 26	59.41	64.28	8.20
21	26 – 11	95.53	98.81	3.43
22	11 – 10	61.16	76.39	24.90
23	5 – PI	91.01	89.47	-1.69
24	10 – 11	61.62	68.97	11.93
25	11 – 27	52.11	56.37	8.18
26	12 - 5	91.27	103.27	13.15
27	PHI – 20	87.02	95.34	9.56
28	20 – 22	83.33	98.69	18.43
29	22 – 23	47.66	55.39	16.22
30	23 - 24	71.53	76.37	6.77

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ลำดับที่	เส้นทาง (ช่วง)	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		
		สำรวจปี 2540	แบบจำลอง	% ผลต่าง
31	24 – BI	76.99	87.51	13.66
32	20 – PHI	58.16	69.96	20.29
33	BI – 25	76.00	83.76	10.21
34	25 - 23	94.10	99.32	5.55
35	23 – 21	74.24	89.49	20.54
36	21 - 20	66.94	76.39	14.12
37	29 – 28	82.42	95.61	16.00
38	28 – 13	27.38	59.85	118.59
39	13 – 14	42.38	56.87	34.19
40	14 – 15	35.87	45.69	27.38
41	15 – 16	45.66	58.02	27.07
42	16 – PHI	41.36	48.82	18.04
43	PHI - 17	75.56	80.21	6.15
44	17 – MI	56.90	62.38	9.63
45	MI – 19	59.46	68.23	14.75
46	19 – 18	21.43	31.47	46.85
47	28 – 29	81.08	91.08	12.33
48	13 – 28	83.70	74.39	-11.12
49	14 – 13	71.69	76.14	6.21
50	15 – 14	94.37	97.22	3.02
51	16 – 15	76.67	82.36	7.42
52	PHI – 16	55.58	75.68	36.16
53	17 – PHI	72.97	77.17	5.76
54	MI – 17	60.29	71.25	18.18
55	19 - MI	80.49	82.37	2.34
56	18 - 19	33.33	41.34	24.03
57	30 – 31	61.90	79.59	28.58
58	31 – 32	79.83	85.98	7.70
59	32 – 33	91.63	96.43	5.24

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ลำดับที่	เส้นทาง (ช่วง)	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		
		สำรวจปี 2540	แบบจำลอง	% ผลต่าง
60	33 – 34	54.38	74.68	37.33
61	34 – 36	64.86	86.24	32.96
62	36 – 35	96.07	99.86	3.95
63	35 – AI	68.71	63.34	-7.82
64	31 – 30	65.55	90.17	37.56
65	32 – 31	64.91	89.76	38.28
66	33 – 32	76.69	87.98	14.72
67	34 – 33	74.45	91.15	22.43
68	36 – 34	90.52	96.07	6.13
69	35 – 36	72.17	83.75	16.05
70	AI – 35	68.16	82.48	21.01
		Average		15.50



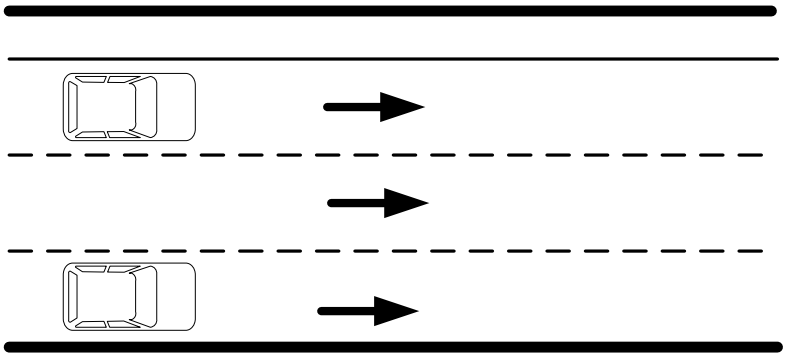
<u>ภาพที่ 39</u> ค่า R^2 จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยจากแบบจำลองและจากการสำรวจ

จากตารางและภาพข้างบนผลการปรับเทียบปริมาณจราจรบนโครงข่ายทางพิเศษ มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm$ 9.58 และให้ค่า $R^2 = 0.979$ ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ UTPS Highway Network Development Guide (1983) ระบุว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของปริมาณจราจรเฉลี่ยรายวัน (ADT) บนถนนสายหลัก ที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 13 – 25 % เมื่อปริมาณจราจรเฉลี่ยรายวัน (ADT) มีปริมาณระหว่าง 16,000 – 47,000 คัน ส่วนผลการปรับเทียบความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์บนโครงข่ายทางพิเศษมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm$ 15.50 และให้ค่า $R^2 = 0.768$ ซึ่งจะเห็นว่ามีหลายจุดบนโครงข่ายทางพิเศษที่ค่าความเร็วเฉลี่ยจากการสำรวจมีค่าต่ำกว่าจากแบบจำลองมากจนทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเกิน 20 % ทั้งนี้เนื่องจากค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการสำรวจเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางซึ่งเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยตามระยะทางจึงมีค่าต่ำกว่าความเร็วเฉลี่ยจากแบบจำลองซึ่งเป็นความเร็วเฉลี่ยตามเวลาหรือความเร็วเฉลี่ยที่จุด แต่อย่างไรก็ตามผลการปรับเทียบจะเห็นว่า ค่า R^2 ของทั้งสองค่านั้นมีค่าเข้าใกล้ 1 มาก ประกอบกับค่าความแตกต่างกันของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองและจากการสำรวจนั้นมีค่าไม่เกินร้อยละ 20 ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองจราจรจากการศึกษานี้ สามารถจำลองสภาพการจราจรได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในระดับที่ยอมรับได้ (TDMC 2, 2004) และสามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการ

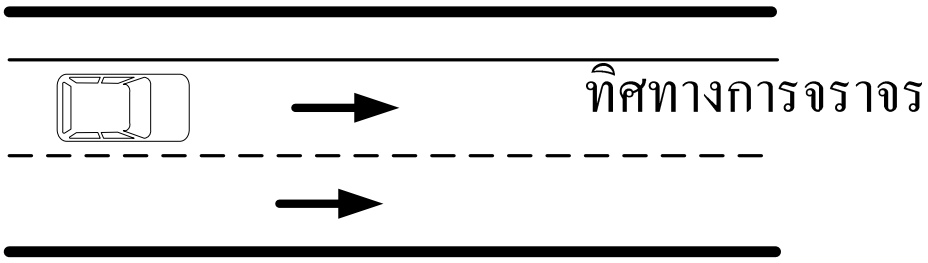
วิเคราะห์และวางแผนการจราจรและขนส่งต่อไปได้ จากการศึกษานี้พบว่าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างยวดยานและค่าระยะเวลาตอบสนองในการประมวลผลที่ให้ค่าความแตกต่างกันของข้อมูลที่ยอมรับได้ มีค่า Headway = 0.8 วินาที และ Reaction time = 0.8 วินาที ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้นี้จะเป็นตัวแทนของแบบจำลองเพื่อนำไปใช้ในการประยุกต์ใช้งานต่อไป

4. <u>การออกแบบการศึกษา</u>

การออกแบบการศึกษาเป็นการวางแนวทางสำหรับการศึกษาเพื่อให้เกิดการบรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ประเมินผลกระทบทางด้านการจราจรบนระบบทางพิเศษที่เกิดจากการเกิดอุบัติการณ์เพื่อขจัดปัญหาในด้านการจราจรที่ติดขัดบนระบบทางพิเศษ โดยภายหลังจากที่ทำการปรับเทียบแบบจำลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการศึกษาผลกระทบทางด้านการจราจร โดยการจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกันออกไป โดยในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ สถานการณ์ปกติ (ไม่มีอุบัติการณ์จราจร) เป็นกรณีฐาน (Base Case) และมีอุบัติการณ์จราจรเกิดขึ้นบนโครงข่ายทางพิเศษตามลักษณะทางกายภาพของทางพิเศษที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 40-42 และในภาพที่ 43 – 49 ซึ่งเป็นภาพตัวอย่างการจำลองการเกิดอุบัติการณ์จราจร สำหรับการศึกษานี้มีกรณีศึกษารวมทั้งหมด 43 กรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 16

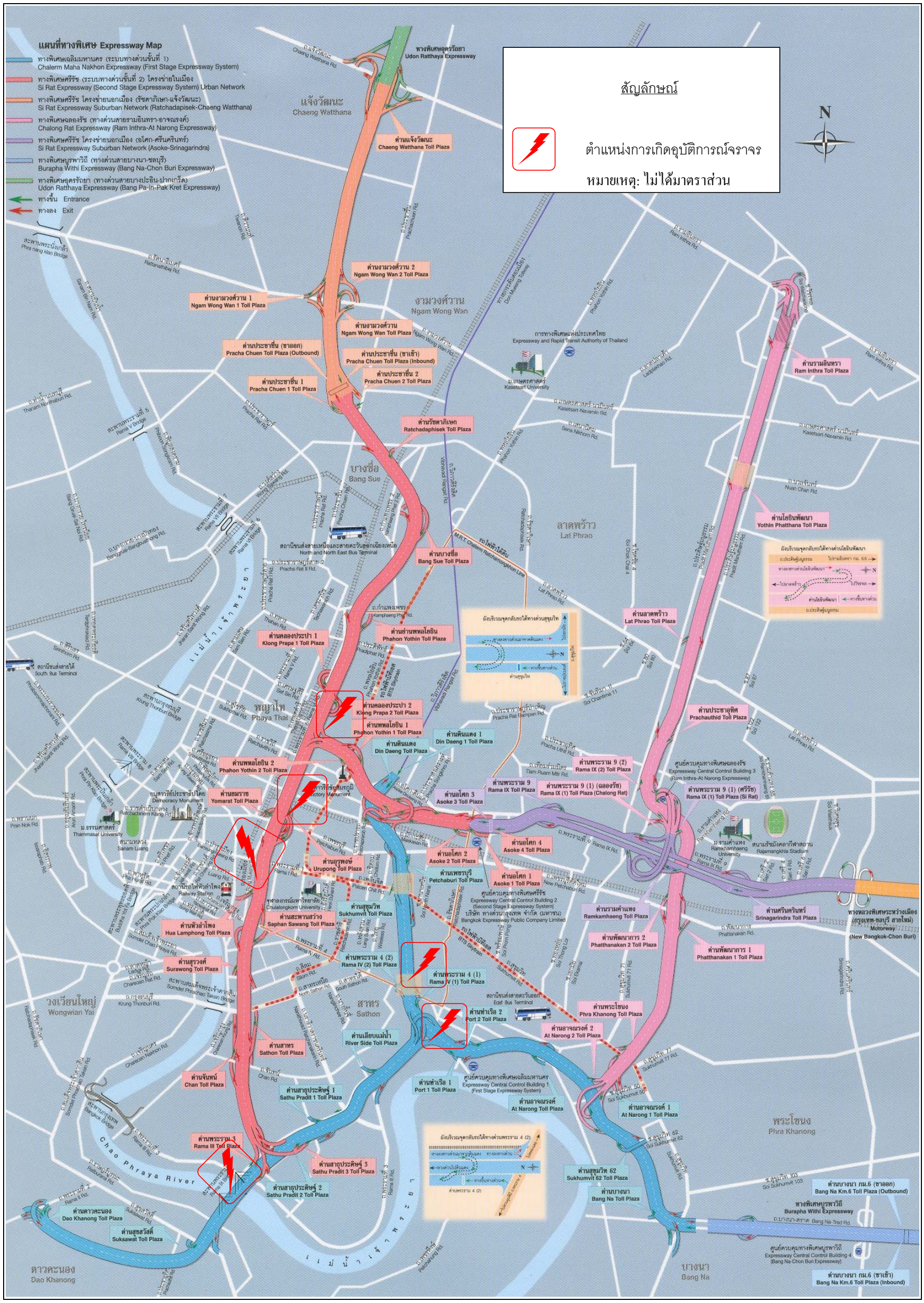


ภาพที่ 40 ลักษณะทางกายภาพของทางพิเศษบริเวณทางหลัก



ภาพที่ 41 ลักษณะทางกายภาพของทางพิเศษบริเวณทางแยกต่างระดับและบริเวณทางลง

ทิศทางการจราจร



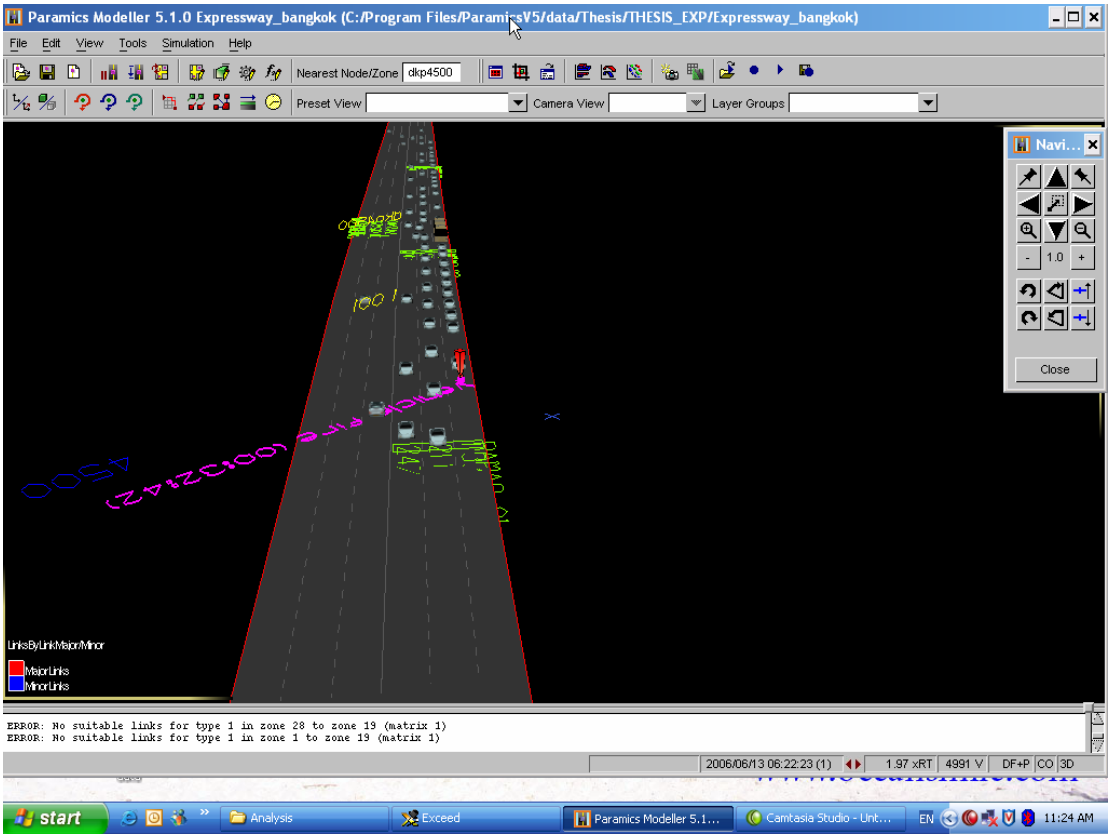
ภาพที่ 42 ตำแหน่งการเกิดอุบัติการณ์จราจรบนโครงข่ายทางพิเศษ

<u>ตารางที่ 16</u> กรณีศึกษาการคาดการณ์ผลกระทบทางด้านการจราจรบนระบบทางพิเศษ

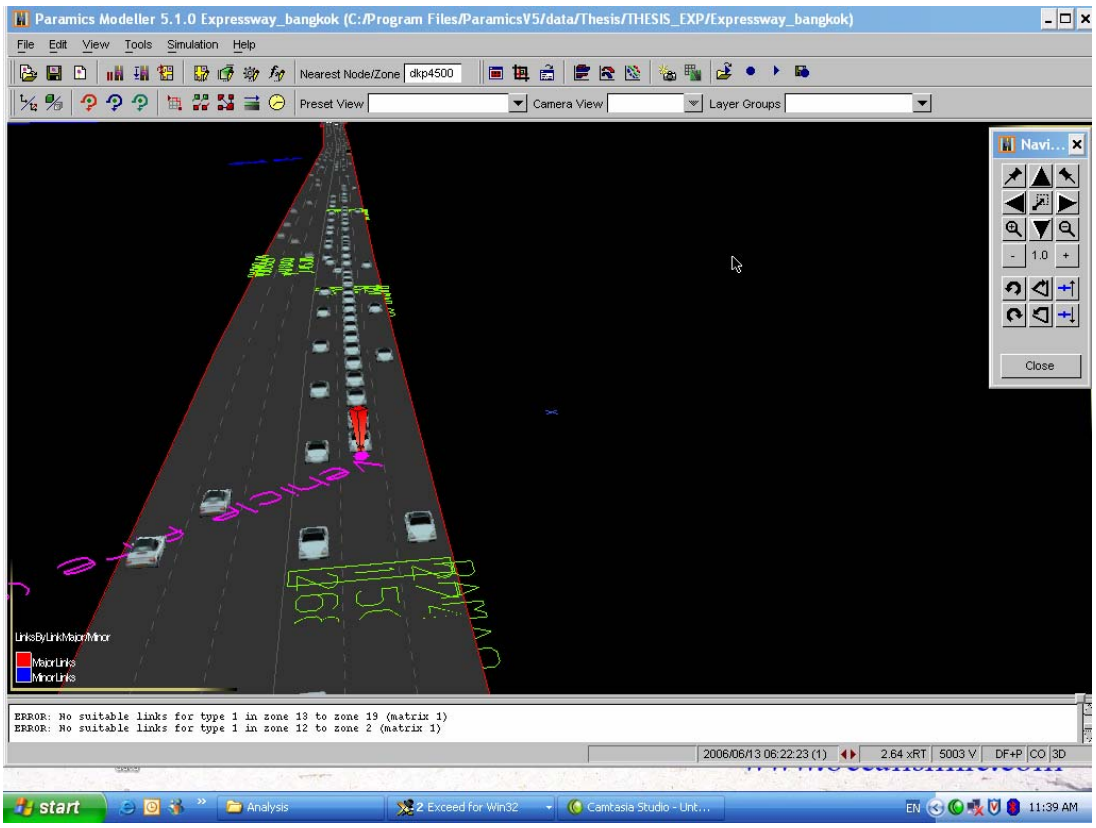
ที่	สถานการณ์จำลอง	สถานที่เกิดเหตุ	ช่องทางที่เกิดเหตุ	ระยะเวลาเกิดเหตุ
1	สภาวการณ์ปกติ (ไม่มีอุบัติการณ์จราจร)	-	-	-
2	เกิดอุบัติการณ์จราจรยวดยาน กีดขวางการจราจรบนทางหลัก	สะพานพระราม 9	1	15 นาที
3			1	30 นาที
4			1	45 นาที
5			2	15 นาที
6			2	30 นาที
7			2	45 นาที
8			3	15 นาที
9			3	30 นาที
10			3	45 นาที
11		หัวลำโพง - ยมราช	1	15 นาที
12			1	30 นาที
13			1	45 นาที
14			2	15 นาที
15			2	30 นาที
16			2	45 นาที
17			3	15 นาที
18			3	30 นาที
19			3	45 นาที

ตารางที่ 16 (ต่อ)

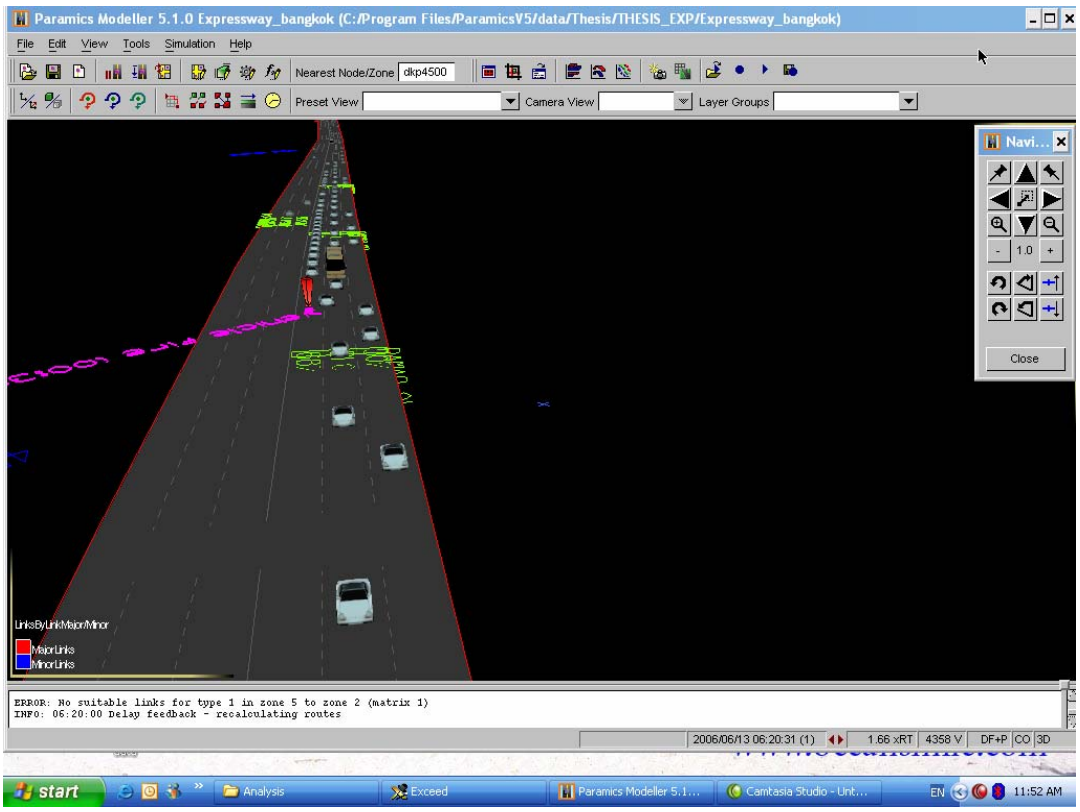
ที่	สถานการณ์จำลอง	สถานที่เกิดเหตุ	ช่องทางที่เกิดเหตุ	ระยะเวลาเกิดเหตุ
20	เกิดอุบัติการณ์จราจรยวดยานกีดขวางการจราจรบนทางแยกต่างระดับ	ทางแยกต่างระดับพญาไท	1	15 นาที
21			1	30 นาที
22			1	45 นาที
23			2	15 นาที
24			2	30 นาที
25			2	45 นาที
26		ทางแยกต่างระดับท่าเรือ	1	15 นาที
27			1	30 นาที
28			1	45 นาที
29			2	15 นาที
30			2	30 นาที
31			2	45 นาที
32	เกิดอุบัติการณ์จราจรยวดยานกีดขวางการจราจรบนทางลง	ทางลงยมราช	1	15 นาที
33			1	30 นาที
34			1	45 นาที
35			2	15 นาที
36			2	30 นาที
37			2	45 นาที
38		ทางลงพระราม 4 - 2	1	15 นาที
39			1	30 นาที
40			1	45 นาที
41			2	15 นาที
42			2	30 นาที
43			2	45 นาที



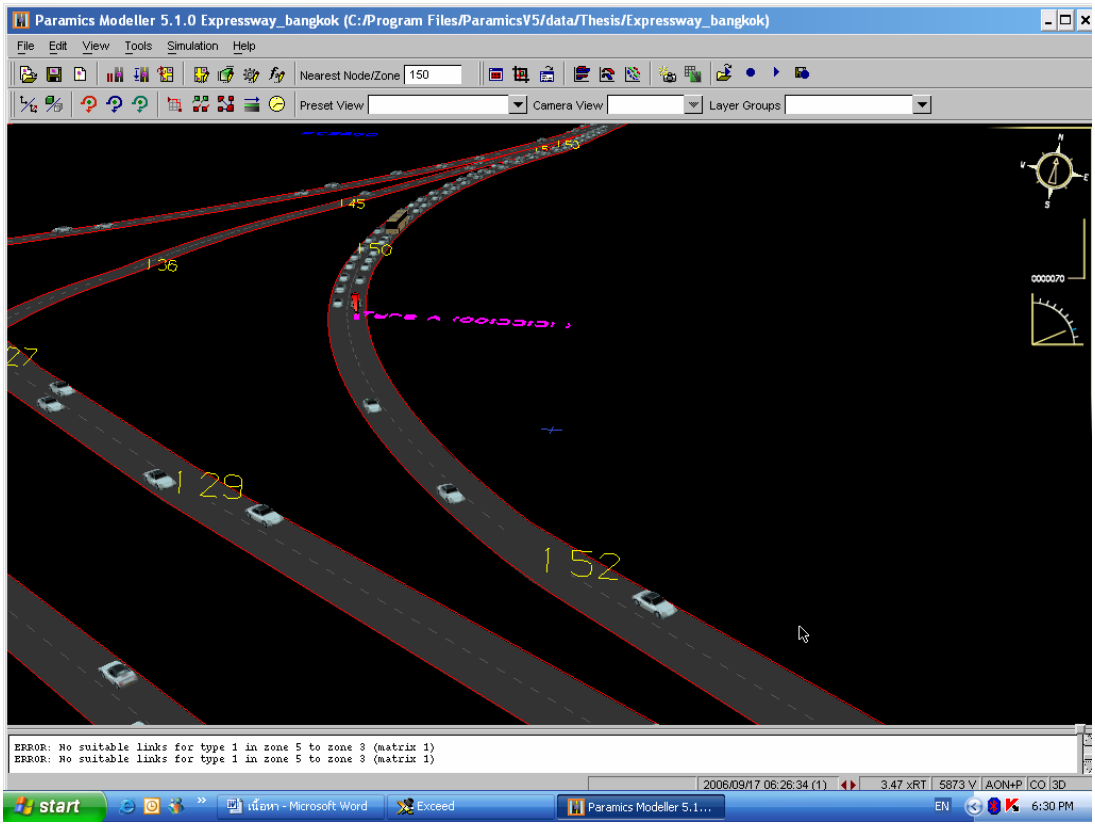
ภาพที่ 43 การเกิดอุบัติการณ์จราจรยวดยานกีดขวางการจราจรในช่องทางที่ 1 บนทางหลัก



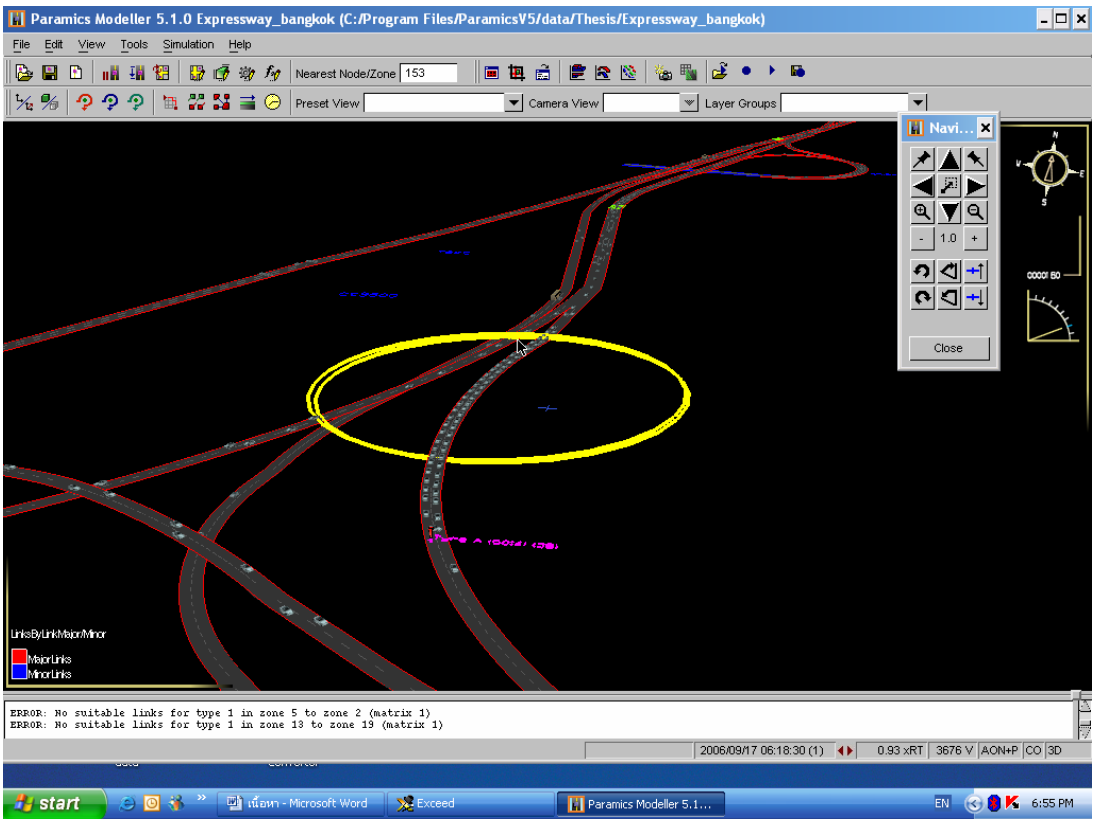
ภาพที่ 44 การเกิดอุบัติการณ์จราจรยวดยานกีดขวางการจราจรในช่องทางที่ 2 บนทางหลัก



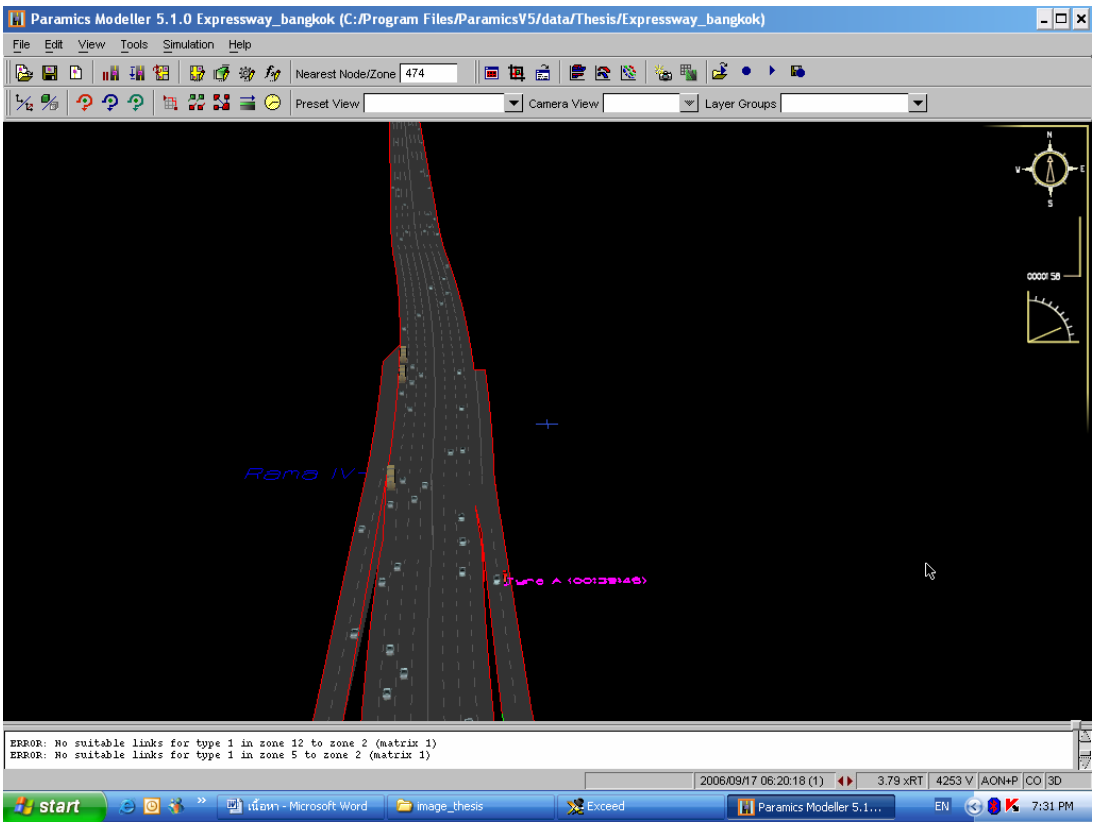
<u>ภาพที่ 45</u> การเกิดอุบัติการณ์จราจรยวดยานกีดขวางการจราจรในช่องทางที่ 3 บนทางหลัก



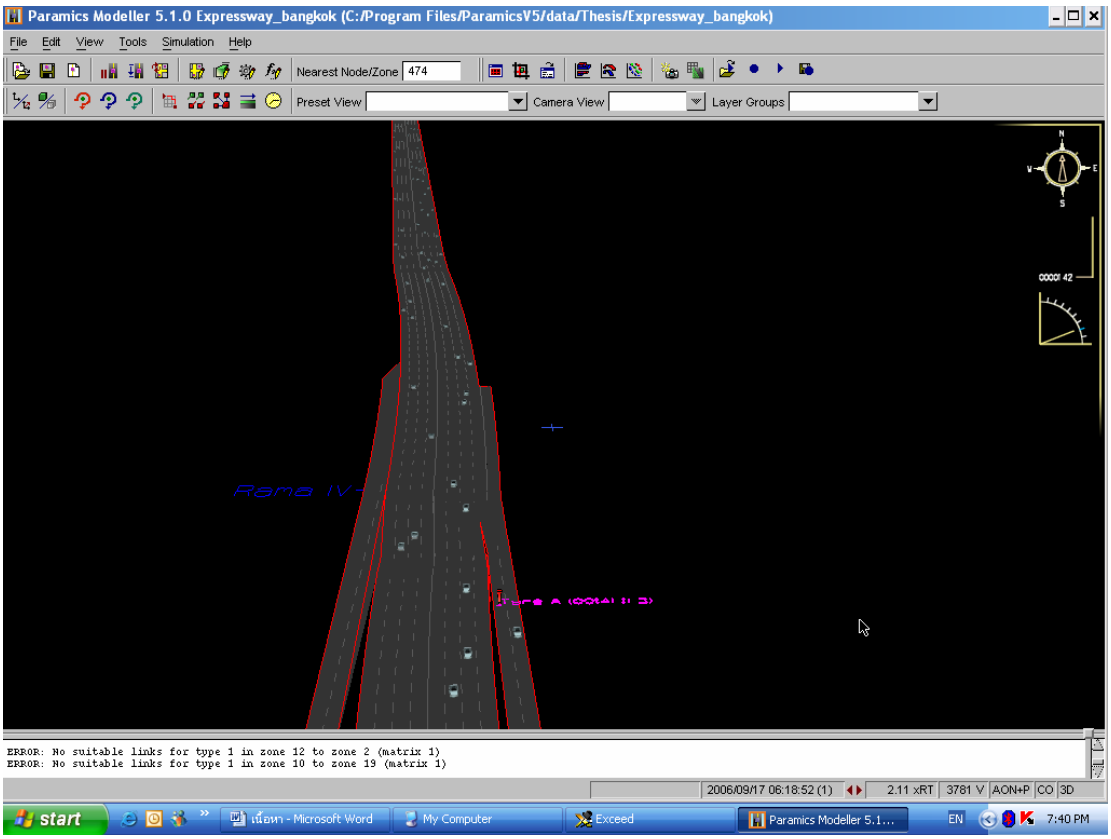
ภาพที่ 46 การเกิดอุบัติการณ์จราจรยวดยานกีดขวางการจราจรในช่องทางที่ 1 บนทางต่างระดับ



<u>ภาพที่ 47</u> การเกิดอุบัติการณ์จราจรยวดยานกีดขวางการจราจรในช่องทางที่ 2 บนทางต่างระดับ



ภาพที่ 48 การเกิดอุบัติการณ์จราจรยวดยานกีดขวางการจราจรในช่องทางที่ 1 บนทางลง



ภาพที่ 49 การเกิดอุบัติการณ์จราจรยวดยานกีดขวางการจราจรในช่องทางที่ 2 บนทางลง

แนวทางการศึกษานี้คือการใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์จำลองสภาพการจราจรของโครงข่ายทางพิเศษที่มีการกำหนดสถานการณ์ที่แตกต่างกัน 43 กรณีศึกษา หลังจากนั้นจะนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านการจราจรโดยใช้ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร (Measure of Effectiveness: MOE) ของโปรแกรม Paramics ที่ได้จัดเตรียมไว้ให้ ดังต่อไปนี้

1) ระยะทางการเดินทางรวมของยวดยานบนโครงข่าย (Vehicle-Kilometers Traveled, VKT) มีหน่วยเป็นคัน- กิโลเมตร

2) ระยะเวลาการเดินทางรวมของยวดยานบนโครงข่าย (Vehicle-Hours Traveled , VHT)มีหน่วยเป็นคัน-ชั่วโมง ใช้บอกผลรวมของเวลาที่ยวดยานแต่ละคันใช้ในการเดินทางภายในโครงข่าย ถ้าเวลาที่ยวดยานใช้เวลาการเดินทางบนโครงข่ายทางพิเศษมาก หมายถึงยวดยานเคลื่อนที่ได้ช้าหรือการจราจรติดขัด ใช้วัดคุณภาพของการบริการ (Quality of Service)

3) ความเร็วเฉลี่ยของการเดินทางของยวดยานบนโครงข่ายมีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้บอกแนวโน้มสภาพการจราจรในโครงข่าย การจัดการงานด้านอุบัติการณ์ที่มีประสิทธิภาพดีจะช่วยให้ความเร็วเฉลี่ยของยวดยานภายในโครงข่ายทางพิเศษสูงขึ้น ใช้วัดคุณภาพของการบริการ (Quality of Service)

4) ระยะเวลาการเดินทางเฉลี่ยของยวดยานบนโครงข่าย (Average Network Travel Time per vehicle) มีหน่วยเป็นวินาที ใช้บอกเวลาการเดินทางเฉลี่ยของยวดยานแต่ละคันใช้ในการเดินทางภายในโครงข่าย ถ้าเวลาที่ยวดยานใช้เวลาการเดินทางบนโครงข่ายทางพิเศษมาก หมายถึงยวดยานเคลื่อนที่ได้ช้าหรือการจราจรติดขัด ใช้วัดคุณภาพของการบริการ (Quality of Service)

5) อัตราการไหล ณ จุดเกิดอุบัติการณ์จราจร มีหน่วยเป็นคันต่อชั่วโมง ใช้บอกความสามารถในการให้บริการของทางด่วน ถ้าเกิดอุบัติการณ์จราจรยวดยานกีดขวางช่องทางบนทางด่วนจะทำให้ความสามารถในการให้บริการของทางด่วนลดลง

6) ความยาวแถวคอย มีหน่วยเป็นคันหรือเป็นเมตร ใช้บอกแนวโน้มสภาพการจราจร ถ้าสภาพการจราจรติดขัด ความยาวแถวคอยจะยาว

หลังจากที่ได้ผลลัพธ์จากการประมวลผลจากแบบจำลองแล้วจะทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาแต่ละกรณีโดยใช้กรณีไม่มีอุบัติการณ์จราจรเป็นกรณีฐาน (Base Case) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านการจราจรนอกจากนี้จะทำการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบในแต่ละกรณีศึกษา โดยใช้ค่าใช้จ่ายของยานพาหนะ (Vehicle Operating Cost, VOC) และ มูลค่าทางด้านเวลา (Value of Time, VOT) เป็นตัวชี้วัด