

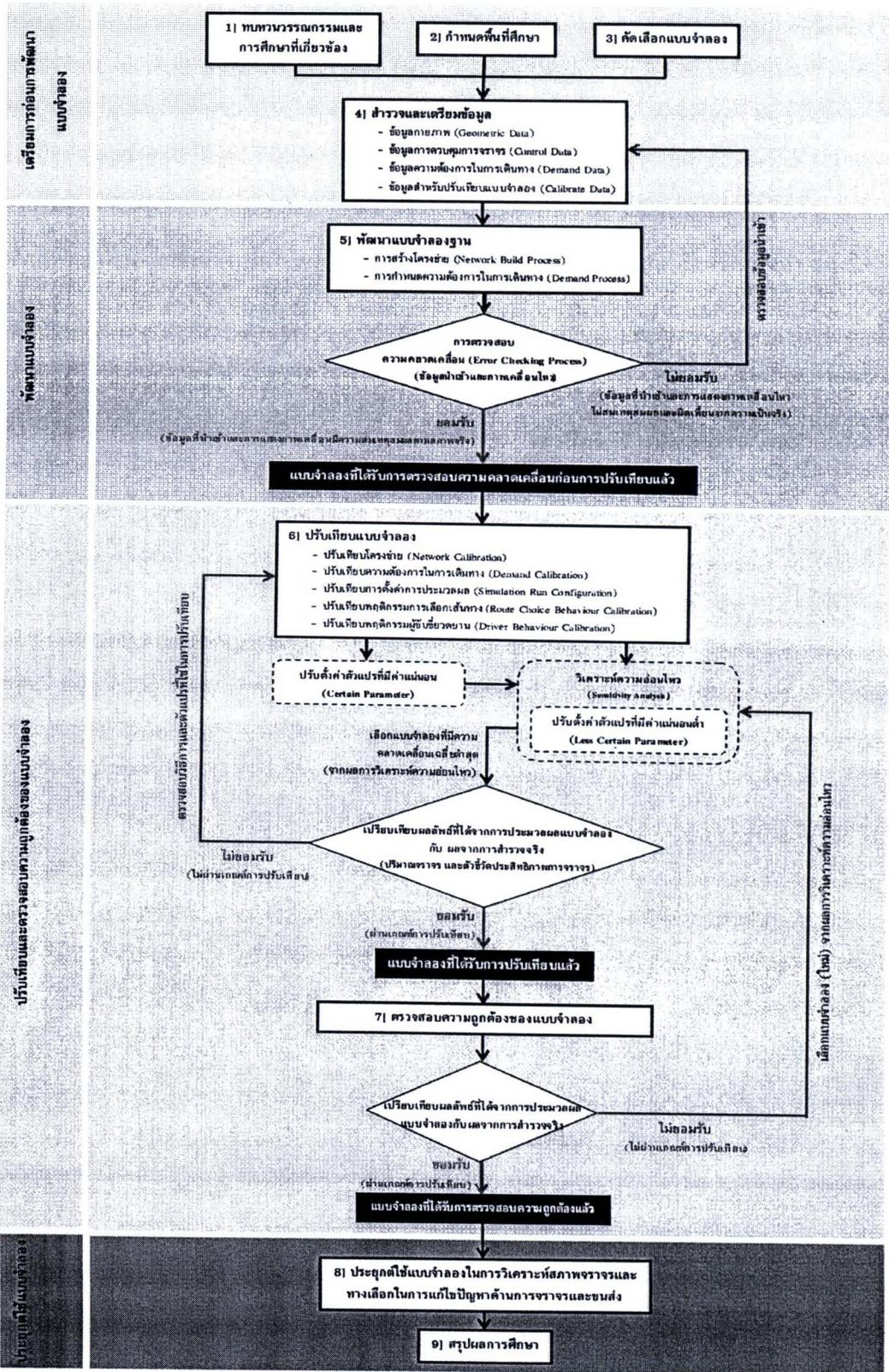
บทที่ 4 วิธีการศึกษา

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการศึกษา เพื่อวิเคราะห์และประเมินทางเลือกในการจัดการระบบจราจร ณ บริเวณท่าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยใช้โปรแกรม PARAMICS ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- 1) ทบทวนวรรณกรรมและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง
- 2) กำหนดพื้นที่ศึกษา
- 3) คัดเลือกแบบจำลอง
- 4) การสำรวจและเตรียมข้อมูล
- 5) พัฒนาแบบจำลองฐาน
- 6) ปรับเทียบแบบจำลอง
- 7) ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
- 8) ประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ทางเลือก
- 9) สรุปผลการศึกษา

โดยสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 34 และรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป



ภาพที่ 34 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

2. ทบทวนวรรณกรรมและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนงานศึกษาวิจัย รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการศึกษารั้วนี้ทั้งในและต่างประเทศ รวมทั้งทบทวนคู่มือการใช้โปรแกรม PARAMICS โดยแบ่งกลุ่มการทบทวนวรรณกรรมและการศึกษาที่เกี่ยวข้องออกเป็น 4 หัวข้อ คือ 1) การเปรียบเทียบโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค 2) การประยุกต์ใช้โปรแกรม PARAMICS ในการจำลองสภาพการจราจรทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย 3) แนวทางในการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองระดับจุลภาค และ 4) การศึกษาผลกระทบของพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ในแบบจำลองระดับจุลภาค ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าวข้างต้นเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการศึกษาและสามารถนำผลการศึกษาที่ได้ไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

3. กำหนดพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษารั้วนี้ได้เลือกบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง จังหวัดขอนแก่น เป็นกรณีศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณนี้เป็นเสมือนจุดศูนย์กลางของเมือง มีเส้นทางเชื่อมต่อไปยังสถานที่สำคัญหลายแห่ง และอยู่ในบริเวณย่านศูนย์กลางเศรษฐกิจการค้าของเมือง ทำให้ห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองซึ่งเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีปัญหาการจราจรติดขัดของเมืองขอนแก่นในปัจจุบัน อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การก่อสร้างห้างสรรพสินค้า หมู่บ้านจัดสรรในพื้นที่ใกล้เคียงซึ่งมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการรองรับปริมาณจราจรของพื้นที่ศึกษา จากเหตุผลดังกล่าว ห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง จึงใช้พื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการทำการศึกษาเพื่อประเมินผลทางเลือกต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหาการจราจรที่จะเกิดขึ้นในปัจจุบันและอนาคตอย่างยิ่ง สำหรับสภาพทั่วไปและการจัดการจราจรในพื้นที่ศึกษามีรายละเอียดดังนี้

3.1 ลักษณะทางกายภาพ

ปัจจุบันห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองมีการจัดการระบบจราจรให้เป็นวงเวียนขนาดใหญ่ ซึ่งรวมเอาพื้นที่ศาลเจ้าพ่อหลักเมือง ศาลเจ้าแม่ธรณี และอนุสาวรีย์ประชาธิปไตยเข้าไว้ด้วยกัน โดยมีถนนสายสำคัญหลายสายที่เข้ามาเชื่อมโยงกัน ดังนี้

1) ถนนศรีจันทร์ เป็นถนนสายหลักทำหน้าที่เชื่อมโยงกับทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 กับทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 209 รองรับปริมาณจราจรที่เข้า-ออกเมือง เชื่อมโยงเมืองในแนวตะวันออก-ตะวันตก ผิวจราจรเป็นคอนกรีตขนาด 4 ช่องจราจร แบ่งเป็น 2 ช่องจราจรต่อทิศทาง ช่องจราจรกว้าง 3.5/3.0 เมตร (ช่องจราจรด้านใน/ช่องจราจรติดขอบคันทาง) ทางเท้ากว้าง 2.5 เมตร

2) ถนนเทพารักษ์ เป็นถนนสายรอง ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างถนนศรีจันทร์ไปยังถนนประชาสโมสร เชื่อมโยงเมืองในแนวเหนือ-ใต้ ผิวจราจรเป็นคอนกรีต 4 ช่องจราจร แบ่งเป็น 2 ช่องจราจรต่อทิศทาง ช่องจราจรกว้าง 3.5/3.0 เมตร (ช่องจราจรด้านใน/ช่องจราจรติดขอบคันทาง) ทางเท้ากว้าง 2.5 เมตร

3) ถนนประชาสำราญ เป็นถนนสายรอง ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างถนนศรีจันทร์ไปยังถนนรื่นรมย์ เชื่อมโยงเมืองในแนวเหนือ-ใต้ ผิวจราจรเป็นคอนกรีต 4 ช่องจราจร แบ่งเป็น 2 ช่องจราจรต่อทิศทาง ช่องจราจรกว้างช่องละ 3.0 เมตร ทางเท้ากว้าง 2.5 เมตร

4) ถนนตรุณสำราญ เป็นถนนสายรอง ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างถนนศรีจันทร์กับถนนรื่นรมย์ เชื่อมโยงเมืองในแนวเหนือ-ใต้ ผิวจราจรเป็นคอนกรีต 2 ช่องจราจร ผิวจราจรเป็นคอนกรีต 4 ช่องจราจร แบ่งเป็น 2 ช่องจราจรต่อทิศทาง ช่องจราจรกว้างช่องละ 5.0 เมตร ไม่มีทางเท้ากว้าง

ในการศึกษาครั้งนี้รวมเอาพื้นที่สี่แยกประตูเมืองเข้ามาพิจารณาด้วย ซึ่งสี่แยกประตูเมืองเป็นทางแยกขนาดใหญ่และมีถนน 2 สายสำคัญที่เข้ามาเชื่อมต่อ คือ

1) ถนนมิตรภาพ เป็นถนนสายประธาน ตัดผ่านเมืองไปยังจังหวัดนครราชสีมาและอุดรธานี ทำหน้าที่เชื่อมโยงเมืองในแนวเหนือ-ใต้ ผิวจราจรเป็นคอนกรีต 8 ช่องจราจร แบ่งเป็น 4 ช่องจราจรต่อทิศทาง ช่องจราจรกว้างช่องละ 3.5 เมตร มีทางคู่ขนานด้านละ 2 ช่องจราจร ช่องจราจรกว้างช่องละ 3.0 เมตร ทางเท้ากว้าง 2.5 เมตร

2) ถนนศรีจันทร์ เป็นถนนสายหลัก เชื่อมโยงระหว่างสี่แยกประตูเมืองกับห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง ผิวจราจรเป็นคอนกรีต 6 ช่องจราจร แบ่งเป็น 3 ช่องจราจรต่อทิศทาง ช่องจราจรกว้าง 3.0/3.0/2.5 เมตร (ช่องจราจรด้านใน/ช่องกลาง/ช่องจราจรติดขอบคันทาง) ทางเท้ากว้าง 2.5 เมตร

3.2 การจัดการจราจร

การจัดการระบบการจราจรในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย

1) ระบบสัญญาณไฟจราจร การควบคุมการจราจรด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร ณ ทางแยก 2 แห่ง คือ บริเวณสี่แยกประตูเมือง และห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง

2) ทางรถไฟ มีรถไฟตัดผ่านบริเวณช่วงถนนศรีจันทร์ มีการควบคุมด้วยราวกันและสัญญาณไฟเตือน

3) เดินรถทางเดียว ตามแนวด้านข้างร้านxonแก่นไทยแลนด์ และช่วงถนนภายในห้าแยกศาลเจ้าพ่อฯ

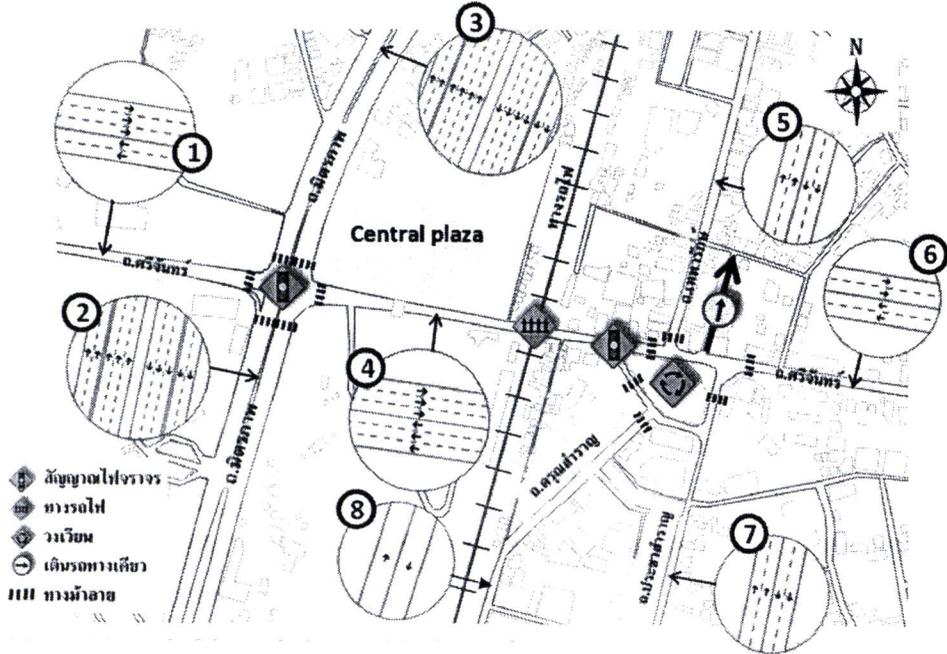
4) ห้ามรถยนต์บรรทุกทุกเข้า-ออก รถยนต์บรรทุกน้ำหนักเกิน 3 ตันขึ้นไป ห้ามเดินรถบนถนนภายในเขตเทศบาลนครxonแก่น ระหว่างเวลาเร่งด่วน (เว้นวันหยุดราชการ) เวลา 06.30 - 09.00 น. และ 15.00 - 17.00 น.

5) ทางม้าลาย ส่วนใหญ่จะอยู่ ณ บริเวณทางแยกที่ติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร และภายในห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง

6) การจัดการจราจรแบบวงเวียน มีจำนวน 1 แห่ง บริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง

7) ห้ามจอดตลอดเวลา มีเฉพาะในบริเวณที่เข้าสู่สี่แยกประตูเมืองและห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง ส่วนในช่วงถนนอื่นๆในพื้นที่ศึกษาอนุญาตให้จอดได้ตลอดเวลา

โดยภาพที่ 35 แสดงลักษณะโครงข่ายถนนและการจัดการจราจร และภาพที่ 36 ถึงภาพที่ 43 แสดงลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนในพื้นที่ศึกษา



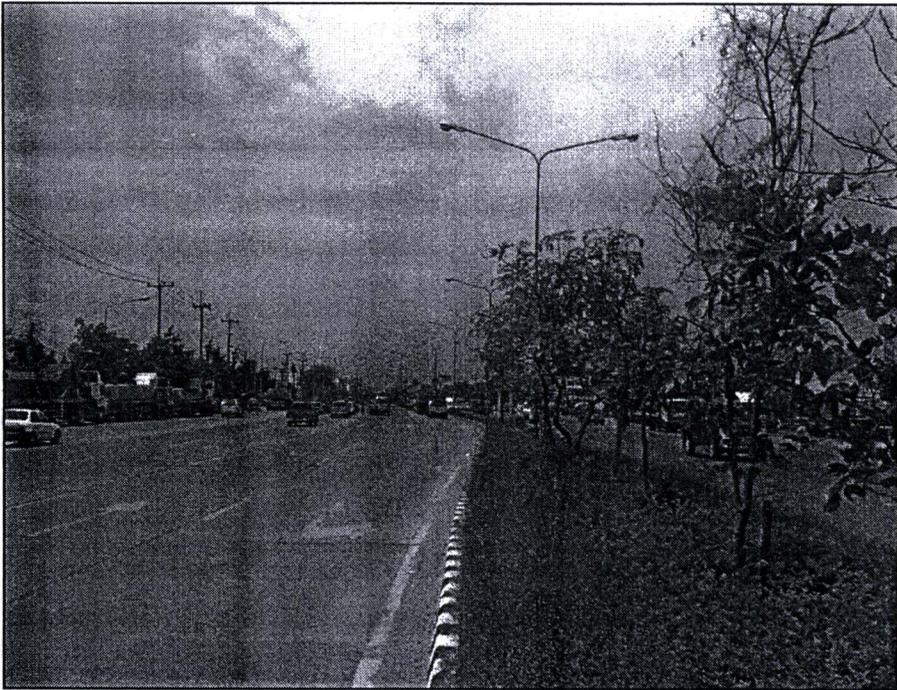
ภาพที่ 35 ลักษณะโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา



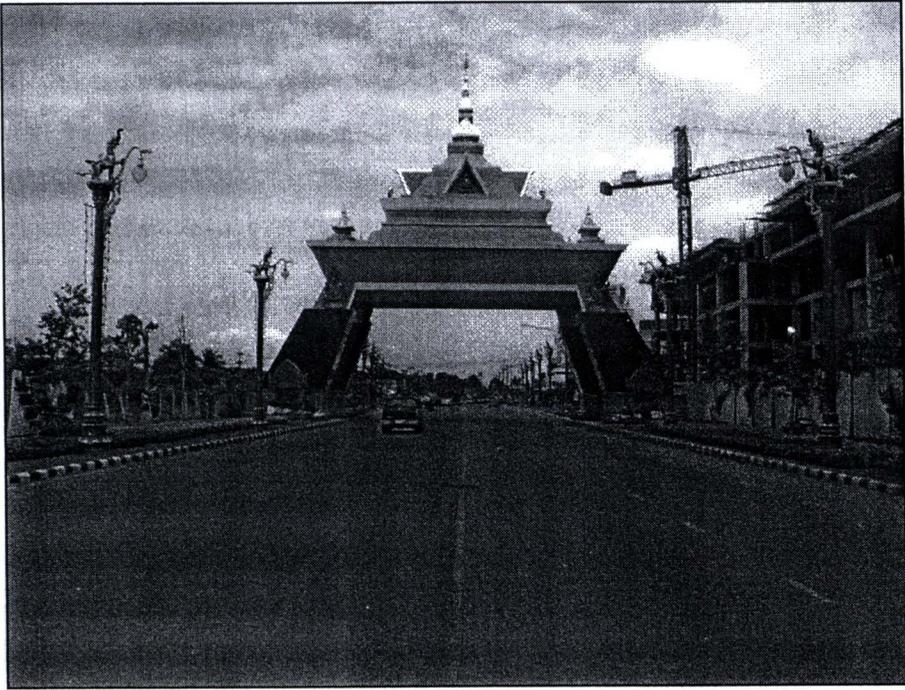
ภาพที่ 36 หน้าตัดที่ 1 มุมมองจากถนนศรีจันทร์ (มุ่งตะวันตก)



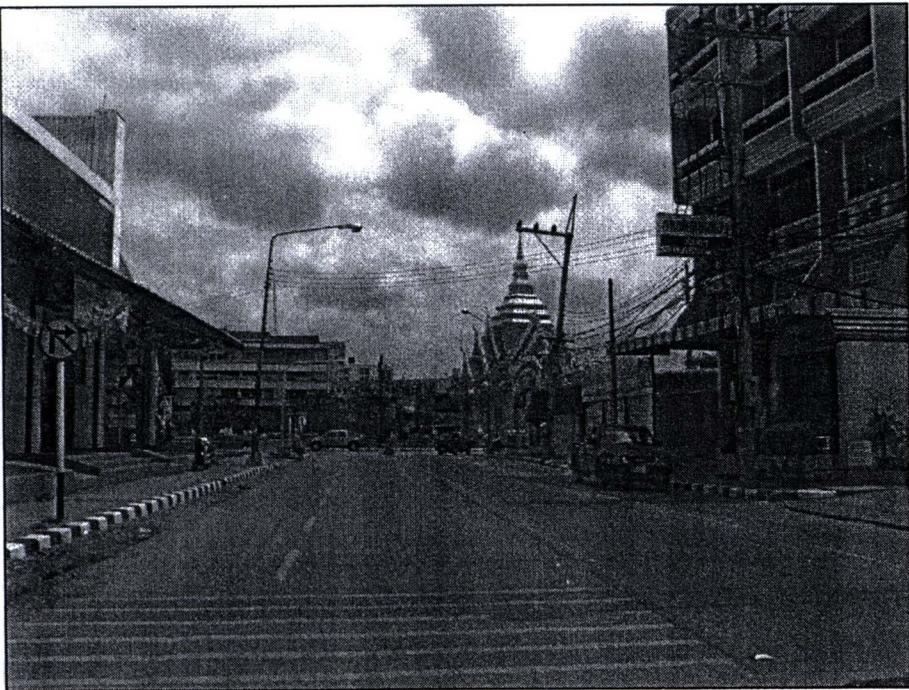
ภาพที่ 37 หน้าตัดที่ 2 มุมมองจากถนนมิตรภาพ (มุ่งเหนือ)



ภาพที่ 38 หน้าตัดที่ 3 มุมมองจากถนนมิตรภาพ (มุ่งใต้)



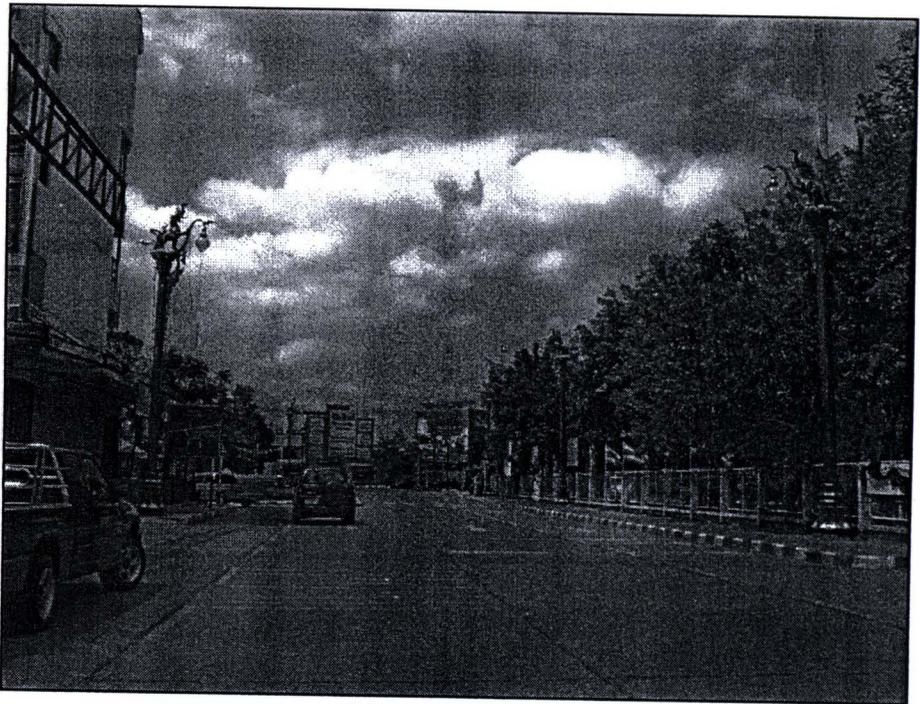
ภาพที่ 39 หน้าตัดที่ 4 มุมมองจากถนนศรีจันทร์ (ด้านหน้าประตูเมือง)



ภาพที่ 40 หน้าตัดที่ 5 มุมมองจากถนนเทพารักษ์ (มุ่งใต้)



ภาพที่ 41 หน้าตัดที่ 6 มุมมองจากถนนศรีจันทร์ (มุ่งตะวันออก)



ภาพที่ 42 หน้าตัดที่ 7 มุมมองจากถนนประชาธิปไตย (มุ่งเหนือ)



ภาพที่ 43 หน้าตัดที่ 8 มุมมองจากถนนตรุณสำราญ (มุงเหนือ)

4. คัดเลือกแบบจำลอง

4.1 คัดเลือกประเภทเครื่องมือในการวิเคราะห์การจราจร

การศึกษาเพื่อทำการประเมินและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทางเลือกต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองจังหวัดขอนแก่นในครั้งนี้ ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Microsimulation model) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการจำลองสภาพการจราจรรูปแบบหนึ่ง ที่มีความสามารถและประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการวิเคราะห์การจราจรในการศึกษานี้ ซึ่งได้พิจารณาความเหมาะสมตามหลักเกณฑ์ของ Jeannotte et al. (2004) ซึ่งได้แก่

- 1) เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาที่เป็นลักษณะโครงข่ายขนาดเล็ก (Small network) หรือช่วงถนนตามยาว (Corridor) ซึ่งมีพื้นที่ไม่เกิน 520 เมตร²
- 2) สามารถสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกด้านการจราจรได้อย่างหลากหลายที่สอดคล้องกับการศึกษานี้ เช่น วงเวียน ทางด่วน ทางหลวง และช่องจราจรสำหรับรถบัส เป็นต้น
- 3) สามารถวิเคราะห์ประเภทการขนส่งได้อย่างครอบคลุม เช่น รถบัส รถบรรทุก ขนาดใหญ่ รถไฟ รถจักรยานยนต์ รถจักรยาน และคนเดินเท้า เป็นต้น
- 4) สามารถวิเคราะห์นโยบายในการจัดการและการประยุกต์ใช้ในการจัดการพื้นฐานบนถนนสายหลักและทางหลวงที่ตัดผ่านพื้นที่ศึกษาได้อย่างดี

5) สามารถประมาณการการรับรู้ของผู้เดินทางต่อนโยบายการจัดการจราจร เช่น สามารถเปลี่ยนแปลงเส้นทางการเดินทางไปใช้เส้นทางที่เหมาะสมกว่าเมื่อทราบข้อมูลด้านการจราจรล่วงหน้า เป็นต้น

6) สามารถกำหนดและแสดงผลลัพธ์ค่าประสิทธิภาพการจราจร ได้อย่างครบถ้วนครอบคลุมทุกตัวชี้วัดที่สำคัญ เช่น ความเร็ว ความล่าช้า เวลาในการเดินทาง VHT และ VMT เป็นต้น

7) มีความเหมาะสมในด้านราคา ประสิทธิภาพในการใช้งาน และความเหมาะสมในการเรียนรู้วิธีการใช้งานไม่ยากจนเกินไป

นอกจากนั้นการเลือกใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น

1) มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์สภาพปัญหาการจราจรติดขัดในลักษณะที่สภาพการจราจรมีการแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา

2) สามารถตรวจสอบการเคลื่อนที่ของยานแต่ละคันได้อย่างละเอียด

3) สามารถประเมินและวิเคราะห์ผลโดยแยกประเภทการเดินทางและช่องจราจรได้

4) สามารถประเมินผลกระทบและอิทธิพลของเหตุการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลต่อระบบที่ทำการศึกษา

5) สามารถจำลองและทำให้เห็นถึงผลประโยชน์ที่ได้จากการสร้างระบบขนส่งอัจฉริยะและการใช้เทคโนโลยีต่างๆ เพื่อปรับปรุงโครงข่าย

6) สามารถจำลองและประเมินระดับปริมาณจราจรและความติดขัดในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนได้อย่างหลากหลาย

7) สามารถจำลองโครงข่ายได้อย่างละเอียดทำให้เห็นถึงผลกระทบและอิทธิพลทางเรขาคณิตของโครงข่ายได้อย่างชัดเจน

4.2 คัดเลือกโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสภาพการจราจร

การคัดเลือกโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ ได้พิจารณาจากการทบทวนผลการศึกษาทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวกับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของแต่ละโปรแกรมที่เป็นที่นิยมและใช้ในการจำลองสภาพการจราจรอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สามารถสรุปเป็นประเด็นและหัวข้อหลักที่มีความเกี่ยวข้องกับการศึกษาค้างนี้ เพื่อใช้เปรียบเทียบและทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการเลือกใช้แบบจำลอง ได้ดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโปรแกรมในการจำลองสภาพการจราจร

	แบบจำลอง					
	AIMSUN	CORSIM	FRESIM	NETSIM	PARAMICS	VISSIM
ประสิทธิภาพในการจำลองทั่วไป						
เครื่องมือตรวจจับยาน (Vehicle Detectors)	√	X	√	√	√	√
วงเวียน (Roundabout)	X	√	X	X	√	√
การปรับขอบทาง (Kurb)	X	√	X	X	√	√
การควบคุมการเข้าถึงพื้นที่ (Zone Access Control)	X	√	√	X	√	√
ระบบขนส่งสาธารณะ (Public Transport)	√	√	√	√	√	√
สัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ (Fixed time)	√	√	√	√	√	√
การแสดงผลสามมิติ (3D)	√	X	X	X	√	√
ประสิทธิภาพในการจำลองสิ่งอำนวยความสะดวกและสถานการณ์ต่าง ๆ						
สัญญาณไฟจราจรแบบเชื่อมโยง (Co-ordinated Traffic signals)	√	√	X	√	√	√
สัญญาณไฟจราจรแบบปรับตามปริมาณจราจรได้ (Adaptive traffic signals- Vehicle actuated)	√	X	X	X	√	√
การจัดลำดับสิทธิพิเศษแก่ระบบขนส่งสาธารณะ (Public Transport)	√	√	X	√	√	√
การกำหนดเส้นทางของระบบขนส่งสาธารณะ (Bus Route)	√	√	X	√	√	√
ช่องจราจรเฉพาะสำหรับระบบขนส่งสาธารณะ (Bus Lane)	√	X	X	√	√	√
การยับยั้งการจราจร (Traffic Claming)	X	X	X	X	√	√
การควบคุมการเข้าออกทางด่วน (Ramp Metering)	√	√	√	X	√	√
รถจักรยานยนต์ (Motorcycles)	X	X	X	X	X	√
คนเดินเท้า (Pedestrians)	X	√	X	√	√	√
ที่จอดรถ (Parking)	X	X	X	X	√	√

จากตารางที่ 27 พบว่า โปรแกรม PARAMICS มีความเหมาะสมในการจำลองสภาพการจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองในการศึกษาครั้งนี้ ถึงแม้ว่าโปรแกรม PARAMICS จะมีข้อดีและข้อจำกัดซึ่งไม่สามารถจำลองจักรยานยนต์และรถจักรยานได้ (ปัจจุบันโปรแกรม VISSIM สามารถจำลองได้) แต่โดยภาพรวมโปรแกรม PARAMICS มีความสามารถเทียบเคียงกับโปรแกรมอื่น ๆ ในการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคในรูปแบบ

ต่าง ๆ รวมทั้งมีฟังก์ชันที่ครอบคลุมในการประยุกต์ใช้จำลองสภาพการจราจร โดยสามารถสรุปข้อดีและความเหมาะสม ได้แก่

- 1) สามารถจำลองการจัดการจราจรในลักษณะที่เป็นวงเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) ความเหมาะสมกับการศึกษาที่สามารถสำรวจปริมาณการเดินทางจากต้นทาง-ปลายทาง ได้โดยตรง และสามารถกำหนดการเข้าออกของยานจากโซน
- 3) มีความเหมาะสมกับการวิเคราะห์ที่ต้องการความละเอียดสูงและลักษณะทางเรขาคณิตของโครงข่ายมีนัยสำคัญอย่างมากกับความถูกต้องของแบบจำลอง
- 4) มีความสม่ำเสมอในการแสดงผลข้อมูล
- 5) ค่าที่ได้จากการประมวลผลมีความสอดคล้องกับ HCM
- 6) มี API ที่สามารถพัฒนาแบบจำลองให้สมจริงมากยิ่งขึ้น
- 7) สามารถแสดงผลสามมิติได้เป็นอย่างดี
- 8) สามารถบันทึกภาพเคลื่อนไหวเพื่อใช้ในการนำเสนอได้

นอกจากนั้นแล้วโปรแกรม PARAMICS Version 6.4.1 ที่สามารถจัดทำได้เพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นโปรแกรมที่ทางศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืนภาควิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ทำการจัดซื้อเพื่อใช้ในการทำการศึกษาและวิจัย และเป็นเวอร์ชันใหม่ล่าสุดที่มีฟังก์ชันการทำงานครบถ้วนและครอบคลุมและเหมาะสมสำหรับการพัฒนาแบบจำลองด้านการจราจรในระดับจุลภาคอย่างยิ่ง

5. สำรองและเตรียมข้อมูล (Data Collection and Preparation)

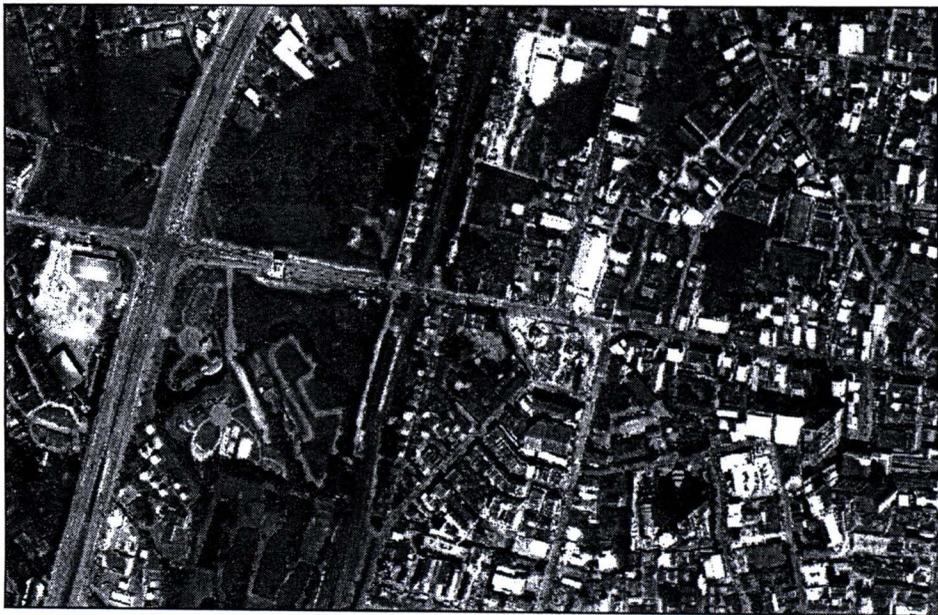
การสำรองและเตรียมข้อมูลเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจร ซึ่งความละเอียดของข้อมูลที่นำเข้า (Input data) เพื่อใช้ในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรในระดับจุลภาค ขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่ใช้ รวมทั้งขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของแบบจำลอง วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา โดยในการศึกษานี้ได้ทำการสำรองและรวบรวมข้อมูลที่นำเข้า ดังแสดงในตารางที่ 28 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 28 รายละเอียดการสำรวจและเตรียมข้อมูล

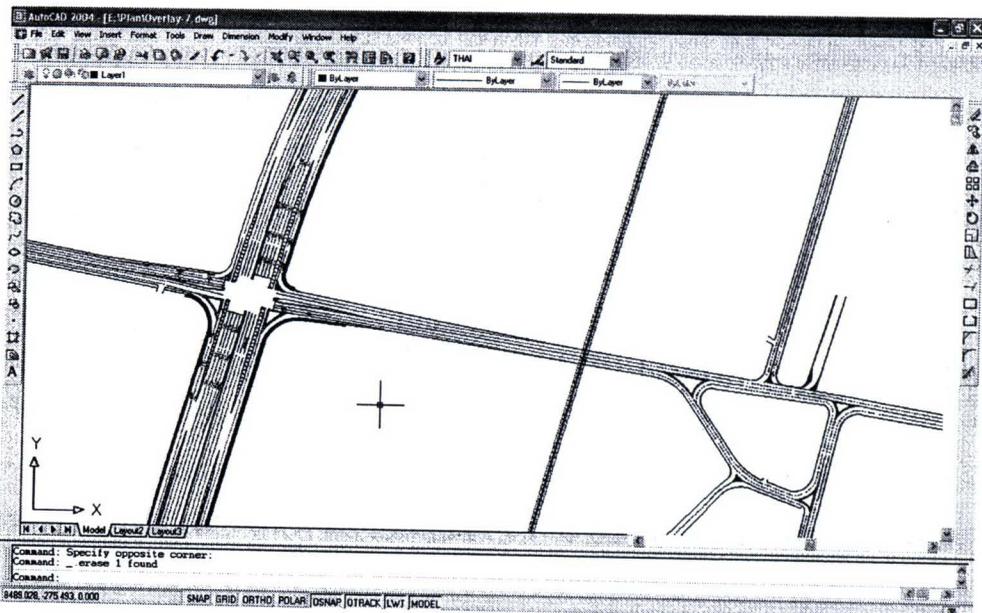
ข้อมูลที่ใช้การสำรวจและรวบรวม	รายละเอียดข้อมูล
ข้อมูลกายภาพ (Geometric Data)	<ol style="list-style-type: none"> 1) จำนวนของช่องจราจร 2) ความกว้างของช่องจราจรและทางเท้า 3) ลักษณะทางกายภาพของทางแยก 4) การเชื่อมต่อกับพื้นที่ข้างเคียง 5) สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน 6) ภาพถ่ายทางอากาศ 7) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) 8) แบบก่อสร้างบริเวณทำแยกฯและสี่แยกประตูเมือง
ข้อมูลการควบคุมการจราจร (Control Data)	<ol style="list-style-type: none"> 1) ตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุมการจราจร 2) จังหวะและรอบสัญญาณไฟจราจร 3) การขีดสีตีเส้นติดตั้งป้ายเพื่อจัดช่องการไหลของกระแสจราจร
ข้อมูลปริมาณการเดินทาง (Demand Data)	<ol style="list-style-type: none"> 1) ปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง
ข้อมูลสำหรับปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration Data)	<ol style="list-style-type: none"> 1) ปริมาณจราจรบนช่วงถนน 2) ปริมาณจราจรที่ทางแยก 3) ความยาวแถวคอย 4) ความเร็ว 5) เวลาในการเดินทาง

5.1 ข้อมูลกายภาพ (Geometric Data)

ข้อมูลด้านกายภาพที่ได้ทำการสำรวจภาคสนาม เช่น จำนวนของช่องจราจร ความกว้างของช่องจราจร ลักษณะทางกายภาพของทางแยก เป็นต้น ซึ่งข้อมูลด้านกายภาพบางส่วนได้ทำการรวบรวมจากแบบก่อสร้างที่มีอยู่แล้วเบื้องต้นจากโครงการอื่น ที่ได้ทำการศึกษาก่อนหน้า แต่เนื่องจากแบบก่อสร้างกับสภาพจริงในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงไป จึงได้มีการปรับปรุงแบบก่อสร้างจากข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจข้อมูลกายภาพในสนามเพิ่มเติม (โดยแสดงรายละเอียดแบบฟอร์มไว้ใน ภาคผนวก ก) นอกจากนี้ในการศึกษานี้ได้นำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial photographs) ในปี พ.ศ.2550 (ภาพที่ 44) มาร่วมพิจารณาในการปรับปรุงแบบก่อสร้างด้วย ซึ่งทั้งแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศและแบบก่อสร้างที่ได้ทำการปรับปรุงในโปรแกรม AutoCAD (ภาพที่ 45) ให้ได้มาตรฐานและมีความสมจริงสูงสุดแล้วจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้างโครงข่ายถนนในโปรแกรม PARAMICS ต่อไป



ภาพที่ 44 แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ



ภาพที่ 45 แบบก่อสร้างบริเวณพื้นที่ศึกษาที่ได้ทำการปรับปรุงแล้ว

5.2 ข้อมูลการควบคุมการจราจร (Control Data)

ข้อมูลการควบคุมการจราจรที่ได้ทำการสำรวจประกอบด้วย ตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุมการจราจร และรอบสัญญาณไฟจราจร ซึ่งพื้นที่ศึกษามีการควบคุมการจราจรที่ทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจร 2 จุด คือ บริเวณวงเวียนห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองและสี่แยกประตูเมือง (ภาพที่ 46) โดยในการสำรวจรอบสัญญาณไฟจราจรได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า เวลา 07.00-09.00 น. และช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น เวลา 16.00-18.00 น. เพื่อให้สอดคล้องกับการสำรวจข้อมูลด้านการจราจร ซึ่งทำการสำรวจเพียงจุดละ 1 รอบสัญญาณไฟจราจรเท่านั้นเนื่องจากทั้งสองจุดใช้ระบบรอบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ (Fixed Time) และมีระบบแสดงรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรแบบนับถอยหลัง (Count Down) ค่าที่ได้จากการสำรวจจึงมีค่าคงที่ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจะถูกนำมาใช้ประกอบในการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจร รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ติดตั้งในปัจจุบันและสร้างทางเลือกในการแก้ปัญหาต่อไป จังหวะและรอบสัญญาณไฟจราจรที่ทำการสำรวจ ดังแสดงในภาพที่ 47 ถึง 48 และแบบฟอร์มการสำรวจรอบสัญญาณไฟจราจรไว้ในภาคผนวก ก



ภาพที่ 46 ตำแหน่งที่ทำการสำรวจการควบคุมการจราจรที่ทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจร

Phase	A		B		C		D	
Green Time (sec)	40		40		40		30	
Yellow Time (sec)	3		3		3		3	
All-Red Time (sec)	2		2		2		2	

ภาพที่ 47 ผลการสำรวจจังหวะและรอบสัญญาณไฟจราจรบริเวณสี่แยกประตูเมือง

Phase	A	B
Green Time (sec)	51	25
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	2	2

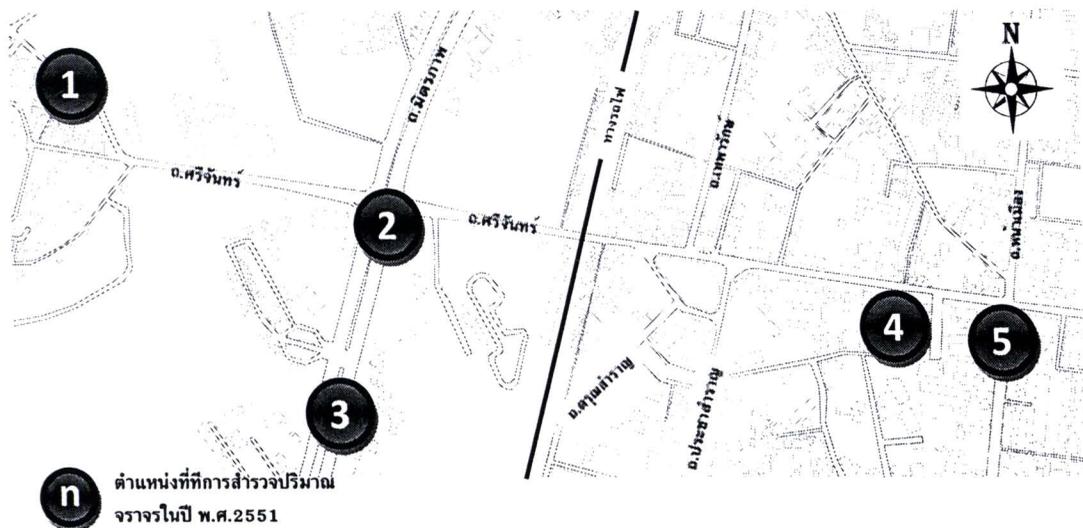
ภาพที่ 48 ผลการสำรวจจังหวะและรอบสัญญาณไฟจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง

5.3 ข้อมูลความต้องการในการเดินทาง (Demand Data)

ในการสำรวจข้อมูลความต้องการในการเดินทางและข้อมูลสำหรับปรับเทียบแบบจำลองได้ทำการสำรวจในวันทำงานที่ผู้ขับขี่มีพฤติกรรมการเดินทางเป็นปกติ เป็นเวลา 1 วัน โดยการสำรวจข้อมูลด้านการจราจรใช้วิธีบันทึกภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวีดีทัศน์ (VDO) แล้วจึงทำการถอดข้อมูลและบันทึกลงแบบฟอร์มสำรวจข้อมูลด้านการจราจรในภายหลัง โดยการจดบันทึกจัดแจงนับปริมาณจราจร (Manual count) ทุก ๆ 15 นาที ต่อเนื่องกัน ซึ่งในการเก็บข้อมูลปริมาณการเดินทงมีรายละเอียดที่ต้องดำเนินการ ดังนี้

1) กำหนดช่วงเวลาในการนับปริมาณจราจร (Count Duration)

ในการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจรได้ทำการสำรวจใน 2 ช่วงเวลา (ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้าและช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น) กำหนดช่วงเวลาในการสำรวจช่วงละ 2 ชั่วโมง โดยมีการทบทวนผลการศึกษาโครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรมเศรษฐกิจ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น เพื่อก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนเมืองขอนแก่น (ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, พ.ศ.2551) ในตำแหน่งที่มีการสำรวจปริมาณจราจรในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง โดยตำแหน่งจุดสำรวจและช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรสูงสุด ดังแสดงในภาพที่ 49 และตารางที่ 29



ภาพที่ 49 ตำแหน่งที่ทำการสำรวจปริมาณจราจรในปี พ.ศ. 2551
(ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน, 2551)

ตารางที่ 29 ช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรสูงสุด

จุดที่	ตำแหน่งจุดสำรวจ	ชั่วโมงเร่งด่วนเช้า	ชั่วโมงเร่งด่วนเย็น
1	ช่วงถนนศรีจันทร์ (บ้านศรีฐาน)	07.15-08.15	16.30-17.30
2	สี่แยกประตูเมือง	07.30-08.30	17.00-18.00
3	ช่วงถนนมิตรภาพ	07.45-08.45	16.45-17.45
4	ช่วงถนนศรีจันทร์ (หน้าตึกคอม)	07.15-08.15	16.45-17.45
5	สี่แยกถนนหน้าเมืองตัดกับถนนศรีจันทร์	07.30-08.30	16.45-17.45

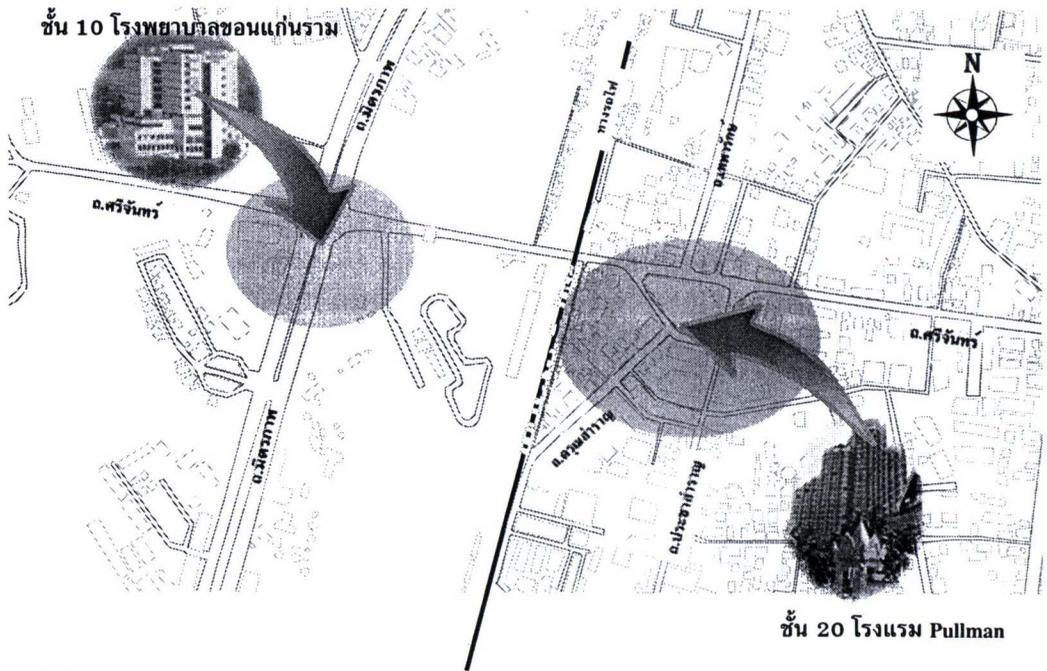
(ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน, 2551)

จากตารางที่ 29 ทำให้สามารถกำหนดช่วงเวลาที่จะทำการสำรวจข้อมูลปริมาณการเดินทางและข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak Hour) เวลา 07.00-09.00 น. และช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak Hour) เวลา 16.00-18.00 น.

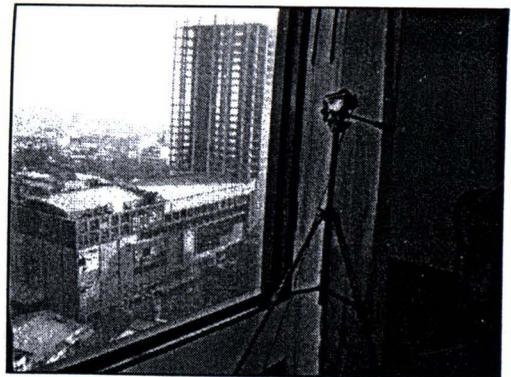
2) กำหนดตำแหน่งในการสำรวจปริมาณจราจร (Count Location)

เนื่องจากขอบเขตของการศึกษาไม่ใช่ทางแยกเดี่ยว โดยมีลักษณะเป็นโครงข่ายที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของสองทางแยก จึงได้แบ่งการสำรวจ ออกเป็นสองจุด คือ บริเวณชั้น 10 ของโรงพยาบาลขอนแก่นราม สำหรับการสำรวจบริเวณสี่แยกประตูเมือง และบริเวณชั้น 20 ของโรงแรม Pullman สำหรับการสำรวจบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง

(ภาพที่ 4.17) โดยภาพแสดงการสำรวจด้วยกล้อง VDO และตัวอย่างภาพจากหน้าจอกำลัง VDO ดังแสดงในภาพที่ 50



ภาพที่ 50 ตำแหน่งเก็บข้อมูลด้วยกล้อง VDO



ภาพที่ 51 การสำรวจเก็บข้อมูลด้วยกล้อง VDO

ในการสำรวจปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางของการศึกษานี้ ได้กำหนดตำแหน่งของโซนต้นทางและโซนปลายทางมีรายละเอียด (ภาพที่ 52) ดังนี้

(1) จุดที่ 1 บริเวณสี่แยกประตูเมือง ประกอบด้วย โซนต้นทางและโซนปลายทางทั้งสิ้น 4 โซน คือ

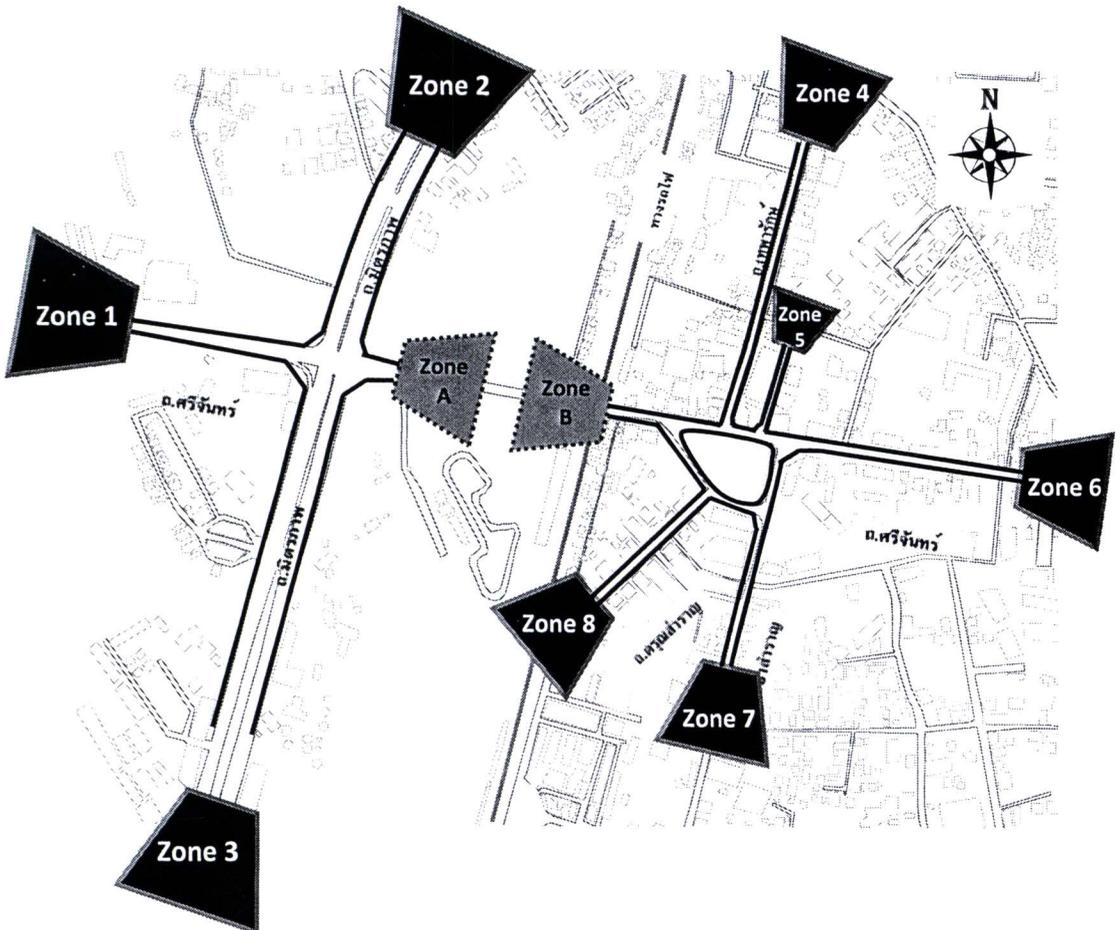
- โซน 1 บริเวณก่อนถึงทางเข้าวัดจอมศรี (ถนนศรีจันทร์)

- โซน 2 บริเวณหน้าร้านโนนศิลป์การป้าย (ถนนมิตรภาพ)
- โซน 3 บริเวณด้านหน้าร้านระเบียงลม (ถนนมิตรภาพ)
- โซน A บริเวณประตูเมือง (ถนนศรีจันทร์)

(2) จุดที่ 2 บริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง ประกอบด้วยโซนต้นทางและโซนปลายทางทั้งสิ้น 6 โซน คือ

- โซน B บริเวณก่อนถึงทางรถไฟ (ถนนศรีจันทร์)
- โซน 4 บริเวณก่อนถึงทางแยก ถ.5 พุดศจิกายน (ถนนเทพารักษ์)
- โซน 5 บริเวณก่อนถึงทางแยก ช.เทพารักษ์ 5 (ซอยด้านข้างขอนแก่นไทยแลนด์)
- โซน 6 บริเวณด้านหน้าตึกคอม (ถนนศรีจันทร์ด้านทิศตะวันตก)
- โซน 7 บริเวณด้านหน้าร้านบาร์กู (ถนนประชาสำราญ)
- โซน 8 บริเวณก่อนถึงทางแยก ช.ศรีจันทร์ 1 (ถนนद्रุณสำราญ)

ทั้งนี้โซน 5 ทำหน้าที่เป็นโซนปลายทางเท่านั้น เนื่องจากมีการจัดการจราจรให้เดินรถทางเดียว



ภาพที่ 52 ตำแหน่งที่กำหนดให้เป็นโซนต้นทางและโซนปลายทาง

3) กำหนดลักษณะเฉพาะของยานพาหนะ (Vehicle Characteristics)

การแบ่งและจำแนกประเภทของยานพาหนะที่ทำการสำรวจในการศึกษานี้ซึ่งไม่นับปริมาณของรถจักรยานและรถสองแถว โดยยู่บรวมประเภทของยานพาหนะบางประเภทที่มีลักษณะเฉพาะที่มีความคล้ายคลึงกัน เช่น สัตว์ส่วน รูปร่าง ความเร็ว และอัตราเร่ง เป็นต้น เพื่อความสะดวก ลดความยุ่งยาก และระยะเวลาในการบันทึกจำนวนปริมาณจราจรและการนำข้อมูลไปใช้ในการสร้างตารางการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางต่อไป โดยในการศึกษานี้ได้แบ่งยานพาหนะออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

- 3.1) รถยนต์จักรยานยนต์ (Motorcycle, MC)
- 3.2) รถยนต์ส่วนบุคคล/สามล้อเครื่อง (Passenger Car, PC)
- 3.3) รถโดยสารขนาดใหญ่/รถบัสขนาดกลาง (Bus, BS)
- 3.4) รถบรรทุกสี่ล้อ/รถบรรทุกหกล้อ (Light Truck, LT)
- 3.5) รถบรรทุกสิบล้อ/รถพ่วง (Heavy Truck, HT)

4) สร้างตารางการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง (Estimating Origin-Destination Tables)

การศึกษานี้ทำการสร้างตารางการเดินทางจากโซนต้นทางถึงโซนปลายทางทั้งสิ้น 8 โซน โดยแต่ละโซนกำหนดให้อยู่ปลายของจุดสิ้นสุดของช่วงถนน ข้อมูลปริมาณการเดินทางที่ได้จากการสำรวจ ทุก 15 นาที ต่อเนื่องกัน จากการบันทึก VDO ได้ถูกนำมาสร้างเป็นตารางการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง (Origin-Destination Matrix) ได้โดยตรงเนื่องจากการนับแรงดันต่อคัน (One by One) โดยไม่ต้องใช้การประมาณค่าและปรับแก้ปริมาณยานพาหนะเข้าและออกโซนต้นทางและปลายทางเพราะค่าปริมาณยานพาหนะจากโซนต้นทางถึงโซนปลายทางที่ได้มีค่าเท่ากัน ซึ่งต่างจากกรณีที่ใช้ปริมาณรถเลี้ยว (Turning Count) หรือการจดทะเบียนป้ายทะเบียน (License Plate) ซึ่งมีโอกาสคลาดเคลื่อนสูงกว่า (แสดงรายละเอียดแบบฟอร์มไว้ในภาคผนวก ก และผลการสำรวจปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางทั้งสองจุดสำรวจได้แสดงใน ภาคผนวก ข)

อย่างไรก็ตามการสร้างตารางการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง ในกรณีทำการสำรวจปริมาณจราจรที่ทางแยกที่ไม่ใช่ทางแยกเดี่ยวหรือในช่วงเวลาที่แตกต่างกันจะต้องทำการปรับแก้ปริมาณการเดินทางให้สอดคล้องกัน ในการศึกษานี้ได้ทำการประยุกต์และปรับใช้หลักการของ Bertini, Lindgren and Tantiyanugulchai, 2002 อ้างถึงใน Lindgren and Tantiyanugulchai, 2003 และ Prabnasak, 2006 ให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา โดยแบ่งวิธีการปรับแก้ปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง (Balanced Origin-Destination Matrix) ออกเป็น 4 ขั้นตอน (รายละเอียดเพิ่มเติมได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ค) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ปรับเทียบปริมาณจราจรบริเวณจุดเชื่อมต่อ (Adjust Link Volume)

เนื่องจากการสำรวจปริมาณจราจรคนละช่วงเวลาทำให้ปริมาณจราจรบริเวณจุดเชื่อมต่อ (โซน A และ โซน B) มีค่าที่ไม่เท่ากัน ต้องทำการปรับเทียบให้ปริมาณจราจรบริเวณจุดเชื่อมต่อมีค่าเท่ากัน

ขั้นตอนที่ 2 กระจายปริมาณจราจรเข้าสู่โซน (Distributing zone trip)

ขั้นตอนนี้เป็นการปรับเทียบปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางด้วยการกระจายปริมาณการเดินทางเข้าสู่โซนปลายทางทั้งหมด ตามสัดส่วนที่มีการเดินทางจากข้อมูลก่อนการปรับแก้

ขั้นตอนที่ 3 ปรับผลรวมของโซนต้นทางและโซนปลายทาง (Equal total attractions and total productions)

หลังการทำการปรับเทียบและกระจายปริมาณจราจรเข้าสู่ทุกโซน ค่าปริมาณการเดินทางเข้าและออกทุกโซนจะถูกแจกแจงเป็นปริมาณจราจรลงสู่ทางแยก ทำให้ค่าปริมาณจราจรบริเวณทางแยกมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไป จึงต้องทำการปรับเทียบปริมาณจราจรใหม่ให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่ทางแยก

ขั้นตอนที่ 4 ปรับแก้ตารางปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง (Balanced origin-destination matrix)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายซึ่งใช้กระบวนการ Iterative Proportional Fitting (IPF) ซึ่งวิธีการ IPF เป็นการปรับแก้ค่าแต่ละช่องของตารางปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางโดยผ่านกระบวนการทำซ้ำ (Iterations) จนกว่าค่าผลรวมของปริมาณการก่อให้เกิดการเดินทาง (Total production) และผลรวมของปริมาณการดึงดูดการเดินทาง (Total attraction) ของแต่ละโซนจะเท่ากับปริมาณจราจรบริเวณทางแยกที่ได้จากการคำนวณค่าในขั้นตอนที่ 3 ตัวอย่างตารางการเดินทางจากโซนต้นทางถึงโซนปลายทางที่ได้ทำการปรับแก้แล้ว ดังแสดงในตารางที่ 30

5.4 ข้อมูลสำหรับปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration Data)

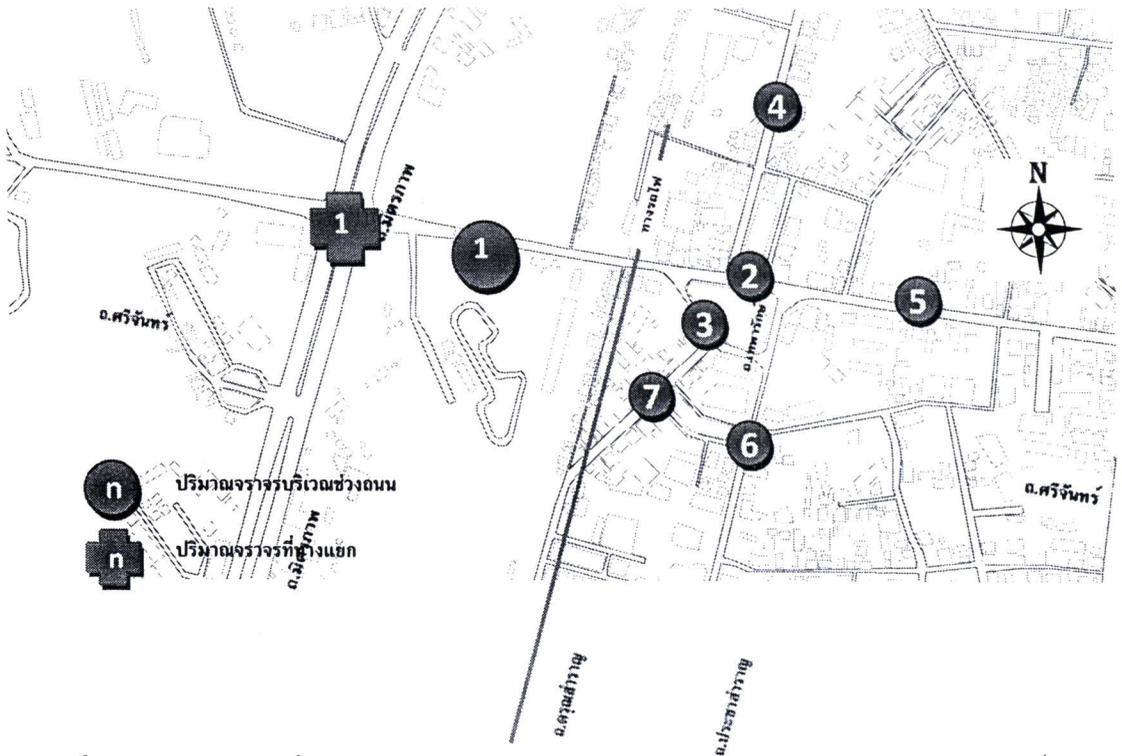
ข้อมูลสำหรับใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองที่ได้ทำการสำรวจในครั้งนี้ ประกอบด้วย 1) ข้อมูลปริมาณจราจร ได้แก่ ปริมาณจราจรบนช่วงถนน และปริมาณจราจรที่ทางแยก 2) ข้อมูลตัวชี้วัดประสิทธิภาพของระบบการจัดการจราจร ได้แก่ ความล่าช้าและความยาวแถวคอย ความเร็ว และเวลาในการเดินทาง โดยในการสำรวจข้อมูลสำหรับปรับเทียบแบบจำลอง ได้ทำการสำรวจใน 2 ช่วงเวลา โดยกำหนดช่วงเวลาในการสำรวจช่วงละ 2 ชั่วโมง คือ ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น (16.00-18.00 น.) เช่นเดียวกันกับการสำรวจข้อมูลปริมาณการเดินทาง การสำรวจข้อมูลสำหรับปรับเทียบแบบจำลองมีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูลปริมาณจราจร (Traffic Count)

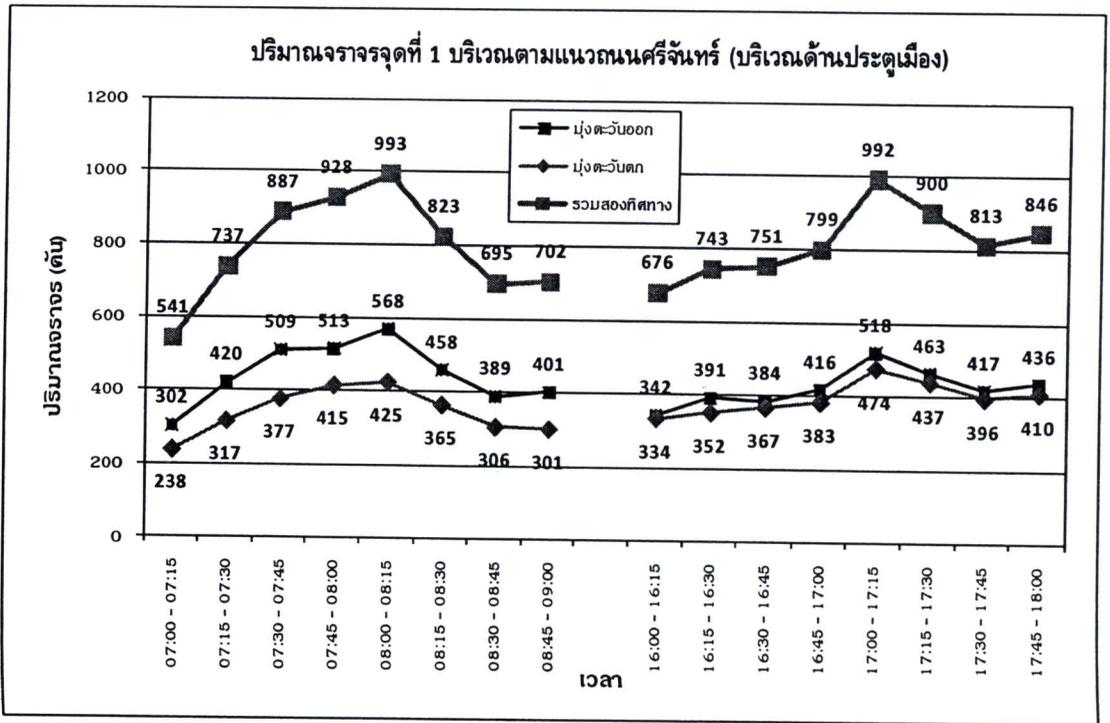
1.1) ปริมาณจราจรบนช่วงถนน (Mid Block Count) ได้จากผลรวมจำนวนรถยนต์ที่เคลื่อนตัวผ่านตำแหน่งที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดสำหรับไว้ทำการปรับเทียบปริมาณจราจรบนช่วงถนน ในการศึกษานี้ได้กำหนดตำแหน่งที่จะทำการคำนวณค่าปริมาณจราจรบนช่วงถนน โดยเน้นช่วงถนนที่เชื่อมเข้าสู่ห้าแยกศาลเจ้าพ่อฯ จำนวนทั้งสิ้น 7 ช่วงถนน คือ 1) ช่วงถนนศรีจันทร์ (บริเวณประตูเมือง) 2) ช่วงถนนศรีจันทร์ (ภายในวงเวียน มุ่งตะวันออก) 3) ช่วงถนนภายในวงเวียนห้าแยกศาลเจ้าพ่อฯ 4) ช่วงถนนเทพารักษ์ (มุ่งเหนือ) 5) ช่วงถนนศรีจันทร์ (มุ่งตะวันออก) 6) ช่วงถนนประชาสำราญ (มุ่งใต้) และ 7) ช่วงถนนตรุณสำราญ (มุ่งใต้) โดยตำแหน่งที่ทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรบนช่วงถนน ดังแสดงในภาพที่ 53 และแสดงตัวอย่างผลการรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรบนช่วงถนน ดังแสดงในภาพที่ 54

1.2) ปริมาณจราจรที่ทางแยก (Turning Count) ได้จากผลรวมจำนวนรถยนต์ที่เคลื่อนตัวผ่านทางแยก แบ่งตามทิศทาง (เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และตรง) ในทุกขา (Approaches) ที่เข้าสู่ทางแยก ซึ่งการศึกษานี้ได้กำหนดตำแหน่งที่จะทำการคำนวณค่าปริมาณจราจรที่ทางแยกเฉพาะสี่แยกประตูเมือง เพื่อทดแทนการคำนวณปริมาณจราจรบนช่วงถนนที่ไม่ได้ทำการปรับเทียบในโครงข่ายถนนที่เชื่อมกับสี่แยกประตูเมือง โดยตำแหน่งที่ทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรที่ทางแยก ดังแสดงในภาพที่ 53 และแสดงตัวอย่างผลการรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรที่ทางแยก ดังแสดงในภาพที่ 55

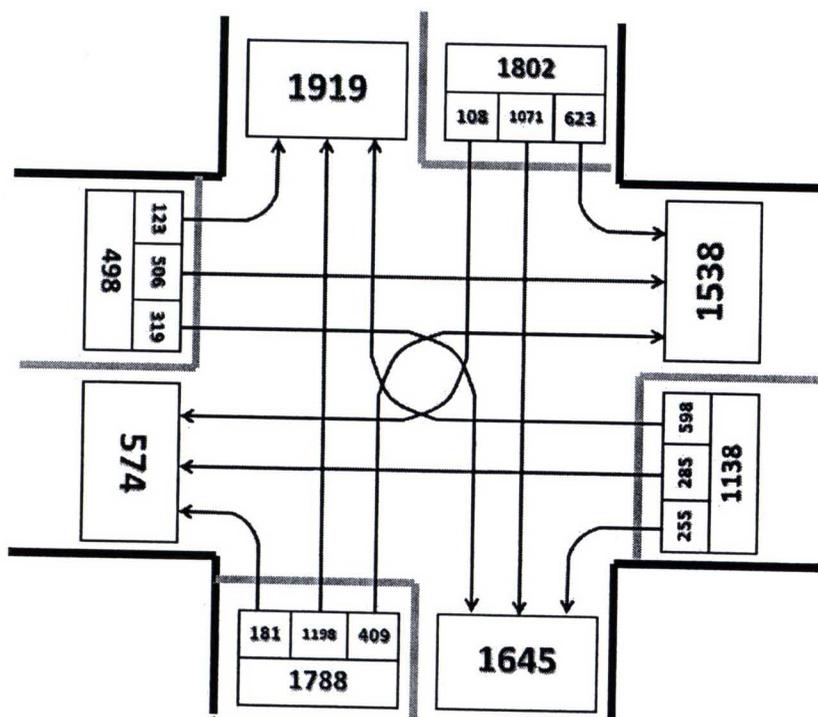
ทั้งนี้ในการคำนวณค่าปริมาณจราจรบนช่วงถนนและปริมาณจราจรที่ทางแยกใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางที่ได้ทำการปรับแก้เรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะทำการคำนวณจุดบันทึกทุก ๆ 15 นาที และรายละเอียดแบบฟอร์มแสดงไว้ในภาคผนวก ก



ภาพที่ 53 ตำแหน่งที่ทำการคำนวณปริมาณจราจร



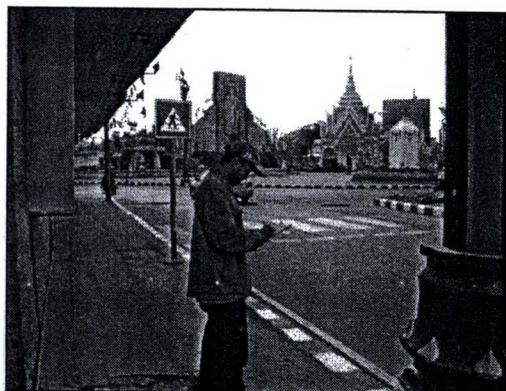
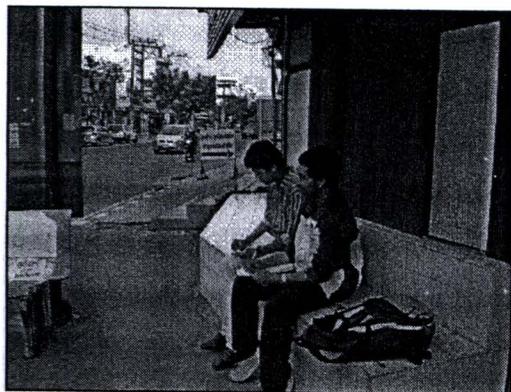
ภาพที่ 54 ตัวอย่างผลการรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรบนช่วงถนน (จุดที่ 1 บริเวณตามแนวถนนศรีจันทร์ บริเวณประตูเมือง)



ภาพที่ 55 ตัวอย่างผลการรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรที่ทางแยก
(จุดที่ 1 บริเวณสี่แยกประตูเมือง ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า 07.30-08.30 น.)

2) ข้อมูลความล่าช้าและความยาวแถวคอย (Delay and Queue Data)

เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือและอุปกรณ์ ทำให้ไม่สามารถสำรวจข้อมูลความล่าช้าและความยาวแถวคอยจากกล้อง VDO ได้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ใช้วิธีการใช้คนนับด้วยมือ (Manual Count) และบันทึกลงแบบฟอร์ม (ภาพที่ 56) ซึ่งการสำรวจความล่าช้าและความยาวแถวคอยได้ดำเนินการในช่วงเวลาเดียวกันกับการสำรวจปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง โดยวิธีการสำรวจและการคำนวณค่าจากข้อมูลความล่าช้าและความยาวแถวคอยทำได้ดังนี้



ภาพที่ 56 การสำรวจความล่าช้าและความยาวแถวคอย

2.1) ความล่าช้า การสำรวจข้อมูลความล่าช้าไม่สามารถทำการสำรวจได้โดยตรงจากกล้องวิดีโอ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือสำรวจและอุปสรรคในการมองเห็นพื้นที่ทั้งหมดในคราวเดียวกัน ในการศึกษาครั้งนี้ผู้สำรวจจึงใช้วิธีนับด้วยมือ (วัชรินทร์ วิทยกุล, 2539) โดยทำการนับและบันทึกจำนวนยวดยานที่จอดนิ่งอยู่ในแถวคอยของทุกช่องจราจร ในแต่ละขาของทางแยกทุก ๆ ช่วงเวลา 15 วินาที ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้า และช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเย็น จากนั้นจึงทำการหาค่าความล่าช้าเฉลี่ยสูงสุดต่อชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการสำรวจ โดยความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยหาค่าได้จากสมการ 17

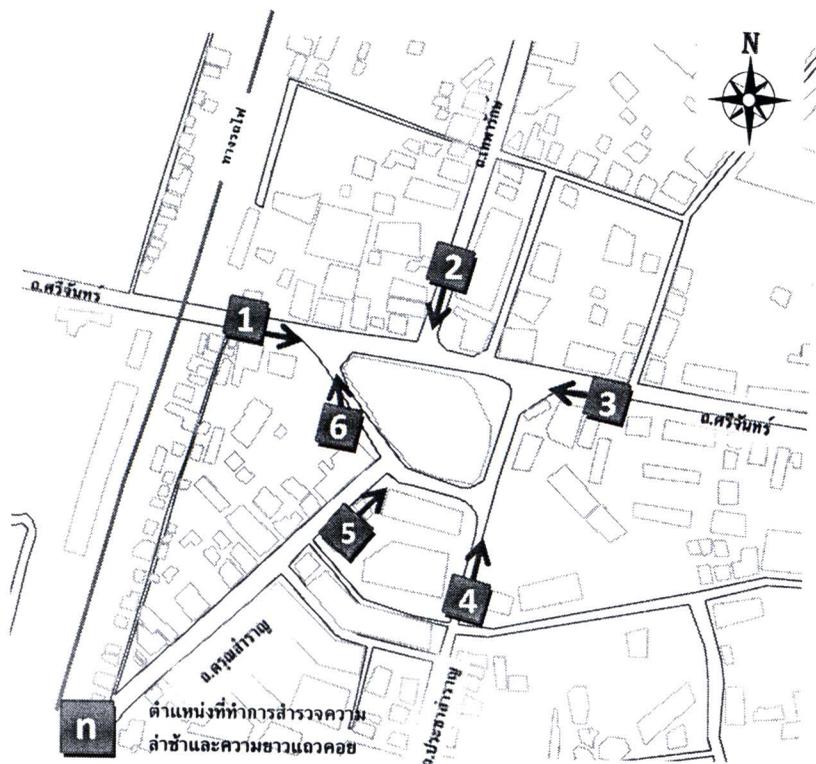
$$Delay = \frac{(\sum V_s \times I)}{V} \quad (17)$$

เมื่อ

- Delay คือ ความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ย (วินาทีต่อคัน)
 $\sum V_s$ คือ ผลรวมของจำนวนยวดยานที่หยุดนิ่งที่นับได้ (คัน)
 I คือ ช่วงเวลาระหว่างที่นับยวดยานที่หยุดนิ่ง (15 วินาที)
 V คือ ปริมาณจราจรที่สำรวจได้ระหว่างช่วงเวลาที่ศึกษา (คัน)

2.2) ความยาวแถวคอย ผู้สำรวจจะทำการนับและบันทึกจำนวนยวดยานที่จอดนิ่งอยู่ในแถวคอยของช่องจราจรที่มีความยาวแถวคอยมากที่สุด ในแต่ละขาของทางแยกทุก ๆ ช่วงเวลา 15 วินาที ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเย็น (16.00-18.00 น.) จากนั้นจึงทำการหาค่าความยาวแถวเฉลี่ยและความยาวแถวคอยสูงสุดต่อชั่วโมงในแต่ละช่วงที่ทำการสำรวจ เช่นเดียวกับการสำรวจความล่าช้า

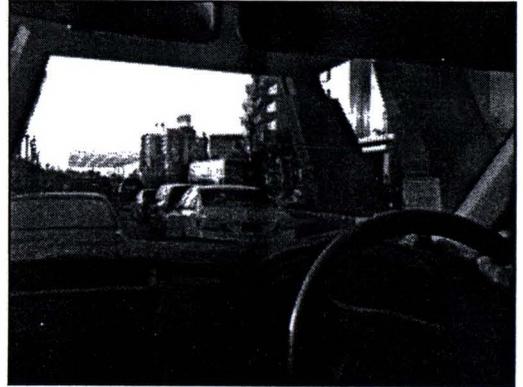
ทั้งนี้ในการสำรวจข้อมูลความล่าช้าและความยาวแถวคอยได้ทำการสำรวจในทุกขาที่เข้าสู่ห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง (ภาพที่ 57) โดยแสดงรายละเอียดแบบฟอร์มไว้ใน ภาคผนวก ก และผลการสำรวจข้อมูลความล่าช้าและความยาวแถวคอยใน ภาคผนวก ข



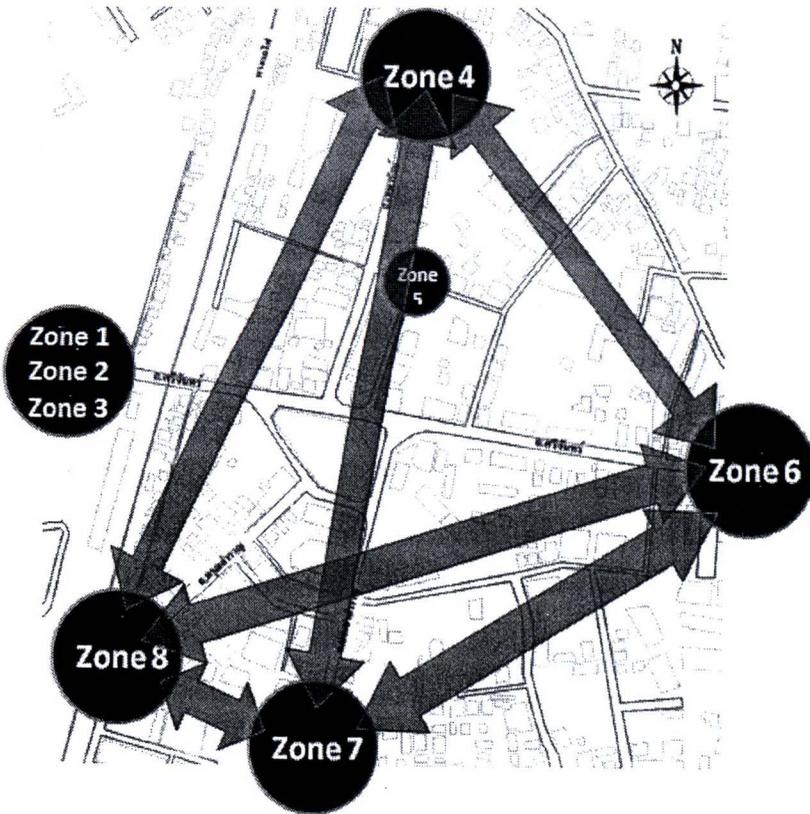
ภาพที่ 57 ตำแหน่งที่ทำการสำรวจความล่าช้าและความยาวแถวคอย

3) เวลาในการเดินทาง (Travel Time Data)

การสำรวจเวลาในการเดินทางของยานพาหนะบนโครงข่ายถนน ได้ทำการสำรวจในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเย็น (16.00-18.00 น.) ทั้งในสภาพการจราจรติดขัดและไม่ติดขัด ด้วยวิธี Floating Car Method (วัชรินทร์ วิทยกุล, 2539) ซึ่งทำการสำรวจโดยการขับซีรยนต์ส่วนบุคคลวิ่งไปตามกระแสการจราจรบนเส้นทางที่กำหนด (ภาพที่ 58) แล้วบันทึกค่าระยะทาง เวลา ความล่าช้า จำนวนรถที่วิ่งผ่านหรือแซง เป็นต้น ในการทำการสำรวจเฉพาะคู่โชนต้นทางถึงปลายทางที่เชื่อมกับห้าแยกศาลเจ้าพ่อฯ (ภาพที่ 59) ทั้งนี้ใช้สมมติฐานว่ารถยนต์คันในโครงข่ายที่ทำการศึกษามีการเลือกเส้นทางที่แน่นอนโดยเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางจากโชนต้นทางถึงโชนปลาย นอกจากนั้นในขณะที่ทำการขับซีรยนต์สำรวจได้ทำการบันทึกภาพด้วย VDO เพื่อใช้ในการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและใช้ในการตรวจสอบและเปรียบเทียบแบบจำลองจากการแสดงผลทางหน้าจอของโปรแกรม PARAMICS โดยแสดงรายละเอียดแบบฟอร์มในภาคผนวก ก และผลการสำรวจข้อมูลเวลาในการเดินทางใน ภาคผนวก ข



ภาพที่ 58 การสำรวจเวลาในการเดินทาง



ภาพที่ 59 คูโซนที่ทำการสำรวจเวลาในการเดินทาง

สำหรับจำนวนตัวอย่างของเวลาในการเดินทางที่ต้องทำการสำรวจที่เหมาะสมนั้น Downling et al. (2004) ได้แนะนำว่า ในกรณีที่มีการจราจรติดขัดควรทำการสำรวจไม่น้อยกว่า 10 รอบ โดยในสภาพการจราจรที่ไม่คับคั่งควรมีการกำหนดจำนวนตัวอย่างในการสำรวจอย่างน้อย ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 18

$$N = \left(2 \times \frac{t_\alpha \times \sigma}{d} \right)^2 \quad (18)$$

เมื่อ

N คือ จำนวนครั้งของตัวอย่าง (จำนวนรอบที่ทำการสำรวจ)

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กม./ชม.)

d คือ ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (กม./ชม.)*

t_α คือ ค่าของการกระจายตัวของตัวอย่างแบบ t ที่ระดับความเชื่อมั่น

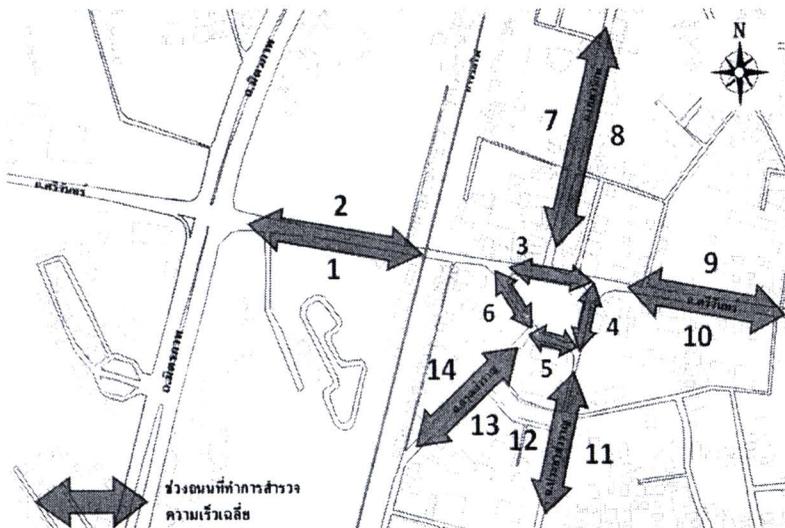
$1 - \alpha/2$ และระดับความอิสระ $(N-1)$

*หมายเหตุ: ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง ± 1.0 นาที

(Downling et al., 2004)

4) ความเร็วเฉลี่ย (Average Speed Data)

การสำรวจความเร็วเฉลี่ยบนช่วงถนน ใช้วิธี Floating Car Method (วัชรินทร์ วิทยกุล, 2539) เช่นเดียวกับการสำรวจเวลาในการเดินทาง โดยทำการสำรวจในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้า (07.00-09.00 น.) และช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเย็น (16.00-18.00 น.) ทั้งในสภาพการจราจรติดขัดและไม่ติดขัด เพื่อใช้คำนวณหาค่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่วิ่งอยู่บนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการสำรวจโดยเน้นในช่วงถนนที่เชื่อมเข้าสู่ท่าแยกศาลเจ้าพ่อฯ (ภาพที่ 60) และใช้จำนวนตัวอย่างด้วยวิธีเช่นเดียวกับการสำรวจเวลาในการเดินทาง โดยแสดงรายละเอียดแบบฟอร์มไว้ใน ภาคผนวก ก และผลการสำรวจข้อมูลความเร็วใน ภาคผนวก ข



ภาพที่ 60 ตำแหน่งที่ทำการสำรวจความเร็วเฉลี่ย

สำหรับจำนวนตัวอย่างของความเร็วเฉลี่ยที่ต้องทำการสำรวจที่เหมาะสมนั้น Garber and Hoel (2001) ได้แนะนำว่า เนื่องจากโดยทั่วไปการสำรวจความเร็วเฉลี่ยมักจะทำการสำรวจน้อยกว่า 30 ตัวอย่าง การใช้ค่าทางสถิติแบบการกระจายตัวแบบ t จึงมีความเหมาะสมกว่า การใช้ค่าทางสถิติแบบการกระจายตัวแบบ z โดยการกำหนดจำนวนตัวอย่างในการสำรวจอย่างน้อย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 19

$$N = \left(\frac{t_\alpha \times \sigma}{d} \right)^2 \quad (19)$$

เมื่อ

N คือ จำนวนครั้งของตัวอย่าง (จำนวนรอบที่ทำการสำรวจ)

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กม./ชม.)

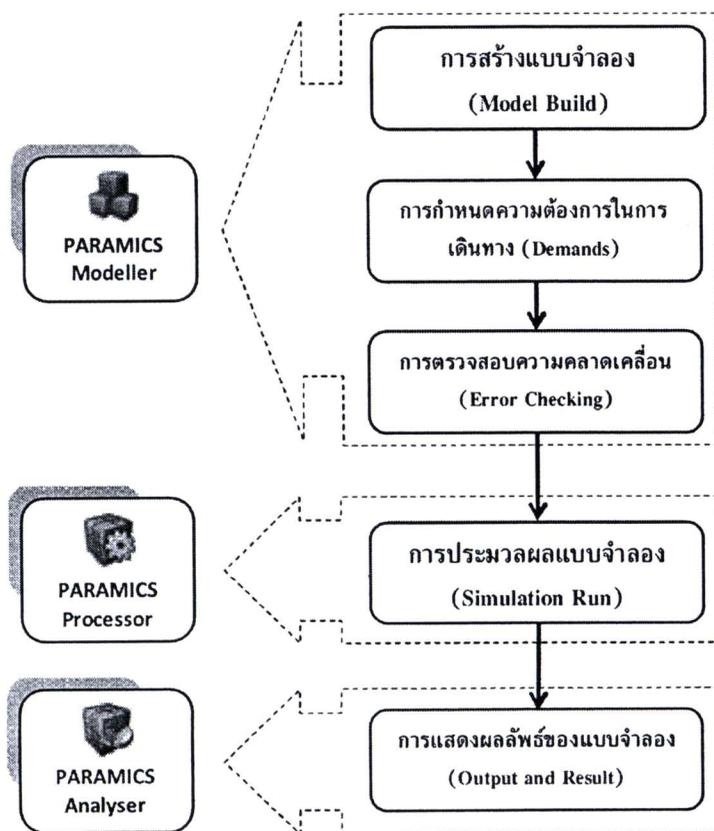
d คือ ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (กม./ชม.) *

t_α คือ ค่าของการกระจายตัวของตัวอย่างแบบ t ที่ระดับความเชื่อมั่น $1 - \alpha/2$ และระดับความอิสระ $(N-1)$

*หมายเหตุ: ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการศึกษา โดยทั่วไปจะใช้สำหรับการจัดการจราจร การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ การวิเคราะห์แนวโน้ม มีค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ประมาณ 3.2-6.5 กม./ชม. ส่วนกรณีทางหลวงและการวิเคราะห์และการวางแผนด้านการขนส่ง มีค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ประมาณ 4.8-8.0 กม./ชม. (Garber and Hoel, 2001)

6. พัฒนาแบบจำลองฐาน (Base Model Development)

กระบวนการพัฒนาแบบจำลองฐานประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 5 ขั้นตอน คือ 1) การสร้างแบบจำลอง 2) การกำหนดปริมาณการเดินทาง 3) การตรวจสอบความคลาดเคลื่อน 4) ประมวลผลแบบจำลอง และ 5) การแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลอง โดยในแต่ละขั้นตอนจะดำเนินการผ่านองค์ประกอบของโปรแกรม PARAMICS ซึ่งสรุปกระบวนการพัฒนาแบบจำลองฐานดังภาพที่ 61 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 61 กระบวนการพัฒนาแบบจำลอง

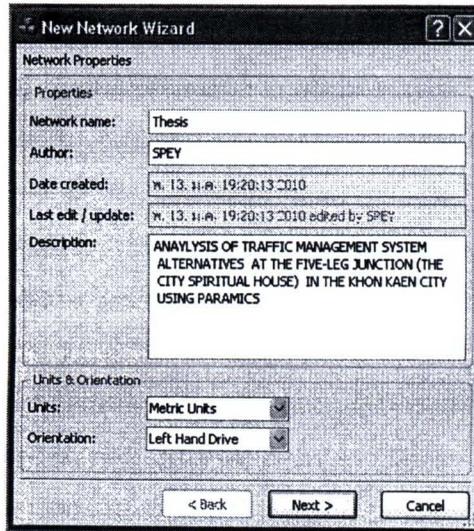
6.1 การสร้างแบบจำลอง (Model Build Process)

การสร้างโครงข่ายในแบบจำลองเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากการสร้างโครงข่ายที่มีความถูกต้องจะสามารถสะท้อนสภาพการจราจรที่มีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น และทำให้ผลการศึกษา มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งการสร้างโครงข่ายในโปรแกรม PARAMICS จะสามารถดำเนินการในส่วนของ PARAMICS Modeller ซึ่งจะแสดงบนหน้าจอของโปรแกรม (Graphical user interfaces, GUI) และในรูปแบบของ ASCII text file (ดังแสดงใน ภาคผนวก ง) ซึ่งโปรแกรมจะสร้างขึ้นอัตโนมัติเมื่อมีการสร้างในส่วนของ PARAMICS Modeller ทำให้ผู้ใช้สามารถแก้ไขหรือสร้างโครงข่ายจากช่องทางนี้ได้เช่นกัน สำหรับการสร้างโครงข่ายในส่วนของ PARAMICS Modeller มีลำดับขั้นตอนและมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) กำหนดคุณสมบัติของโครงข่าย (Network properties)

ก่อนที่จะทำการสร้างโครงข่าย จะต้องการกำหนดคุณสมบัติทั่วไปของโครงข่ายใหม่ที่จะทำการสร้างแบบจำลอง โดยเป็นส่วนแรกที่ต้องดำเนินการเมื่อเข้าสู่โปรแกรม และเริ่มสร้างโครงข่ายใหม่ เช่น ชื่อโครงข่าย ชื่อผู้ใช้งาน และคำอธิบายของโครงการ เป็นต้น นอกจากนี้ในส่วนนี้จะต้องกำหนดค่าหน่วยวัด (Metric Unit, USA Unit และ UK Unit) และ

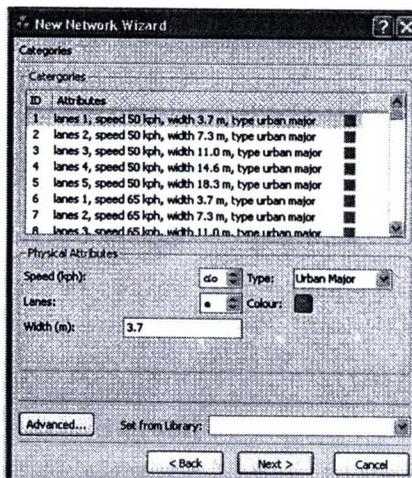
ทิศทางการขับขี่ (Left Hand Drive และ Right Hand Drive) โดยในการศึกษากำหนดหน่วยวัดเป็นระบบ Metric Unit และทิศทางการขับขี่เป็น Left Hand Drive ดังแสดงในภาพที่ 62



ภาพที่ 62 การตั้งค่าคุณสมบัติทั่วไปของโปรแกรม PARAMICS

2) กำหนดประเภทและลักษณะของช่วงถนน (Categories)

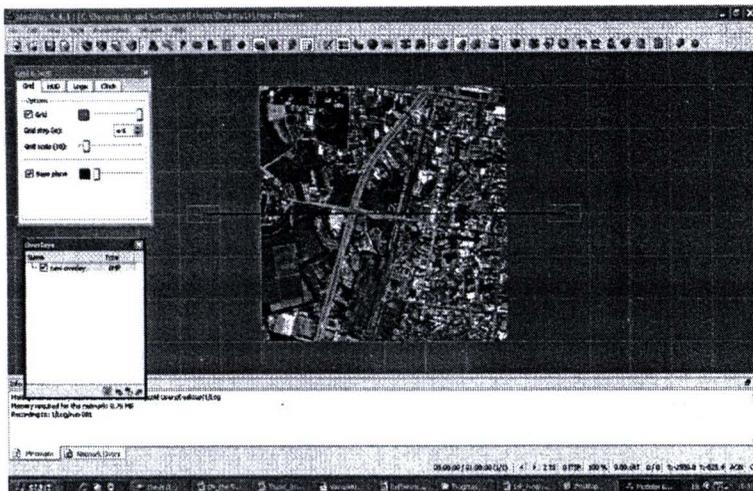
การกำหนดประเภทและลักษณะของช่วงถนน เป็นขั้นตอนหลังจากกำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นของโครงข่ายใหม่ ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบและแยกลักษณะเฉพาะของแต่ละช่วงถนนด้วยจำนวนช่องจราจรและความกว้างของช่องจราจร การจำกัดความเร็วของช่วงถนน และประเภทของช่วงถนน (Urban major, Urban minor, Highway major และ Highway minor) ทั้งนี้การกำหนดประเภทและลักษณะของช่วงถนนจะทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้ในการกำหนดคุณสมบัติทั่วไปของช่วงเส้นทาง (Link) ในขั้นตอนต่อไป โดยไม่ต้องปรับตั้งค่าอีกครั้งเมื่อทำการสร้างช่วงถนนใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 63



ภาพที่ 63 การกำหนดลักษณะและประเภทของ Link

3) ภาพพื้นหลัง (Overlay)

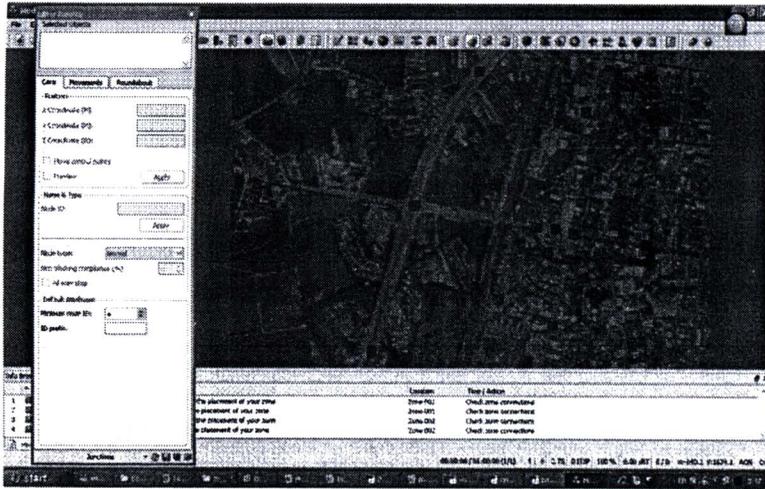
ขั้นตอนแรกของการสร้างโครงข่ายในโปรแกรม PARAMICS คือ การกำหนดลักษณะทางกายภาพของพื้นที่และโครงข่ายในแบบจำลอง โดยดำเนินการในส่วนของเมนู Presentation > Overlays ซึ่งจะนำเข้าภาพพื้นหลัง (Overlay) ในรูปของ AutoCad File (.dxf) หรือ Image File (.bmp) โดยไฟล์ที่นำเข้าเป็นภาพพื้นหลังจะต้องมีขนาดไม่เกิน 25 Mb. ในการนำเข้าภาพพื้นหลังนั้นจะต้องมีขนาดและมาตราส่วนที่ถูกต้องเสมือนลักษณะทางกายภาพจริง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้ฟังก์ชัน Grid เข้ามาช่วยเพื่อให้มาตราส่วนในตัวโปรแกรม PARAMICS เท่ากับมาตราส่วนในภาพพื้น ดังแสดงในภาพที่ 64



ภาพที่ 64 การนำเข้าภาพพื้นหลัง (Overlay)

4) จุดอ้างอิง (Nodes)

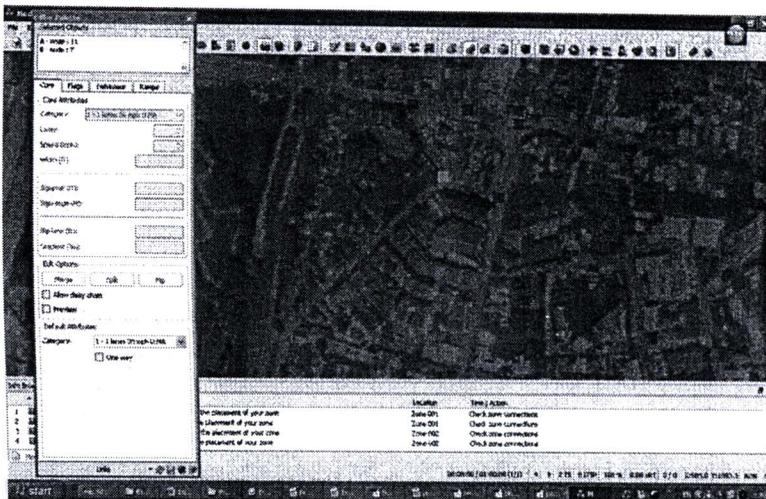
การกำหนดตำแหน่งของจุดอ้างอิงหรือ Node ในโครงข่ายของโปรแกรม PARAMICS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการขับขี่ เปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ หรือมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้ขับขี่ โดยดำเนินการในส่วนของเมนู Edit Palette > Junction ซึ่งการกำหนดตำแหน่งของ node จะเริ่มจากการวางตำแหน่งบริเวณที่เป็นทางแยกก่อนแล้วจึงวางตำแหน่งบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงประเภทของช่วงถนน ทางโค้งหรือช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนตัวของขบวนยาน บริเวณที่มีค่าระดับความสูงแตกต่างกัน (โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สมมติฐานว่าค่าระดับของพื้นที่ในแบบจำลองฐานเท่ากันเนื่องจากมีข้อจำกัดในการสำรวจและการรวบรวมข้อมูล) และตำแหน่งที่เป็นจุดเชื่อมต่อทางเข้าและออกโซน ดังแสดงในภาพที่ 65



ภาพที่ 65 การสร้างจุดอ้างอิง (Node)

5) ช่วงเส้นทาง (Links)

ช่วงเส้นทางหรือ Link จะทำการสร้างโดยเชื่อมต่อกับจุดอ้างอิง (Node) โดยดำเนินการในส่วนของเมนู Edit Palette > Link สำหรับรายละเอียดที่ต้องทำการกำหนดก่อนทำการสร้าง เช่น ประเภทของช่วงถนน การควบคุมความเร็ว (Speed controls) ระยะของป้ายเตือนผู้ขับขี่และคุณสมบัติของช่วงถนน (Signposting and link flags) การกำหนดพฤติกรรมการขับขี่บนช่วงถนน (Link-specific behavioural) และตัวแปรสำหรับกำหนดการแจกแจงการเดินทาง (Assignment parameters) ซึ่งการปรับค่าทั้งหมดสามารถเลือกประเภทที่ได้กำหนดในขั้นตอนที่ 2 ได้เช่นกันยกเว้นในกรณีที่ต้องการปรับค่าเฉพาะบาง Link ดังแสดงในภาพที่ 66



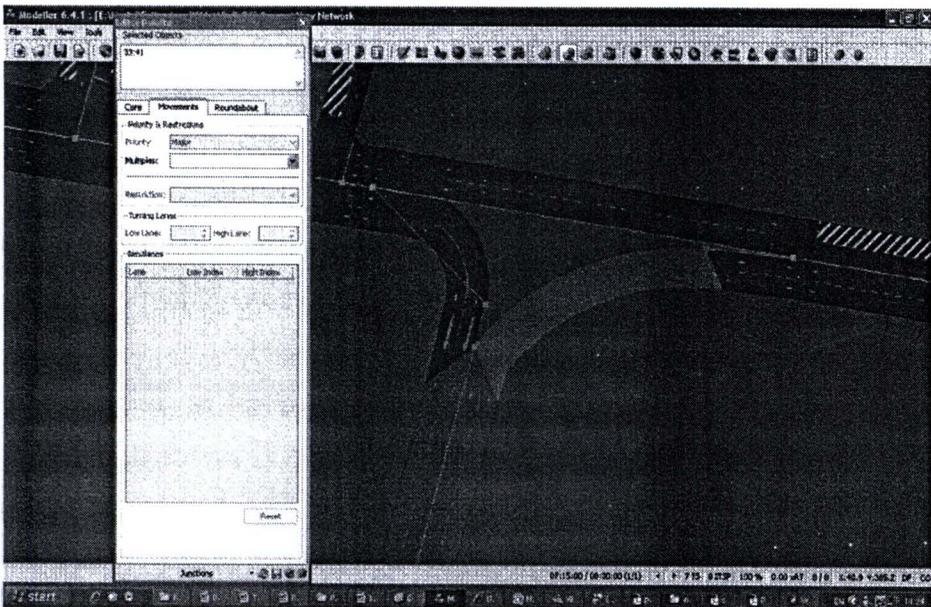
ภาพที่ 66 การสร้างช่วงเส้นทาง (Links)

6) ทางแยก (Junctions)

ทางแยกในโปรแกรม PARAMICS คือ Node ในโครงข่ายที่มี Link เข้ามาเชื่อมมากกว่า 2 เส้นทางขึ้นไป (แต่ไม่เกิน 8 เส้นทาง) ซึ่งทำให้เกิดการขัดแย้งของกระแสจราจร และเกิดการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางและลำดับความสำคัญการเลี้ยวบริเวณทางแยก (Turning Priority) โดยในแต่ละทางแยกจะมีรายละเอียดพื้นฐานซึ่งจะสามารถกำหนดค่าลงบนแต่ละช่องจราจร เช่น การกำหนดช่องจราจรสำหรับเลี้ยว ลำดับความสำคัญการเลี้ยวหรือห้ามเลี้ยว (major, medium, minor and barred) และการเลือกช่องจราจรบริเวณทางแยก เป็นต้น ซึ่งการสร้างลักษณะและการปรับค่าตัวแปรของทางแยกในการศึกษานี้ประกอบด้วย

6.1) ลำดับการเลี้ยว (Turning Priority)

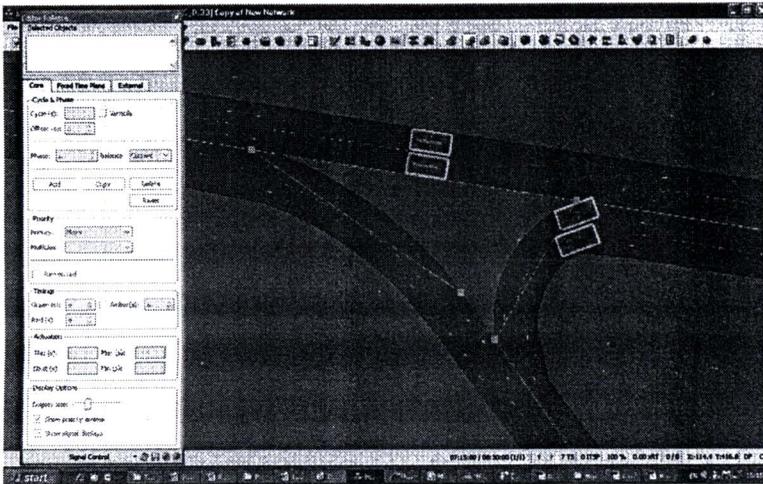
ในกรณีของทางแยกที่ไม่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร โปรแกรม PARAMICS จะกำหนดค่าเริ่มต้นของลำดับในการเลี้ยวบริเวณทางแยกโดยกำหนด Minor priority สำหรับถนนสายรองที่เข้ามาเชื่อมกับถนนสายหลัก และ Major priority สำหรับขบวนที่เคลื่อนที่อยู่บนถนนสายหลักหรือภายในวงเวียน แต่ทั้งนี้ในการศึกษาได้พิจารณาถึงสภาพการจราจรที่แท้จริง จึงต้องมีการปรับแก้ลำดับความสำคัญการเลี้ยวบริเวณทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจรเพื่อให้การจำลองสภาพการจราจรมีความคล้ายคลึงกับสภาพการจราจรที่ได้และผลการสังเกตจากกล้อง VDO โดยสามารถดำเนินการปรับลำดับการเลี้ยวบริเวณทางแยกในส่วนของเมนู Edit Palette > Junction > Movement ซึ่งโปรแกรมจะสร้าง ASCII text files ชื่อ Priority ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนค่าลำดับความสำคัญการเลี้ยวจากช่องทางนี้ได้เช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 67



ภาพที่ 67 การกำหนดลำดับความสำคัญการเลี้ยวบริเวณทางแยก

6.2) สัญญาณไฟจราจรแบบรอบสัญญาณคงที่ (Fixed Time Signal)

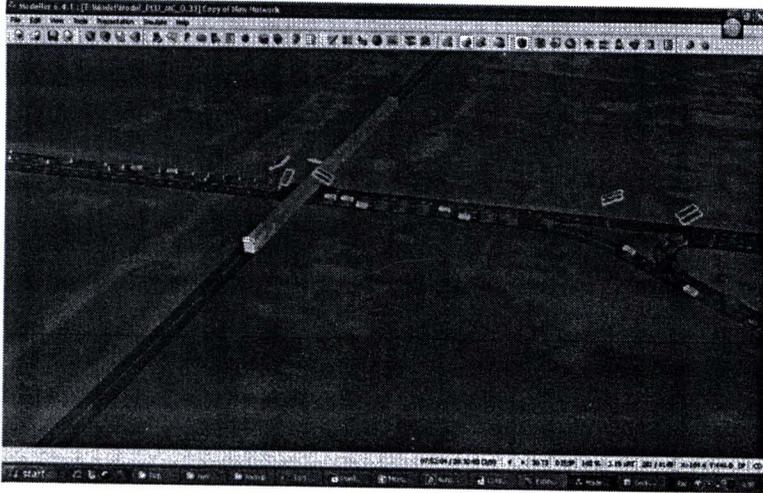
ในการสร้างสัญญาณไฟจราจรบนทางแยกในระบบรอบสัญญาณคงที่ติดตั้งบนสองตำแหน่ง คือ บริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง และบริเวณสี่แยกประตูเมือง โดยใช้ความยาวของรอบสัญญาณไฟที่ได้ทำการสำรวจจริง โดยสามารถดำเนินการติดตั้งและปรับตั้งค่ารอบสัญญาณไฟจราจรระบบรอบสัญญาณคงที่ในส่วนของเมนู Edit Palette > Signal control ซึ่งโปรแกรมจะสร้าง ASCII text file ชื่อ Priority ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนรอบสัญญาณไฟจราจรจากช่องทางนี้ได้เช่นกันกับการตั้งค่าลำดับการเลี้ยว ดังแสดงในภาพที่ 68



ภาพที่ 68 การสร้างสัญญาณไฟจราจรบนทางแยกแบบรอบสัญญาณไฟคงที่

6.3) สัญญาณไฟจราจรแบบรอบสัญญาณแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจร (Actuated Time Signal)

สำหรับการสร้างระบบสัญญาณไฟจราจรระบบแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจร ในการศึกษานี้ ได้ติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจรสมมติบริเวณที่เป็นจุดตัดทางรถไฟ ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณการเดินทางของรถไฟคงที่ (Fixed Demands) ตามตารางการเดินทางจริง โดยในการสร้างระบบสัญญาณไฟระบบแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจรจำเป็นต้องเขียนภาษาทางคอมพิวเตอร์ผ่านการใช้งานของ API (Application Programmer Interface) ในส่วนของ PARAMICS Programming หรือสามารถเขียนภาษาทางคอมพิวเตอร์บน ASCII text file ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับภาษา C โดยใช้คำสั่งหลัก คือ If, then และ Else เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของระบบสัญญาณไฟจราจรให้เป็นแบบกำหนดเวลาแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจร ซึ่งการสร้างระบบสัญญาณไฟจราจรระบบแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจรบริเวณจุดตัดทางรถไฟ (ภาพที่ 69) มีขั้นตอนดังนี้



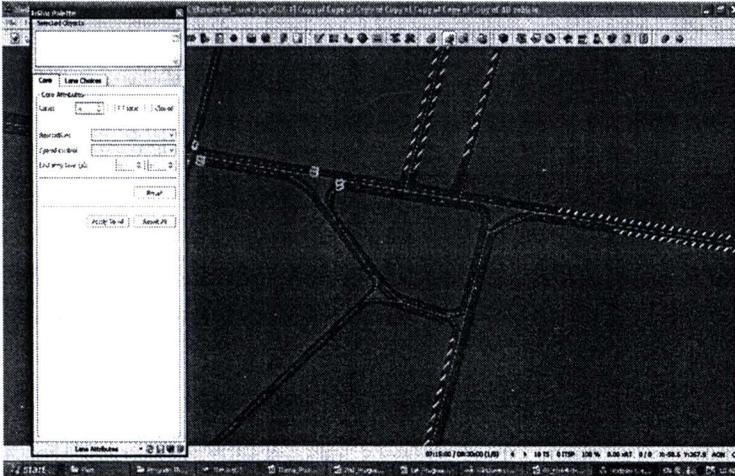
ภาพที่ 69 การสร้างสัญญาณไฟจราจรบริเวณจุดตัดรถไฟ (Actuated Time Signal)

6.3.1) สร้างระบบสัญญาณไฟจราจรบริเวณจุดตัดทางรถไฟ สามารถดำเนินการในส่วนของเมนู Edit Palette > Signal control หรือสามารถปรับค่าใน Priority file เช่นเดียวกับระบบสัญญาณไฟจราจรแบบรอบสัญญาณคงที่ โดยจังหวะและรอบสัญญาณไฟ บริเวณจุดตัดทางรถไฟในการศึกษานี้ได้จัดจังหวะไฟสัญญาณจราจรเป็น 2 จังหวะ (Phase) ในจังหวะที่ 1 เป็นสัญญาณไฟแดงเพื่อห้ามรถบริเวณจุดตัดทางรถไฟ กำหนดค่าจังหวะไฟสัญญาณที่ 120 วินาที (เวลาโดยประมาณจากการสำรวจจับเวลาในช่วงที่รถไฟผ่านจุดตัดทางรถไฟ ตั้งแต่มีสัญญาณเตือนจนกระทั่งเจ้าหน้าที่เลื่อนที่กั้นทางรถไฟขึ้นและเปิดให้รถสัญจรผ่านได้ตามปกติ) และอัตราสูงสุดที่ 200 วินาที ซึ่งอัตราไฟสัญญาณในเฟสนี้จะถูกกำหนดเป็นช่วงที่ค่าอัตราไฟสัญญาณจะแปรเปลี่ยนตามสภาพการจราจร ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และจังหวะที่ 2 เป็นสัญญาณไฟเขียวใช้ในการปล่อยรถที่หยุด ณ ตำแหน่งหยุดบริเวณสัญญาณไฟเข้าสู่ระบบ กำหนดค่าคงที่ 200 วินาที ซึ่งเวลารอบสัญญาณในจังหวะที่ 2 จะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ หากอุปกรณ์ตรวจนับไม่พบว่ามารถไฟผ่าน รายละเอียดการกำหนดค่าใน Priority file แสดงในภาคผนวก ง

6.3.2) ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจร (Detectors) เพื่อ นับจำนวนรถไฟที่แล่นผ่านและเป็นตัวกำหนดช่วงเริ่มต้นของการเปลี่ยนสัญญาณไฟบนถนนสายหลักให้เป็นสัญญาณไฟแดง เพื่อให้ขบวนรถบนถนนสายหลักหยุดคอยให้รถไฟแล่นผ่านไปก่อน (รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจร แสดงในหัวข้อถัดไป)

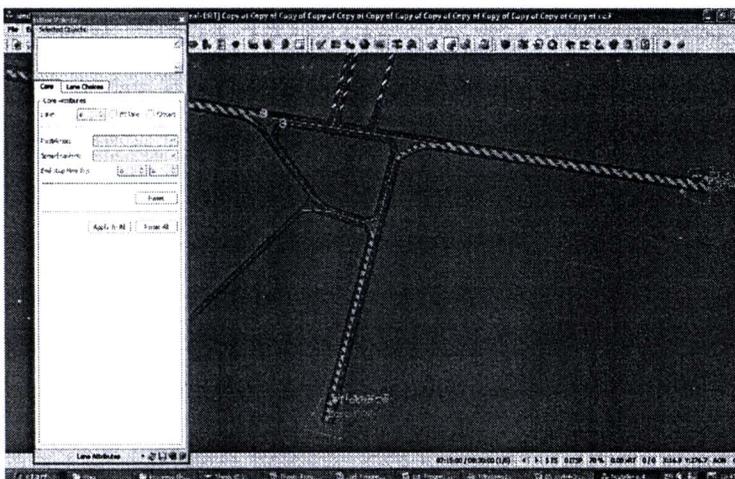
6.3.3) การสร้าง Phase file เพื่อกำหนดค่าเริ่มต้นในการนำไปใช้ร่วมกับส่วนของ Plans file ซึ่งในแบบจำลองนี้จะเป็นส่วนที่เรียกใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจรที่ถูกติดตั้งบนเส้นทางที่รถไฟผ่าน รายละเอียดการกำหนดค่าใน Phase file แสดงใน ภาคผนวก ง

การปิดช่องจราจรสามารถดำเนินการในส่วนของเมนู Edit Palette > Lane Attributes > Core Attributes > Lane Close ดังแสดงในภาพที่ 71



ภาพที่ 71 การปิดช่องจราจร

8.2) ช่องจราจรสำหรับระบบขนส่งสาธารณะ (PT Lane) เป็นการกำหนดช่องจราจรสำหรับระบบขนส่งสาธารณะ ซึ่งมีการกำหนดให้มีการปริมาณการเดินทางคงที่ตามตารางเวลาในการเดินทางที่กำหนดขึ้น ซึ่งยานพาหนะประเภทอื่นจะไม่สามารถใช้ช่องจราจรนี้ได้ การกำหนดช่องจราจรสำหรับระบบขนส่งสาธารณะสามารถดำเนินการในส่วนของเมนู Edit Palette > Lane Attributes > Core Attributes > PT Lane ดังแสดงในภาพที่ 72



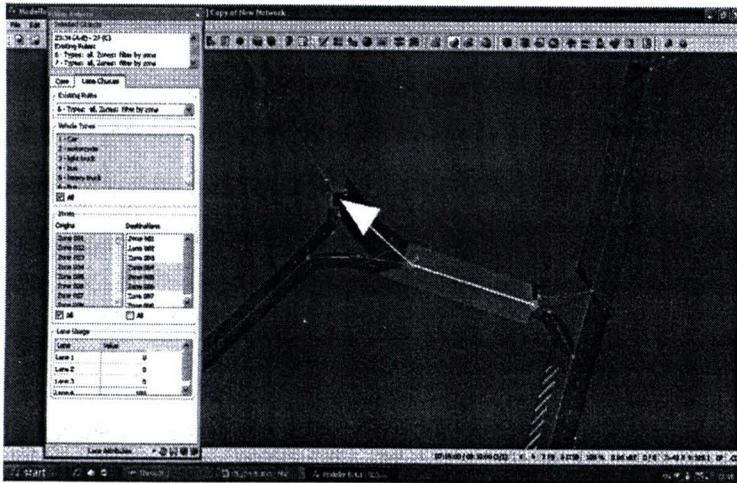
ภาพที่ 72 ช่องจราจรสำหรับระบบขนส่งสาธารณะ

8.3) การบังคับขยวดยาน (Restriction) เป็นการกำหนดหรือบังคับเฉพาะประเภทของขยวดยานไม่ให้ขับขึ้ในช่องจราจรที่กำหนด (อาจกำหนดเป็นช่วงเวลา) เช่น การบังคับไม่ให้ขยวดยานขนาดใหญ่เข้าหรือใช้ช่องจราจรดังกล่าว และการบังคับไม่ให้ขยวดยานขนาดใหญ่เลี้ยว เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสมจริงและให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลทีเก็บได้จากสนาม การบังคับขยวดยานนี้สามารถดำเนินการในส่วนของเมนู Edit Palette > Lane Attributes > Restriction ดังแสดงในภาพที่ 73



ภาพที่ 73 การบังคับขยวดยาน (ช่องจราจรสำหรับรถจักรยานยนต์เท่านั้น)

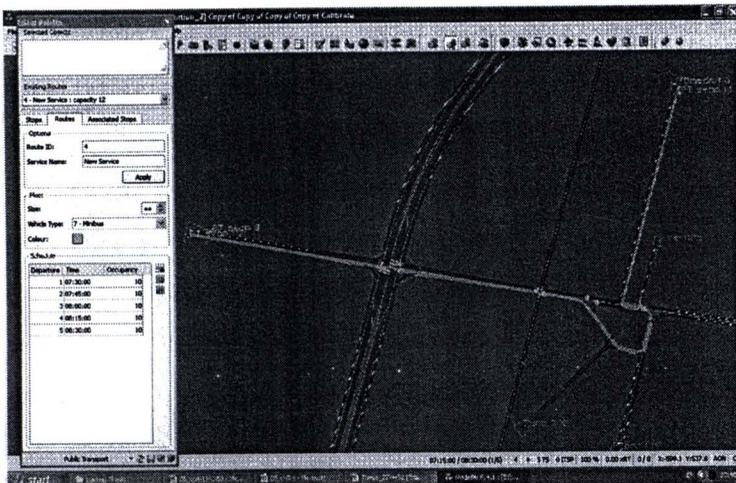
8.4) การเลือกช่องจราจร (Lane Choices) เป็นการกำหนดสัดส่วนปริมาณจราจรทีเลือกใช้แต่ละช่องจราจรในการเดินทาง ทั้งนี้สามารถกำหนดการเดินทางจาก Node ถึง Node หรือในลักษณะการเดินทางจากโชนต้นทางถึงโชนปลายทาง โดยสามารถปรับตั้งค่าการเลือกช่องจราจรจากเมนู Edit Palette > Lane Attributes > Lane choices ตัวอย่างการตั้งค่าการเลือกช่องจราจร ดังแสดงในภาพที่ 74



ภาพที่ 74 การเลือกช่องจราจร

9) ระบบขนส่งสาธารณะ (Public Transport)

การกำหนดจุดจอดรับส่งผู้โดยสารสามารถทำได้ทุกตำแหน่งของโครงข่ายถนนตามแนวเส้นทางที่มีกำหนดปริมาณการเดินทางของยานยนต์ที่ผ่านตารางเวลาในการเดินทางที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของการกำหนดปริมาณจราจรคงที่ในโปรแกรม PARAMICS เพื่อใช้ในการจำลองการเดินทางของระบบขนส่งสาธารณะ ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้องค์ประกอบของโปรแกรม PARAMICS ในส่วนนี้ทำการจำลองการเดินทางของรถสองแถวและรถไฟที่มีเส้นทางผ่านแบบจำลองตามช่วงเวลาคงที่ ซึ่งสามารถกำหนดเส้นทางและปริมาณการเดินทางของรถสองแถวและรถไฟจากเมนู Edit Palette > Public Transport > Routes (ภาพที่ 75) และกำหนดจุดจอดรับส่งผู้โดยสารเป็นเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางของระบบขนส่งสาธารณะ จากเมนู Edit Palette > Public Transport > Bus stop ดังแสดงในภาพที่ 76



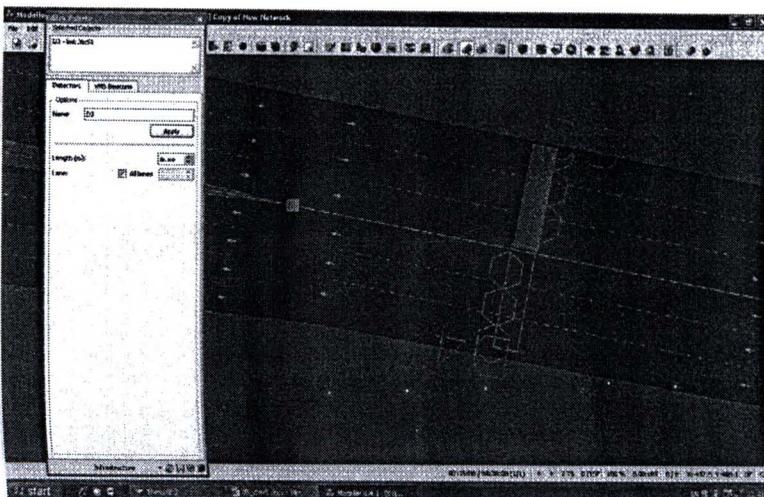
ภาพที่ 75 กำหนดเส้นทางและปริมาณการเดินทางของระบบขนส่งสาธารณะ



ภาพที่ 76 กำหนดจุดจอต้อนรับส่งผู้โดยสาร

10) อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณจราจร (Detectors)

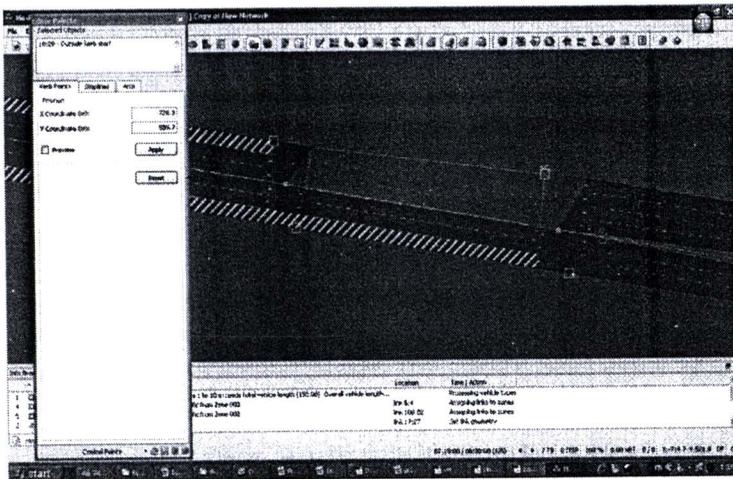
อุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจรใช้ในการเก็บข้อมูลและใช้ในการประสานงานร่วมกับการทำงานของระบบสัญญาณไฟจราจร detectors สามารถสร้างรายงานของยานแต่ละคันที่เคลื่อนที่ผ่านบนตัวอุปกรณ์นับปริมาณจราจร และสามารถแสดงผลในขณะที่อยู่ระหว่างการจำลองสภาพการจราจร ในการศึกษาในทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจรใน 2 ส่วน คือ 1) ติดตั้งบนเส้นทางของขบวนรถไฟเพื่อให้ทำงานประสานกับระบบสัญญาณไฟจราจรแบบแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจรดังกล่าวมาแล้วในขั้นตอนการสร้างทางแยก และ 2) ติดตั้งบนโครงข่ายถนนที่ต้องการเก็บข้อมูลด้านการจราจรเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป โดยในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์นับปริมาณจราจรสามารถทำได้จากเมนู Edit Palette > Infrastructure > Detectors ดังแสดงในภาพที่ 77



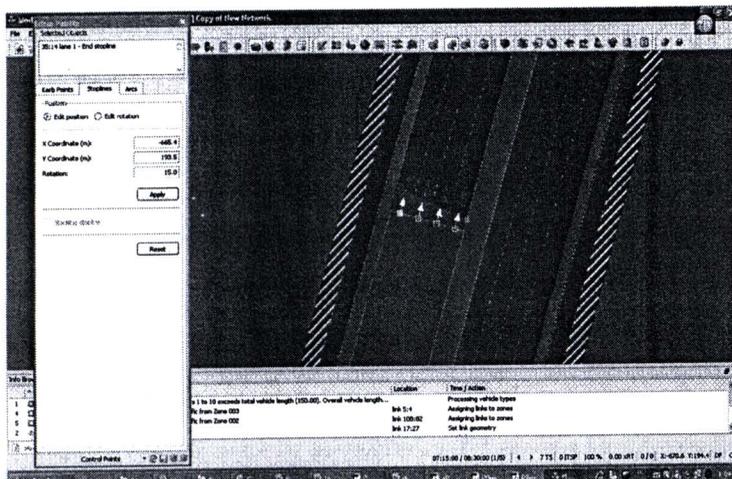
ภาพที่ 77 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจร

11) การปรับขอบคันทางและเส้นหยุด (Kerb and stop line editing)

การปรับขอบคันทาง (Kerb) มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงรูปร่างของโครงข่ายถนนให้มีความใกล้เคียงกับลักษณะทางกายภาพที่ได้ทำการสำรวจ รวมทั้งเป็นการทำให้รถยนต์ที่ขับขี่ในโครงข่ายมีการเคลื่อนตัวที่เสมือนจริงมากยิ่งขึ้น ซึ่งการปรับขอบคันทางสามารถดำเนินการในส่วนเมนู Edit Palette > Control Point > Kerb Points (ภาพที่ 78) ส่วนเส้นหยุด (Stop line) ทำหน้าที่ควบคุมแนวการเคลื่อนที่หรือมุมของรถยนต์แต่ละคันที่ขับขี่ผ่านเข้าและออกจาก link นอกจากนั้นตำแหน่งของ stop line มีผลต่อความเร็วและพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ของรถยนต์ระหว่าง link ดังนั้นการวางตำแหน่ง stop line จะต้องแน่ใจว่าอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้รถยนต์ขับขี่จาก link ไปสู่อีก link เคลื่อนตัวเสมือนสภาพจริงและทำให้การไหลของจราจรมีความลื่นไหลเป็นธรรมชาติ ซึ่งการกำหนดตำแหน่งของ stop line สามารถดำเนินการในส่วนเมนู Edit Palette > Control Point > Stop line ดังแสดงในภาพที่ 79



ภาพที่ 78 การปรับขอบคันทาง (Kerb)



ภาพที่ 79 การปรับเส้นหยุด (Stop line)

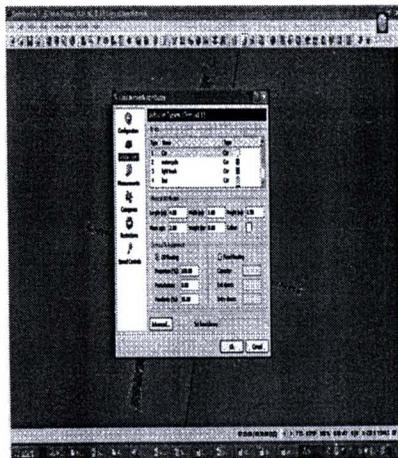
6.2 การกำหนดความต้องการในการเดินทาง (Demands Process)

การสร้างปริมาณการเดินทางเป็นขั้นตอนที่ดำเนินการต่อจากการสร้างโครงข่ายในแบบจำลอง ซึ่งการสร้างปริมาณการเดินทางเพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลแบบจำลองของโครงข่ายในโปรแกรม PARAMICS จะสามารถดำเนินการได้ 2 วิธี เช่นเดียวกับการสร้างโครงข่าย (ผ่านหน้าจอใช้งานและ ASCII text file) ซึ่งการสร้างปริมาณการเดินทางมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ดังนี้

1) การกำหนดลักษณะขบวนรถ (Vehicles Characteristic)

ในการศึกษานี้ทำการสร้างปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางโดยใช้จำนวนขบวนรถที่สำรวจได้จริงจึงไม่ได้กำหนดการเดินทางแต่ละประเภทเป็นสัดส่วนร้อยละสำหรับการกำหนดลักษณะขบวนรถได้แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ตามกรณีที่จะทำการทดสอบเพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองฐานที่มีความเหมาะสม ที่ทำให้การเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (รายละเอียดได้แสดงในขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบจำลอง) ดังนี้

1.1) แยกประเภทขบวนรถ (Vehicles types) เป็นการสร้างปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางโดยแยกประเภทขบวนรถเป็น 5 ประเภท (ไม่รวมรถไฟซึ่งจัดอยู่ในส่วนของ Public Transportation Demands) คือ รถยนต์ส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ รถบรรทุกขนาดกลาง รถบัส และรถบรรทุกขนาดใหญ่ ทั้งนี้โปรแกรม PARAMICS สามารถกำหนดคุณลักษณะของยานพาหนะ เช่น ความสูง ความยาว น้ำหนัก ความเร็วสูงสุด ความเร่ง และความหน่วง เป็นต้น รวมทั้งสามารถกำหนดพฤติกรรมผู้ขับขี่ในด้านความคุ้นเคยบนเส้นทาง โดยสามารถปรับค่าดังกล่าวได้จากเมนู Configuration > Vehicle Types ดังแสดงในภาพที่ 80



ภาพที่ 80 การปรับขนาดของขบวนรถ

ขนาด สัดส่วน และลักษณะเฉพาะของยวดยานแต่ละประเภทในการศึกษานี้จะใช้ค่าเริ่มต้นที่โปรแกรม PARAMICS ยกเว้นกรณีของรถจักรยานยนต์ซึ่งใช้ขนาดเฉลี่ยของรถจักรยานยนต์ทั่วไปที่ใช้บนท้องถนน ซึ่งมีขนาดประมาณ (กว้าง x ยาว x สูง) 0.80 x 2.00 x 1.50 เมตร (ความสูงโดยประมาณซึ่งรวมความสูงของผู้ขับขี่) (บริษัท เอพีฮอนด้า จำกัด, 2553 และบริษัท ยามาฮ่า ประเทศไทย จำกัด, 2553) โดยสรุปลักษณะเฉพาะของยวดยานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับการศึกษาี้ ดังแสดงในตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ประเภทและลักษณะเฉพาะของยวดยาน

ประเภทยวดยาน	ความกว้าง (เมตร)	ความยาว (เมตร)	ความสูง (เมตร)
รถจักรยานยนต์	0.8	2.0	1.5
รถยนต์ส่วนบุคคล	1.6	4.0	1.5
รถบรรทุกขนาดเล็ก	2.3	6.0	2.6
รถบัส	2.5	10.0	4.0
รถบรรทุกขนาดใหญ่	2.5	11.0	4.0

(Quadstone PARAMICS, 2007)

1.2) หน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger Car Unit, PCU) โดยทำการแปลงยวดยานทุกประเภทให้เป็นรถยนต์ส่วนบุคคล หลังจากนั้นจึงทำการรวมยวดยานทั้งหมดเข้าด้วยกัน ซึ่งในการกำหนดหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลนั้นเป็นสัดส่วนของความเร็วกับขนาดของพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ฉายลงบนพื้นของยวดยานแต่ละประเภท (Minh, Sano and Matsumoto, 2005) ซึ่งทำให้ค่าที่ได้ในการศึกษาที่ต่างสถานที่กันจะมีค่าที่ต่างกัน เนื่องจากยวดยานจะขับเคลื่อนด้วยความเร็วที่แตกต่างกันถึงแม้ว่าจะมีขนาดเท่ากันก็ตาม แต่ในการศึกษานี้มีข้อจำกัดในเรื่องของข้อมูลซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการคำนวณค่าหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลได้โดยตรงได้ ในการศึกษาี้จึงได้ทำการทบทวนการเลือกใช้หน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลสำหรับรถประเภทต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับกรณีศึกษา ซึ่งพบว่าค่าของหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลของรถจักรยานยนต์มีค่าที่เลือกใช้ค่อนข้างหลากหลาย แตกต่างจากยวดยานประเภทอื่น ๆ ที่มีค่าหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลที่ค่อนข้างคงที่ อีกทั้งพฤติกรรมที่แตกต่างของรถจักรยานยนต์และปริมาณของรถจักรยานยนต์ในพื้นที่ศึกษาที่มีสัดส่วนในกระจ่างจากรูสูงกว่าร้อยละ 30 ทำให้การกำหนดค่าหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลมีผลต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองอย่างมาก ดังนั้นในการทดสอบเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองฐานในลักษณะการใช้หน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลจึงแบ่งย่อยกรณีที่จะทำการทดสอบออกตามค่าหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลสำหรับรถจักรยานยนต์เปลี่ยนแปลงไปด้วย หน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลที่ใช้ในการศึกษาี้ดังแสดงในตารางที่ 32

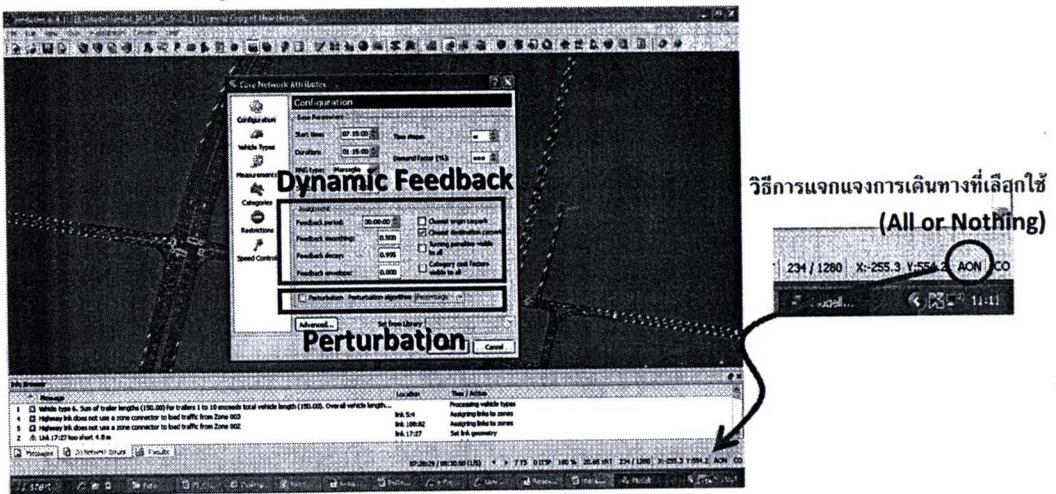
ตารางที่ 32 หน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล

ประเภทของยานยนต์	หน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (PCU)
รถจักรยานยนต์	0.2, 0.25, 0.33, 0.50
รถยนต์ส่วนบุคคล	1.0
รถบรรทุกขนาดเล็ก	2.0
รถบัส	2.0
รถบรรทุกขนาดใหญ่	3.0

(ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, 2549)

2) การแจกแจงการเดินทาง (Traffic Assignment)

การเลือกวิธีการแจกแจงการเดินทางเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองทางด้านการจราจรเพื่อให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริง สำหรับการศึกษานี้มีการกำหนดเส้นทางในการเดินทางของรถยนต์ผ่านปริมาณการเดินทางจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง ในขณะที่โครงข่ายที่ทำการศึกษาก็มีขนาดเล็ก ทำให้รถยนต์มีการเลือกใช้เส้นทางในการเดินทางที่ค่อนข้างแน่นอนด้วยเส้นทางเดียวที่เป็นไปได้จากต้นทางถึงปลายทาง การศึกษานี้จึงเลือกใช้วิธีการ All-Or-Nothing (AON) ซึ่งมีข้อสมมุติฐานว่าผู้ขับขี่เดินทางระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางด้วยเส้นทางเดียวซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก และไม่มีการเปลี่ยนเส้นทางตามสภาพการจราจร กำหนดค่าวิธีการแจกแจงการเดินทางในโปรแกรม PARAMICS สามารถดำเนินการในส่วนของเมนู Core Network Attributes > Configuration > Assignment ซึ่งโปรแกรม PARAMICS เวอร์ชัน 6.4.1 จะแสดงค่าอัตโนมัติเมื่อมีการปรับค่าที่เกี่ยวข้องกับการแจกแจงการเดินทาง สำหรับวิธี All or Nothing จะเป็นวิธีที่ไม่กำหนดค่า Feedback period (DF) (ค่า Feedback period เท่ากับ 00 : 00 : 00) และไม่เลือกปรับค่า Perturbation Algorithm (P) (Stochastic) ดังภาพที่ 81

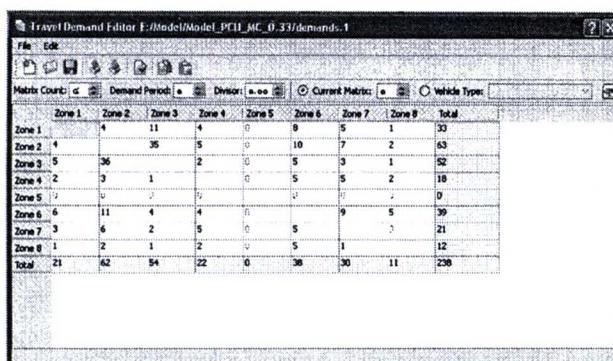


ภาพที่ 81 การแจกแจงการเดินทาง

3) ปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง (Origin-Destination matrices) ในการศึกษาได้กำหนดโซนต้นทางและโซนปลายทางสำหรับการสร้างตารางการเดินทางในแบบจำลองฐานของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาซึ่งแบ่งเป็น 8 โซน และใช้ค่าปริมาณการเดินทางในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า (07.00 – 09.00 น.) โดยเลือกช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์สูงสุดจากการสำรวจ 1 ชั่วโมง คือ 07.30-08.30 น. แต่ในการพัฒนาแบบจำลองได้ใช้เวลาทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 15 นาที คือ ช่วงเวลา 07.15-08.30 น. เพิ่มช่วงเวลาในการประมวลผลขึ้นอีก 15 นาที ก่อนถึงช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์สูงสุด 1 ชั่วโมง เป็นช่วงเวลา 15 นาทีแรกเป็นช่วงที่ข้อมูลมีความไม่เสถียร (โดยจะกล่าวในรายละเอียดในหัวข้อถัดไป) ซึ่งในการสร้างปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง มี 2 ส่วนหลัก ดังนี้

3.1) ปริมาณการเดินทาง (Demands)

เป็นส่วนที่ใช้ในการกำหนดปริมาณจราจร ซึ่งสามารถดำเนินการในส่วนของเมนู Travel Demand Editor > Demands (ภาพที่ 82) และสามารถปรับแก้ค่าได้จาก Demands file ซึ่งใน Demands file อาจมีจำนวนตารางการเดินทางหลายตาราง (Matrix) ได้ขึ้นอยู่กับประเภทของยานยนต์ (ในกรณีที่ทำการสร้างปริมาณการเดินทางแบบแยกประเภทยานยนต์) นอกจากนี้ Demands file ยังสามารถมีหลาย file ได้เช่นกัน ขึ้นอยู่กับการแบ่งช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาสร้างปริมาณการเดินทางในแบบจำลอง (Period) โดยในการศึกษาครั้งนี้มีจำนวนของตารางปริมาณการเดินทาง (Matrix count) ทั้งหมด 5 Matrix และมีจำนวนของปริมาณการเดินทาง (Demands count) ทั้งหมด 5 ไฟล์ ดังแสดงในตารางที่ 33 และ 34



	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Total
Zone 1	4	11	4	0	0	5	1		33
Zone 2	4		36	5	0	10	7	2	63
Zone 3	5	36		2	0	5	3	1	52
Zone 4	2	3	1		0	5	5	2	18
Zone 5	2	0	2	2		0	0	2	0
Zone 6	6	11	4	4	0		9	5	39
Zone 7	3	6	2	5	0	5		0	21
Zone 8	1	2	1	2	0	5	1		12
total	21	62	54	22	0	38	30	11	238

ภาพที่ 82 การสร้างปริมาณการเดินทาง

ตารางที่ 33 ตารางปริมาณการเดินทาง (Matrix)

ตารางการเดินทาง	ประเภทของขบวน
Matrix 1	รถจักรยานยนต์
Matrix 2	รถยนต์ส่วนบุคคล
Matrix 3	รถบรรทุกขนาดกลาง
Matrix 4	รถบัส
Matrix 5	รถบรรทุกขนาดใหญ่

ตารางที่ 34 ไฟล์ปริมาณการเดินทาง (Demands file)

ปริมาณการเดินทาง	ช่วงเวลาที่ทำการสำรวจข้อมูล
Demands.1	07.15-07.30 น. (Warm-up Period)
Demands.2	07.30-07.45 น.
Demands.3	07.45-08.00 น.
Demands.4	08.00-08.15 น.
Demands.5	08.15-08.30 น.

3.2) ช่วงเวลา (Profile)

Profile เป็นการแบ่งช่วงเวลาให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ทำการสำรวจในสนามเพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่ง Profile จะทำงานประสานกับ Demands file ผ่านจำนวนของช่วงเวลา (Period Count) และระยะเวลาแต่ละช่วง (Interval) โดยการกำหนดเวลาเริ่มต้นในการปล่อยขบวนเข้าสู่โครงข่ายที่ทำการจำลองสภาพการจราจร ซึ่งในการกำหนดช่วงเวลาสามารถดำเนินการในส่วนของเมนู Travel Demand Editor > Profile (ภาพที่ 83) หากพิจารณาจากตารางที่ 38 จะพบว่าการศึกษาดังนี้ได้แบ่งเป็น 5 period และมี Interval เท่ากับ 15 นาที ดังแสดงในตารางที่ 35

Start Time	Period Count	Interval	Current Profile	Divisor
Period 1: 07:15:00	333	333	334	100
Period 2: 07:30:00	333	333	334	100
Period 3: 07:45:00	333	333	334	100
Period 4: 08:00:00	333	333	334	100
Period 5: 08:15:00	333	333	334	100

ภาพที่ 83 การกำหนดช่วงเวลา

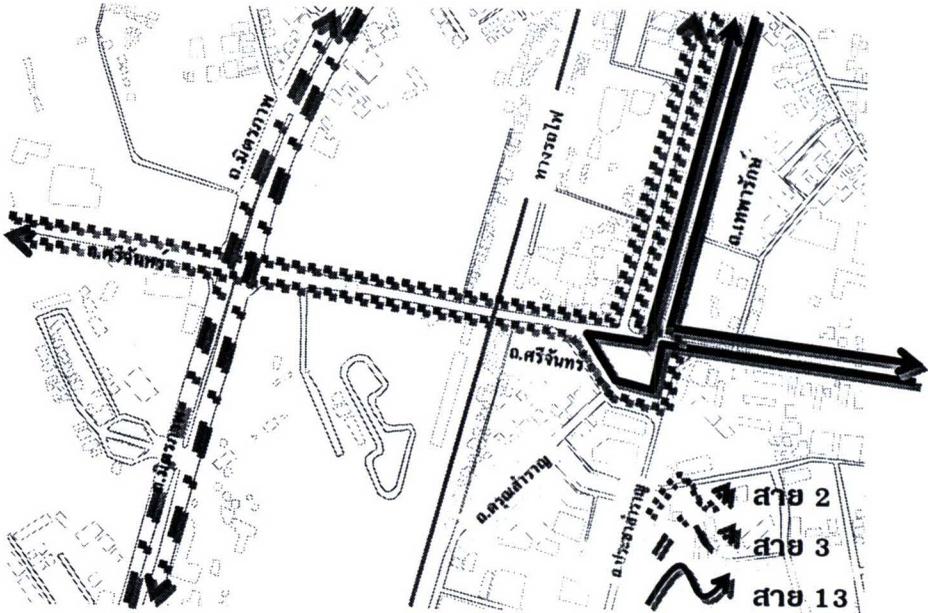


ตารางที่ 35 ช่วงเวลาในการจำลองสภาพการจราจร (Period)

ไฟล์ปริมาณการเดินทาง	เวลาที่เริ่มปล่อยขบวนเข้าสู่โครงข่าย
Period 1	07.15 น. (warm up period)
Period 2	07.30 น.
Period 3	07.45 น.
Period 4	08.00 น.
Period 5	08.15 น.

4) ปริมาณการเดินทางของระบบขนส่งสาธารณะ (Public transport demand) การกำหนดปริมาณการเดินทางของระบบขนส่งสาธารณะในการศึกษาค้างนี้ ได้ประยุกต์ใช้กับรถสองแถวและรถไฟ ซึ่งมีลักษณะการเดินทางด้วยเส้นทางและปริมาณที่คงที่ โดยยึดตามตารางเวลาการเดินทางของแต่ละระบบที่ผ่านพื้นที่ศึกษา ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาการจำลองสภาพการจราจร ซึ่งในโปรแกรม PARAMICS สามารถกำหนดตารางการเดินทางผ่านเมนู Edit Palette > Public Transport > Routes และสามารถปรับแก้ค่าต่างๆ ได้จาก Busroutes file ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในส่วนของการสร้างแบบจำลองระบบขนส่งสาธารณะ การกำหนดปริมาณการเดินทางของระบบขนส่งสาธารณะมีรายละเอียดดังนี้

4.1) รถสองแถว ในพื้นที่ศึกษามีรถสองแถวให้บริการทั้งสิ้น 3 เส้นทาง (ภาพที่ 84) โดยไม่มีการกำหนดจุดจอด (Bus stop) อย่างชัดเจน เริ่มให้บริการตั้งแต่ 06.00-18.00 น. ซึ่งรถสองแถวทั้งหมดเป็นการปรับแต่งรถยนต์ส่วนบุคคล (ช่วงห้องโดยสารสั้น) (ภาพที่ 85) ดังนั้นการกำหนดขนาดและลักษณะของรถสองแถวในการศึกษานี้ได้ยึดตามขนาดของรถยนต์ส่วนบุคคลยกเว้นความสูงที่มีการต่อเติมในส่วนของหลังคา เท่ากับ 1.6 x 4.0 x 2.5 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ดังแสดงในตารางที่ 36



ภาพที่ 84 เส้นทางรถสองแถวที่ผ่านพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 85 รถสองแถวที่ให้บริการในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 36 ข้อมูลรถสองแถวที่มีเส้นทางผ่านพื้นที่ศึกษา

สายที่	เส้นทาง	ความถี่ในการให้บริการ (นาที/เที่ยว)
2	บ.โคกหินโป่ง-บ.โคกน้อย	15
3	สนามม้า-บ.ห้วยสายบาตร	40
13	หมู่บ้านน้อยนิเวศน์-บ.ดอนบม	10

(ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, 2550)

4.2) รถไฟ ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้าซึ่งใช้เป็นช่วงเวลาในการพัฒนาแบบจำลองฐาน มีขบวนรถไฟผ่านพื้นที่ศึกษาทั้งสิ้น 2 ขบวน คือ ขบวนท้องถิ่น 416 เวลา 7.55 น. และขบวนด่วนดีเซลราง 76 เวลา 8.29 น. และในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น 1 ขบวน เวลา 16.20 น. (ใช้สำหรับแบบจำลองที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องในขั้นตอนต่อไป) (ตารางที่ 37) สำหรับการกำหนดขนาดและลักษณะของรถไฟในการศึกษานี้ได้ยึดขนาดเฉลี่ยของขบวนรถไฟมาตรฐาน เท่ากับ 2.78 x 19.90 x 3.87 เมตร ความเร็วสูงสุด 100 กม./ชม.(การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553) และสมมติให้มีจำนวนโบกี้ (Trailer) ต่อหนึ่งขบวนเท่ากับ 10 บ็อกี้ มีความเร็วในช่วงที่ตัดผ่านพื้นที่ศึกษาประมาณ 40 กม./ชม.

ตารางที่ 37 ตารางการเดินทางรถไฟผ่านจังหวัดขอนแก่น

ขบวนรถ	ต้นทาง-ปลายทาง	ต้นทางออก	ปลายทางถึง	เวลาถึงขอนแก่น
ด่วนดีเซลราง 75	กรุงเทพ - อุดรธานี	08.20	18.00	16.20
ท้องถิ่น 416	อุดรธานี- นครราชสีมา	05.35	11.15	07.55
ด่วนดีเซลราง 76	หนองคาย- กรุงเทพ	05.40	17.00	08.29

(การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553)

6.3 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อน (Error Checking Process)

1) วิธีการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในโปรแกรม PARAMICS

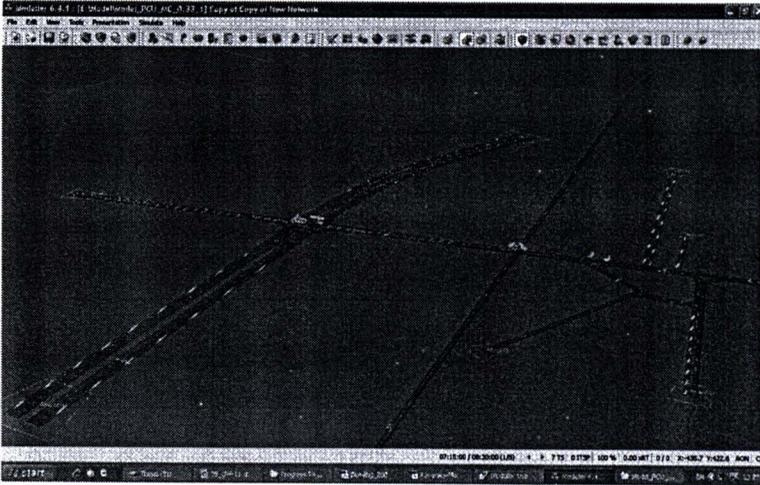
การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูลนำเข้าในโปรแกรม PARAMICS มีวิธีการตรวจสอบที่สามารถทำได้หลายวิธี โดยตัวอย่างวิธีการดังต่อไปนี้

1.1) Overlay การแสดงภาพ Overlay เพื่อใช้ในการตรวจสอบลักษณะทางเลขาคณิตของโครงข่ายถนน ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากเมนู Presentation > Overlays ดังแสดงในภาพที่ 86



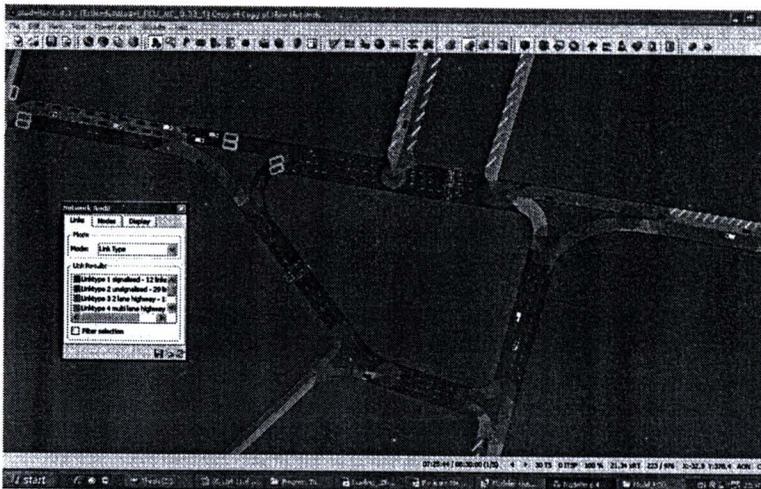
ภาพที่ 86 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจาก Overlays

1.2) **3-Dimension** การเปิดใช้ฟังก์ชันแสดงภาพ 3 มิติ ร่วมกับการแสดงเลข node เพื่อทำการตรวจสอบการซ้อนทับกันของ link และ node ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากเมนู View > 3D ดังแสดงในภาพที่ 87



ภาพที่ 87 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากภาพ 3D

1.3) **Network audit** การตรวจสอบด้วยการใช้สีสำหรับแยกประเภทความเร็ว และลักษณะเฉพาะของ links และ node ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากเมนู Tool > Network audit ดังแสดงในภาพที่ 88



ภาพที่ 88 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนด้วยการใช้สี

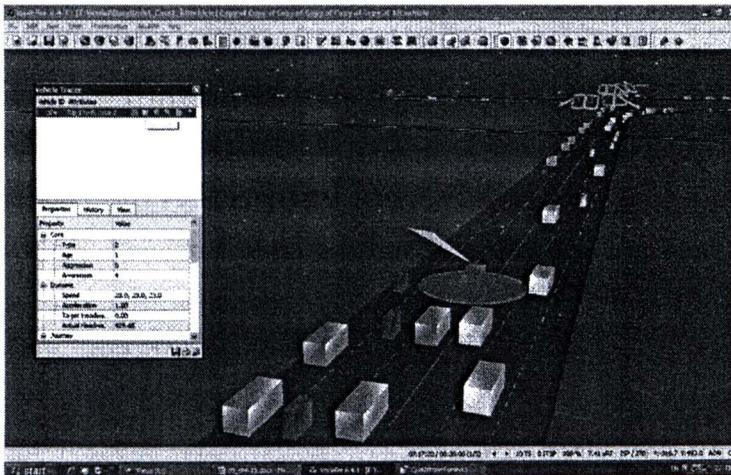
1.4) **Vehicle Dynamics** เป็นการตรวจสอบแนวโน้มการไหลของกระแสน้ำและการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เช่น ความเร็ว ความเร่ง ความหน่วง การหยุดรถ

การเบรก เป็นต้น ในภาพรวมทั้งโครงข่าย ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากเมนู View > Vehicle Dynamics ดังแสดงในภาพที่ 89



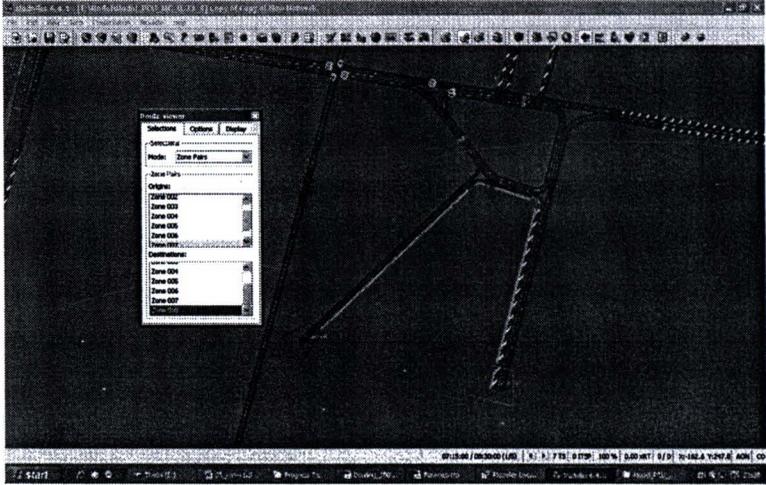
ภาพที่ 89 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากพฤติกรรมเคลื่อนที่ของขบวนยานในกระแสรถจากร

1.5) Vehicle Tracer เป็นการตรวจสอบการพฤติกรรมเคลื่อนที่ของขบวนยานแต่ละคัน เช่น ความเร็ว ความเร่ง ความหน่วง การหยุดรถ การเบรก เป็นต้น ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากเมนู Tool > Vehicle Tracer ดังแสดงในภาพที่ 90



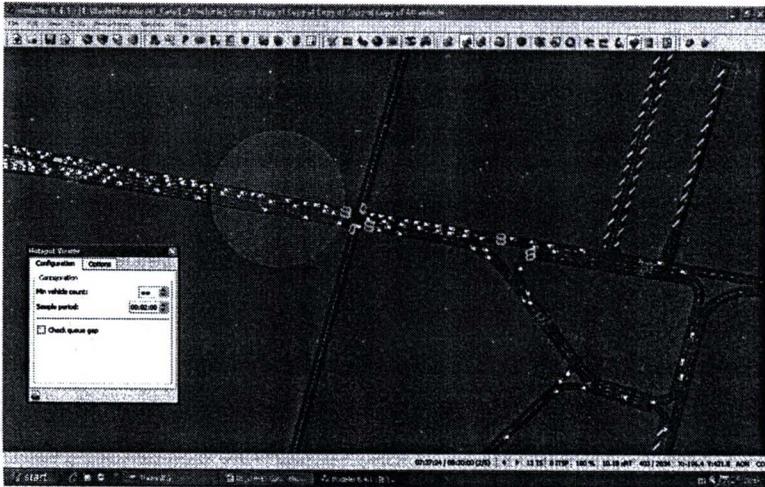
ภาพที่ 90 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากพฤติกรรมเคลื่อนที่ของขบวนยานแต่ละคัน

1.6) Route Viewer เป็นการตรวจสอบการเลือกใช้เส้นทางระหว่างคูโซน ผ่านช่องจราจรของแต่ละช่วงถนน ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากเมนู View > Route Viewer ดังแสดงในภาพที่ 91



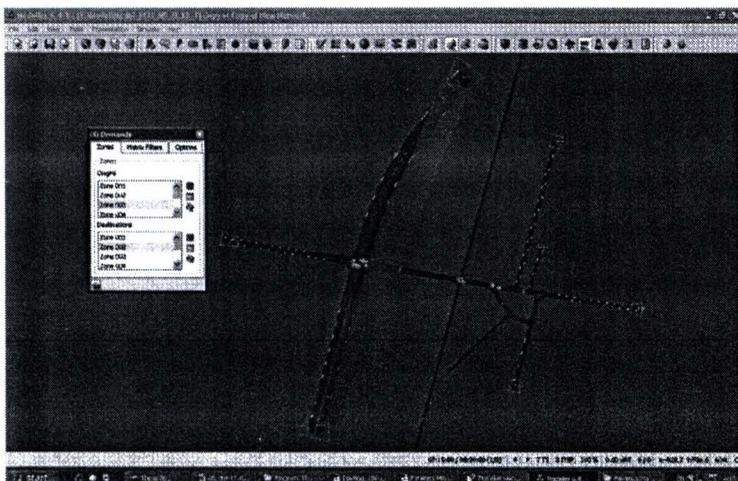
ภาพที่ 91 การตรวจสอบการเลือกใช้เส้นทางระหว่างคูโซน

1.7) Hotspot viewer เป็นการตรวจสอบสภาพการจราจรลักษณะเป็นจุดหรือวงกลมล้อมรอบตำแหน่งซึ่งมีการจราจรติดขัด ซึ่งขนาดของวงกลมแสดงถึงสภาพความรุนแรงของการติดขัด ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากเมนู View > Hotspot viewer ดังแสดงในภาพที่ 92



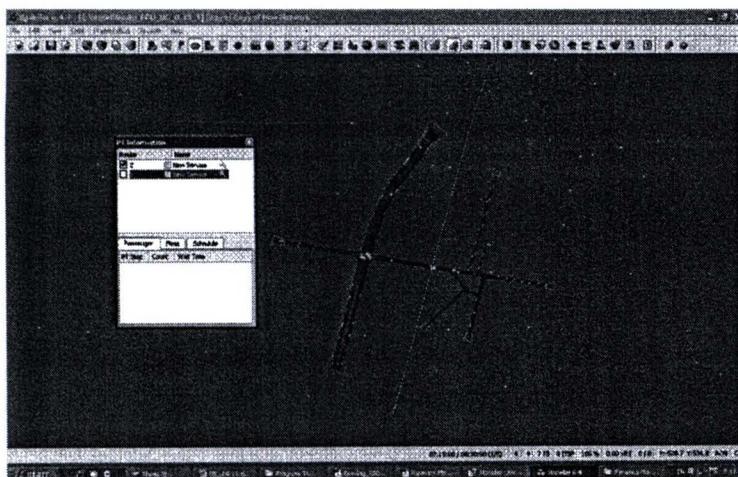
ภาพที่ 92 การตรวจสอบจุดที่มีการจราจรติดขัด

1.8) OD Demands เป็นการตรวจสอบต้นทางและปลายทางระหว่างคูโซน ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากเมนู View > OD Demands ดังแสดงในภาพที่ 93



ภาพที่ 93 การตรวจสอบต้นทางและปลายทางระหว่างคูโซน

1.9) PT Information เป็นการตรวจสอบเส้นทางและเวลาในการให้บริการของระบบขนส่งสาธารณะ ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากเมนู Tool > PT Information ดังแสดงในภาพที่ 94



ภาพที่ 94 การตรวจสอบเส้นทางการให้บริการของระบบขนส่งสาธารณะ

2) การทบทวนข้อมูลนำเข้า (Review Input Data)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูลนำเข้าทั้งในรูปแบบของข้อมูลที่อยู่ในส่วนของตาราง และความผิดพลาดผ่านการแสดงผลของหน้าจอผู้ใช้งาน จนมีความมั่นใจว่าแบบจำลองฐานได้ขจัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความผิดพลาดในการนำเข้าข้อมูล จนการแสดงผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนมีความสมเหตุสมผลและ

พร้อมที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองแล้ว ซึ่งขั้นตอนการตรวจสอบข้อมูลนำเข้ามีรายละเอียดดังนี้

2.1) การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลตัวแปรสำหรับการประมวลผลแบบจำลอง (Model Run Parameter Checking Error)

การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลตัวแปรสำหรับการประมวลผลแบบจำลอง ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญต่างๆ (Holm, Tomich, Ioboden and Lowrance, 2007) ได้แก่ การตรวจสอบช่วงเวลาทำการประมวลผล (Time Period) ระยะเวลาในการประมวลผล (Duration) และช่วงเวลาที่ต้องทำการประมวลผลเพิ่มเนื่องจากข้อมูลไม่เสถียร (Warm up Period) เป็นต้น

2.2) การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลโครงข่าย (Network Checking Error)

การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลที่นำเข้าด้านโครงข่าย ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญต่างๆ ได้แก่ ตรวจสอบจุดเชื่อมต่อของโครงข่าย (network connectivity) ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของช่วงถนน (Check link geometry) (เช่น จำนวนช่องจราจร ความกว้าง ประเภท เป็นต้น) ตรวจสอบการห้ามเลี้ยว การปิดช่องจราจร การควบคุมการใช้ช่องจราจร เป็นต้น

2.3) การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลความต้องการในการเดินทาง (Demand Checking Error)

การตรวจสอบข้อมูลนำเข้าปริมาณการเดินทาง ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญต่างๆ (Dowling et al, 2004) ได้แก่ ตรวจสอบปริมาณจราจรแต่ละประเภทตรวจสอบสัดส่วนของรถเดี่ยว ตรวจสอบปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง ตรวจสอบพฤติกรรมของผู้ขับขี่และลักษณะเฉพาะของยานยนต์ เป็นต้น

2.4) การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลการควบคุมการจราจร (Control Checking Error)

การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลการควบคุมการจราจร ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญต่างๆ (Holm et al., 2007) คือ ตรวจสอบการควบคุมบริเวณทางแยก (Check intersection controls) เช่น ประเภทการควบคุม ข้อมูลด้านการควบคุม เป็นต้น

2.5) การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลการจัดการจราจร (Traffic operations and management data Checking Error)

การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลการจัดการจราจร เช่น การจัดการที่จอดรถ เส้นทางรถโดยสารประจำทาง และตารางเวลา เป็นต้น

3) การทบทวนการแสดงผลจากภาพเคลื่อนไหว (Review Animation)

ภาพเคลื่อนไหวจากการประมวลผล เป็นสิ่งที่สะท้อนถึงความสมเหตุสมผล และความใกล้เคียงเสมือนสภาพจริงของตัวแบบจำลองสภาพการจราจรเอง Dowling et al. (2004) กล่าวว่า การนำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรน้อย ๆ เพื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของยานแต่ละคันเป็นวิธีการที่สามารถทำให้ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองอย่างง่ายที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งจะให้เห็นพฤติกรรมเคลื่อนที่ของยานที่ไม่เป็นธรรมชาติในกรณีที่แบบจำลองมีความผิดพลาด เช่น การหยุด การเบรก เป็นต้น วิธีการในการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากภาพเคลื่อนไหวจากการประมวลผลของแบบจำลองประกอบด้วยสองขั้นตอน ดังนี้

3.1) แสดงภาพเคลื่อนไหวจากการประมวลผลแบบจำลองด้วยปริมาณการเดินทางที่ระดับน้อย ๆ (ระดับที่ไม่มีปัญหาการจราจรติดขัด ทำการวิเคราะห์ด้วยการจับตาดูการเคลื่อนที่ของยานแต่ละคันที่ผ่านโครงข่ายและสังเกตความผิดปกติ โดยในการทดสอบจะต้องทำซ้ำโดยใช้ค่าปริมาณการเดินทางหลายคู่ขึ้น

3.2) หลังจากทดสอบด้วยปริมาณการเดินทางน้อย ๆ ทำการแสดงผลภาพเคลื่อนไหวจากการประมวลผลแบบจำลองอีกครั้งโดยใช้ปริมาณการเดินทางที่ 50 % ของปริมาณการเดินทางจริง ซึ่งในกรณีนี้ก็เช่นกันปริมาณจราจรจะไม่สามารถทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดได้ ถ้าเกิดปัญหาการจราจรติดขัดมักเกิดจากการตัดกระแสจราจรเพื่อเปลี่ยนช่องจราจร vehicles across lanes ทำการตรวจสอบปริมาณจราจรบน entry and exit link ว่ามีความถูกต้องสมจริงเมื่อเข้าสู่โครงข่าย ภาพเคลื่อนไหวที่สังเกตอาจมีปริมาณจราจรที่เข้าใกล้สภาพจะติดขัดได้ถ้าในสภาพจริงมีพฤติกรรมของสภาพการจราจรเป็นเช่นกัน

ก่อนทำการปรับเทียบแบบจำลองฐานในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนแบบจำลองจากภาพเคลื่อนไหวที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง และขจัดความผิดปกติของการเคลื่อนที่ของยานในเบื้องต้น และพร้อมสำหรับการนำไปสู่ขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองอย่างละเอียดต่อไป

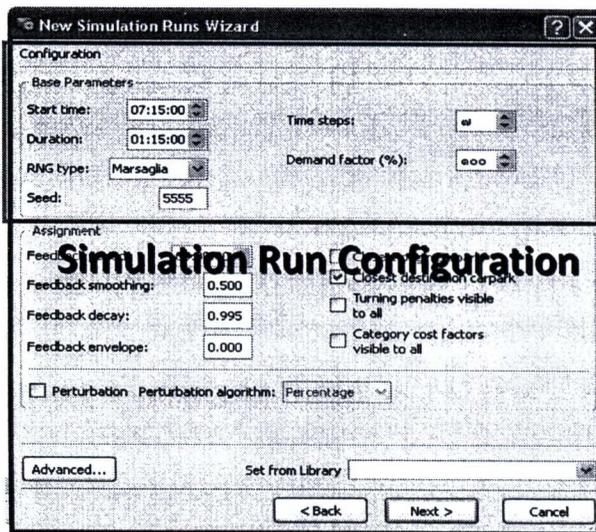
6.4 การประมวลผลแบบจำลอง (Simulation Run Process)

การประมวลผลแบบจำลอง เป็นกระบวนการหลังจากการสร้างแบบจำลองและกำหนดปริมาณจราจร การประมวลผลแบบจำลองจะดำเนินการในส่วนของ PARAMICS Processor โดยทำการนำเข้าข้อมูลโครงข่ายและใช้ปริมาณการเดินทางที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมาจากส่วนของ PARAMICS Modeller ซึ่งก่อนที่จะทำการประมวลผลแบบจำลอง มีขั้นตอนที่ต้องดำเนินการและพิจารณาประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ 1) การตั้งค่าการประมวลผลแบบจำลอง 2) การหาจำนวนในการประมวลผลแบบจำลอง และ 3) การกำหนดค่า Seed Number ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การตั้งค่าการประมวลผลแบบจำลอง (Simulation Run Configuration)

การตั้งค่าสำหรับการประมวลผลแบบจำลอง สามารถดำเนินการได้จากเมนู Simulation Run Wizard > Configuration > Base Parameter ซึ่งมีตัวแปรที่สำคัญที่ต้องทำการ

ปรับตั้งค่า เช่น การกำหนดเวลาในการเริ่มต้นการแสดงผลแบบจำลอง (Start Time) ระยะเวลาในการแสดงผลแบบจำลอง (Duration) การกำหนดปริมาณจราจร (Demand Factor) การกำหนดค่า Seed number (รายละเอียดได้กล่าวไว้ในหัวข้อต่อไป) การกำหนดช่วงเวลาหรือความละเอียดในการคำนวณผล (Time Step) เป็นต้น โดยในการศึกษานี้กำหนด Start Time สำหรับแบบจำลองฐานที่ 07.15 น. และ Duration เท่ากับ 1 ชั่วโมง 15 นาที (ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ผลข้อมูลจะคิดเพียง 1 ชั่วโมง โดยตัดผลช่วง 15 แรกออกไป เนื่องจากเป็นช่วงที่ผลข้อมูลไม่มีความเสถียร) ดังแสดงในภาพที่ 95



ภาพที่ 95 การตั้งค่าใน Simulation Run Configuration

2) จำนวนครั้งในการประมวลผลแบบจำลอง (Number of simulation runs)

เนื่องจากการธรรมชาติของการเดินทางในแบบจำลองสภาพการจราจรด้วยหลักการเฟ้นสุ่ม (Stochastic) ทำให้จำนวนครั้งของการประมวลผลมีผลอย่างยิ่งต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ทำการวัดจากหลักการทางสถิติสามารถหาจำนวนครั้งของการประมวลผลเริ่มต้นและจำนวนครั้งของการประมวลที่ต้องการอย่างน้อยดังสมการที่ 6 (ในบทที่ 3) ซึ่งในการหาจำนวนครั้งในการประมวลผลจะต้องเลือกช่วงความมั่นใจ (Confidence Level) ซึ่งทั่วไปจะใช้ค่าที่ 95% ของระดับความเชื่อมั่น (Dowling, 2004)

3) Seed Values

Seed Values คือ ค่าที่ต้องทำการเลือกในการประมวลผลแต่ละครั้ง เพื่อสร้างค่าการตัดสินใจสุ่มของยวดยานแต่ละคันออกมาผ่านพฤติกรรมต่าง ๆ ของผู้ขับขี่ยวดยานที่กระจายอยู่ในโครงข่ายที่ทำการสร้างแบบจำลอง เช่น เป็นตัวกำหนดให้ยวดยานเข้าสู่โครงข่ายในตอนนี้หรือหลังจากนี้? เป็นตัวกำหนดให้ผู้ขับขี่ยวดยานมีความก้าวร้าวหรือความกลัว? เป็นตัวกำหนด

ประเภทของยวดยาน? เป็นตัวกำหนดการเลือกเส้นทางของผู้ขับขี่ด้วยเส้นทางที่สั้นที่สุดหรือเส้นทางที่ยาวกว่าที่สามารถเดินทางได้ง่ายกว่า? เป็นต้น (Dowling et al., 2004)

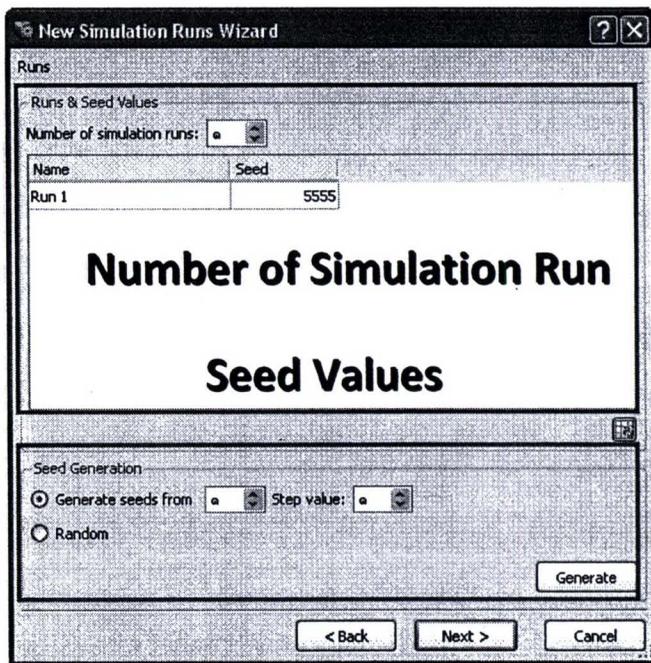
เพื่อเลือกค่าหรือช่วงค่าของ Seed Value ที่เหมาะสมในการประมวลผลแต่ละครั้ง ได้ทำการทดสอบแนวคิดดังกล่าวข้างต้น โดยทำการประมวลผลแบบจำลองอย่างง่ายโดยใช้ค่า Seed values ที่แตกต่างกันในหลายๆ ช่วงค่า เปรียบเทียบค่าปริมาณจราจรในแต่ละช่วงเวลา (ช่วงละ 15 นาที) ดังแสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 38 เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการประมวลผลแบบจำลองโดยการปรับเปลี่ยนค่า Seed values

Seed Value	ช่วงเวลา				รวม
	07.30-07.45	07.45-08.00	08.00-08.15	08.15-08.30	
1	315	343	388	299	1345
10	359	335	359	297	1349
100	353	322	383	299	1358
1000	353	322	383	299	1358
10000	353	322	383	299	1358
100000	353	322	383	299	1358
1000000	353	322	383	299	1358
10000000	311	360	376	272	1319
100000000	342	336	385	318	1380
1000000000	319	367	403	323	1413
5555	355	349	364	281	1349
5555	355	349	364	281	1349
5555	355	349	364	281	1349
5555	355	349	364	281	1349
5555	355	349	364	281	1349
5556	355	349	364	281	1349
5557	341	347	389	307	1384
5558	302	336	348	292	1278
5559	336	351	347	316	1350
5560	315	360	370	308	1353

จากตารางที่ 38 พบว่า ในการประมวลผลแต่ละครั้งหากใช้ค่า Seed Value ค่าเดียวกันปริมาณจราจรที่ได้จะมีค่าเท่ากันหรือการเปลี่ยนค่า Seed value โดยใช้ค่าที่ใกล้เคียงกัน (5555 และ 5556) ก็ไม่สามารถทำให้ค่าปริมาณจราจรต่างกันได้อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การ

เปลี่ยนค่า Seed value หลายๆ ช่วงค่า ก็ไม่สามารถทำให้เห็นถึงแนวโน้มหรือค่าที่เหมาะสมในการกระจายค่า Seed value ดังนั้น ในการประมวลผลแต่ละครั้งเพื่อผลลัพธ์ที่ดีกว่าและความสะดวกในการเลือกใช้ค่า Seed value จึงควรสุ่มค่า Seed value เพื่อเป็นการกระจายค่า Seed Value ในการประมวลผลแต่ละครั้งจากฟังก์ชันของโปรแกรมซึ่งจะสุ่มค่าอัตโนมัติได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1000000000 ป้องกันการเลือกค่า Seed value ซ้ำกันรวมทั้งทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็วผู้ใช้ไม่ต้องตัดสินใจเลือกค่า Seed value โดยสามารถดำเนินการได้จากเมนู Simulation run Wizard > Runs ดังภาพที่ 96

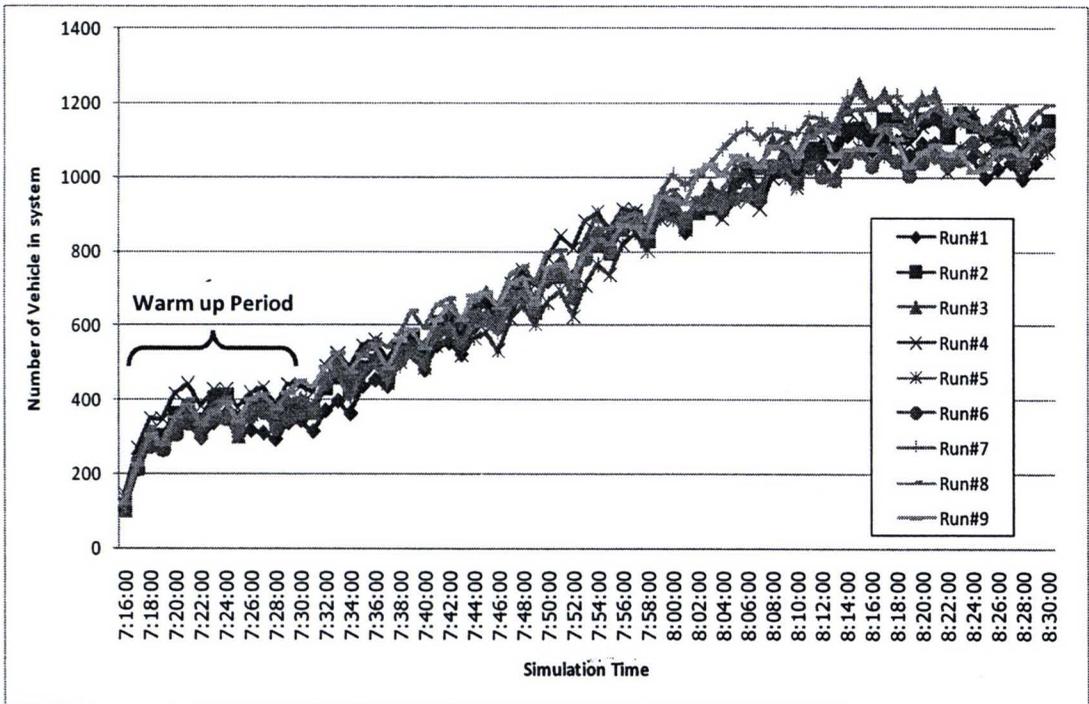


ภาพที่ 96 การกำหนดจำนวนครั้งในการประมวลผล และ Seed Value

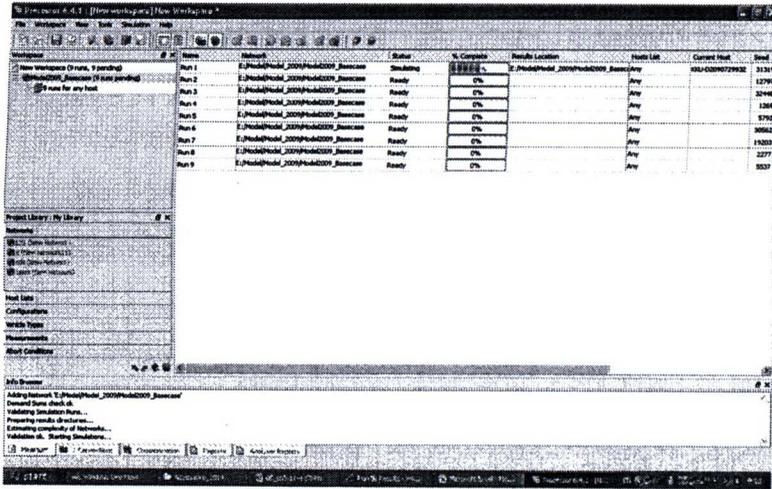
4) ช่วงเวลาที่ข้อมูลมีความไม่เสถียร (Warm up periods)

Downling et al. (2004) กล่าวว่า การประมวลผลการจำลองสภาพการจราจร โดยทั่วไปมักจะเริ่มต้นจากไม่มีวดยานในโครงข่าย ถ้านำผลลัพธ์ของการประมวลผลแบบจำลองสภาพการจราจรไปเปรียบเทียบกับผลการสำรวจภาคสนาม (ขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลอง) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในช่วงเริ่มนำปล่อยวดยานเข้าสู่โครงข่ายจากเริ่มไม่มีวดยานจะให้ผลที่ไม่เหมือนกับสภาพจริง เรียกว่า “Warm-up period” จึงจำเป็นจะต้องตัดผลลัพธ์ทางสถิติช่วงแรกนี้ออกเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพ โดยตัวแปรที่บอกถึงช่วง Warm-up period ของแบบจำลองได้ชัดเจน คือ จำนวนวดยานที่ปล่อยเข้าสู่โครงข่ายและความเร็วเฉลี่ยของโครงข่ายที่มีลักษณะการไหลแบบอิสระ (Free flow speed) เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษา

ที่ผ่านและทำการทดสอบด้วยการประมวลผลแบบจำลองจำนวน 9 ครั้ง (ภาพที่ 97) และแสดงผลของจำนวนยานที่อยู่ในระบบ (โครงข่ายของแบบจำลองที่ทำการประมวลผล) พบว่า Warm-up period อยู่ในช่วงเวลาประมาณ 10-20 นาที (ของช่วงแรกในการเริ่มประมวลผล) ซึ่งจะสังเกตได้จากจำนวนยานที่มีปริมาณน้อยและมีค่าที่ค่อนข้างคงที่เนื่องจากมีปริมาณจราจรเข้าและออกจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางไม่หนาแน่นเสมือนกับสภาพจริง ไม่เกิดความล่าช้า ยานสามารถใช้ความเร็วในการเดินทางที่สภาพการไหลอิสระ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้ทำการขยายช่วงเวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้นอีก 15 นาที (เพื่อให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล) โดยจะตัดผลลัพธ์ในช่วง 15 นาทีแรกออกจากผลการวิเคราะห์ และแสดงหน้าจอตีพิมพ์ประมวลผลของแบบจำลองดังภาพที่ 98



ภาพที่ 97 Warm-up period



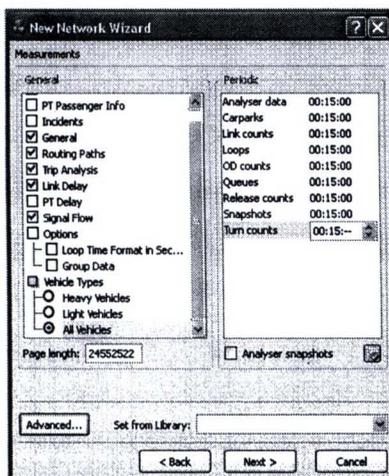
ภาพที่ 98 การประมวลผลแบบจำลอง

6.5 การแสดงผลข้อมูล (Output and Result Process)

ในการแสดงผลข้อมูลทำได้ 3 รูปแบบ คือ การแสดงภาพเคลื่อนไหว การแสดงภาพกราฟฟิก และแสดงผลด้วยข้อมูลตัวเลขในรูปของรายงาน ซึ่งกระบวนการในการแสดงผลข้อมูลในโปรแกรม PARAMICS นี้จะทำงานร่วมกันของส่วนคือ PARAMICS modeler จะทำหน้าที่กำหนดช่วงเวลาและค่าที่ต้องการวัดค่าในการแสดงผลข้อมูลจากการประมวลผลโดยที่จะทำการประมวลผลแบบจำลองในส่วนของ PARAMICS processor และ PARAMICS analyser จะนำเข้าข้อมูลที่ได้จาก file ที่ได้ทำการประมวลผลแล้วจากส่วนของ PARAMICS processor เพื่อนำมาแสดงผลในรูปของภาพกราฟฟิกและสรุปเป็นตารางข้อมูล ก่อนนำผลลัพธ์ที่ได้ไปสู่การวิเคราะห์ผลการศึกษาต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การตั้งค่าผลลัพธ์ที่ต้องการวัดค่า (Measurement)

เป็นส่วนสำหรับการกำหนดการวัดค่าผลลัพธ์ที่ต้องการจากการประมวลผลจากแบบจำลองซึ่งดำเนินการในส่วนของ PARAMICS modeler แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) สำหรับการกำหนดค่าผลลัพธ์ที่ต้องการจากการประมวลผล และ 2) สำหรับกำหนดค่าช่วงเวลาของการแสดงผลที่ได้จากการประมวลผล ซึ่งในการกำหนดค่าส่วนนี้จะทำการเลือกค่าที่นำไปใช้ในการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยเลือกใช้ช่วงเวลาเดียวกับช่วงที่ได้จากการสำรวจข้อมูล ซึ่งดำเนินการจากเมนู Configuration > Measurement ดังแสดงในรูปที่ 99

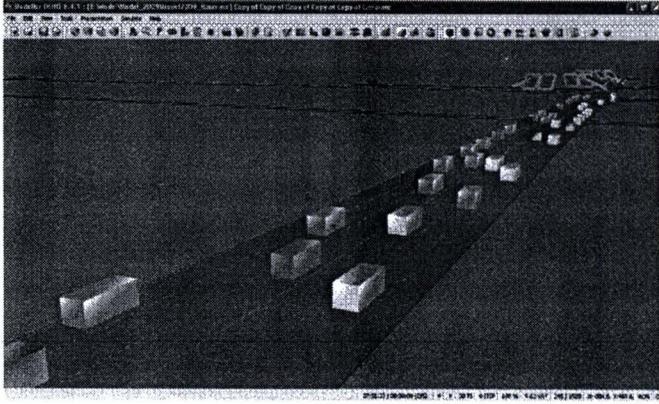


ภาพที่ 99 การตั้งค่าใน Measurements

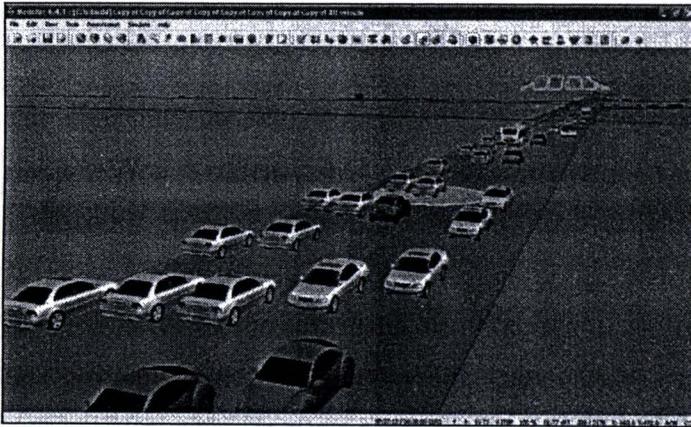
2) ผลลัพธ์ในรูปแบบภาพเคลื่อนไหว (Animation)

การแสดงผลในรูปแบบภาพเคลื่อนไหวเป็นวิธีที่ทรงประสิทธิภาพที่สุดในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของยานพาหนะและพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ว่ามีความถูกต้องสมจริงมากเพียงใด ซึ่งดำเนินการในส่วนของ PARAMICS modeler แต่อย่างไรก็ตามการสังเกตผลลัพธ์จากภาพเคลื่อนไหวที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองใช้เวลาค่อนข้างมากถ้าโครงข่ายมีขนาดใหญ่หรือมีระยะเวลาในการประมวลผลนาน ดังนั้น จึงควรใช้เครื่องมือในการตรวจสอบผลลัพธ์ในรูปแบบภาพเคลื่อนไหว เช่น การเก็บภาพนิ่ง (Snapshots) จุดที่มีการจราจรติดขัด (Hotspots) การใช้สี (Dynamic link coloring), การจับการเคลื่อนที่ของยานพาหนะแต่ละคัน (Vehicle traces) เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของภาพเคลื่อนไหว (รายละเอียดได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา)

นอกจากนั้นแล้วในเพื่อความสวยงามและการนำเสนอภาพสมจริงมากยิ่งขึ้น ในโปรแกรม PARAMICS สามารถแสดงภาพเคลื่อนไหวในลักษณะของภาพเคลื่อนไหวสามมิติในลักษณะเสมือนจริง จากการกำหนดผ่านเมนู Presentation > 3D PMX models ซึ่งประกอบด้วยภาพเสมือนสามมิติหลาย ๆ แบบ เช่น ยานพาหนะ ป้าย สัญญาณไฟจราจร เสาไฟฟ้า คนเดินเท้า และตึก เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดจะถูกสร้างขึ้นด้วยพื้นฐานจาก file 3DS models ในส่วนของ PARAMICS designer โดยการแสดงผลทั้งในรูปแบบภาพเคลื่อนไหวแบบปกติและในแบบ 3D PMX model ดังแสดงในภาพที่ 100 และภาพที่ 101



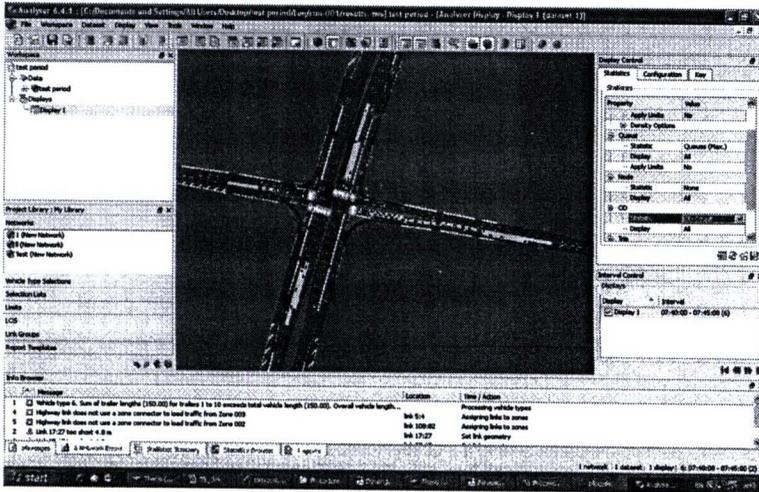
ภาพที่ 100 การแสดงผลในรูปแบบภาพเคลื่อนไหวแบบปกติ



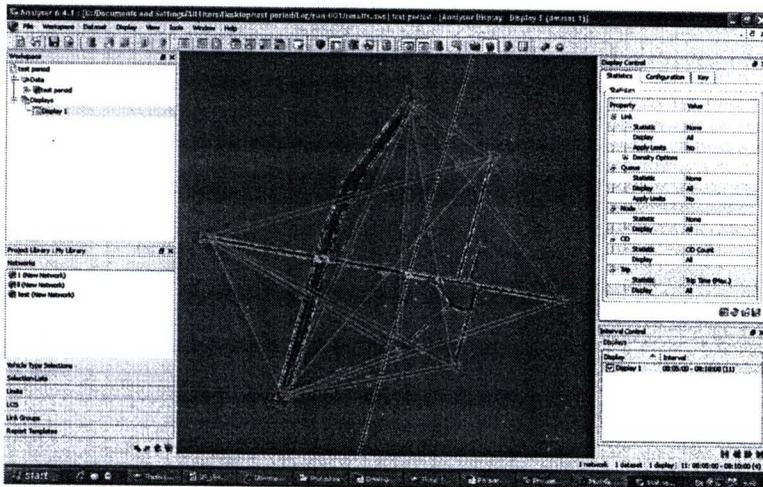
ภาพที่ 101 การแสดงผลในรูปแบบภาพเคลื่อนไหวแบบ 3D PMX model

3) ผลลัพธ์ในรูปแบบภาพกราฟฟิก (Graphic)

การแสดงผลจากการประมวลผลแบบจำลองในรูปแบบภาพกราฟฟิก จะดำเนินการในส่วนของ PARAMICS analyzer ซึ่งต้องนำเข้า file ที่ได้ทำการประมวลมาแล้วจากส่วนของ PARAMICS modeler หรือ PARAMICS processor ซึ่งทำการควบคุมการแสดงผลแบบภาพกราฟฟิกได้จากเมนู Display control > Statistics ซึ่งสามารถแสดงภาพได้หลายๆ ตัวชี้วัดค่าปริมาณจราจรโดยแบ่งเป็นหลายส่วน เช่น Link Queue Node OD และ Trip ซึ่งภาพกราฟฟิกที่แสดงออกมาจะทำให้ทราบถึงสภาพการจราจรในภาพรวมของทั้งโครงข่าย ดังภาพที่ 102 และภาพที่ 103



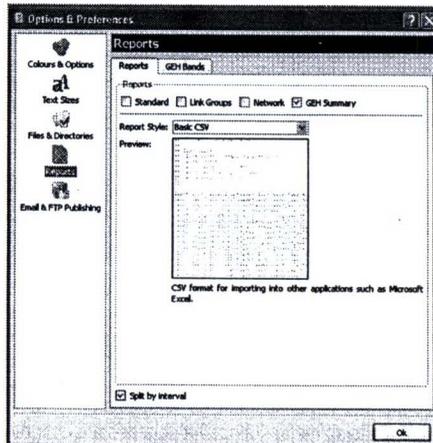
ภาพที่ 102 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบภาพกราฟฟิค (ความยาวแถวคอย)



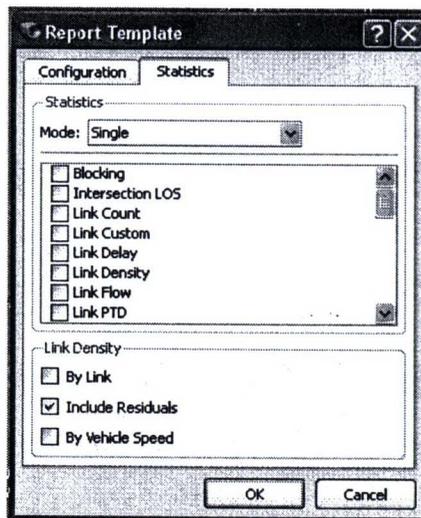
ภาพที่ 103 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบภาพกราฟฟิค (ปริมาณทางเดินทาง)

4) ผลลัพธ์ในรูปแบบข้อมูลตัวเลข (Numerical Results)

การแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบตัวเลขจะดำเนินการในส่วนของ PARAMICS analyser ซึ่งต้องนำเข้า file ที่ได้ทำการประมวลมาแล้วจากส่วนของ PARAMICS modeler หรือ PARAMICS processor การแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบตัวเลขผลลัพธ์ของการประมวลผลแบบจำลองจะอยู่ในรูปของรายงานตาราง ASCII text file โดยก่อนที่ได้ผลลัพธ์ในรูปแบบรายงานต้องทำการตั้งค่าในการแสดงผลข้อมูล จากเมนู Option > Preference > Report ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของการแสดงผลในรายงาน (Standard Link Group Network และ GEH Summary) และรูปแบบไฟล์แสดงผล (.csv หรือ .html) สำหรับการตั้งค่าการแสดงผลข้อมูลที่ต้องการในรายงานทำได้จากเมนู Add item > Report Template ดังแสดงในภาพที่ 104 และภาพที่ 105



ภาพที่ 104 การกำหนดรูปแบบของรายงาน



ภาพที่ 105 การกำหนดการแสดงผลข้อมูลในรายงาน

การศึกษานี้ได้กำหนดการแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของข้อมูลตัวเลขในลักษณะ file.csv (ภาพที่ 106) ซึ่งสามารถเปิดและทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้โดยใช้โปรแกรม Microsoft excel ทั้งนี้ได้ทำการตัดผลในช่วง 15 นาทีแรก (ช่วงที่ข้อมูลไม่มีความเสถียร) ก่อนนำผลที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านการจราจรมาทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองต่อไป

Start	Inter	End	Inter	Link	Link Type	Link Count	Link Delay	Link Flows	Link Speed
26	7:15:00	7:20:00	2:18	signalized	49	3.0664	588	23.7123	
27	7:15:00	7:20:00	2:03	signalized	78	0	936	45.9065	
28	7:15:00	7:20:00	7:02	unsignalized	80	0	960	53.8447	
29	7:15:00	7:20:00	8:07	multi lane l	80	0.44749	960	25.5537	
41	7:15:00	7:20:00	8:18	signalized	34	20.7917	288	3.96524	
42	7:15:00	7:20:00	18:49	weaving ar	71	2.09749	852	28.3882	
43	7:15:00	7:20:00	21:15.2	lane high	18	0.524475	216	26.014	
44	7:15:00	7:20:00	21:28.2	lane high	10	0	120	44.1489	
45	7:15:00	7:20:00	27:08:00	weaving ar	105	0	1260	42.176	
46	7:15:00	7:20:00	34:22:00.2	lane high	10	0	120	49.5041	
47	7:15:00	7:20:00	34:27:00	weaving ar	91	0	1092	61.5466	
48	7:15:00	7:30:00	49:26:00	multi lane l	21	0	252	43.0455	
49	7:15:00	7:20:00	49:59:00	weaving ar	74	0	888	40.3431	
50	7:15:00	7:20:00	70:54	multi lane l	32	0	444	44.4024	
51	7:15:00	7:20:00	70:30:00.2	lane high	44	0	528	28.4994	
52	7:15:00	7:20:00	15:17.2	lane high	18	0	216	12.6429	
53	7:15:00	7:20:00	17:27	unsignalized	17	0.726471	204	15.3	
54	7:15:00	7:20:00	22:21	unsignalized	10	0.092021	120	28.6397	
55	7:15:00	7:20:00	23:34	weaving ar	103	0.011154	1236	39.8755	
56	7:15:00	7:20:00	24:70	unsignalized	40	0.790213	480	33.0629	
57	7:15:00	7:20:00	24:21:00	unsignalized	41	2.2677	732	15.0482	
58	7:15:00	7:20:00	30:22:00	unsignalized	44	0.787727	528	15.2429	
59	7:15:00	7:20:00	31:25:00	multi lane l	27	0	324	43.1938	
60	7:15:00	7:20:00	31:34:00	unsignalized	63	0	756	44.2995	
61	7:15:00	7:20:00	32:18:00	multi lane l	29	0	348	41.8652	
62	7:15:00	7:20:00	32:28:00	multi lane l	13	0.00135	156	11.2552	

ภาพที่ 106 การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบ file.csv

7. การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองเป็นกระบวนการที่ทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรบางตัวในแบบจำลองเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสำรวจ การปรับเทียบแบบจำลองมีความจำเป็นอย่างยิ่งถ้าผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ได้มีผลกระทบต่อกระบวนการตัดสินใจซึ่งช่วยชี้แนะในด้านความคุ้มค่าในการลงทุน และใช้สนับสนุนการตัดสินใจในทางเลือกในการจัดการระบบการจราจร โดยแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในการศึกษาครั้งนี้จะถูกนำมาประมวลผลและนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพการจราจรที่สำรวจในสนามในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า 07.30-08.30 น. ซึ่งผลการเปรียบเทียบต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงสามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์งานด้านการจัดการจราจรต่อไป โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลอง ดังนี้

7.1 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Calibrate Target and Criteria)

วัตถุประสงค์หลักของการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อต้องการให้ผลที่ได้จากการประมวลผลของแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสำรวจในสนามมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเวลาและความพยายามในการกำจัดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลอง ดังนั้นการวิเคราะห์ต้องทราบว่าค่าที่เหมาะสมและยอมรับได้ที่สมควรที่จะหยุดกระบวนการปรับเทียบแบบจำลอง โดยเป้าหมายและเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการปรับเทียบแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคที่เป็นที่นิยมใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจและผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองอย่างแพร่หลาย เช่น DMRB, WDOT และ Austroad เป็นต้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ต่าง ๆ ข้างต้นจะพบว่ามีความคล้ายคลึงกัน เนื่องจากการประยุกต์ใช้จากเกณฑ์เริ่มต้นของ Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) Volume 12

โดยในการปรับเทียบค่าที่ได้จากการสำรวจกับค่าที่ได้จากแบบจำลองจะใช้หลักการทางสถิติของ Geoffrey E. Havers (GEH) และร้อยละของความแตกต่าง (Percentage of Different) เป็นหลัก โดยที่ค่า GEH มีความเหมาะสมกับการเปรียบเทียบค่าที่มีปริมาณสูง ๆ ดังนั้นโดยทั่วไปค่า GEH จึงมักใช้กับค่าปริมาณจราจร ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณจราจรมีช่วงค่าที่กว้าง ในค่าที่มีปริมาณจราจรสูง ค่าร้อยละของความแตกต่างอาจให้ผลลัพธ์ที่ไม่สมเหตุผล ผลตารางที่ 39 แสดงการเปรียบเทียบการใช้ค่า GEH และค่าร้อยละความแตกต่างในการปรับเทียบค่าจากแบบจำลองกับค่าจากการสำรวจ

ตารางที่ 39 ตัวอย่างการเปรียบเทียบการใช้ค่า GEH และค่าร้อยละความแตกต่างในการปรับเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการสำรวจ

ค่าจากแบบจำลอง (PCU)	ค่าจากการสำรวจ (PCU)	GEH	ความแตกต่าง
10,000	9,000	10.3	10%
1,000	900	3.2	10%
100	90	1.0	10%
10,000	9,520	4.9	5%
1,000	850	4.9	18%
100	57	4.9	75%

(Transport of London surface transport, 2006)

จากตารางที่ 39 จะเห็นว่าการเปรียบเทียบช่วงค่าปริมาณจราจร 3 ช่วงที่ต่างกัน ให้ค่าร้อยละความแตกต่างที่เท่ากันถึงแม้ว่าค่าความแตกต่างของแต่ละช่วงค่าจะต่างกันกว่า 10 เท่า ซึ่งต่างจากการใช้ค่า GEH ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความมีนัยสำคัญของปริมาณจราจรที่มีค่าสูงควรมีค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงที่เหมาะสมมากกว่าที่จะมีระดับความคลาดเคลื่อนเท่ากับปริมาณจราจรต่ำกว่า อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในช่วงค่าน้อยค่า GEH ก็ไม่ใช่ค่าที่ใช้ชีวิตในการปรับเทียบที่เหมาะสมเช่นกันเนื่องจากให้ค่าที่ยอมรับได้มีความคลาดเคลื่อนสูงมาก

อย่างไรก็ตาม Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) Volume 12 ไม่ได้มีกำหนดเกณฑ์สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองโดยใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจรหลายค่าอย่างชัดเจน เช่น ความล่าช้า ความยาวแถวคอย และความเร็ว เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้คัดเลือกเกณฑ์สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจรจากการสำรวจและจากแบบจำลองบางค่าที่ไม่มีใน Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) Volume 12 จากเกณฑ์ของหน่วยงานอื่น ๆ เพิ่มเติม ทั้งนี้เพื่อช่วยให้เกิดความ

มั่นใจในการเปรียบเทียบและประยุกต์ใช้แบบจำลองต่อไป โดยเกณฑ์สำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ ดังแสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 เกณฑ์ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ลำดับที่	ตัวชี้วัดการเปรียบเทียบ	เกณฑ์การเปรียบเทียบ	เป้าหมายการเปรียบเทียบ
1	ปริมาณจราจร (Flow) ¹	GEH<5	>85% ของกรณีทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ
2	เวลาในการเดินทาง (Travel time) ¹	± 15% (หรือไม่เกิน 1 นาที ถ้ามีความคลาดเคลื่อนสูงกว่า 15%)	>85% ของกรณีทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ
3	ความเร็วในการเดินทาง (Average Speed) ²	± 20%	>85% ของกรณีทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ
4	ความยาวแถวคอย (Queue length) ^{3,4}	± 20% (หรือ ± 5 คัน เมื่อความยาวแถวคอยที่สำรวจไม่เกิน 10 คัน หรือ ± 7 คัน เมื่อความยาวแถวคอยที่สำรวจไม่เกิน 20 คัน)	>85% ของกรณีทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ

(DMRB, 1996¹, TDMC II, 2547 อ้างถึงใน สุเมธทา ทรัพย์สิน, 2549², Syed, 2005³ และ Ove Arup & Partners Scotland Ltd., 2007⁴)

7.2 ตัวชี้วัดการเปรียบเทียบแบบจำลอง

โดยทั่วไปความถูกต้องของการเปรียบเทียบแบบจำลองจะพิจารณาโดยการเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลจากการสำรวจ เช่น ปริมาณการเดินทางจากโซนต้นทางถึงปลายทาง (Origin to Destination) ปริมาณจราจร (Traffic flows) ความยาวแถวคอย (Queue length) เวลาในการหยุดรถ (Stop time) ความล่าช้า (Delays) ความเร็ว (Traffic speeds) ความหนาแน่น (Traffic density) เวลาในการเดินทาง (Travel times) เป็นต้น ซึ่งในการเลือกค่าตัวชี้วัดสำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดในเรื่องของความยุ่งยากในวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลและค่าใช้จ่ายในการสำรวจ (Dowling et al., 2003) สำหรับการศึกษานี้ได้เลือกตัวชี้วัดที่สำคัญเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1) ปริมาณจราจร คือ ปริมาณจราจรบนช่วงถนนและปริมาณจราจรที่ทางแยก โดยที่การเปรียบเทียบปริมาณจราจรจะเป็นตัวชี้วัดที่ทำให้มั่นใจว่าปริมาณจราจรที่เข้าและออกจากโครงข่ายที่ทำการศึกษามีความใกล้เคียงกับสภาพจริง

2) ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจร ได้แก่ ความเร็ว เวลาในการเดินทาง และความยาวแถวคอย โดยที่การเปรียบเทียบตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจรจะทำให้มั่นใจได้ว่าแบบจำลองทั้งโครงข่ายมีความใกล้เคียงกับสภาวะของพื้นที่ศึกษา

โดยในกรณีของความล่าช้าจะไม่นำมาพิจารณาใช้เป็นตัวชี้วัดในการปรับเทียบแบบจำลอง เนื่องจากไม่มีหน่วยงานใดระบุเกณฑ์ในการปรับเทียบที่สามารถวัดค่าได้อย่างชัดเจนอีกทั้งมีความแตกต่างของวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิธีการคำนวณค่าของโปรแกรม ซึ่งในการเก็บข้อมูลความล่าช้าที่ได้เป็น Stopped delay ซึ่งได้จากสำรวจจำนวนรถที่หยุดคอยบริเวณทางแยกในช่วงเวลา 15 วินาที สามารถหาเวลาทั้งหมดที่รถหยุดคอยได้จากการนำจำนวนรถทั้งหมดที่หยุดคอยในช่วง 15 นาทีคูณด้วย 15 จะได้เวลาทั้งหมด และสามารถหาค่า Stopped Delay โดยหารด้วยปริมาณรถที่ผ่านทางแยกทั้งหมด (สมการที่ 19) ซึ่งแตกต่างจากค่า Delay จากการประมวลผลในโปรแกรม PARAMICS ซึ่งเป็นความล่าช้าเฉลี่ยบนช่วงถนน (Average link delay) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากเวลาในการเดินทางจริง (Actual time) ลบด้วยเวลาที่การไหลอิสระ (Free flow time) ดังสมการที่ 20

$$LinkDelay = Actualtime - FreeFlowTime \quad (20)$$

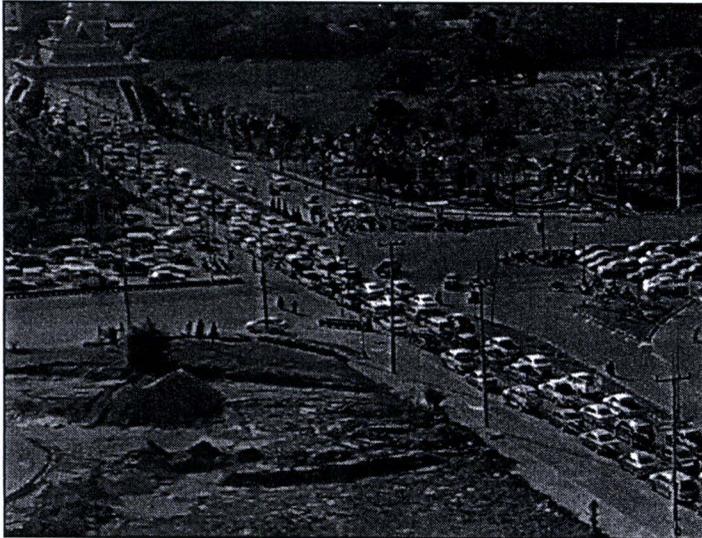
เมื่อ

Actual time	คือ เวลาจริงที่ใช้ในการเดินทาง
Free Flow Time	คือ link length/minimum speed
Link length	คือ ความยาวของช่วงเส้นทาง
Minimum speed	คือ ความเร็วที่ช้ากว่าความเร็วของช่วงเส้นทางและ ความเร็วสูงสุดของยวดยาน

7.3 ตำแหน่งของข้อมูลสำรวจที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง

จากการสังเกตภาพเคลื่อนไหวจากวิดีโอและการสำรวจข้อมูลด้านการจราจรทำให้ทราบว่าข้อมูลตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจรบางตำแหน่งที่ทำการสำรวจ มีความไม่เหมาะสมซึ่งอาจมีผลต่อความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ผลสำหรับการปรับเทียบแบบจำลองได้ โดยการศึกษาจะไม่ทำการปรับเทียบแบบจำลองสำหรับค่าความยาวแถวคอยตามแนวถนนศรีจันทร์ ขาที่เข้าสู่ทางแยกสัญญาณไฟจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีความยาวแถวคอยสะสมสูงมาก (ยาวคร่อมทางแยกประตูเมือง) จนอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดจากการสำรวจด้วยการนับแฉก (ความยาวแถวคอยมากกว่า 50 คัน) นอกจากนี้ในบางช่วงเวลายังมีแถวคอยสะสมมีความยาวข้ามทางแยก (สี่แยกประตูเมือง) ซึ่งมี

ปริมาณจราจรเกินความจุที่ช่วงถนนและทางแยกจะรองรับได้ ดังนั้น ในการเปรียบเทียบค่าความยาวแถวคอยทั้งสองจุดดังกล่าวจะทำการเปรียบเทียบด้วยการสังเกตภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวิดีโอเป็นหลักแทนการเปรียบเทียบด้วยการใช้ผลจากการประมวลผลแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการสำรวจในสนาม โดยสภาพปัญหาความยาวแถวคอยที่สูงเกินกว่าจะทำการสำรวจนับได้ ดังแสดงในภาพที่ 107

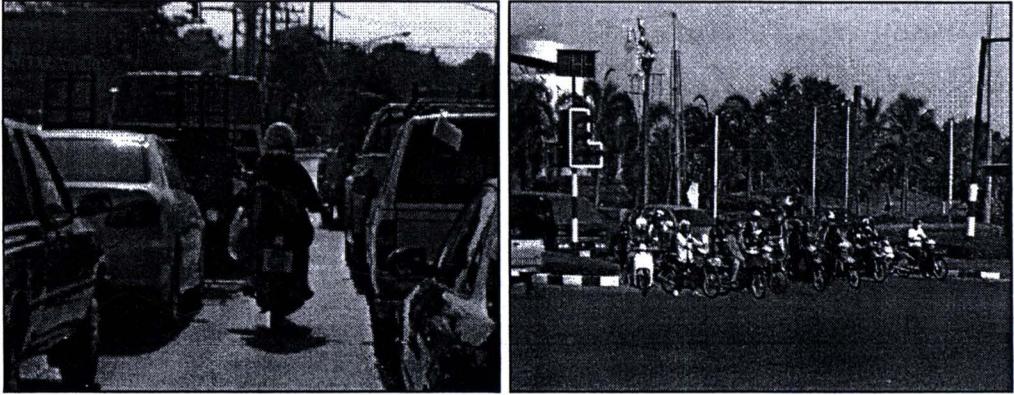


ภาพที่ 107 สภาพปัญหาความยาวแถวคอยที่สูงเกินกว่าจะทำการสำรวจนับได้

7.4 แบบจำลองฐานที่เหมาะสม

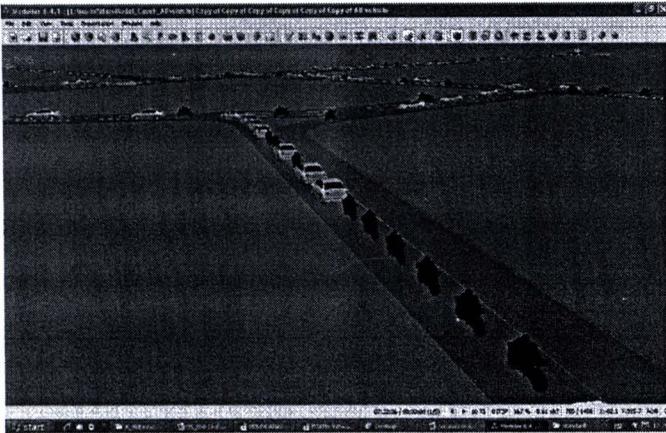
1) ผลกระทบของรถจักรยานยนต์ในแบบจำลอง

สภาพการจราจรของพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีรถจักรยานยนต์เป็นประเภทการเดินทางหลักที่มีการเลือกใช้สัญจรและเดินทางในโครงข่ายถนนเป็นสัดส่วนกว่าร้อยละ 30 ของยานยนต์ทั้งหมดที่สัญจร ส่งผลกระทบบ่อยมากต่อกระแสจราจรยิ่งไปกว่านั้นในบริเวณทางแยกที่มีการควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร เนื่องจากรถจักรยานยนต์มีส่วนทำให้ความเร็วในการเดินทางของยานประเภทอื่นลดลง สร้างปัญหาการจราจรติดขัด ด้วยขนาดและพฤติกรรมการขับขี่ของรถจักรยานยนต์ที่มีความสามารถในการขับขี่แทรกตัวไปตามช่องว่างระหว่างยานในกระแสจราจร และการพยายามที่จะแทรกตัวเข้าไปจอดคอยสัญญาณไฟจราจรบนเส้นหยุดด้านหน้ายานประเภทอื่น ๆ ที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งเป็นการรบกวนกระแสจราจรที่อยู่ด้านหลังทำให้การออกตัวเมื่อรับการตอบสนองต่อสัญญาณไฟเขียวได้ช้าลง ดังแสดงในภาพที่ 108



ภาพที่ 108 พฤติกรรมการขับขี่ของรถจักรยานยนต์

การปรับเทียบแบบจำลองฐานในการศึกษานี้ได้ให้ความสำคัญและคำนึงถึงพฤติกรรมของจักรยานยนต์ ที่มีผลกระทบและทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างแบบจำลองกับสภาพจริงในสนาม เนื่องจากโปรแกรม PARAMICS v.6.4.1 ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองไม่มีฟังก์ชันในการจำลองพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ได้โดยตรง (Quadstone PARAMICS Ltd, 2010) ซึ่งเป็นเพียงการปรับขนาดของยวดยานจากค่าเริ่มต้น (รถยนต์ส่วนบุคคล) ให้มีความใกล้เคียงกับรถจักรยานยนต์ โดยไม่สามารถกำหนดพฤติกรรมและความสามารถที่เป็นลักษณะเฉพาะของรถจักรยานยนต์ให้สมจริงได้ เช่น การขับขี่ให้สอดแทรกตามช่องว่างของกระแสจราจร การจอดคอยรอบสัญญาณไฟเขียวบริเวณด้านหน้ายวดยานประเภทอื่น เป็นต้น ดังนั้นจากประสบการณ์ในการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่า หากใช้ปริมาณจราจรแยกตามประเภทยวดยานโดยมีรถจักรยานยนต์เป็นสัดส่วนในองประกอบของกระแสจราจร จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองแสดงถึงสภาพการจราจรที่ติดขัด ความล่า และมีเวลาในการเดินทางสูงเกินความเป็นจริงอย่างมาก เนื่องจากรถจักรยานยนต์ที่จำลองขึ้นจะมีพฤติกรรมในการขับขี่เสมือนกับเป็นรถยนต์ส่วนบุคคล ซึ่งจะขับขี่ต่อท้ายยวดยานคันหน้าโดยรักษารัศมีระยะห่างเช่นเดียวกับยวดยานประเภทอื่น (Prabnasak, 2006) ดังแสดงในภาพที่ 109



ภาพที่ 109 การประยุกต์และพัฒนาแบบจำลองรถจักรยานยนต์ในโปรแกรม PARAMICS

2) แนวทางในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อลดผลกระทบของรถจักรยานยนต์ จากการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองเพื่อแก้ไขปัญหาผลกระทบของรถจักรยานยนต์มีหลายแนวทาง เช่น การใช้วิธีหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (PCU) การใช้หน่วยเทียบเท่ารถจักรยานยนต์ (MCU) วิธีช่องจราจรเสมือน (Virtual lane) และการตัดปริมาณจราจรของรถจักรยานยนต์ออกจากการประมวลผลและวิเคราะห์ผลจากแบบจำลอง เป็นต้น เพื่อลดผลกระทบจากรถจักรยานยนต์ในกระแสจราจร ซึ่งทำให้ผลลัพธ์ในการปรับเทียบแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนไปจากสภาพจริง ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองกับผลการสำรวจข้อมูลด้านการจราจรในภาคสนาม โดยยึดตามแนวทางที่กล่าวมาข้างต้น ดังตารางที่ 41 (ยกเว้นการใช้หน่วยเทียบเท่ารถจักรยานยนต์ (MCU) ซึ่งพบว่าไม่เหมาะสมกับสภาพการจราจรในพื้นที่ศึกษาเนื่องจากมีสัดส่วนของรถจักรยานยนต์ไม่สูงพอ) และมีรายละเอียดขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองแต่ละกรณีดังนี้

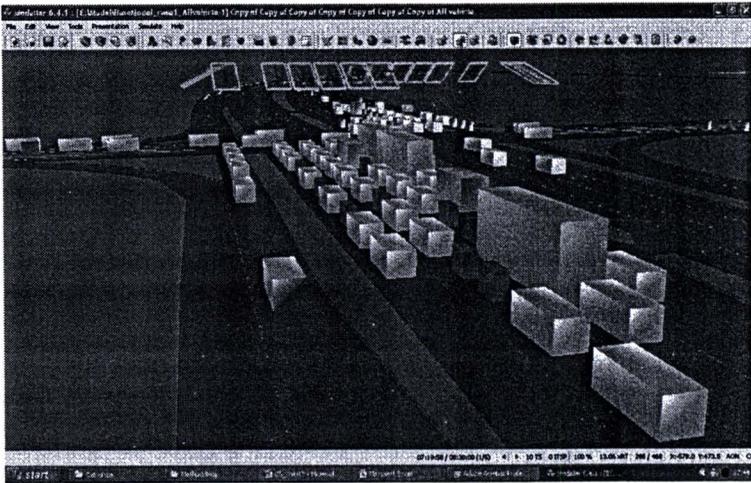
ตารางที่ 41 วิธีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อลดผลกระทบของรถจักรยานยนต์

กรณีที่	วิธีการพัฒนาแบบจำลอง
1	แบบจำลองยวดยานทุกประเภท
2	แบบจำลองเฉพาะยวดยานขนาดใหญ่ (ไม่นับรวมรถจักรยานยนต์)
3	แบบจำลองในหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (PCU)*
4	แบบจำลองช่องจราจรเสมือนสำหรับรถจักรยานยนต์

หมายเหตุ: *ในกรณีของแบบจำลองในหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล แบ่งเป็น 4 กรณีย่อย เพื่อใช้ในการทดสอบหาค่า PCU สำหรับรถจักรยานยนต์ที่เหมาะสมกับการศึกษา ได้แก่ 0.20 0.25 0.33 และ 0.50

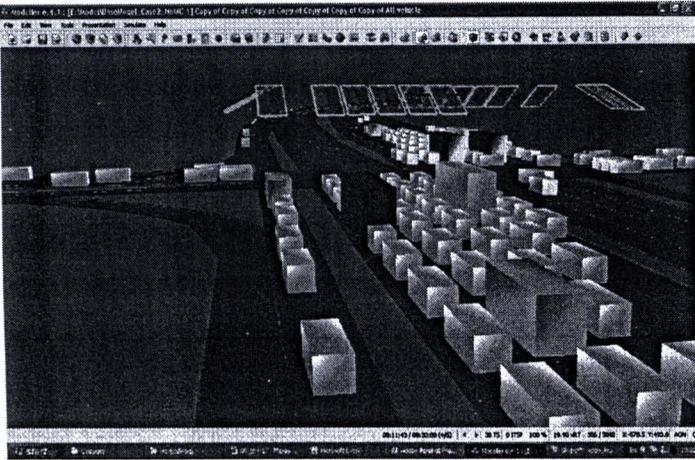
2.1) แบบจำลองขบวนการทุกประเภท (All Vehicle Model)

ในการพัฒนาแบบจำลองขบวนการทุกประเภท ใช้แบบจำลองฐานที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้ว โดยแบบจำลองขบวนการทุกประเภททำการกำหนดค่าและปริมาณการเดินทางของขบวนการทุกประเภท ได้แก่ รถจักรยานยนต์ รถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุกขนาดกลาง รถบัส และรถบรรทุกขนาดใหญ่ ซึ่งขบวนการทุกประเภทถูกจำลองโดยใช้สัดส่วน รูปร่าง คุณลักษณะเฉพาะแยกตามประเภท (แบ่งประเภทด้วยสีและขนาด) และกำหนดปริมาณการเดินทางโดยใช้ปริมาณการเดินทางจริงจากการสำรวจแยกตามประเภทเช่นกัน แบบจำลองขบวนการทุกประเภท ดังแสดงในภาพที่ 110



ภาพที่ 110 แบบจำลองขบวนการทุกประเภท

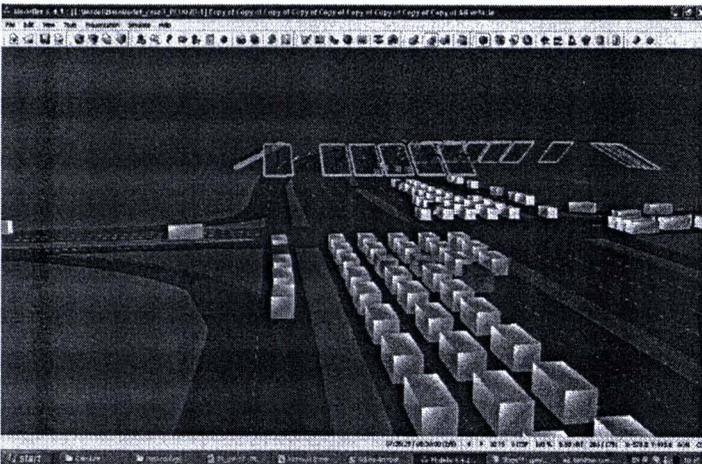
2.2) แบบจำลองเฉพาะขบวนการขนาดใหญ่ (ไม่นับรวมรถจักรยานยนต์) (No Motorcycle Model) ในการพัฒนาแบบจำลองเฉพาะขบวนการขนาดใหญ่ (ไม่นับรวมรถจักรยานยนต์) ใช้แบบจำลองฐานเดียวกันกับแบบจำลองขบวนการทุกประเภท โดยกำหนดค่าและปริมาณการเดินทางของขบวนการทุกประเภทยกเว้นรถจักรยานยนต์ (รถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุกขนาดกลาง รถบัส และรถบรรทุกขนาดใหญ่) ซึ่งขบวนการทุกประเภทถูกจำลองโดยใช้สัดส่วน รูปร่าง คุณลักษณะเฉพาะแยกตามประเภท (แบ่งประเภทด้วยสีและขนาด) และกำหนดปริมาณการเดินทางโดยใช้ปริมาณการเดินทางจริงจากการสำรวจแยกตามประเภทเช่นกัน แบบจำลองขนาดใหญ่ (ไม่นับรวมรถจักรยานยนต์) ดังแสดงในภาพที่ 111



ภาพที่ 111 แบบจำลองเฉพาะยวดยานขนาดใหญ่ (ไม้นับรวมรถจักรยานยนต์)

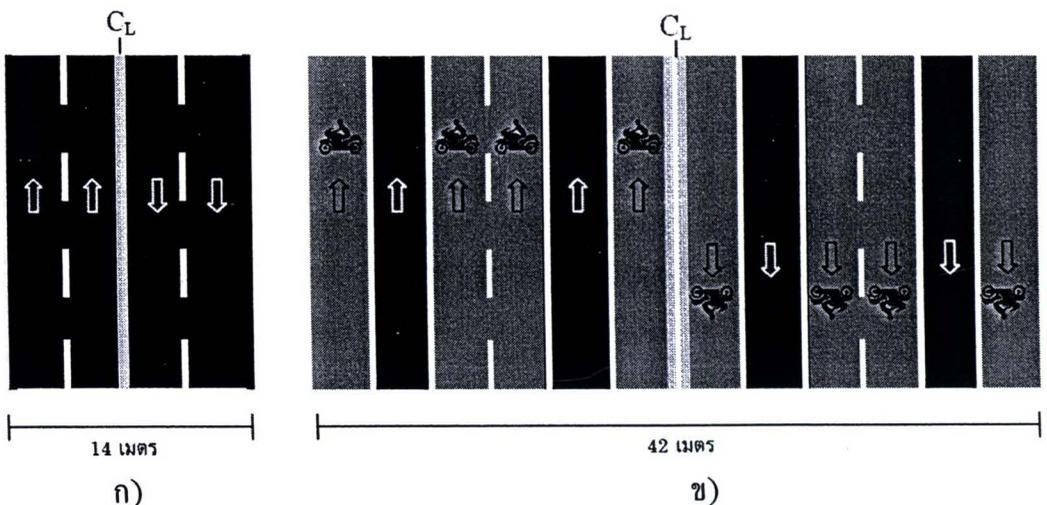
2.3) แบบจำลองในหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (PCU Model)

ในการพัฒนาแบบจำลองในหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลใช้แบบจำลองฐานเดียวกันกับแบบจำลองยวดยานทุกประเภทและแบบจำลองเฉพาะยวดยานขนาดใหญ่ (ไม้นับรวมรถจักรยานยนต์) โดยกำหนดค่าและปริมาณการเดินทางของยวดยานทุกประเภทโดยปรับให้อยู่ในหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ โดยแบบจำลองหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลแบ่งเป็น 4 กรณีย่อยแบ่งตามค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลสำหรับรถจักรยานยนต์ (ยวดยานประเภทอื่นกำหนดค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลคงที่) ได้แก่ 0.20, 0.25, 0.33 และ 0.50 ซึ่งยวดยานทุกประเภทถูกจำลองโดยใช้สัดส่วน รูปร่าง คุณลักษณะเฉพาะของรถยนต์ส่วนบุคคล (แบ่งประเภทด้วยสี) และกำหนดปริมาณการเดินทางโดยใช้ปริมาณการเดินทางที่ถูกปรับเทียบให้เป็นปริมาณการเดินทางของรถยนต์ส่วนบุคคล ดังแสดงในภาพที่ 112



ภาพที่ 112 แบบจำลองในหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล

2.4) แบบจำลองช่องจราจรเสมือนสำหรับรถจักรยานยนต์ (Virtual lane Model) ในการพัฒนาแบบจำลองช่องจราจรเสมือนสำหรับรถจักรยานยนต์ ใช้แบบจำลองฐานเดียวกันทุกกรณี แต่ทำการเพิ่มช่องจราจรสำหรับรถจักรยานยนต์ ซึ่งจากการทบทวนผลการศึกษาในการพัฒนาแบบจำลองด้วยการประยุกต์ใช้ช่องจราจรเสมือน (Virtual lane) ที่ผ่านมามีได้แนะนำให้มีช่องจราจรสำหรับรถจักรยานยนต์ในระหว่างช่องจราจรทุกช่องจราจร (รวมทั้งช่องจราจรที่ติดกับขอบคันทางและช่องจราจรที่ติดกับเกาะกลางถนน) เพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการขับขี่ของรถจักรยานยนต์ (Bonte, Espie and Mathieu, 2003) อย่างไรก็ตามในการพัฒนาแบบจำลองในการศึกษานี้ไม่สามารถจำลองช่องจราจรเสมือนสำหรับรถจักรยานยนต์ได้เช่นเดียวกับพฤติกรรมข้างต้น เนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรม PARAMICS ที่ไม่สามารถกำหนดขนาดของช่องจราจรให้มีขนาดความกว้างที่เหมาะสมกับรถจักรยานยนต์โดยเฉพาะได้หรือไม่สามารถกำหนดขนาดของช่องจราจรหลักกับช่องจราจรเฉพาะ (ช่องจราจรเสมือน) ให้มีขนาดต่างกันได้ ซึ่งโปรแกรม PARAMICS จะกำหนดให้ทุกช่องจราจรมีความกว้างเท่ากัน (Quadstone PARAMICS Ltd, 2010) ดังนั้นในกรณีที่มี 4 ช่องจราจร (ทิศทางละ 2 ช่องจราจร) โดยช่องจราจรมีความกว้างขนาดช่องจราจรละ 3.5 เมตร (ความกว้างรวม 14 เมตร) หากเพิ่มช่องจราจรให้มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมามีช่องจราจร ช่องจราจรดังกล่าวจะความกว้างถึง 42 เมตร (แสดงแนวคิดดังกล่าวดังภาพที่ 113) ซึ่งมีผลทำให้ขนาดของโครงข่ายเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นทางแยกจะมีขนาดที่กว้างกว่าเดิมอย่างมาก จนอาจเป็นเหตุให้ค่าที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนและผิดพลาดไปจากค่าที่ได้จากการสำรวจ



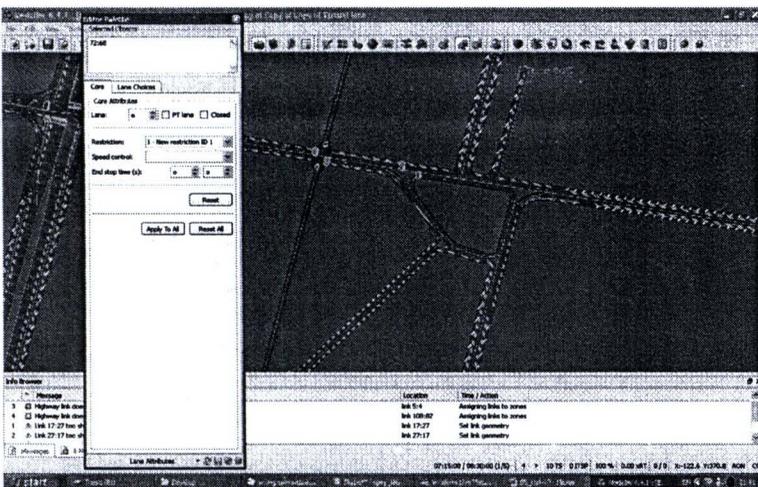
ภาพที่ 113 แนวคิดในการจำลองช่องจราจรเสมือนในโปรแกรม PARAMICS

ก) ถนนขนาด 4 ช่องจราจรปกติ

ข) ถนนขนาด 4 ช่องจราจรในแบบจำลองเมืองเพิ่มช่องจราจรเสมือนสำหรับรถจักรยานยนต์

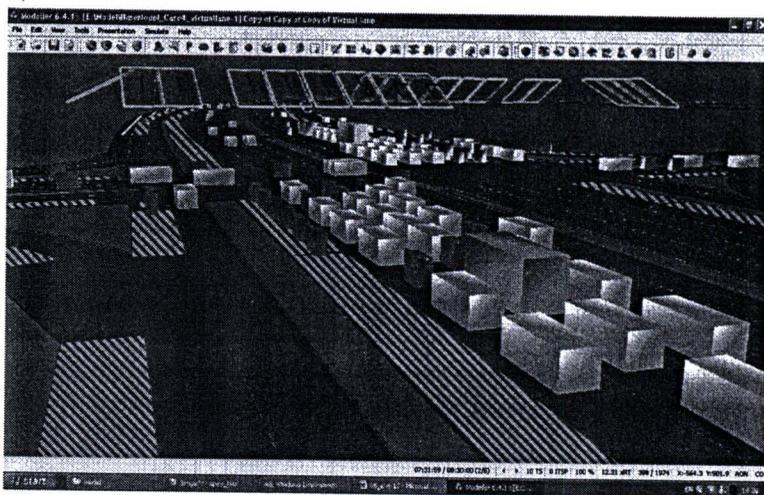
ดังนั้นในการจำลองช่องจราจรเสมือนในการศึกษาครั้งนี้ จึงทำการกำหนดช่องจราจรเสมือนสำหรับรถจักรยานยนต์เพียง 1 ช่องจราจรต่อทิศทาง สอดคล้องกับการศึกษาของ Klungboonkrong and Woolley (2003) ซึ่งทำการจำลองช่องจราจรเฉพาะสำหรับรถจักรยานยนต์ โดยกำหนดในช่องจราจรที่ติดกับคันขอบทางของทางเท้าริมถนนทั้งสองข้าง (Kerb lane) อีกทั้งพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ที่ได้จากการสังเกตภาพเคลื่อนไหวใน VDO ของพื้นที่ศึกษาซึ่งแสดงให้เห็นว่ารถจักรยานยนต์ส่วนใหญ่จะใช้ช่องจราจรซ้ายสุด การสร้างช่องจราจรเสมือนในโปรแกรม PARAMICS ทำได้โดยใช้วิธีการกำหนดช่องจราจรเพิ่มขึ้นจากช่องจราจรปกติหนึ่งช่องจราจรและกำหนดให้เป็นช่องจราจรสำหรับรถจักรยานยนต์เท่านั้นซึ่งขยวดยานประเภทอื่นจะไม่สามารถเข้ามาใช้ช่องจราจรนี้ได้ ซึ่งสามารถดำเนินการในเมนู Edit palette > lane Attributes > Restriction

อย่างไรก็ตามในการจำลองช่องจราจรเสมือนไม่สามารถกำหนดให้รถจักรยานยนต์ทุกคันเข้ามาใช้ช่องจราจรนี้ได้ทั้งหมดเนื่องจากความต้องการในการเปลี่ยนช่องจราจรหรือพฤติกรรมสุมของขยวดยานเอง นอกจากนี้แบบจำลองนี้ไม่สามารถแก้ปัญหาพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ที่แทรกตัวตามช่องว่างระหว่างช่องจราจร (ยกเว้นช่องที่ติดกับคันขอบทางช่องซ้ายสุด) และพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ที่จอดคอยสัญญาณไฟบริเวณด้านหน้าขยวดยานประเภทอื่นบริเวณเส้นหยุด โดยมีสมมติฐานว่ารถจักรยานยนต์ทุกคันขับที่ตามหลังคันหน้าอย่างเป็นระเบียบ (เนื่องจากไม่สามารถเบียดแซงรถคันหน้าในช่องจราจรเดียวกันได้) ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าช่องจราจรเสมือนที่กำหนดขึ้นนี้จะสามารถช่วยให้ปรับให้พฤติกรรมรถจักรยานยนต์ในกระแสจราจรมีความเสมือนจริงมากขึ้น ลดปริมาณรถจักรยานยนต์ที่เข้ามาใช้ช่องจราจรหลักซึ่งส่งผลต่อความยาวแถวคอยที่สูงเกินค่าที่สำรวจได้ และทำให้ผลของดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการจราจรที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองเกิดความคลื่อน ดังแสดงในภาพที่ 114



ภาพที่ 114 การกำหนดช่องจราจรเสมือนสำหรับรถจักรยานยนต์

โดยแบบจำลองช่องจราจรเสมือนทำการกำหนดค่าและปริมาณการเดินทางของยานยนต์ทุกประเภท คือ รถจักรยานยนต์ รถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุกขนาดกลาง รถบัส และรถบรรทุกขนาดใหญ่ ซึ่งยานยนต์ทุกประเภทถูกจำลองโดยใช้สัดส่วน รูปร่าง คุณลักษณะเฉพาะแยกตามประเภท (แบ่งแบ่งประเภทด้วยสีและขนาด) และกำหนดปริมาณการเดินทางโดยใช้ปริมาณการเดินทางจริงจากการสำรวจแยกตามประเภทเช่นเดียวกับแบบจำลองกรณีที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 115



ภาพที่ 115 แบบจำลองช่องจราจรเสมือนสำหรับรถจักรยานยนต์ (Virtual lane Model)

3) คัดเลือกแบบจำลองเพื่อลดผลกระทบของรถจักรยานยนต์

การคัดเลือกแบบจำลองเพื่อลดผลกระทบของรถจักรยานยนต์โดยการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองเปรียบเทียบกับตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจรที่ได้ทำการสำรวจในภาคสนาม ได้แก่ ปริมาณจราจร ความเร็วเฉลี่ย เวลาในการเดินทาง ความล่าช้า และความยาวแถวคอย นอกจากนี้ทำการเปรียบเทียบในลักษณะภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอแสดงผลของโปรแกรมกับภาพจาก VDO ที่ได้สำรวจไว้ ซึ่งการทดสอบแบบจำลองฐานเพื่อลดผลกระทบของรถจักรยานยนต์ได้ทำการกำหนดค่าของตัวแปรต่างๆ โดยใช้ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมในแบบจำลองทุกชุด ทำการประมวลผลแบบจำลองแต่ละกรณีอย่างน้อย 9 ครั้ง (หรือมากกว่า 9 ครั้งตามหลักการหาจำนวนครั้งในการประมวลผล) และนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยก่อนทำการเปรียบเทียบกับผลการสำรวจจริงในภาคสนาม ซึ่งผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกแบบจำลองฐานที่เหมาะสมมีรายละเอียดดังนี้

3.1) การเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนช่วงถนน

การเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนช่วงถนนที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองกับผลจากการสำรวจทั้งหมด 7 จุด 12 ทิศทาง (ตำแหน่งแสดงในขั้นตอนการ

เก็บข้อมูล) โดยใช้ค่า GEH, ค่าร้อยละของชุดข้อมูลที่ผ่านมาเกณฑ์ที่ยอมรับได้เป็นดัชนีชี้วัดทางสถิติสำหรับตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูล และค่าจาก Correlation Analysis สำหรับวิเคราะห์ปริมาณจราจรสะสมในหนึ่งชั่วโมงเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างผลของแบบจำลองกับผลการสำรวจว่ามีความสอดคล้องกันมากเพียงใด ซึ่งช่วงค่า R^2 ที่ถือว่าผลของข้อมูลมีความสอดคล้องต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0.85-0.95 (Lethco, Singh, Huey, Dunn and Sanagavarapu, 2009) ผลการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนช่วงถนน ดังแสดงในตารางที่ 42 และรายละเอียดการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนช่วงถนนเพิ่มเติมแสดงใน ภาคผนวก จ

ตารางที่ 42 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณจราจรบนช่วงถนน

กรณีที่	ปริมาณจราจร		GEH	% (GEH<5)	Correlation, R^2
	แบบจำลอง	จากการสำรวจ			
1	12,014	14,474	21.4	25.0	0.984
2	8,640	8,549	1.0	100.0	0.997
3.1*	9,704	9,882	1.8	100.0	0.997
3.2*	9,891	10,178	2.9	100.0	0.997
3.3*	10,288	10,791	4.9	100.0	0.995
3.4*	10,968	11,659	6.5	91.7	0.993
4	13,447	14,474	8.7	83.3	0.991

หมายเหตุ: *กรณีที่ 3.1 ใช้ PCU สำหรับรถจักรยานยนต์ ($PCU_{MC} = 0.20$) กรณีที่ 3.2 $PCU_{MC} = 0.25$ กรณีที่ 3.3 $PCU_{MC} = 0.33$ และกรณีที่ 3.4 $PCU_{MC} = 0.50$

จากตารางที่ 42 พบว่า กรณีที่ 2 มีค่า GEH ต่ำสุดเท่ากับ 1.0 โดยที่กรณีที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 มีผลความสอดคล้องของข้อมูลในลำดับรองลงมาตามลำดับ ซึ่งทั้ง 4 กรณีมีค่า GEH < 5 (อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้) ส่วนกรณีที่ 1, 3.4 และ 4 มีผลข้อมูลที่แสดงถึงความคลาดเคลื่อนสูง โดยมีค่า GEH > 5 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หากพิจารณาจากจำนวนชุดข้อมูล ที่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ปรากฏว่า เกือบทุกกรณีผ่านเกณฑ์ คือมีจำนวนชุดข้อมูลที่มีค่า GEH ต่ำกว่า 5 จำนวนร้อยละ 85 ของชุดข้อมูลทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ ยกเว้นกรณีที่ 1 และกรณีที่ 4 ซึ่งมีจำนวนร้อยละของชุดข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์ต่ำกว่าร้อยละ 85 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากค่า R^2 ทุกกรณีถือว่ามีการเปรียบเทียบที่สอดคล้องเป็นอย่างดี

ผลจากการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบริเวณช่วงถนนแสดงให้เห็นว่ากรณีที่มีปริมาณจราจรบนช่วงถนนไม่สูงมาก (กรณีที่ 2, 3) จะให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับผลการสำรวจอย่างมากเนื่องจากการที่ไม่มีแถวคอยสะสม ความล่าช้าต่ำ และยานสามารถขับขึ้นด้วยความเร็วที่เข้าใกล้กับความเร็วที่การไหลอิสระ ทำให้โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนจากการ

ปล่อยยานจากโชนต้นทางถึงโชนปลายทางในแต่ละช่วงเวลามีน้อยกว่ากรณีที่มีปริมาณจราจรสูง (กรณีที่ 1, 4) ที่เกิดความยาวแถวคอย มีความล่าช้าสูง และสามารถใช้เวลาเร็วได้ต่ำกว่าสภาพความเป็นจริง

3.2) การเปรียบเทียบปริมาณจราจรบริเวณทางแยก

ทำการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบริเวณทางแยกที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองกับผลจากการสำรวจทั้งหมด 4 ขา 12 ทิศทาง โดยใช้ค่า GEH, ร้อยละของชุดข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้เป็นดัชนีชี้วัดทางสถิติสำหรับตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูลและค่า Correlation Analysis สำหรับวิเคราะห์ปริมาณจราจรสะสมในหนึ่งชั่วโมงเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างผลของแบบจำลองกับผลการสำรวจว่ามีความสอดคล้องกันมากเพียงใด ผลการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณจราจรบริเวณทางแยกดังแสดงในตารางที่ 43 และรายละเอียดการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบริเวณทางแยกเพิ่มเติมแสดงใน ภาคผนวก จ

ตารางที่ 43 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณจราจรบริเวณทางแยก

กรณีที่	ปริมาณจราจร		GEH	% (GEH<5)	Correlation, R ²
	แบบจำลอง	จากการสำรวจ			
1	6,443	7,566	13.4	66.7	0.981
2	4,767	4,787	0.3	100	0.998
3.1	5,307	5,538	3.1	100	0.998
3.2	5,376	5,677	4.1	100	0.998
3.3	5,584	5,908	4.3	100	0.998
3.4	5,823	6,372	7.0	100	0.997
4	6,982	7,566	6.8	83.3	0.987

จากตารางที่ 43 พบว่า กรณีที่ 2 มีค่า GEH ต่ำสุดเท่ากับ 0.3 โดยที่กรณีที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 มีผลความสอดคล้องของข้อมูลรองลงมาตามลำดับ ซึ่งทั้ง 4 กรณีมีค่า GEH < 5 (อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้) ส่วนกรณีที่ 1, 3.4 และ 4 มีผลข้อมูลที่แสดงถึงความคลาดเคลื่อนสูง โดยมีค่า GEH > 5 ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หากพิจารณาจากจำนวนชุดข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ปรากฏว่า เกือบทุกกรณีผ่านเกณฑ์ คือมีจำนวนชุดข้อมูลที่มีค่า GEH ต่ำกว่า 5 จำนวนร้อยละ 85 ของชุดข้อมูลทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ ยกเว้นกรณีที่ 1 และกรณีที่ 4 ซึ่งมีจำนวนร้อยละของชุดข้อมูลที่ต่ำกว่าร้อยละ 85 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากค่า R² ทุกกรณีถือว่ามีการเปรียบเทียบที่สอดคล้องเป็นอย่างดี

ผลจากการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบริเวณทางแยกสอดคล้องกับผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนช่วงถนน ซึ่งกรณีที่มีปริมาณจราจรบนช่วงถนนไม่สูงมาก จะให้

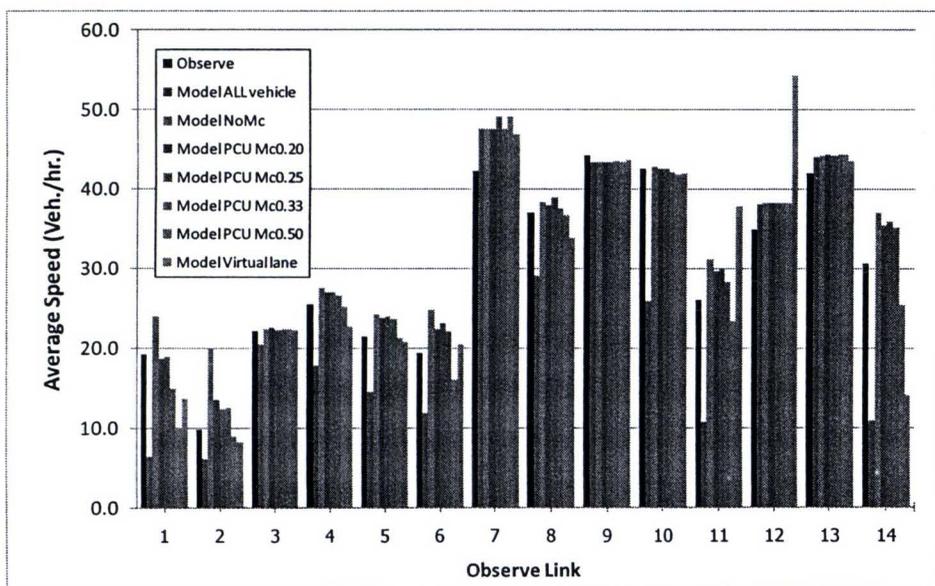
ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับผลการสำรวจอย่างมากเนื่องจากการที่ไม่มีแถวคอยสะสม ความล่าช้าต่ำ เช่นกันกับการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนช่วงถนน

3.3) เปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ย (Average Speed)

การเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองกับผลการสำรวจข้อมูลจากสนามทั้งหมด 9 ช่วงถนน 14 ทิศทาง โดยใช้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน และร้อยละของชุดข้อมูลที่ผ่านมาที่ยอมรับได้ เป็นดัชนีชี้วัดทางสถิติสำหรับตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ผลการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 44 และภาพที่ 116 โดยที่รายละเอียดการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยเพิ่มเติมแสดงใน ภาคผนวก จ

ตารางที่ 44 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ย

กรณีที่	ความคลาดเคลื่อน	
	%	% (<20%)
1	30.4	35.7
2	18.2	64.3
3.1	9.9	78.6
3.2	9.7	71.4
3.3	9.7	78.6
3.4	9.9	71.4
4	17.5	64.3



ภาพที่ 116 เปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยในแต่ละช่วงถนน

จากตารางที่ 44 และภาพที่ 116 พบว่า กรณีที่ 3.2 และ 3.3 มีค่าร้อยละ ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากันคือ 9.7 โดยที่กรณีที่ 3.1 และ 3.4 มีผลความสอดคล้องของ ข้อมูลในลำดับรองลงมาเท่ากัน ซึ่งทั้ง 4 กรณีมีค่าร้อยละความแตกต่าง < 15 (อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้) ส่วนกรณีที่ 1, 2 และ 4 มีความคลาดเคลื่อนสูงเกินกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่อย่างไร ก็ตามหากพิจารณาจากจำนวนชุดข้อมูล ที่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ปรากฏว่า ไม่มีกรณีใดเลย ที่ผ่านเกณฑ์ คือมีจำนวนชุดข้อมูลที่มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 15 จำนวนร้อยละ 85 ของชุดข้อมูลทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ โดยกรณีที่ 3.3 มีจำนวนชุดข้อมูลผ่านเกณฑ์สูงสุด เท่ากับร้อยละ 78.6 ทั้งนี้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกินจากเกณฑ์การเปรียบเทียบเนื่องจากแบบจำลอง ที่ทำการทดสอบยังไม่ได้ผ่านกระบวนการปรับเทียบแบบจำลอง ความเร็วบนช่วงถนน (Link speed) ที่กำหนดเป็นค่าเริ่มต้นของโปรแกรมที่กำหนดตามประเภทของช่วงถนน ซึ่งต่างจากสภาพการ ขับขี่จริงในพื้นที่ศึกษาอย่างมาก

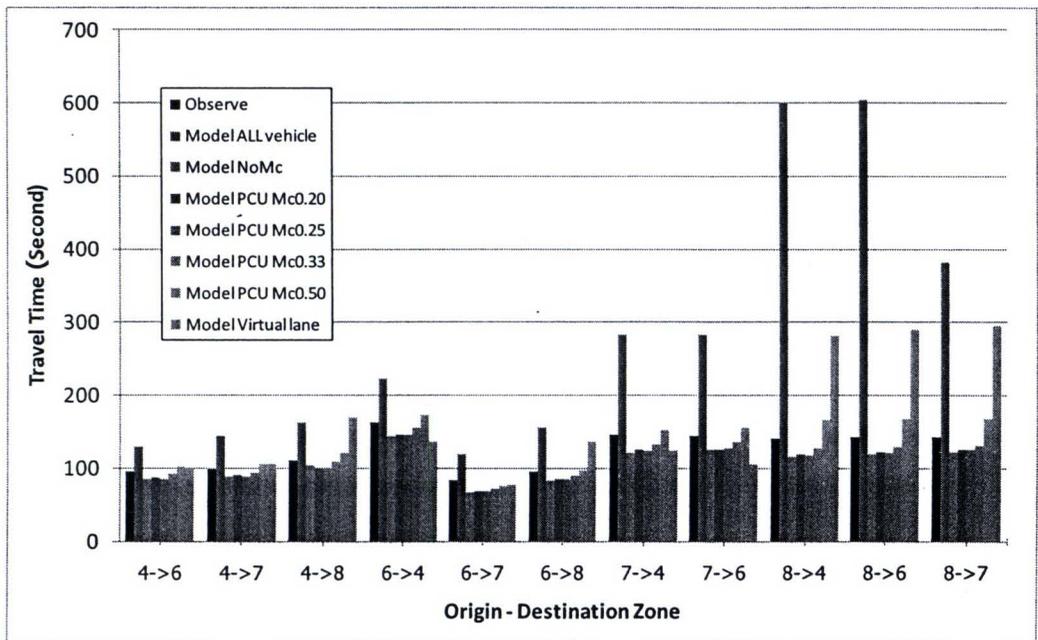
ผลจากการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางแสดงให้เห็นว่า กรณีที่มีปริมาณจราจรสูงเกินสภาพความเป็นจริง (กรณีที่ 1, 4) จะให้ความเร็วต่ำกว่าค่า ความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการสำรวจมาก เนื่องจากทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด เกิดความล่าช้า ส่งผลให้ความเร็วแตกต่างจากสภาพจริง ทั้งนี้เพราะพฤติกรรมของรถจักรยานยนต์ที่ไม่สมจริงใน แบบจำลองที่ซับซ้อนในกระแสจราจรโดยการรักษาระยะห่างระหว่างยวดยานแต่ละคัน (Clearance) เสมือนว่าเป็นรถยนต์ส่วนบุคคล แต่ในกรณีที่ตัดรถจักรยานยนต์ออกจากปริมาณจราจรที่ใช้ใน แบบจำลอง (กรณีที่ 2) จะส่งผลให้ปริมาณจราจรต่ำกว่าความเป็นจริงทำให้ความเร็วสูงกว่า สภาพจริง ดังนั้น กรณีที่ผลการเปรียบเทียบมีความสอดคล้องจึงเป็นกรณีที่ทำการปรับเปลี่ยน ปริมาณรถจักรยานยนต์ให้เป็นหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลในอัตราส่วนที่เหมาะสม (กรณีที่ 3)

3.4) การเปรียบเทียบเวลาในการเดินทาง (Travel time)

ทำการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทางที่ได้จากการประมวลผล แบบจำลองกับผลการสำรวจข้อมูลเวลาในการเดินทางจริงจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง ทั้งหมด 12 คู่โหนด โดยใช้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน และร้อยละของชุดข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์ที่ ยอมรับได้เป็นดัชนีชี้วัดทางสถิติสำหรับตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ผลการวิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบเวลาในการเดินทาง ดังแสดงในตารางที่ 45 และภาพที่ 117 โดยที่รายละเอียด การเปรียบเทียบเวลาในการเดินทางเพิ่มเติมแสดงใน ภาคผนวก จ

ตารางที่ 45 ผลการวิเคราะห์เวลาในการเดินทาง

กรณีศึกษา	ความคลาดเคลื่อน	
	%	% (<15%)
1	116.1	0.0
2	13.7	63.6
3.1	12.3	81.8
3.2	6.7	63.6
3.3	3.6	100.0
3.4	5.1	72.7
4	43.9	27.3



ภาพที่ 117 เปรียบเทียบเวลาในการเดินทาง

จากตารางที่ 45 และภาพที่ 117 ซึ่งแสดงผลลัพธ์ 11 คู่โซน (เวลาในการเดินทางจากโซน 7 ไปยังโซน 8 ไม่แสดงค่าเนื่องจากมีจำนวนตัวอย่างน้อยเกินไปจนไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ) พบว่า กรณีที่ 3.3 มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 3.6 โดยที่กรณีที่ 3.4, 3.2, 3.1 และ 2 มีผลความสอดคล้องของข้อมูลรองลงมาตามลำดับ ซึ่งทั้ง 5 กรณีมีค่าร้อยละความแตกต่าง < 15 (อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้) ส่วนกรณีที่ 4 และ 1 มีความคลาดเคลื่อนสูงเกินกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หากพิจารณาจากจำนวนชุดข้อมูล (ช่วงเวลาในการเดินทางแต่ละคู่โซน)

ที่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ปรากฏว่า มีเพียงกรณีที่ 3.3 ที่มีจำนวนชุดข้อมูลที่มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 15 จำนวนร้อยละ 85 ของชุดข้อมูลทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ

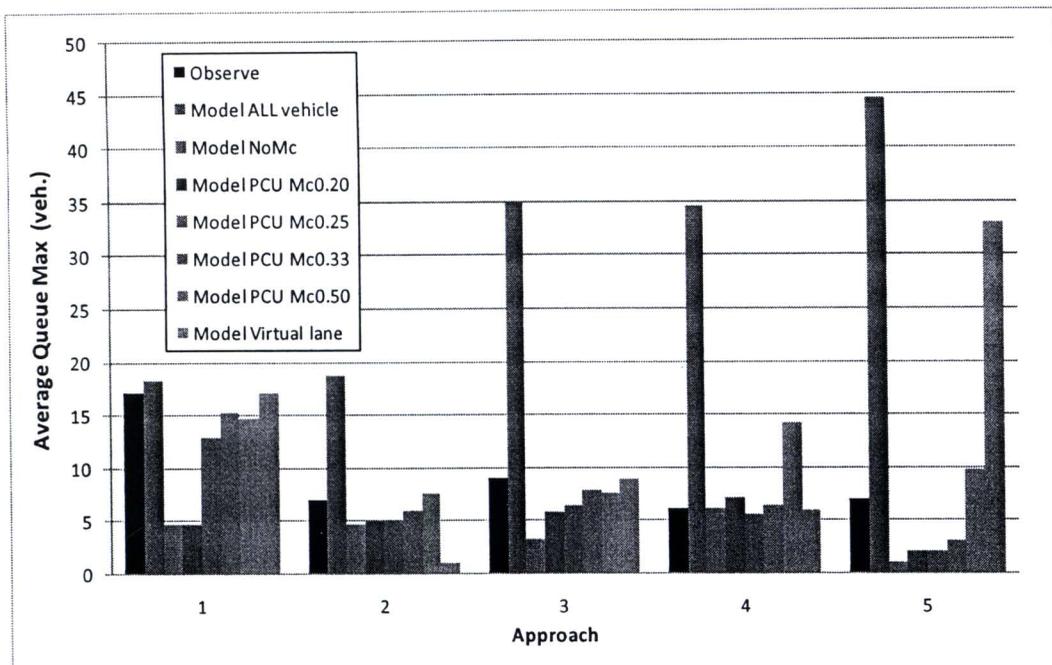
ผลจากการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทางแสดงให้เห็นว่า กรณีที่มีปริมาณจราจรสูงเกินสภาพความเป็นจริง (กรณีที่ 1 และ 4) จะให้ค่าเวลาในการเดินทางที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการสำรวจ เนื่องจากมีปัญหาการจราจรติดขัด เกิดความล่าช้า ทั้งนี้เพราะพฤติกรรมของรถจักรยานยนต์ที่ไม่สมจริงในแบบจำลองที่ซับซ้อนในกระแสจราจรโดยการรักษาระยะห่างระหว่างยานแต่ละคันเสมือนว่าเป็นรถยนต์ส่วนบุคคล แต่ในกรณีที่ตัดรถจักรยานยนต์ออกจากปริมาณจราจรที่ใช้กำหนดการเดินทางของแบบจำลอง (กรณีที่ 2) จะส่งผลให้ปริมาณจราจรต่ำกว่าความเป็นจริง ทำให้เวลาในการเดินทางน้อยกว่าสภาพจริง ดังนั้น กรณีที่ผลการเปรียบเทียบมีความสอดคล้องจึงเป็นกรณีที่ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณรถจักรยานยนต์ให้เป็นหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลในอัตราส่วนที่เหมาะสม (กรณีที่ 3)

3.5) การเปรียบเทียบความยาวแถวคอย (Queue Length)

ทำการเปรียบเทียบความยาวแถวคอยที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองกับผลการสำรวจข้อความยาวแถวคอยจากสนามทั้งหมด 5 จุด (โดยไม่ทำการเปรียบเทียบขาที่เข้าสู่สัญญาณไฟจราจรบนถนนศรีจันทร์ โดยใช้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนและค่าร้อยละของชุดข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้เป็นดัชนีชี้วัดทางสถิติสำหรับตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ผลการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบเวลาในการเดินทาง ดังแสดงในตารางที่ 46 และภาพที่ 118 โดยที่รายละเอียดการเปรียบเทียบความยาวแถวคอยเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก จ

ตารางที่ 46 ผลการวิเคราะห์ความยาวแถวคอย

กรณีที่	ความคลาดเคลื่อน	
	%	% (<20%)
1	294.5	20.0
2	51.6	20.0
3.1	48.4	20.0
3.2	32.6	20.0
3.3	20.7	80.0
3.4	42.2	60.0
4	92.0	60.0



ภาพที่ 118 เปรียบเทียบความยาวแถวคอย

จากตารางที่ 46 และภาพที่ 118 พบว่า กรณีที่ 3.3 มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 20.7 โดยกรณีที่ 1 มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดกว่าร้อยละ 294.5 แต่อย่างไรก็ตามปรากฏว่า ไม่มีกรณีใดเลยที่ผ่านเกณฑ์ยอมรับได้คือค่าร้อยละความแตกต่าง < 15 ทั้งนี้เนื่องจากความยาวแถวคอยมีค่าของข้อมูลค่อนข้างต่ำ (โดยเฉพาะบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อฯ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 5 - 10 คัน) การใช้ร้อยละของความคลาดเคลื่อนเพียงอย่างเดียวเป็นตัวชี้วัดความถูกต้องจึงอาจยังไม่เหมาะสม ซึ่งในขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองจะใช้เกณฑ์ของ Ove Arup & Partners Scotland Ltd. (2007) ที่ระบุความคลาดเคลื่อนที่ใช้ในการเปรียบเทียบความยาวแถวคอยเป็นจำนวนคันควบคู่ไปกับการใช้ร้อยละของความคลาดเคลื่อน (ดังแสดงในตารางที่ 40 ในหัวข้อเกณฑ์การปรับเทียบแบบจำลอง) โดยในการเปรียบเทียบความยาวแถวคอยในการทดสอบนี้เป็นเพียงแนวทางและแสดงถึงแนวโน้มของการเปรียบเทียบผลลัพธ์เบื้องต้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองฐานที่เหมาะสมเท่านั้น

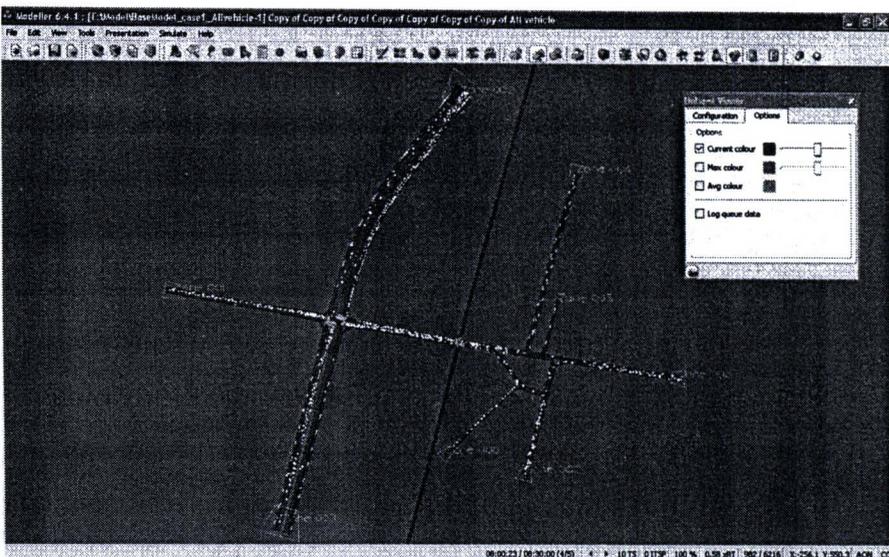
ผลจากการเปรียบเทียบความยาวแถวคอยแสดงให้เห็นว่า กรณีที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณจราจรของรถจักรยานยนต์ (กรณีที่ 1 และ 4) ให้เป็นหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลจะมีความยาวแถวคอยที่สูงเกินความเป็นจริง ทั้งนี้เพราะพฤติกรรมของรถจักรยานยนต์ที่ไม่สมจริงในแบบจำลอง ที่ซับซ้อนในกระแสจราจรโดยการรักษาระยะห่างระหว่างขบวนแต่ละคันเสมือนว่าเป็นรถยนต์ส่วนบุคคล และไม่สามารถเคลื่อนตัวแทรกตามช่องว่างของรถยนต์ระหว่างช่องจราจรเพื่อไปการจอดคอยด้านหน้าของรถยนต์ได้ดังสภาพจริง จึงทำให้เกิดแถวคอยสูงยาวกว่าที่ควรจะเป็น แต่ในกรณีที่ตัดรถจักรยานยนต์ส่วนบุคคลออกจากปริมาณ

จราจรในแบบจำลอง (กรณีที่ 2) ก็มีความยาวแถวคอยน้อยเกินไปไม่เหมือนสภาพจริง ทั้งนี้เนื่องจากขบวนรถวิ่งได้อย่างอิสระโดยขาดผลกระทบหรือการรบกวนจากรถจักรยานยนต์ซึ่งมีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 30 ดังนั้น กรณีที่ผลการเปรียบเทียบมีความสอดคล้องจึงเป็นกรณีที่ทำการแปลงปริมาณรถจักรยานยนต์ให้เป็นหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลในอัตราส่วนที่เหมาะสม (กรณีที่ 3)

3.6) ภาพเคลื่อนไหว (Animation)

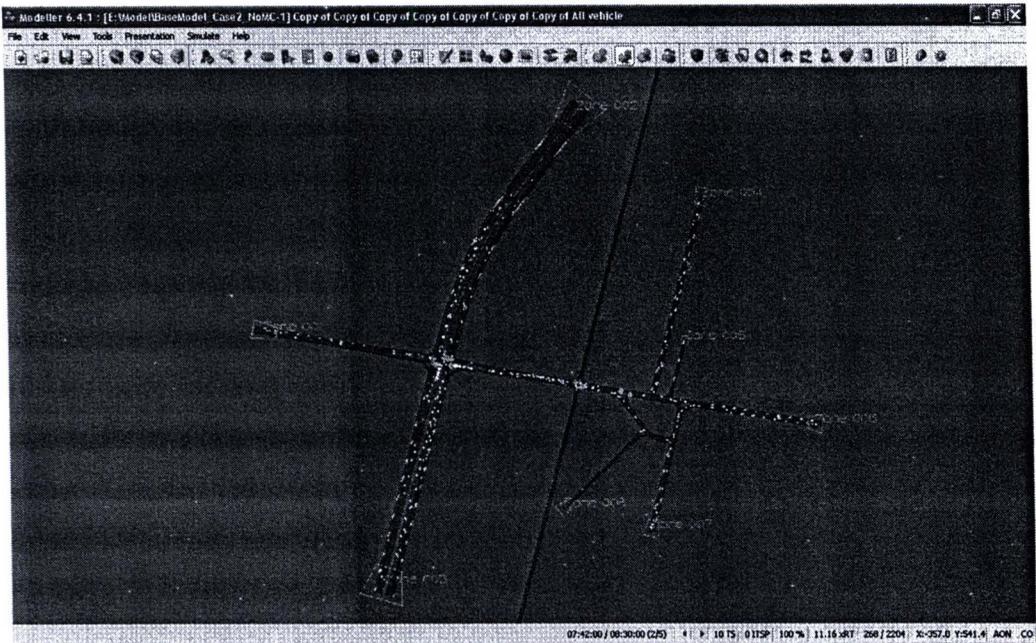
ทำการเปรียบเทียบภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรมกับผลการบันทึกสภาพการจราจรจริงในสนามด้วย VDO ในภาพรวมของประสิทธิภาพการจราจรทั้งโครงข่าย พบข้อสังเกตถึงความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างแบบจำลองกับสภาพการจราจรจากการสำรวจ ดังนี้

กรณีที่ 1 จากการสังเกตภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรม ในกรณีที่ 1 พบว่า มีความยาวแถวคอยสูงเกินสภาพความเป็นจริงในหลาย ๆ จุดที่เข้าสู่ทางแยก เช่น ถนนประชาสำราญ ถนนตรุณสำราญ ถนนมิตรภาพมุ่งเหนือ และถนนมิตรภาพมุ่งใต้ และเกิดปัญหาการจราจรติดขัดในตำแหน่งและช่วงถนนซึ่งแตกต่างจากภาพในกล้อง VDO ที่ได้ทำการบันทึกไว้ เช่น ช่องจราจรสำหรับรถเลี้ยวเข้าเมืองบนถนนมิตรภาพทั้งทิศมุ่งเหนือและทิศมุ่งใต้ ถนนประชาสำราญ และถนนตรุณสำราญ นอกจากนั้นยังพบว่า มีปัญหาไม่สามารถปล่อยขบวนออกจากโซนทางใต้ตามจำนวนและเวลาที่กำหนดเนื่องจากปัญหาการจราจรติดขัดทำให้ขบวนรถติดแถวคอยยาวขวางอยู่ด้านหน้าโซนต้นทาง เช่น โซนที่ 2, 7 และ 8 โดยภาพรวมมีผลการจำลองที่ไม่เหมือนกับสภาพที่ทำการสำรวจเนื่องจากมีปริมาณขบวนรถหนาแน่นเกินจริง ดังแสดงในภาพที่ 119



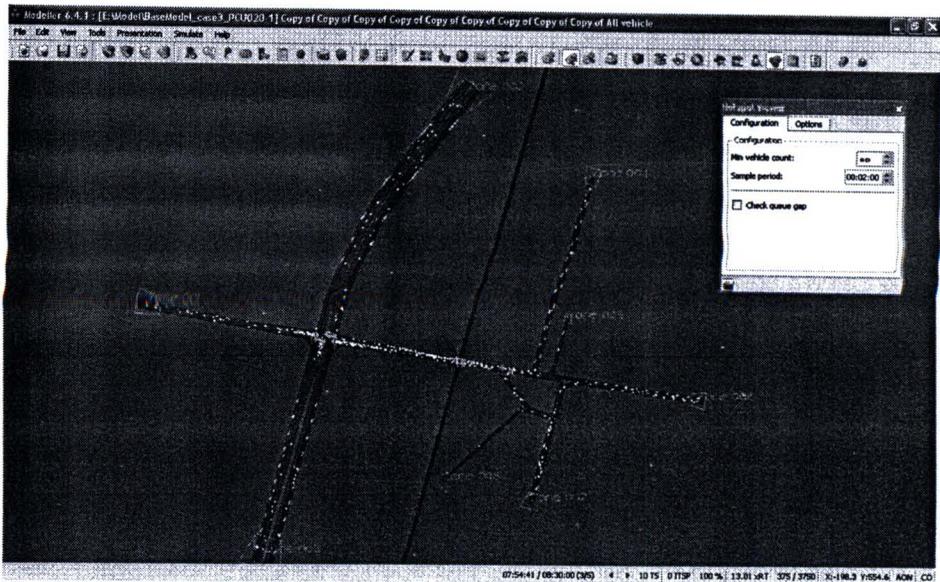
ภาพที่ 119 การแสดงภาพเคลื่อนไหวกรณีที่ 1

กรณีที่ 2 จากการสังเกตภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรม ในกรณีที่ 2 พบว่า มีความยาวแถวคอยต่ำกว่าสภาพความเป็นจริงในทุกขาที่เข้าสู่ทางแยก และ ไม่เกิดปัญหาการจราจรติดขัดในตำแหน่งและช่วงถนนใดๆ เลย ซึ่งแตกต่างจากภาพในกล้อง VDO ที่ได้ทำการบันทึกไว้ โดยภาพรวมมีผลการจำลองที่ไม่เหมือนกับสภาพที่ทำการสำรวจเนื่องจาก มีปริมาณยานพาหนะบางเกินจริง ดังแสดงในภาพที่ 120



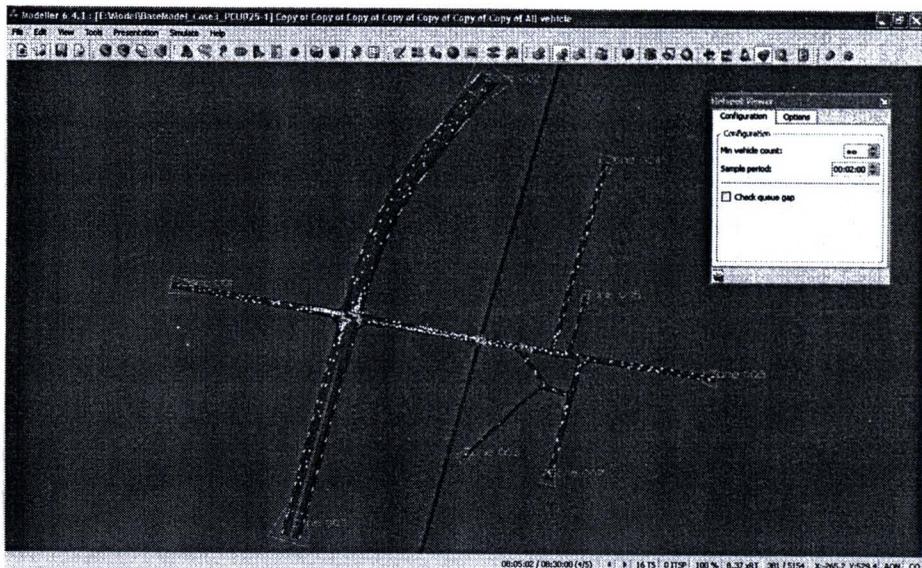
ภาพที่ 120 การแสดงภาพเคลื่อนไหวกรณีที่ 2

กรณีที่ 3.1 จากการสังเกตภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรม ในกรณีที่ 3.1 พบว่า มีความยาวแถวคอยต่ำกว่าสภาพความเป็นจริงในทุกขาที่เข้าสู่ทางแยก และมีสภาพปัญหาการจราจรติดขัดอย่างเบาบางในช่วงถนนศรีจันทร์ช่วงที่เข้าสู่สี่แยกประตูเมืองและห้าแยกศาลเจ้าพ่อ แตกต่างจากภาพในกล้อง VDO ที่ได้ทำการบันทึกไว้ซึ่งมีปัญหาการจราจรติดขัดเพียงอย่างมาก โดยภาพรวมมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงมากกว่ากรณีที่ 1 และ 2 ดังแสดงในภาพที่ 121



ภาพที่ 121 การแสดงภาพเคลื่อนไหวกรณีที่ 3.1

กรณีที่ 3.2 จากการสังเกตภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรม ในกรณีที่ 3.2 พบว่า มีความยาวแถวคอยต่ำกว่าสภาพความเป็นจริงในบางขาที่เข้าสู่ทางแยกเล็กน้อย เช่น ถนนศรีจันทร์ ถนนมิตรภาพ และถนนประชาสำราญ เป็นต้น และมีสภาพปัญหาการจราจรติดขัดในช่วงถนนศรีจันทร์ช่วงที่เข้าสู่ห้าแยกศาลเจ้าพ่อ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ปรากฏในกล้อง VDO แต่ไม่พบปัญหาการจราจรติดขัดบนช่วงถนนที่เข้าสู่สี่แยกประตูเมืองซึ่งเป็นอีกตำแหน่งที่มีปัญหาการจราจรติดขัด ที่ได้ทำการบันทึกไว้ โดยภาพรวมมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงอย่างมาก ดังแสดงในภาพที่ 122



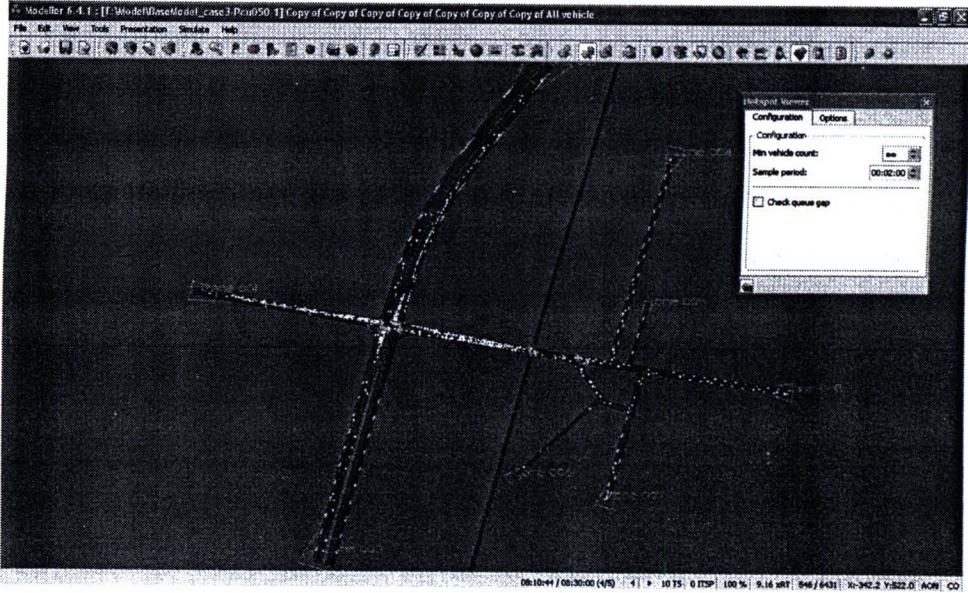
ภาพที่ 122 การแสดงภาพเคลื่อนไหวกรณีที่ 3.2

กรณีศึกษา 3.3 จากการสังเกตภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรม ในกรณีศึกษา 3.3 พบว่า มีความยาวแถวคอยใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง และมีสภาพปัญหาการจราจรติดขัดในช่วงถนนศรีจันทร์ช่วงที่เข้าสู่สี่แยกประตูเมืองและห้าแยกศาลเจ้าพ่อ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ปรากฏในกล้อง VDO ที่ได้ทำการบันทึกไว้ โดยภาพรวมมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงอย่างมาก ดังแสดงในภาพที่ 123



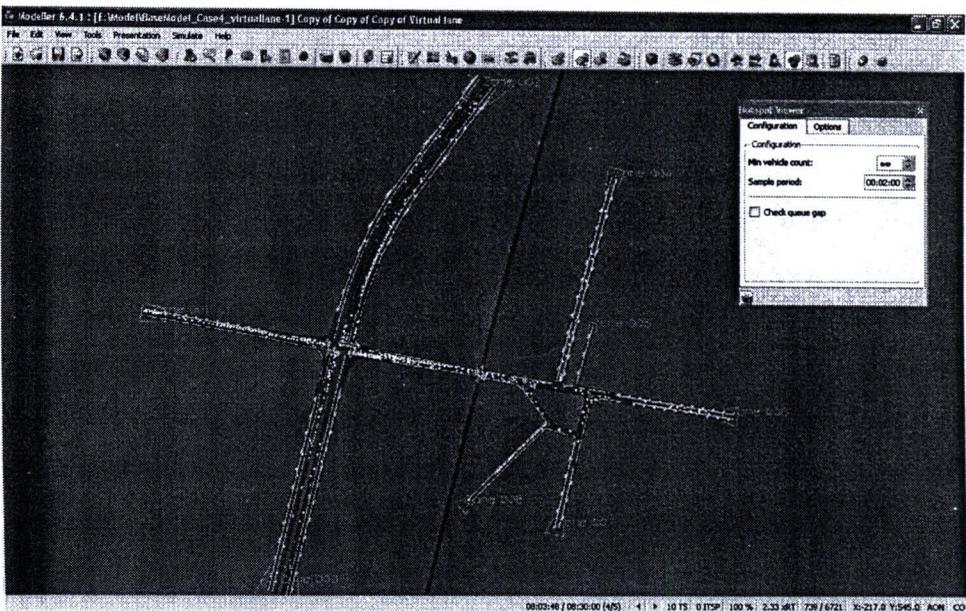
ภาพที่ 123 การแสดงภาพเคลื่อนไหวกรณีศึกษา 3.3

กรณีศึกษา 3.4 จากการสังเกตภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรม ในกรณีศึกษา 3.4 พบว่า มีความยาวแถวคอยใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง และมีสภาพปัญหาการจราจรติดขัดในช่วงถนนศรีจันทร์ช่วงที่เข้าสู่สี่แยกประตูเมืองและห้าแยกศาลเจ้าพ่อ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ปรากฏในกล้อง VDO ที่ได้ทำการบันทึกไว้ แต่มีสภาพการจราจรที่ติดขัดเกิดจริงเล็กน้อย โดยภาพรวมมีความใกล้เคียงกับสภาพจริง ดังแสดงในภาพที่ 124



ภาพที่ 124 การแสดงภาพเคลื่อนไหวกรณีที่ 3.4

กรณีที่ 4 จากการสังเกตภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรม ในกรณีที่ 4 พบว่า มีความยาวแถวคอยใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง มีเพียงบางขาที่เข้าสู่ทางแยกที่และมีปริมาณแถวคอยสูงกว่าสภาพจริง เช่น ถนนตรุณสำราญ ถนนมิตรภาพมุ่งเหนือ และมุ่งใต้ เช่นเดียวกับสภาพปัญหาการจราจรติดขัดที่เกิดขึ้นเกินจริงในบางช่วงถนน ได้แก่ ถนนมิตรภาพมุ่งเหนือและมุ่งใต้ และถนนตรุณสำราญ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แตกต่างจากภาพในกล้อง VDO ที่ได้ทำการบันทึกไว้ โดยภาพรวมมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงอย่างมาก



ภาพที่ 125 การแสดงภาพเคลื่อนไหวกรณีที่ 4

3.7) สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลองฐานที่เหมาะสม

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองกับผลที่ได้จากการสำรวจจริง ที่พิจารณาจากตัวชี้วัดการปรับเทียบแบบจำลองและการแสดงภาพเคลื่อนไหวในแต่ละกรณีที่ทำการศึกษา สามารถสรุปผลการวิเคราะห์และจัดลำดับแบบจำลองฐานที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 47

ตารางที่ 47 สรุปการจัดลำดับแบบจำลองฐานที่ทำการศึกษา

ลำดับ	ปริมาณจราจรบนช่วงถนน	ปริมาณจราจรที่ทางแยก	เวลาในการเดินทาง	ภาพเคลื่อนไหว
1	กรณีที่ 2 (GEH = 1.0)	กรณีที่ 2 (GEH = 0.3)	กรณีที่ 3.3 (%Diff = 3.6)	กรณีที่ 3.3
2	กรณีที่ 3.1 (GEH = 1.8)	กรณีที่ 3.1 (GEH = 3.1)	กรณีที่ 3.4 (%Diff = 5.1)	กรณีที่ 3.2
3	กรณีที่ 3.2 (GEH = 2.9)	กรณีที่ 3.2 (GEH = 4.1)	กรณีที่ 3.2 (%Diff = 6.7)	กรณีที่ 3.4
4	กรณีที่ 3.3 (GEH = 4.9)	กรณีที่ 3.3 (GEH = 4.3)	กรณีที่ 3.1 (%Diff = 12.3)	กรณีที่ 3.1
5	กรณีที่ 3.4 (GEH = 6.5)	กรณีที่ 4 (GEH = 6.8)	กรณีที่ 2 (%Diff = 13.7)	กรณีที่ 4
6	กรณีที่ 4 (GEH = 8.7)	กรณีที่ 3.4 (GEH = 7.0)	กรณีที่ 4 (%Diff = 43.9)	กรณีที่ 1
7	กรณีที่ 1 (GEH = 21.4)	กรณีที่ 1 (GEH = 13.4)	กรณีที่ 1 (%Diff = 116.1)	กรณีที่ 2

จากตารางที่ 47 ซึ่งได้ทำการสรุปจัดลำดับแบบจำลองฐานที่ทำการศึกษาโดยไม่ทำการเปรียบเทียบค่าความยาวแถวคอยและความเร็ว เนื่องจากผลการทดสอบทั้งสองตัวชี้วัดไม่มีแบบจำลองฐานใดที่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงไม่เหมาะสมในการนำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาจัดลำดับ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะปริมาณจราจรบนช่วงถนน ปริมาณจราจรที่ทางแยก เวลาในการเดินทาง และการแสดงภาพเคลื่อนไหว พบว่า กรณีที่ 3.3 ซึ่งทำการแปลงขนาดยานทุกประเภทให้เป็นหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger Car Unit, PCU) โดยกำหนดค่า PCU สำหรับรถจักรยานยนต์เท่ากับ 0.33 เป็นแบบจำลองฐานมีความเหมาะสมสูงสุดสำหรับนำไปใช้ในการปรับเทียบ ตรวจสอบความถูกต้อง และประยุกต์ใช้กับทางเลือกในการแก้ปัญหา เนื่องจากมีลำดับความสำคัญในการเปรียบเทียบตัวชี้วัดที่สำคัญในลำดับที่ 1 ได้แก่

เวลาในการเดินทาง และภาพเคลื่อนไหว นอกจากนั้นสำหรับการเปรียบเทียบปริมาณจราจร บริเวณช่วงถนนและทางแยกก็พบว่ามีการเปรียบเทียบที่อยู่ในลำดับต้น ๆ และมีผลการเปรียบเทียบที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองที่ทำการแปลงเวลายานทุกประเภทให้เป็นหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล โดยกำหนดค่า PCU สำหรับรถจักรยานยนต์ (PCU_{MC}) เท่ากับ 0.33 เป็นแนวทางที่มีความเหมาะสมสูงสุดในการนำไปใช้เป็นแบบจำลองฐานเพื่อเข้าสู่กระบวนการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองต่อไป

3.7.1) ตัวแปรในการปรับเทียบแบบจำลอง

ในการคัดเลือกตัวแปรที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง เป็นขั้นตอนแรกก่อนเริ่มทำการปรับเทียบแบบจำลอง โดยมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องการลดจำนวนตัวแปรที่ต้องทำการปรับค่าในกระบวนการปรับเทียบแบบจำลองให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดเวลาและความซับซ้อนในการขั้นตอนของการปรับเทียบ แต่สามารถทำให้ผลการปรับเทียบมีความถูกต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจภาคสนาม อย่างไรก็ตามการมีจำนวนตัวแปรมากขึ้นก็จะช่วยให้การปรับเทียบแบบจำลองมีความสอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของพื้นที่ศึกษาได้ดียิ่งขึ้นเช่นกัน โดยตัวแปรในการปรับเทียบแบบจำลองระดับจุลภาคแบ่งเป็น 2 ส่วน (Dowling, 2003) คือ

3.7.2) ตัวแปรที่มีค่าแน่นอน (Certain Parameters)

ตัวแปรที่วิเคราะห์แล้วว่ามีความแน่นอนและไม่ควรปรับค่าส่วนใหญ่เป็นตัวแปรที่ได้จากข้อมูลการสำรวจภาคสนามและผลจากการศึกษา ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะสามารถนำมาใช้สำหรับกำหนดค่าตัวแปรในส่วนที่ไม่จำเป็นต้องทำการปรับค่า เช่น ความเร็ว ความเร่ง และความหน่วง เป็นต้น

3.7.3) ตัวแปรที่มีค่าแน่นอนต่ำ (Less certain parameters)

โดยทั่วไปเมื่อค่าที่โปรแกรมกำหนดเป็นค่าเริ่มต้นไม่ถูกต้องหรือสอดคล้องกับสภาพท้องถิ่นหรือพื้นที่ศึกษา จำเป็นต้องทำการปรับค่าชุดข้อมูลที่วิเคราะห์แล้วว่ามีความแน่นอนต่ำหรือค่าที่มีความอ่อนไหวสูง ซึ่งสามารถปรับค่าตัวแปรจากองค์ประกอบหลักของแบบจำลอง 3 ส่วน ได้แก่ แบบจำลองการเคลื่อนตัวตามกันของรถ (Car following model) แบบจำลองการเปลี่ยนช่องทางจราจร (Lane changing model) และแบบจำลองการยอมรับระยะห่างระหว่างรถ (Gap acceptance model) แต่ทั้งนี้การปรับค่าตัวแปรดังกล่าวมีความยุ่งยากและซับซ้อน ทำให้ตัวแปรที่เกี่ยวกับพฤติกรรมรถขับของยาน และตัวแปรที่เกี่ยวกับพฤติกรรมรถเลือกเส้นทางของผู้ขับ มักจะถูกเลือกให้เป็นตัวแปรเพื่อใช้ปรับค่าสำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง Ma (2001) กล่าวว่า 5 ตัวแปรที่มีความอ่อนไหวสูงสุดที่เหมาะสมแก่การปรับค่าในกระบวนการปรับเทียบแบบจำลองในโปรแกรม PARAMICS ได้แก่ ค่าเวลาห่างเฉลี่ย (Mean headway) เวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ย (Mean reaction time) การรบกวนการจราจร (Perturbation) ช่วงเวลาคำนวณย้อนหลัง (Feedback period) และความคุ้นเคยเส้นทาง

(Familiarity) โดยที่ 2 ตัวแปรแรกมีอิทธิพลอย่างสูงกับพฤติกรรมการขับขี่ของยาน ส่วนอีก 3 ตัวแปรต่อมาเป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่อการปรับปรุงข้อมูลของเส้นทาง (การเลือกเส้นทางของผู้ขับขี่) จากระบบขนส่งอัจฉริยะหรือสถานะของโครงข่ายในขณะนั้น ซึ่งในโปรแกรม PARAMICS กำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 48

ตารางที่ 48 ค่าเริ่มต้นและช่วงค่าของตัวแปรที่มีความอ่อนไหวสูงในโปรแกรม PARAMICS

ตัวแปร	ค่าเริ่มต้น	ช่วงค่าตัวแปร
Dynamics Feedback Period	0 นาที	1-5 นาที
Familiarity	85%	0-100%
Perturbation	5%	0-100%
Mean Headway	1.0 วินาที	~0-2 วินาที
Reaction Time	1.0 วินาที	~0-2 วินาที

(Ma, 2001)

ซึ่งในการเลือกตัวแปรดังกล่าว Dowling (2003) ได้แนะนำว่า ต้องทำการทบทวนผลการศึกษาหรือข้อมูลของแต่ละโปรแกรมที่มีความเหมาะสม และเลือกตัวแปรที่จะทำการปรับค่าสำหรับกระบวนการปรับเทียบเพียง 1 หรือ 2 ตัวแปรเท่านั้น ดังนั้น ในการศึกษานี้ได้ทำการทบทวนขั้นตอนการศึกษาในการจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม PARAMICS ทั้งในและต่างประเทศ ที่แสดงขั้นตอนและระบุตัวแปรที่ทำการปรับค่าสำหรับใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกตัวแปรที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 49

ตารางที่ 49 เปรียบเทียบการเลือกตัวแปรเพื่อการปรับเทียบแบบจำลอง

ลำดับที่	บทความ/รายงานผลการศึกษา	ตัวแปรเพื่อการปรับเทียบแบบจำลอง				
		Headway	Reaction Time	Perturbation	Family	Feedback Period
1	วิจิตร วิษลิ่งค์ (2548) ผลกระทบของมาตรการช่องทางพิเศษและการควบคุมทางเข้าต่อการจราจรบนระบบทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานคร	X	X	O	O	O
2	สุนตะ ทวีโพธิ์. (2549). การประเมินผลกระทบด้านการจราจรโดยใช้โปรแกรม PARAMICS กรณีศึกษาโครงการอาคารจอดรถแล้วจรสถานีลาดพร้าว.	X	X	O	O	O
3	Klunboonkroong, Khompraya, and Woolley (2003) Evaluating Traffic Management Alternatives at the Complex Five-Legs Intersection in Khon Kaen Using PARAMICS.	X	X	O	O	O
4	Prabhasak, Klunboonkroong, and Khompraya (2006). Using Paramics in Evaluation of the New Five-Leg Roundabout in Khon Kaen City.	X	X	O	O	O
5	Janswan (2001). assessment of area traffic control system in bangkok by the microscopic simulation model.	X	X	O	O	O
6	Gardes et al. (2001). Freeway Calibration and Application of the Paramics Model.	X	X	O	O	O
7	Chu, Henry, and Recker (2004). Using Microscopic Simulation to Evaluate Potential Intelligent Transportation System Strategies Under Nonrecurrent Congestion.	X	X	O	X	X
9	National University of Singapore. (2001). Genetic Algorithm.	X	X	O	O	O
10	Luk (2006) . Microsimulation traffic models - usage, limitations and applications.	X	X	O	O	O
11	Yperman and Immers. (2003). Capacity of a turbo-roundabout determined by micro-simulation.	X	X	O	O	O
12	Chu, Kim, Liu and Recker. (2005). Evaluation of Traffic Delay Reduction from Automatic Work zone Information Systems Using Micro-simulation.	X	X	O	O	O
13	Wan, B. (2002). Empirical comparison of simulation models with different input data structure.	X	X	O	X	X

ตารางที่ 49 เปรียบเทียบการเลือกตัวแปรเพื่อการปรับเทียบแบบจำลอง (ต่อ)

ลำดับที่	บทความ/รายงานผลการศึกษา	ตัวแปรเพื่อการปรับเทียบแบบจำลอง				
		Headway	Reaction Time	Perturbation	Familiarity	Feedback Period
14	Higgins, Tang, Cherry, Huey, Deakin and Skabardonis. (2004). Optimizing Transit Priority on a High Volume Urban Arterial: A Case Study of San Pablo Avenue.	X	X	O	O	O
15	Silva and Vasconcelos (2009). Microsimulation applied to performance analysis of roundabouts: the effect of the pedestrian crossings.	X	X	O	O	O
16	Bekir, Ozbay, Yannuz and Rathi (2005) Modeling and Simulation of an Unconventional Traffic	X	X	O	O	O
17	Liu, Ding, Jeff, Ba, Chen and Chootinan (2005) A Streamlined Network Calibration Procedure for California SR41 Corridor Traffic Simulation Study	X	X	X	X	X
18	Okech T. and Currick, M. (2005) Calibration and Validation of a Micro-Simulation Model in Network Analysis	X	X	O	O	O
20	Zhang and Ma (2008) Developing Calibration Tools for Microscopic Traffic Simulation Final Report Part 1: Overview Methods and Guide lines on Project Scoping and Data Collection	O	O	X	X	X

หมายเหตุ : X คือ ค่าที่ทำการปรับเปลี่ยน, O คือ กำหนดค่าคงที่หรือค่าเริ่มต้นของโปรแกรม



จากตารางที่ 49 พบว่า ในการศึกษาจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม PARAMICS ตัวแปรที่เกี่ยวกับพฤติกรรมรถขึ้นขี่ของขบวนรถ คือ Headway และ Reaction time เป็น 2 ตัวแปรที่มีการเลือกใช้เป็นตัวแปรเพื่อการปรับเทียบแบบจำลองสูงสุด

นอกจากการวิเคราะห์จากผลการทบทวนผลการศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีความอ่อนไหวสูงสุด และควรทำการปรับค่าอย่างรอบคอบ โดยได้ทำการทดสอบความอ่อนไหวของแต่ละตัวแปร โดยแปรผันค่าที่ใช้ในปรับเทียบแบบจำลองและกำหนดค่าอื่น ๆ เป็นค่าเริ่มต้นของโปรแกรม (ดังแสดงในตารางที่ 50) เปรียบเทียบผลลัพธ์ของปริมาณจราจรบนช่วงถนนจำนวน 12 ช่วงถนน จากการประมวลผลแบบจำลอง 9 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแต่ละตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 51 และตารางที่ 52

ตารางที่ 50 ช่วงค่าตัวแปรที่ปรับเปลี่ยนค่าในการทดสอบความอ่อนไหวในการปรับเทียบแบบจำลอง

ตัวแปร	ช่วงค่าตัวแปรที่ปรับเปลี่ยน
Dynamics Feedback Period (นาที)	0*, 1, 2, 3, 4 และ 5
Familiarity (%)	65, 75, 85*, 95 และ 100
Perturbation (%)	0, 5*, 10, 15 และ 20
Mean headway (วินาที)	0.0, 0.5, 1.0*, 1.5 และ 2.0
Reaction time (วินาที)	0.0, 0.5, 1.0*, 1.5 และ 2.0

*หมายเหตุ: ค่าเริ่มต้นของโปรแกรม PARAMICS

ตารางที่ 51 วิเคราะห์ความอ่อนไหวของแต่ละตัวแปรสำคัญในการเปรียบเทียบแบบจำลอง
เปรียบเทียบกับการประมวลผลด้วยค่าเริ่มต้นของโปรแกรม PARAMICS

ตัวแปร	การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ค่าเริ่มต้น DF = 0 นาที F=85% P=5% MH=1.0 วินาที RT=1.0 วินาที		1476	1175	1650	1631	561	338	837	951	680	584	269	246
Dynamic feedback	1 นาที	1491	1191	1640	1632	573	341	838	940	661	569	256	248
	2 นาที	1500	1178	1640	1625	584	333	844	950	669	571	261	248
	3 นาที	1508	1203	1678	1663	574	340	860	965	678	593	265	249
	4 นาที	1489	1194	1642	1656	582	340	844	940	654	587	263	260
	5 นาที	1497	1180	1651	1620	564	331	858	964	681	579	266	244
Familiarity	65 %	1505	1158	1650	1593	578	334	844	932	687	572	260	242
	75 %	1478	1143	1617	1596	595	334	822	949	658	566	281	243
	95 %	1491	1194	1645	1635	567	334	831	954	685	577	260	251
	100 %	1503	1171	1669	1612	554	332	852	942	684	585	272	241
Perturbation	0 %	1500	1217	1646	1660	572	339	838	960	666	601	263	243
	10 %	1500	1209	1673	1642	565	350	853	971	674	566	273	253
	15 %	1494	1176	1643	1638	581	329	847	970	678	575	258	250
	20 %	1511	1197	1643	1643	579	327	842	964	668	582	271	253
Mean headway	0.0 วินาที	1602	1202	1748	1634	585	344	888	970	717	573	280	244
	0.5 วินาที	1628	1188	1757	1637	595	338	909	952	702	579	273	247
	1.5 วินาที	1399	1152	1600	1625	558	343	812	952	658	570	257	244
	2.0 วินาที	1314	1146	1546	1592	515	354	783	945	632	573	264	232
Reaction time	0.0 วินาที	1636	1209	1750	1667	618	333	890	956	708	590	275	259
	0.5 วินาที	1567	1169	1743	1606	546	344	897	949	701	559	275	242
	1.5 วินาที	1399	1147	1568	1597	533	327	813	980	652	576	255	226
	2.0 วินาที	1291	1077	1477	1490	498	341	738	949	618	545	252	177

ตารางที่ 52 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแต่ละตัวแปรในการปรับเทียบแบบจำลอง

ตัวแปร	การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dynamic Feedback	1 นาที	1	1	-1	0	2	1	0	-1	-3	-3	-5	1
	2 นาที	2	0	-1	0	4	-1	1	0	-2	-2	-3	1
	3 นาที	2	2	2	2	2	1	3	2	0	2	-2	1
	4 นาที	1	2	0	2	4	0	1	-1	-4	0	-2	6
	5 นาที	1	0	0	-1	1	-2	3	1	0	-1	-1	-1
Familiarity	65 %	2	-1	0	-2	3	-1	1	-2	1	-2	-3	-2
	75 %	0	-3	-2	-2	6	-1	-2	0	-3	-3	4	-1
	95 %	1	2	0	0	1	-1	-1	0	1	-1	-3	2
	100 %	2	0	1	-1	-1	-2	2	-1	1	0	1	-2
perturbation	0 %	2	4	0	2	2	0	0	1	-2	3	-2	-1
	10 %	2	3	1	1	1	3	2	2	-1	-3	1	3
	15 %	1	0	0	0	4	-3	1	2	0	-2	-4	1
	20 %	2	2	0	1	3	-3	1	1	-2	0	1	3
Mean Headway	0.0 วินาที	8	2	6	0	4	2	6	2	5	-2	4	-1
	0.5 วินาที	10	1	6	0	6	0	9	0	3	-1	2	0
	1.5 วินาที	-5	-2	-3	0	-1	1	-3	0	-3	-2	-4	-1
	2.0 วินาที	-12	-3	-6	-2	-12	6	-7	-1	-6	0	1	-6
Reaction Time	0.0 วินาที	11	3	6	2	10	-2	6	1	4	1	2	5
	0.5 วินาที	6	0	6	-2	-3	2	7	0	3	-4	2	-2
	1.5 วินาที	-5	-2	-5	-2	-5	-3	-3	3	-4	-1	-5	-8
	2.0 วินาที	-13	-8	-10	-9	-11	1	-12	0	-9	-7	-6	-28

จากตารางที่ 51 และตารางที่ 52 ที่ได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวสำหรับตัวแปรที่มีความแน่นอนต่ำ ที่ได้ทำการแปรผันช่วงค่าของแต่ละตัวแปร ทั้ง 5 ตัวแปร พบว่า ตัวแปรที่เกี่ยวกับการเลือกเส้นทางซึ่งได้แก่ Feedback, Familiarity และ Perturbation มีความอ่อนไหวของผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลต่ำ ค่าของข้อมูลปริมาณจราจรที่ได้ใกล้เคียงกันอย่างมาก มีค่าความแตกต่างระหว่างผลจากการประมวลผลแบบจำลองค่อนข้างน้อย โดยสูงสุดร้อยละ 6 ต่างจากค่า Headway และ Reaction Time ซึ่งเป็นตัวแปรเกี่ยวกับพฤติกรรม การขับขี่ของยานยนต์ ซึ่งมีความอ่อนไหวสูง การปรับเปลี่ยนช่วงค่าทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมาก มีค่าร้อยละความแตกต่างค่อนข้างมาก โดยมีค่าสูงสุดร้อยละ 12 และ 28 ตามลำดับ

ผลจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวแสดงให้เห็นว่าค่า Headway และ Reaction Time มีความอ่อนไหวสูงกว่าค่าอื่นเนื่องจาก Headway และ Reaction time เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมรถขับช้โดยตรง อีกทั้งมีผลอย่างสูงต่อแบบจำลองหลักพื้นฐานของโปรแกรม PARAMICS ที่เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของยานแต่ละคันในโครงข่าย (Vehicle following model, Gap acceptance model และ Lane changing models) (Gardes et al., 2002) ต่างจากตัวแปรด้านการเลือกเส้นทางที่ส่งผลต่อผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองน้อยมาก

ดังนั้น จึงเลือก Headway และ Reaction time เป็นสองตัวแปรในการปรับค่าสำหรับการปรับเทียบแบบจำลองในการศึกษานี้จึงมีความเหมาะสม ถึงแม้ว่าจะมีบางการศึกษาที่ใช้ตัวแปรด้านพฤติกรรมรถเลือกเส้นทาง (Perturbation, Familiarity และ Feedback Period) แต่เนื่องจากในการศึกษานี้มีโครงข่ายขนาดเล็ก การเลือกเส้นทางในการเดินทางมีความชัดเจนและแน่นอน วิธีการเลือกเส้นทางจึงใช้วิธี All-or-nothing ซึ่งสมมติฐานว่าตัวแปรในการเลือกเส้นทางไม่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเส้นทางของยานแต่ละคัน ดังนั้นจึงไม่ใช้ตัวแปรด้านพฤติกรรมในการเลือกเส้นทาง

7.5 ปรับเทียบโครงข่าย (Network Calibration)

หลังจากที่ได้แบบจำลองฐานที่ผ่านกระบวนการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนแล้ว (Checking Error) แบบจำลองฐานที่ได้จะเริ่มขั้นตอนแรกของการปรับเทียบแบบจำลองด้วยการปรับเทียบโครงข่าย ซึ่งเป็นการปรับให้โครงข่ายมีความสมจริงใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจรวมทั้งทำให้ยานขับเคลื่อนได้เป็นธรรมชาติเหมือนสภาพการจราจรจริง ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก ๆ ดังนี้

1) ลักษณะทางเรขาคณิตของโครงข่าย (Network Geometries) เช่น ความกว้างของช่องจราจร มุมโค้ง และขอบคันทาง เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นตัวแปรที่ทำให้โครงข่ายมีความเหมือนสภาพจริง ทำให้พฤติกรรมรถขับช้ของยานมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงมากยิ่งขึ้น

2) การเลือกช่องจราจร (Next Lane) เป็นตัวแปรซึ่งใช้ในการจำกัดให้ยานทำการเปลี่ยนช่องจราจรได้อย่างจำกัดและเป็นไปตามพฤติกรรมของการขับช้บนโครงข่ายจริง ตัวแปรกำหนดการเลือกช่องจราจรจะต้องถูกกำหนดในทุก ๆ จุด (Node) ของโครงข่ายถนน ซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อของช่วงถนน (Link) ตั้งแต่ 2 ช่วงขึ้นไป

3) เส้นหยุด (Stop Line) เป็นตัวแปรสำหรับกำหนดตำแหน่งที่ยานต้องหยุดคอยบริเวณทางแยก

4) ลำดับความสำคัญของกระแสจราจร (Turning Priority) เป็นการกำหนดว่ากระแสจราจรใดเป็นทางเอก (Major) ทางโท (Medium) ทางรอง (Minor) และการ

กำหนดห้ามเลี้ยว (Barred) บริเวณทางเชื่อม ทางแยก ซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของความยาวแถวคอยและพฤติกรรมในการขับขีบบริเวณทางแยกอย่างมาก

5) ตำแหน่งที่ติดตั้งป้ายเตือน (Signposting) เป็นตัวช่วยในการแจ้งเตือนระบบสัญญาณไฟจราจร การเพิ่มช่องจราจร การลดช่องจราจร และตำแหน่งเข้าหรือออกจากเชื่อมต่างๆ จะทำหน้าที่ให้ข้อมูลแก่ผู้ขับขีเพื่อให้หลีกเลี่ยงจากอันตรายหรือเปลี่ยนช่องจราจรที่จะเกิดขึ้นด้านหน้า Signposting ในโปรแกรม PARAMICS มีสองส่วน คือ 1)ระยะที่แสดงถึงตำแหน่งแรกที่ยวดยานจะเกิดความระวังอันตรายที่อยู่ด้านหน้า และ 2)ระยะที่แสดงถึงระยะตามแนวยาวของช่วงถนนที่ยวดยานจะสามารถเกิดปฏิกิริยาและสามารถเลือกช่องจราจรได้อย่างเหมาะสม

6) การจำกัดความเร็ว (Link Speed Limit) เป็นตัวแปรเพื่อใช้ในการกำหนดความเร็วสูงสุดในการขับขีของยวดยานในแบบจำลองเพื่อให้เป็นไปตามพฤติกรรมการขับขีจริงบนโครงข่ายซึ่งได้จากการสำรวจข้อมูล ซึ่งในโปรแกรม PARAMICS ยวดยานจะใช้ความเร็วสูงและต่ำกว่าก่าจำกัดความเร็วในช่วง 5 กม. (Quadstone PARAMICS, 2007)

7.6 การปรับเทียบปริมาณการเดินทาง (Demand Calibration)

หลังจากทำการปรับเทียบโครงข่ายและทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจนมีความมั่นใจแล้ว ต้องทำการปรับเทียบในส่วนปริมาณการเดินทาง ได้แก่

1) สัดส่วนประเภทยวดยานในกระแสจราจร (Traffic Composition)

ในการศึกษานี้ได้ใช้ปริมาณจราจรที่สำรวจโดยแยกประเภทยวดยาน ซึ่งเป็นค่าที่ถูกต้องแน่นอน จึงไม่จำเป็นต้องจำแนกเป็นสัดส่วน (ร้อยละ)

2) ความเร็ว (Driving Speed) ความเร่ง (Acceleration) และ ความหน่วง (Deceleration) ในการศึกษานี้อ้างอิงถึงการศึกษาของ Klungboonkrong, Khompratya and Woolley (2003) และจารวิสิษ์ ปรานณศักดิ์, อีระชัย คมปรัชญา และพนกฤษณ คลังบุญครอง (2549) ซึ่งได้ทำการศึกษาในห้าแยกศาลเจ้าพ่อฯ

7.7 การปรับเทียบการปรับตั้งค่าการประมวลผล (Overall simulation configuration Calibration)

ตัวแปรที่ต้องทำการปรับเทียบในส่วนการปรับตั้งค่าการประมวลผล ได้แก่

1) ช่วงเวลาในการประมวลผลต่อวินาที (Time Steps Per Seconds) คือ ความยาวของช่วงเวลาสำหรับการคำนวณตำแหน่งและความเร็วของยวดยานระหว่างการประมวลผลแบบจำลอง ในโปรแกรม PARAMICS มีค่าเริ่มต้นที่โปรแกรมกำหนด คือ 2 (หมายถึง การคำนวณจากการประมวลผลทุกๆ 0.5 วินาที ถ้าค่า Time Step เท่ากับ 4 หมายถึง การคำนวณจากการประมวลผลทุกๆ 0.25 วินาที) ซึ่งค่าหมายเลขของการคำนวณเป็นตัวช่วยในการสุ่มค่าความเร็วและความเร่ง ดังนั้นผลจากการประมวลผลจึงมีค่าที่แตกต่างกันเมื่อใช้ค่า Time Step ที่ต่างกัน โดยการเลือกใช้ค่าของ Time Step จะคำนึงถึงปริมาณจราจรเป็นหลักหากมีความ

หนาแน่นสูงก็จำเป็นจะต้องใช้ค่า Time Steps ที่มีค่าสูงตามไปด้วย (Quadstone PARAMICS, 2007)

Dowling, et al. (2003) กล่าวว่า ตำแหน่งของยวดยาน ความเร็ว และ อัตราการเร่งหรือการลดความเร็ว (Rate of acceleration/deceleration) จะถูกคำนวณที่จุดปลายของแต่ละ Time Step และจะทำการแสดงผลลัพธ์เป็นค่าทางสถิติในลักษณะสะสมออกมา ค่า Time Steps ต่อวินาทีที่มีอิทธิพลอย่างสูงทั้งในแง่ของความถูกต้องและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง ซึ่ง Time Steps per second ที่มีค่าสูงจะให้ผลลัพธ์ของข้อมูลที่มีความละเอียดถูกต้องสูง อย่างไรก็ตามความละเอียดที่สูงมากขึ้น (ความถี่ของ Time Step เพิ่มขึ้น) จะทำให้เวลาในการประมวลผลเพิ่มความขึ้นเป็นเท่าตัว แต่เนื่องด้วยความแตกต่างของการคำนวณในแต่ละค่า Time Step ซึ่งเปรียบเสมือนตัวแปรสำหรับสุ่มค่าความเร็วและความเร่งในการประมวลผลแบบจำลอง จึงมีผลให้การประมวลผลโดยใช้ค่า Time Step ที่ต่างกันจะให้ค่าจากการประมวลผลที่ต่างกันอย่างมากเช่นกัน

Fellendorf and Vortisch (2001) ได้แนะนำว่า แบบจำลองระบบจุลภาคควรใช้ค่า Time steps อย่างน้อย 0.2 seconds (5 Time step) ดังนั้น สำหรับการศึกษานี้ได้กำหนดค่า Time Step เท่ากับ 5 หรือหมายถึงการคำนวณตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง ของยวดยานทุก ๆ 0.2 วินาที ซึ่งเป็น Time step ที่มีความเหมาะสมทั้งในด้านความละเอียดในการคำนวณค่าและไม่ใช้เวลาในการประมวลผลมากเกินไป

2) ความเร็วในการจดจำ (Speed memory) เป็นตัวแปรที่มีความเชื่อมโยงกับ time per seconds ซึ่งหมายถึงความสามารถในการบันทึกข้อมูลจากจำนวนของ Time Steps ก่อนหน้าถึง Time step ปัจจุบัน ค่าเริ่มต้นที่โปรแกรมกำหนดคือ 3 ซึ่ง Quadstone PARAMICS (2007) ได้แนะนำค่า Speed Memory ที่เหมาะสมควรกำหนดค่าประมาณ 150% ของ Mean Reaction Time (แปลงเป็นสัดส่วนของค่า Time step) อย่างไรก็ตามสำหรับในโปรแกรม PARAMICS ค่าของ speed memory จะเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติเพื่อให้สอดคล้องกับค่า Time step ที่ทำการกำหนดโดยผู้ใช้

7.8 การปรับเทียบพฤติกรรมกรรมการเลือกเส้นทาง (Route Choice behavior Calibration)

การปรับเทียบพฤติกรรมกรรมการเลือกเส้นทางมีความเหมาะสมกับการปรับเทียบในกรณีในพื้นที่ศึกษามีขนาดค่อนข้างกว้าง การเดินทางจะอาศัยหลักการเลือกเส้นทางแบบเฟ้นสุ่ม (Stochastic route choice model) อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ได้กำหนดกำหนดวิธีการแจกแจงการเดินทางแบบ All-or-nothing ซึ่งยวดยานทุกคันเลือกเส้นทางในการเดินทางจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางด้วยเส้นทางที่ชัดเจนและแน่นอน จึงสมมติฐานว่าตัวแปรในการเลือกเส้นทางไม่มีผลต่อพฤติกรรมกรรมการเลือกเส้นทางของยวดยาน การศึกษานี้จึงเลือกใช้ค่าคงที่ที่ได้มีการศึกษามาแล้ว ดังนี้

1) การรบกวนการจราจร (Perturbation) โดยทั่วไปจะอาศัยสมมติฐานว่าผู้ขับขี่อาศัยว่าผู้ขับขี่ส่วนมากมีความคุ้นเคยเส้นทาง และทราบถึงลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายถนนและสภาพการจราจรเป็นอย่างดี จึงมักจะกำหนดค่าการรบกวนการจราจรที่ 5% (Henry et al., 2004)

2) ความคุ้นเคยเส้นทาง (Familiarity) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมการเลือกเส้นทางในโปรแกรม PARAMICS ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดค่าความคุ้นเคยเส้นทางไว้ที่ 85% (Henry et al., 2004)

3) ช่วงเวลาคำนวณย้อนกลับ (Dynamic feedback period) เป็นวิธีการแจกแจงการเดินทางที่เสมือนเป็นตัวปรับปรุงและส่งกลับข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเดินทางผ่านค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียไปเนื่องจากความล่าช้าในการเลี้ยว ซึ่งจะทำให้การคำนวณทุก ๆ Feedback periods (กำหนดโดยผู้ใช้) โดยการศึกษาจะไม่คำนึงถึงการแจกแจงการเดินทางด้วยวิธีนี้รวมทั้งไม่ทำการปรับค่าตัวแปรใดๆ

7.9 การปรับเทียบพฤติกรรมของผู้ขับขี่ (Driver behavior calibration)

Gardes et al. (2002) กล่าวว่า พื้นฐานแบบจำลองหลักที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในโปรแกรม PARAMICS สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของยานแต่ละคัน คือ Vehicle following, Gap acceptance และ Lane changing model ซึ่งสองตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อแบบจำลองข้างต้นอย่างมาก คือ ช่วงเวลาห่าง (Mean headway) และเวลาในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยา (Mean reaction Time) ซึ่งพฤติกรรมทั้งหมดจะถูกปรับเปลี่ยนโดยการปรับตั้งค่าช่วงเวลาห่างและเวลาในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นหรือลดลง ค่าเริ่มต้นที่โปรแกรม PARAMICS กำหนดของทั้งสองตัวแปรเท่ากับ 1 วินาที (ได้จากการปรับเทียบในสภาพการจราจรของประเทศอังกฤษ) รายละเอียดของตัวแปรการปรับเทียบพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ดังนี้

1) ช่วงเวลาห่าง (Headway) เป็นตัวแปรที่บอกถึงเวลาที่ห่างกันของรถ 2 คันที่แล่นตามกัน ซึ่งการปรับค่า Headway เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ผู้ขับขี่พยายามที่จะเพิ่มเวลาระหว่างยานมากขึ้น

2) เวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยา (Reaction Time) เป็นช่วงเวลาที่ใช้กำหนดระยะทางหรือระยะเวลาที่เกิดปฏิกิริยาต่างๆ หลังจากรับรู้และเกิดปฏิกิริยา การปรับเพิ่มค่า Reaction time มีผลทำให้ผู้ขับขี่มีปฏิกิริยาตอบสนองต่อการเบรกของยานที่อยู่ด้านหน้าช้าลง การวิจัยนี้ได้กำหนดค่าช่วงห่างยานและช่วงเวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยาเป็นตัวแปรที่ทำการปรับเปลี่ยนค่าเพื่อนำผลที่ได้จากการประมวลผลปรับเทียบกับดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพจราจรและปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ซึ่งทั้งสองค่าดังกล่าวถูกปรับเปลี่ยนโดยใช้หลักการการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ด้วยการลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อวิเคราะห์หาช่วงห่างยานและช่วงเวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้แบบจำลองมีความสมจริงที่สุด

7.10 วิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร

ในเบื้องต้นเมื่อทำการปรับตั้งค่าตัวแปรต่างๆ เรียบร้อยแล้ว แต่เพื่อให้ผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองมีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการสำรวจมากยิ่งขึ้น ต้องทำการปรับค่าอย่างละเอียดโดยใช้ตัวแปรที่ถูกเลือกสำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง ซึ่งได้กำหนดสองตัวแปรที่มีอิทธิพลอย่างสูงต่อพฤติกรรมการขับขี่ของยานซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความจุและปริมาณจราจร คือ Headway และ Reaction time โดยในการปรับค่าของตัวแปรดำเนินการตามหลักการวิเคราะห์ความอ่อนไหว เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้ในการกำหนดช่วงค่าในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวได้ยึดช่วงค่าจากผลการศึกษาที่ผ่านมาที่มีการประยุกต์ใช้โปรแกรม PARAMICS ในการจัดการจราจร ที่ปรับค่า Headway และ Reaction time เพื่อทำการปรับเทียบแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 53

ตารางที่ 53 ผลการทบทวนค่าเวลาทางและเวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ลำดับ ที่	บทความ/รายงานผลการศึกษา	เวลาทาง (Headway)	เวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยา (Reaction Time)
1	วิจิตรา วิชสังข์ (2548) ผลกระทบของมาตรการช่องทางพิเศษและการควบคุมทางเข้าต่อการจราจรในระบบทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานคร	0.7	1.2
2	สุเมธ หวังโพธิ์. (2549). การประเมินผลกระทบด้านการจราจรโดยใช้โปรแกรม PARAMICS กรณีศึกษาโครงการอาคารจอดรถแล้วเสร็จสถานีลาดพร้าว.	1.2	0.8
3	Klunboonkrong, Khompraya, and Woolley (2003) Evaluating Traffic Management Alternatives at the Complex Five-Legs Intersection in Khon Kaen Using PARAMICS.	1.9	0.6
4	Prabhasak, Klunboonkrong, and Khompraya (2006). Using PARAMICS in Evaluation of the New Five-Leg Roundabout in Khon Kaen City.	1.9	0.6
5	Jansuwan (2001). assessment of area traffic control system in bangkok by the microscopic simulation model.	1.3	1.3
6	Gardes et al. (2001). Freeway Calibration and Application of the PARAMICS Model.	1.65	0.42
7	Chu, Henry, and Recker (2004). Using Microscopic Simulation to Evaluate Potential Intelligent Transportation System Strategies Under Nonrecurrent Congestion.	0.75	0.7
8	Abdulhai, Sheu and Recker. (1999). Simulation of ITS on the Irvine FOT Area Using PARAMICS 1.5 Scalable Microscopic Simulator - Phase 1: Model Calibration and Validation.	1.65	0.42
9	National University of Singapore. (2001). Genetic Algorithm.	0.625	0.415
10	Luk (2006) . Microsimulation traffic models - usage, limitations and applications.	0.8	0.8
11	Yperman and Immers. (2003). Capacity of a turbo-roundabout determined by micro-simulation.	0.8	0.8
12	Chu, Kim, Liu and Recker. (2005). Evaluation of Traffic Delay Reduction from Automatic Work zone Information Systems Using Micro-simulation.	0.9	0.8
13	Wan, B. (2002). Empirical comparison of simulation models with different input data structure.	0.7	0.5
14	Higgins, Tang, Cherry, Huey, Deakin and Skabardonis. (2004). Optimizing Transit Priority on a High Volume Urban Arterial: A Case Study of San Pablo Avenue.	0.8	0.6
15	Silva and Vasconcelos (2009). Microsimulation applied to performance analysis of roundabouts: the effect of the pedestrian crossings.	1.5	1.0

จากตารางที่ 53 ทำให้ทราบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปรับค่าตามหลักการวิเคราะห์ความอ่อนไหว สำหรับเวลาห่าง (Headway) เท่ากับ 0.6 – 2.0 วินาที และสำหรับเวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยา (Reaction time) เท่ากับ 0.4 – 1.3 วินาที ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวดำเนินการในลักษณะแบบสองทาง ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวที่มีการประเมินการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรในการวิเคราะห์ 2 ตัวแปรไปพร้อม ๆ กัน โดยทำการประมวลผลแบบจำลองทุกคู่ตัวแปร ที่ความละเอียด 0.1 วินาที ก่อนทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมวลผลกับค่าที่ได้จากการสำรวจ และสรุปค่าของตัวแปรทั้ง 2 ตัวแปร ที่ทำให้ผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับผลการสำรวจที่แสดงในลักษณะความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด สอดคล้องตามเกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยทำการประมวลผลแบบจำลองอย่างน้อยคู่ของช่วงค่าของทั้งสองตัวแปรจำนวน 9 ครั้ง หรือมากกว่าจนกว่าค่าที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้การปรับเปลี่ยนคู่ช่วงค่าระยะห่างระหว่างรถและระยะเวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยา ในการประมวลผลแต่ละครั้งดำเนินการร่วมกับการเปลี่ยนค่า Seed (ด้วยการสุ่มโดยใช้ฟังก์ชัน Random Seed Value ในโปรแกรม PARAMICS) โดยผลของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยใช้ความคลาดเคลื่อนระหว่างแบบจำลองกับผลจากการสำรวจ ดังแสดงในตารางที่ 54 ถึง 58

ตารางที่ 54 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของค่าเวลาห่าง (Headway) และค่าการรับรู้และเกิดปฏิกิริยา (Reaction time) จากค่า GEH ของปริมาณจราจรบนช่วงถนน

Mid Block Count		Reaction time									
		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
Headway	0.6	2.67	1.10	1.22	1.33	1.58	3.26	1.99	1.18	2.74	2.67
	0.7	1.36	2.03	1.42	0.35	1.25	1.21	1.75	2.62	2.28	3.49
	0.8	1.31	2.01	1.23	2.24	2.20	1.74	2.76	3.45	4.14	4.45
	0.9	1.93	0.75	2.13	3.03	1.41	2.16	3.17	4.16	3.44	5.48
	1.0	1.20	1.86	1.46	1.74	1.72	3.38	3.82	3.72	4.09	5.45
	1.1	1.43	2.84	1.43	3.34	3.53	3.14	4.68	4.71	5.78	6.51
	1.2	3.42	2.62	2.28	4.36	3.79	3.68	5.20	4.27	5.96	6.51
	1.3	2.67	2.27	3.62	3.36	5.34	5.17	4.64	7.35	6.91	7.44
	1.4	3.74	3.01	5.04	4.32	4.41	4.28	6.47	5.89	8.10	8.26
	1.5	3.79	3.65	4.05	5.28	4.31	5.37	6.07	7.45	7.40	8.77
	1.6	3.92	4.60	4.80	4.95	5.96	4.35	6.02	8.05	9.18	9.08
	1.7	4.14	3.80	4.17	5.76	6.00	7.39	7.87	8.09	8.82	10.64
	1.8	4.96	3.57	5.47	6.22	5.61	7.69	6.96	8.00	9.70	10.30
1.9	4.61	5.15	5.50	7.43	6.10	7.11	8.84	8.84	11.14	11.94	
2.0	3.91	4.86	6.20	8.03	6.93	7.27	8.81	9.57	10.00	13.08	

หมายเหตุ: คือ ค่าที่ผ่านเกณฑ์การปรับเทียบ (GEH < 5)

ตารางที่ 55 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของค่าเวลาห่าง (Headway) และค่าการรับรู้และเกิดปฏิกิริยา (Reaction time) จากค่า GEH ของปริมาณจราจรที่ทางแยก

Turning Count		Reaction time									
		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
Headway	0.6	3.54	3.12	2.53	3.34	2.76	3.86	3.31	3.11	3.47	3.84
	0.7	3.72	2.76	2.11	2.69	2.70	2.57	3.07	3.14	3.14	4.35
	0.8	2.74	2.90	1.98	3.53	3.33	2.90	3.09	3.67	4.45	4.86
	0.9	3.65	2.86	3.08	2.62	2.30	3.66	4.17	4.40	4.57	5.33
	1.0	3.01	3.05	3.54	3.20	2.92	4.31	4.53	4.49	4.55	5.70
	1.1	2.78	2.65	3.58	4.09	3.92	4.22	5.30	4.87	5.03	6.39
	1.2	3.91	3.00	3.47	3.82	4.45	4.12	4.90	6.29	5.85	6.31
	1.3	4.54	3.16	3.34	4.81	5.02	5.32	4.55	5.61	6.40	7.07
	1.4	4.30	4.49	4.68	4.34	5.00	4.92	6.21	5.70	7.10	6.97
	1.5	4.34	3.97	4.43	5.34	5.33	5.56	5.67	6.44	6.88	8.33
	1.6	4.50	4.46	5.43	4.98	5.57	5.19	6.11	7.31	7.10	8.07
	1.7	4.55	4.42	5.19	5.60	5.32	6.36	6.63	7.49	7.58	8.64
	1.8	4.70	3.88	5.07	5.93	6.55	6.67	7.16	8.54	7.82	8.97
	1.9	4.26	5.63	5.65	6.88	5.76	6.82	7.84	7.84	9.02	9.36
2.0	4.15	4.95	5.95	6.49	6.91	8.12	8.10	8.18	8.87	9.95	

หมายเหตุ: คือ ค่าที่ผ่านเกณฑ์การปรับเทียบ ($GEH < 5$)

ตารางที่ 56 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของความเร็วเฉลี่ย

Average speed		Reaction time									
		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
Headway	0.6	13.07	11.50	11.86	11.10	11.03	10.60	9.46	9.36	7.39	9.47
	0.7	12.21	12.71	10.75	14.52	8.53	8.40	8.03	7.58	7.23	7.23
	0.8	10.78	10.41	9.79	9.11	8.31	7.97	7.23	7.13	7.61	7.65
	0.9	10.22	8.60	9.37	8.29	7.82	7.40	5.40	6.40	6.59	6.57
	1.0	9.07	7.22	7.29	7.43	7.82	7.69	8.11	7.43	6.91	7.08
	1.1	8.26	7.38	6.38	6.79	7.41	7.07	6.26	5.77	6.78	8.89
	1.2	7.99	5.61	5.19	5.63	6.24	7.07	6.59	7.64	7.85	8.49
	1.3	5.66	7.24	6.28	7.09	5.94	7.31	6.56	9.14	9.83	13.45
	1.4	7.03	5.30	5.70	5.98	6.04	8.46	7.97	8.27	16.17	16.40
	1.5	5.46	5.61	5.54	6.97	6.90	7.09	7.97	8.63	10.99	11.16
	1.6	5.85	5.45	5.97	6.86	7.39	9.47	9.94	8.79	13.32	13.80
	1.7	5.95	7.58	7.36	8.20	9.04	7.97	8.84	12.11	16.12	13.66
	1.8	6.32	7.19	7.87	7.16	8.96	9.54	13.74	15.73	16.92	14.74
	1.9	7.55	6.44	7.24	8.55	11.48	9.73	12.39	12.39	17.27	18.23
2.0	7.04	8.41	7.39	9.42	9.62	12.26	14.74	16.94	15.77	22.10	

หมายเหตุ: คือ ค่าที่ผ่านเกณฑ์การปรับเทียบ ($\%Diff < 20$)

ตารางที่ 57 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของเวลาในการเดินทางเฉลี่ย

Travel time		Reaction time									
		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
Headway	0.6	24.06	12.16	11.53	10.88	11.82	11.73	13.40	11.16	11.54	10.97
	0.7	13.63	12.45	11.22	12.29	10.96	10.93	11.37	11.42	9.91	10.24
	0.8	11.18	12.35	11.71	10.54	10.99	10.35	10.87	11.70	9.41	9.16
	0.9	11.56	11.78	10.84	11.76	10.97	9.87	10.45	10.20	9.35	10.06
	1.0	11.00	11.05	10.18	10.17	9.39	9.82	9.54	9.50	8.98	8.42
	1.1	10.14	10.52	9.34	9.55	10.01	10.72	8.45	8.64	6.86	7.51
	1.2	11.37	9.90	10.01	10.17	8.74	8.45	9.75	6.99	7.51	6.43
	1.3	10.17	9.54	10.47	6.52	8.22	7.24	8.11	8.97	7.60	14.48
	1.4	11.02	8.35	9.83	8.82	9.66	8.66	7.93	7.05	18.72	23.16
	1.5	9.81	8.74	8.41	7.56	7.11	7.12	6.46	5.54	7.35	7.17
	1.6	9.33	9.19	9.62	9.11	7.88	5.50	6.85	7.17	12.64	16.43
	1.7	8.81	7.79	7.53	7.31	7.72	7.17	5.21	9.98	14.21	12.22
	1.8	9.36	7.39	6.08	8.29	6.87	6.26	8.68	15.77	17.96	12.05
	1.9	7.55	6.44	7.24	8.55	11.48	9.73	12.39	12.39	17.27	18.23
2.0	7.04	8.41	7.39	9.42	9.62	12.26	14.74	16.94	15.77	22.10	

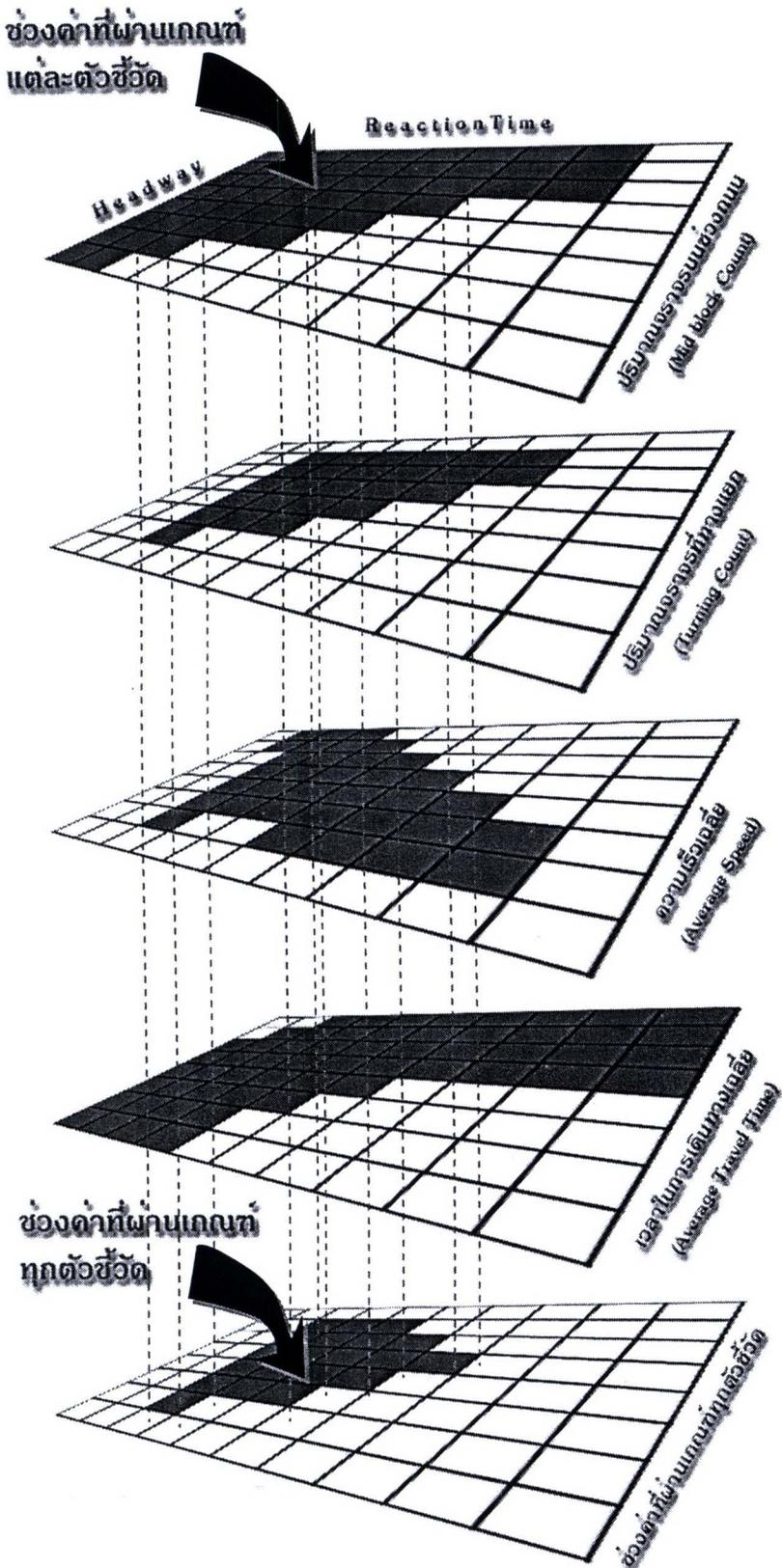
หมายเหตุ: คือ ค่าที่ผ่านเกณฑ์การปรับเทียบ (%Diff < 15)

ตารางที่ 58 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของความยาวแถวคอยสูงสุด

Queue Max		Reaction time									
		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
Headway	0.6	31.88	27.18	23.15	40.29	20.92	29.56	39.63	24.42	19.34	32.67
	0.7	31.72	26.07	19.11	25.25	25.53	31.02	22.13	38.86	63.37	37.59
	0.8	27.68	29.43	37.97	35.30	28.38	35.30	28.38	24.55	19.34	33.85
	0.9	27.88	35.75	35.53	31.31	28.16	28.95	15.14	23.15	21.49	43.57
	1.0	21.97	32.42	29.11	20.22	25.78	33.40	32.51	20.70	17.05	30.13
	1.1	20.38	46.26	38.16	29.43	32.01	28.86	29.65	28.95	29.75	31.65
	1.2	31.06	33.46	27.11	28.64	25.85	50.35	30.13	42.04	37.05	24.89
	1.3	32.26	40.77	32.96	47.91	28.16	27.75	27.43	138.00	39.11	212.68
	1.4	37.91	44.67	30.86	35.85	31.15	29.18	30.70	38.00	197.37	185.69
	1.5	35.37	26.26	37.97	46.57	27.27	25.78	40.35	35.62	43.24	120.86
	1.6	42.99	40.13	35.75	38.23	30.61	52.04	66.48	42.29	34.19	58.48
	1.7	35.12	38.20	48.00	41.34	42.76	36.32	55.28	126.73	157.68	143.72
	1.8	42.01	34.67	33.15	36.00	45.85	58.70	154.10	131.81	54.19	45.62
	1.9	41.88	40.13	44.67	42.04	75.30	48.48	88.32	88.32	139.59	104.67
2.0	42.96	42.29	40.92	90.61	53.94	51.34	101.81	154.67	49.91	218.16	

หมายเหตุ: คือ ค่าที่ผ่านเกณฑ์การปรับเทียบ (%Diff < 20)

จากผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวข้างต้น พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนโดยส่วนใหญ่จะผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยมีเพียง คู่ช่วงค่า Headway ~ 1.5-2.0 วินาที กับช่วงค่า Reaction Time ~ 1.0 - 1.3 วินาที ที่มีแนวโน้มของความคลาดเคลื่อนสูงอย่างชัดเจน ส่วนคู่ช่วงค่าอื่นๆ มีความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากการเปรียบเทียบค่าความยาวแถวคอยมีร้อยละความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง เนื่องจากมีปริมาณแถวคอยมีค่อนข้างน้อย ทำให้มีร้อยละความคลาดเคลื่อนสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ถึงแม้ว่าจะมีค่าคลาดเคลื่อนเพียง 1 คั่นก็ตาม ดังนั้นในการเลือกช่วงค่าของ Headway และ Reaction Time ที่เหมาะสม จึงไม่ควรนำความยาวแถวคอยมาพิจารณาด้วย (ใช้เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบเป็นตัวแทนการใช้ร้อยละความคลาดเคลื่อน) ซึ่งการเลือกช่วงค่าดังกล่าวในเบื้องต้นจะต้องเป็นช่วงค่าที่มีผลความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในทุกตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบที่พิจารณา ดังแสดงแนวคิดในการคัดเลือกและช่วงค่า Headway และ Reaction Time ที่ผ่านเกณฑ์ทุกตัวชี้วัด ดังแสดงในภาพที่ 126 และตารางที่ 59



ภาพที่ 126 แนวคิดในการเลือกช่วงค่า Headway และ Reaction Time ที่เหมาะสม

ตารางที่ 59 ช่วงค่า Headway และ Reaction Time ที่ผ่านทุกตัวชี้วัด

		Reaction time												
		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3			
Headway	0.6													
	0.7													
	0.8													
	0.9													
	1.0													
	1.1													
	1.2													
	1.3													
	1.4													
	1.5													
	1.6													
	1.7													
	1.8													
	1.9													
2.0														

หมายเหตุ: ■ คือ ค่าที่ผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบทุกตัวชี้วัด

จากตารางที่ 59 ได้ทำการเลือกคู่ของช่วงค่า Headway และ Reaction Time ที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองกับผลจากการสำรวจผ่านเกณฑ์การพิจารณาที่ยอมรับได้ทุกตัวชี้วัด คือ Headway = 1.1 วินาที และ Reaction Time = 0.6 วินาที ในการแสดงผลการเปรียบเทียบเป็นค่าแรก ถึงแม้ว่าเมื่อพิจารณาค่า Headway = 1.1 วินาที ที่ได้จากการวิเคราะห์ จะพบว่า หากทำการแปลงค่าให้เป็นปริมาณจราจรจะมีค่าที่สูงกว่าค่าความจุของช่วงถนน ซึ่งสะท้อนถึงความไม่สมเหตุสมผล ทั้งนี้เนื่องจากค่า Headway ที่กำหนดเป็นค่าเฉลี่ยที่ใช้ในเบื้องต้นแต่ยังมีความสัมพันธ์และมีอิทธิพลจากค่าคงที่ ตัวแปรสุ่มอื่นๆ และเงื่อนไขในการประมวลผลหลายประการในโปรแกรม PARAMICS เช่น ประเภทของยานพาหนะ สภาวะใกล้ทางแยก (รอสัญญาณไฟจราจรหรือเลี้ยวซ้ายผ่านตลอด) ความก้าวร้าว (Aggressiveness) และการรับรู้ (Awareness) เป็นต้น ซึ่งมีผลทำให้ค่า Headway ที่แสดงในแบบจำลองมีค่าที่แปรเปลี่ยนไปอยู่ตลอดเวลา (PARAMICS Quadstone, 2004) อย่างไรก็ตามในกรณีที่ใช้ค่าดังกล่าวแล้วทำให้ผลของการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองไม่ผ่านเกณฑ์ต้องทำการเลือกคู่ช่วงค่า Headway

ตารางที่ 60 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจรรยาบรรณช่วงถนน

จุดสำรวจ	ค่าที่ได้จากแบบจำลอง	ค่าที่ได้จากการสำรวจ	ความแตกต่าง	% ความแตกต่างสัมบูรณ์	GEH	ผ่านเกณฑ์
1	1522	1573	-51	3.26	1.30	✓
2	1195	1189	5	0.45	0.15	✓
3	1721	1769	-48	2.73	1.15	✓
4	1643	1619	23	1.43	0.57	✓
5	555	593	-38	6.37	1.58	✓
6	360	332	28	8.52	1.52	✓
7	866	916	-50	5.46	1.67	✓
8	947	952	-6	0.61	0.19	✓
9	712	728	-16	2.25	0.61	✓
10	584	580	4	0.61	0.15	✓
11	280	285	-5	1.86	0.32	✓
12	260	254	6	2.56	0.40	✓
			เฉลี่ย	3.01	0.80	✓ (100%)

หมายเหตุ: ✓ = ผ่านเกณฑ์, ✗ = ไม่ผ่านเกณฑ์, (100%) = ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์

1.2) ผลการเปรียบเทียบปริมาณจรรยาบรรณที่ทางแยก

ผลการเปรียบเทียบปริมาณจรรยาบรรณที่ทางแยกมีความสอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนามเป็นอย่างดี ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการเปรียบเทียบทุกจุดสำรวจ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 5.90 มีค่า GEH เฉลี่ย 1.13 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณจรรยาบรรณที่ทางแยก ดังแสดงในตารางที่ 61

ตารางที่ 61 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจรรยาที่ทางแยก

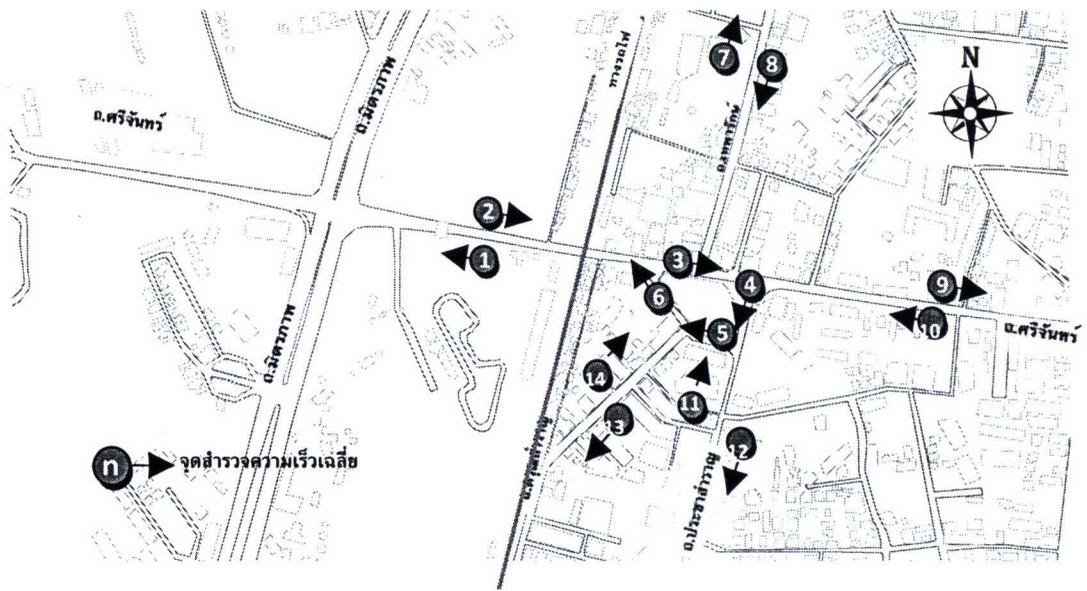
ทิศทาง	ค่าที่ได้จาก แบบจำลอง	ค่าที่ได้ จากสำรวจ	ความ แตกต่าง	% ความแตกต่าง สัมบูรณ์	GEH	ผ่านเกณฑ์
1>2	117	128	-11	8.22	0.95	✓
1>3	317	331	-14	4.30	0.79	✓
1>4	504	528	-24	4.48	1.04	✓
2>1	93	112	-20	17.63	1.96	✓
2>3	1039	1116	-76	6.84	2.32	✓
2>4	659	650	9	1.32	0.33	✓
3>1	175	187	-12	6.46	0.90	✓
3>2	1167	1243	-76	6.13	2.19	✓
3>4	385	423	-38	8.95	1.88	✓
4>1	303	296	7	2.41	0.41	✓
4>2	616	627	-11	1.75	0.44	✓
4>3	260	266	-6	2.27	0.37	✓
			เฉลี่ย	5.90	1.13	✓ (100%)

หมายเหตุ: ✓ = ผ่านเกณฑ์, ✗ = ไม่ผ่านเกณฑ์, (100%) = ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์

2) ผลการเปรียบเทียบค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจร (Calibrating System Performance)

2.1) ผลการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ย

ผลการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยมีความสอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนามเป็นอย่างดี มีช่วงถนนที่ผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบเกินกว่าร้อยละ 85 โดยมีเพียงจุดสำรวจที่ 2 ช่วงถนนศรีจันทร์ (ทิศมุ่งตะวันตก) ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการเปรียบเทียบ โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 7.82 ตำแหน่งสำรวจที่ทำการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยและสรุปผลการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ย ดังแสดงในภาพที่ 128 และตารางที่ 62



ภาพที่ 128 ตำแหน่งสำรวจที่ทำการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ย

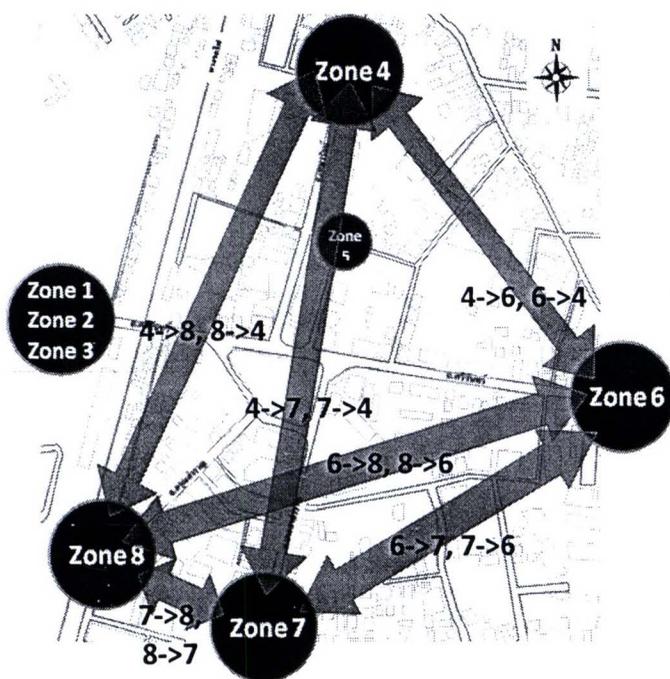
ตารางที่ 62 ผลการเปรียบเทียบปริมาณความเร็วเฉลี่ย

จุดสำรวจ	ค่าที่ได้จาก แบบจำลอง	ค่าที่ได้จาก การสำรวจ	ความแตกต่าง	% ความแตกต่าง สัมบูรณ์	ผ่านเกณฑ์
1	19.20	19.17	0.03	0.16	✓
2	11.75	9.74	2.00	20.55	✗
3	21.06	22.17	-1.11	5.01	✓
4	27.09	25.50	1.59	6.25	✓
5	22.65	21.48	1.17	5.43	✓
6	21.46	19.31	2.15	11.12	✓
7	38.05	42.39	-4.33	10.23	✓
8	35.49	37.07	-1.58	4.27	✓
9	42.20	44.25	-2.05	4.63	✓
10	42.18	42.59	-0.41	0.96	✓
11	26.89	26.06	0.83	3.18	✓
12	38.24	34.88	3.37	9.66	✓
13	44.36	42.07	2.29	5.46	✓
14	29.85	30.58	-0.73	2.38	✓
			เฉลี่ย	5.71	✓ (92.9%)

หมายเหตุ: ✓ = ผ่านเกณฑ์, ✗ = ไม่ผ่านเกณฑ์, (100%) = ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์

2.2) ผลการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทาง

ผลการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทางมีความสอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนามเป็นอย่างดี มีเพียงเวลาในการเดินทางจากคูโซน 6 ไปยังโซน 7 ที่มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าร้อยละ 15 แต่อย่างไรก็ตามถือว่าผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการเปรียบเทียบเนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 นาที โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 9.34 ตำแหน่งสำรวจที่ทำการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทางและสรุปผลการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทาง ดังแสดงในภาพที่ 129 และตารางที่ 63



ภาพที่ 129 ตำแหน่งสำรวจที่ทำการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทาง

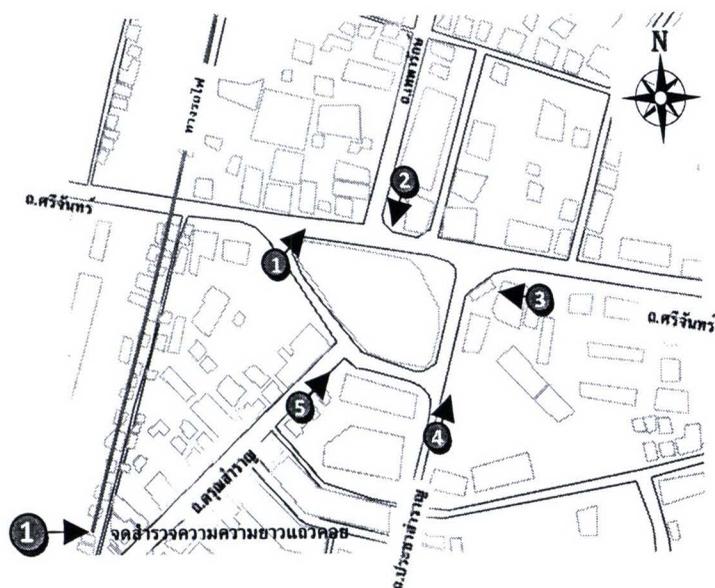
ตารางที่ 63 ผลการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทาง

คูโซน	ค่าที่ได้จาก แบบจำลอง	ค่าที่ได้จาก ผลการสำรวจ	ความแตกต่าง	% ความแตกต่าง สัมบูรณ์	ผ่านเกณฑ์
4->6	90.00	94.75	-4.75	5.01	✓
4->7	92.50	98.50	-6.00	6.09	✓
4->8	106.50	110.75	-4.25	3.84	✓
6->4	149.75	162.50	-12.75	7.85	✓
6->7	67.75	84.00	-16.25	19.35	✓
6->8	83.25	96.25	-13.00	13.51	✓
7->4	128.00	146.25	-18.25	12.48	✓
7->6	128.00	143.50	-15.50	10.80	✓
8->4	128.25	141.25	-13.00	9.20	✓
8->6	128.75	142.50	-13.75	9.65	✓
8->7	134.75	141.75	-7.00	4.94	✓
			เฉลี่ย	9.34	✓ (100%)

หมายเหตุ: ✓ = ผ่านเกณฑ์, ✗ = ไม่ผ่านเกณฑ์, (100%) = ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์

2.3) ผลการเปรียบเทียบความยาวแถวคอย

ผลการเปรียบเทียบความยาวแถวคอยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกว่าร้อยละ 28.16 ทั้งนี้เนื่องจากค่าความยาวแถวคอยมีค่าค่อนข้างน้อยทำให้เกิดร้อยละความคลาดเคลื่อนสูง ทั้งนี้เมื่อใช้เกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการเปรียบเทียบของ Ove Arup & Partners Scotland Ltd. (2007) ซึ่งระบุความคลาดเคลื่อนเป็นคั่นแปรผันตามช่วงค่าปริมาณความยาวแถวคอย (ตั้งได้กล่าวมาแล้วเกณฑ์การเปรียบเทียบ) ผลการเปรียบเทียบพบว่าผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบทุกขาทางแยกที่การสำรวจ ตำแหน่งสำรวจที่ทำการเปรียบเทียบความยาวแถวคอยและสรุปผลการเปรียบเทียบความยาวแถวคอย ดังแสดงในภาพที่ 130 ตารางที่ 64



ภาพที่ 130 ตำแหน่งสำรวจที่ทำการเปรียบเทียบความยาวแถวคอย

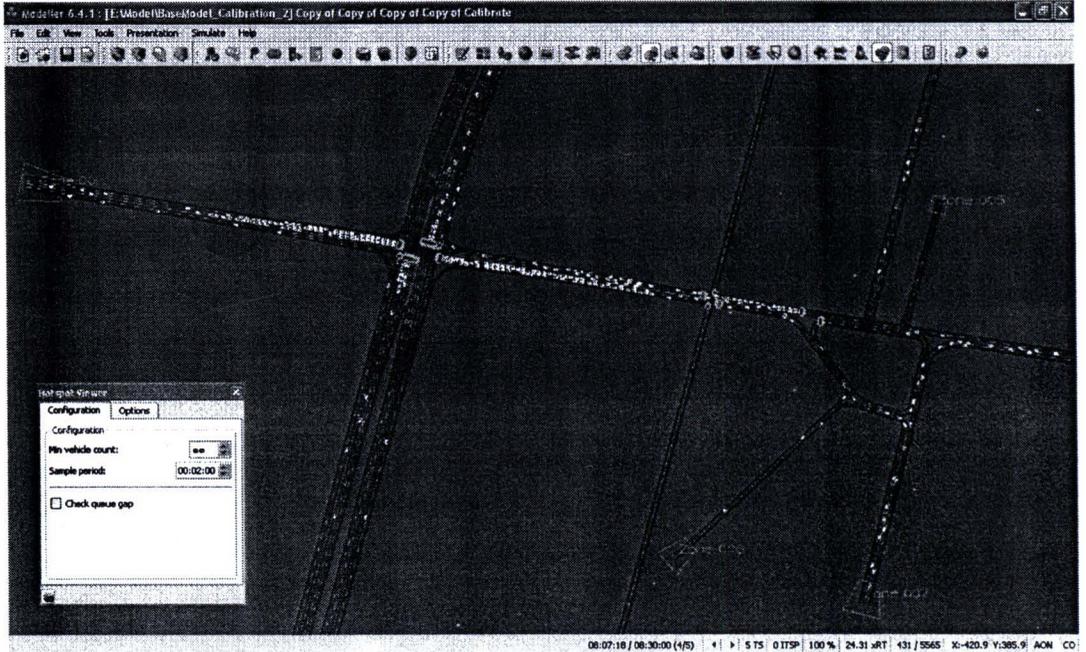
ตารางที่ 64 ผลการเปรียบเทียบความยาวแถวคอย

ตำแหน่งที่	ค่าที่ได้จาก แบบจำลอง	ค่าที่ได้จาก การสำรวจ	ความแตกต่าง	% ความแตกต่าง สัมบูรณ์	ผ่านเกณฑ์
1	16	17	-1	5.88	✓
2	9	7	2	28.57	✓ (<5)
3	5	9	-4	44.44	✓ (<5)
4	11	6	5	83.33	✓ (<5)
5	5	7	-2	28.57	✓ (<5)
			เฉลี่ย	38.16	✓ (100%)

หมายเหตุ: ✓ = ผ่านเกณฑ์, ✗ = ไม่ผ่านเกณฑ์, (100%) = ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์

3) ผลการเปรียบเทียบภาพเคลื่อนไหว (Calibrating Animation)

การเปรียบเทียบภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรมกับผลการเก็บสำรวจสภาพจริงในสนามด้วยกล้อง VDO ในภาพรวมของประสิทธิภาพการจราจรทั้งโครงข่ายพบว่า มีความยาวแถวคอยที่เสมือนสภาพจริง ในทุกขาที่เข้าสู่ทางแยก เช่น ถนนมิตรภาพทั้งทิศมุ่งเหนือและใต้ และถนนศรีจันทร์ เป็นต้น มีสภาพปัญหาการจราจรติดขัดในตำแหน่งและช่วงถนนซึ่งพบสภาพดังกล่าวในภาพจากกล้อง VDO อย่างสมเหตุสมผล เช่น บริเวณถนนศรีจันทร์ช่วงที่เข้าสู่สี่แยกประตูเมือง ทั้งสองทิศทาง นอกจากนั้นยังมีปัญหาความยาวแถวคอยเลยทางแยก (สี่แยกประตูเมือง) เนื่องจากรถไฟตัดผ่าน ซึ่งมีความสอดคล้องกับสภาพจากการสำรวจอย่างมาก โดยภาพรวมมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงอย่างมาก ดังแสดงในภาพที่ 131



ภาพที่ 131 การปรับเทียบแบบจำลองจากภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรม

8. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)

เมื่อแบบจำลองฐานได้รับการปรับเทียบกับข้อมูลสภาพการจราจรชุดที่ 1 (ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า) ต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำไปใช้ในการวิเคราะห์และประเมินทางเลือกต่างๆ โดยการทดสอบและเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพการจราจรกับข้อมูลการจราจรชุดที่ 2 (ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลอิสระจากชุดข้อมูลที่ 1 โดยในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้พิจารณาใช้ดัชนีในการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองกับผลการสำรวจและเกณฑ์การพิจารณาเช่นเดียวกับการปรับเทียบแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ดังนี้

8.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องค่าปริมาณจราจร (Validating Traffic Volumes)

1) ผลการตรวจสอบความถูกต้องปริมาณจราจรบนช่วงถนน

ผลการตรวจสอบความถูกต้องปริมาณจราจรบนช่วงถนนมีความสอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนามเป็นอย่างดี ผ่านเกณฑ์การปรับเทียบทุกจุดสำรวจ (ตำแหน่งสำรวจที่ทำการตรวจสอบความถูกต้องดังแสดงในภาพที่ 127) มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 2.14 มีค่า GEH เฉลี่ย 0.67 สรุปผลการปรับเทียบปริมาณจราจรบนช่วงถนน ดังแสดงในตารางที่ 65

ตารางที่ 65 ผลการตรวจสอบความถูกต้องปริมาณจราจรบนช่วงถนน

จุดสำรวจ	ค่าที่ได้จาก แบบจำลอง	ค่าที่ได้จาก การสำรวจ	ความ แตกต่าง	% ความแตกต่าง สัมบูรณ์	GEH	ผ่านเกณฑ์
1	1473	1408	65	4.58	1.70	✓
2	1336	1298	38	2.92	1.05	✓
3	1885	1823	62	3.41	1.45	✓
4	1825	1790	35	1.96	0.82	✓
5	546	571	-25	4.44	1.07	✓
6	466	466	0	0.06	0.01	✓
7	868	853	15	1.80	0.52	✓
8	1078	1070	8	0.72	0.23	✓
9	737	730	7	0.92	0.25	✓
10	582	588	-6	1.07	0.26	✓
11	363	356	7	1.90	0.36	✓
12	267	262	5	1.94	0.31	✓
			เฉลี่ย	2.14	0.67	✓ (100%)

หมายเหตุ: ✓ = ผ่านเกณฑ์, ✗ = ไม่ผ่านเกณฑ์, (100%) = ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์

2) ผลการตรวจสอบความถูกต้องปริมาณจราจรที่ทางแยก

ผลการตรวจสอบความถูกต้องปริมาณจราจรที่ทางแยกมีความสอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนามเป็นอย่างดี ผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบทุกจุดสำรวจ (ตำแหน่งสำรวจที่ทำการตรวจสอบความถูกต้องดังแสดงในภาพที่ 129) มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 3.77 มีค่า GEH เฉลี่ย 1.13 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรที่ทางแยก ดังแสดงในตารางที่ 66

ตารางที่ 66 ผลการตรวจสอบความถูกต้องปริมาณจราจรที่ทางแยก

ทิศทาง	ค่าที่ได้จาก แบบจำลอง	ค่าที่ได้จาก การสำรวจ	ความ แตกต่าง	% ความแตกต่าง สัมบูรณ์	GEH	ผ่านเกณฑ์
1>2	85	84	1	1.58	0.95	✓
1>3	280	285	-5	1.65	0.79	✓
1>4	508	499	9	1.87	1.04	✓
2>1	180	219	-39	17.85	1.96	✓
2>3	968	991	-23	2.30	2.32	✓
2>4	563	526	37	7.04	0.33	✓
3>1	284	278	6	2.13	0.90	✓
3>2	1046	1049	-2	0.23	2.19	✓
3>4	412	411	1	0.13	1.88	✓
4>1	432	407	26	6.28	0.41	✓
4>2	618	628	-10	1.61	0.44	✓
4>3	257	263	-7	2.58	0.37	✓
			เฉลี่ย	3.77	1.13	✓ (100%)

หมายเหตุ: ✓ = ผ่านเกณฑ์, ✗ = ไม่ผ่านเกณฑ์, (100%) = ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์

8.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจร (Validate System Performance)

1) ผลการตรวจสอบความถูกต้องความเร็วเฉลี่ย

ผลการตรวจสอบความถูกต้องความเร็วเฉลี่ยมีความสอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนามเป็นอย่างดี (ตำแหน่งสำรวจที่ทำการตรวจสอบความถูกต้องดังแสดงในภาพที่ 128) มีช่วงถนนที่ผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบเกินกว่าร้อยละ 85 โดยมีเพียงจุดสำรวจที่ 2 ช่วงถนนศรีจันทร์ (ทิศมุ่งตะวันตก) และจุดสำรวจที่ 12 ช่วงถนนประชาสำราญ (ทิศมุ่งเหนือ) ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ และมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 9.90 สรุปผลการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 67

ตารางที่ 67 ผลการตรวจสอบความถูกต้องปริมาณความเร็วเฉลี่ย

จุดสำรวจ	ค่าที่ได้จากแบบจำลอง	ค่าที่ได้จากการสำรวจ	ความแตกต่าง	% ความแตกต่างสัมบูรณ์	ผ่านเกณฑ์
1	8.50	8.39	0.11	1.33	✓
2	20.47	16.54	3.94	23.81	✗
3	20.84	22.17	-1.33	6.00	✓
4	26.35	24.52	1.83	7.46	✓
5	22.26	21.82	0.44	2.02	✓
6	19.28	18.82	0.47	2.48	✓
7	38.70	39.70	-1.00	2.52	✓
8	31.98	34.05	-2.07	6.08	✓
9	41.85	37.56	4.29	11.41	✓
10	41.27	37.22	4.05	10.88	✓
11	26.66	24.86	1.80	7.24	✓
12	38.14	26.01	12.13	46.64	✗
13	44.29	38.79	5.50	14.17	✓
14	25.92	25.43	0.50	1.95	✓
			เฉลี่ย	9.90	✓ (85.7%)

หมายเหตุ: ✓ = ผ่านเกณฑ์, ✗ = ไม่ผ่านเกณฑ์, (100%) = ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์

2) ผลการตรวจสอบความถูกต้องเวลาในการเดินทาง

ผลการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทางมีความสอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนามเป็นอย่างดี (ตำแหน่งสำรวจที่ทำการตรวจสอบความถูกต้องดังแสดงในภาพที่ 129) มีเพียงเวลาในการเดินทางจากคูโซน 6 ไปยังโซน 7 ที่มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าร้อยละ 15 แต่อย่างไรก็ตามถือว่าผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบเนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 นาที โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 11.90 สรุปผลการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทาง ดังแสดงในตารางที่ 68

ตารางที่ 68 ผลการตรวจสอบความถูกต้องเวลาในการเดินทาง

คูโชน	ค่าที่ได้จาก แบบจำลอง	ค่าที่ได้จาก การสำรวจ	ความ แตกต่าง	% ความแตกต่าง สัมบูรณ์	ผ่านเกณฑ์
4->6	107.50	114.00	-6.50	5.70	✓
4->7	111.50	118.70	-7.20	6.07	✓
4->8	124.75	133.15	-8.40	6.31	✓
6->4	151.25	177.00	-25.75	14.55	✓
6->7	68.50	84.84	-16.34	19.26	✓
6->8	86.25	101.06	-14.81	14.66	✓
7->4	130.25	152.00	-21.75	14.31	✓
7->6	130.75	150.68	-19.93	13.22	✓
8->4	147.75	167.61	-19.86	11.85	✓
เฉลี่ย				11.90	✓ (100%)

หมายเหตุ: ✓ = ผ่านเกณฑ์, X = ไม่ผ่านเกณฑ์, (100%) = ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์

3) ผลการตรวจสอบความถูกต้องความยาวแถวคอย

ผลการตรวจสอบความถูกต้องความยาวแถวคอยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกว่าร้อยละ 28.60 (ตำแหน่งสำรวจที่ทำการตรวจสอบความถูกต้องดังแสดงในภาพที่ 130) ทั้งนี้เมื่อใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบของ Ove Arup & Partners Scotland Ltd. (2007) ซึ่งระบุความคลาดเคลื่อนเป็นคั่นแปรผันตามช่วงค่าปริมาณความยาวแถวคอย พบว่าผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบทุกขทางแยกที่การสำรวจ สรุปผลการเปรียบเทียบความยาวแถวคอย ดังแสดงในตารางที่ 69

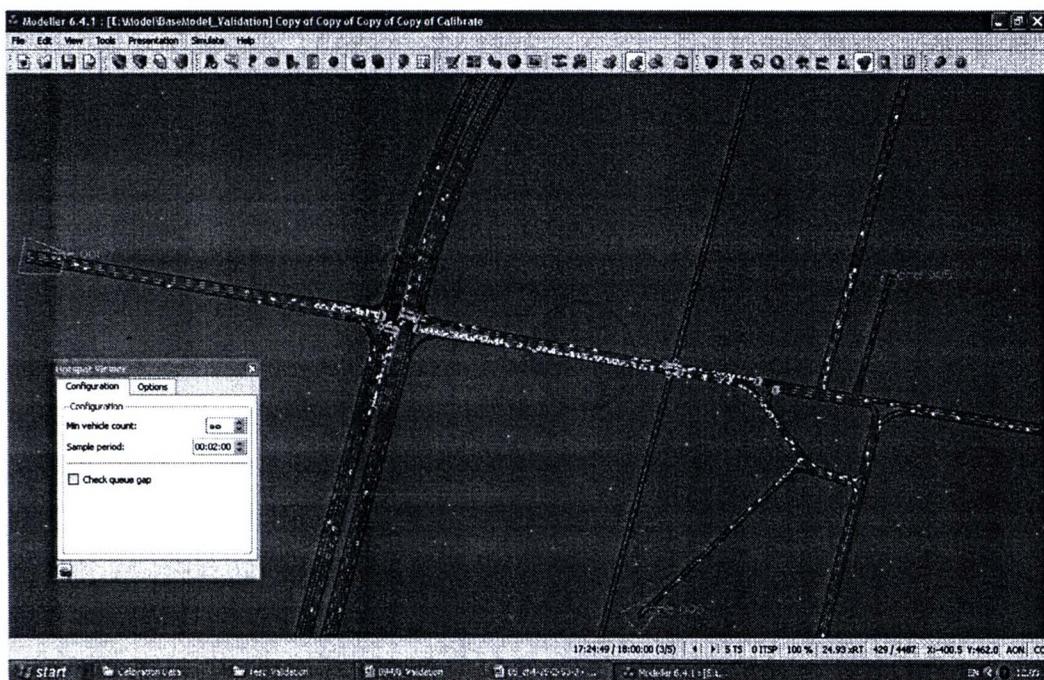
ตารางที่ 69 ผลตรวจสอบความถูกต้องความยาวแถวคอย

ตำแหน่งที่	ค่าที่ได้จาก แบบจำลอง	ค่าที่ได้จาก การสำรวจ	ความ แตกต่าง	% ความแตกต่าง สัมบูรณ์	ผ่านเกณฑ์
1	14	13	1	7.69	✓
2	14	10	4	40.00	✓ (<7)
3	8	13	-5	38.46	✓ (<7)
4	10	12	-2	16.67	✓
5	5	8	-3	37.50	✓ (<5)
เฉลี่ย				28.06	✓ (100%)

หมายเหตุ: ✓ = ผ่านเกณฑ์, X = ไม่ผ่านเกณฑ์, (100%) = ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์

8.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องภาพเคลื่อนไหว (Validating Animation)

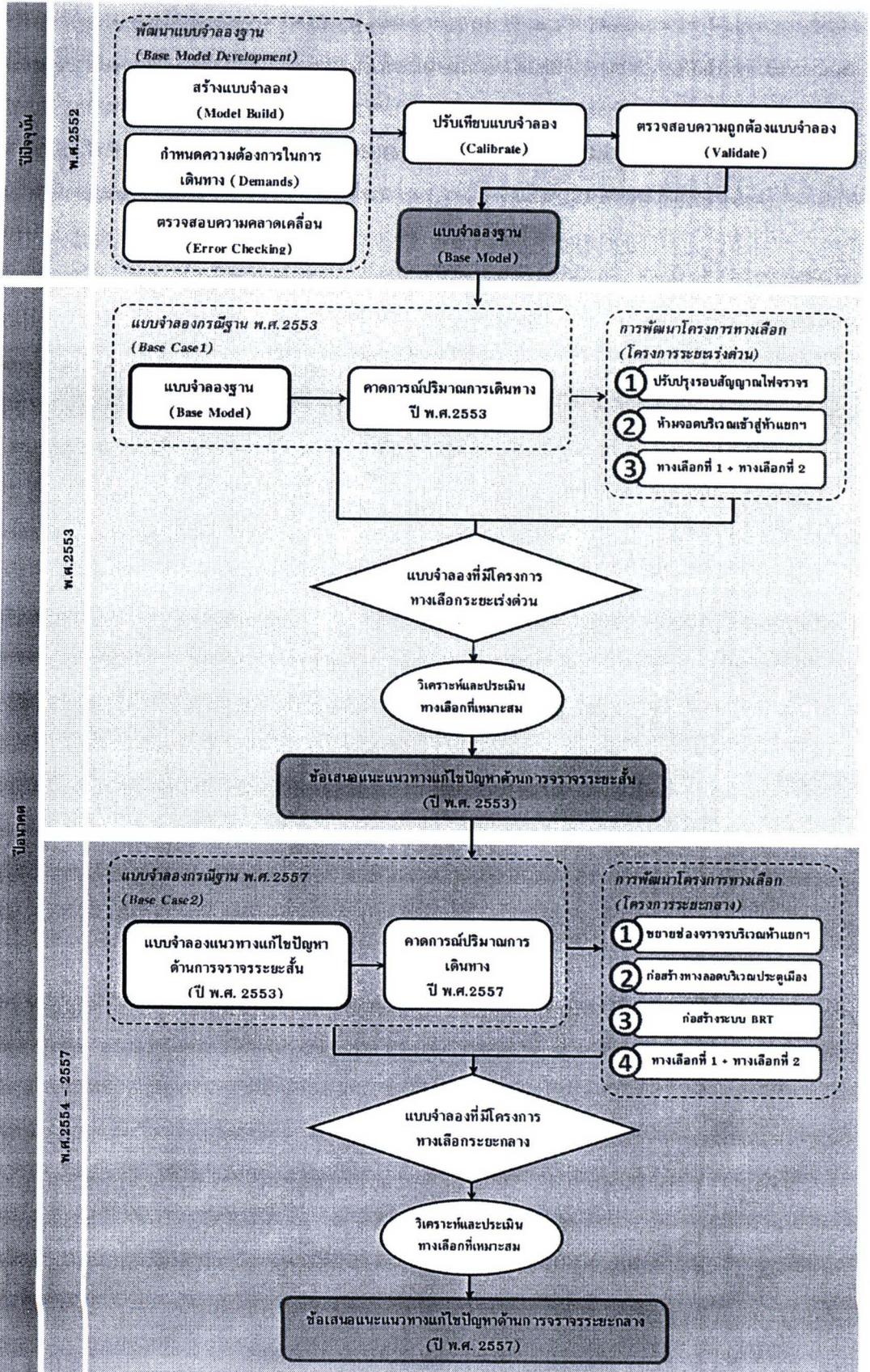
ผลการตรวจสอบความถูกต้องภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรมกับผลการเก็บสำรวจสภาพจริงในสนามด้วยกล้อง VDO ในภาพรวมของประสิทธิภาพการจราจรทั้งโครงข่าย พบว่า มีความยาวแถวคอยที่ใกล้เคียงกับสภาพจริง เช่น ถนนมิตรภาพทั้งทิศมุ่งเหนือและมุ่งใต้ ถนนศรีจันทร์ และถนนตรุณสำราญ มีสภาพปัญหาการจราจรติดขัดในตำแหน่งและช่วงถนนซึ่งปรากฏสภาพดังกล่าวในภาพจากกล้อง VDO อย่างสมเหตุสมผล บริเวณถนนศรีจันทร์ช่วงที่เข้าสู่สี่แยกประตูเมือง ทั้งสองทิศทาง โดยภาพรวมมีความใกล้เคียงกับสภาพจริง ดังแสดงในภาพที่ 132



ภาพที่ 132 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรม

9. การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ทางเลือก

ในการวิเคราะห์ทางเลือกได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองระดับจุลภาคที่พัฒนาขึ้น เพื่อทำการทดสอบ วิเคราะห์ และประเมินทางเลือกแบ่งเป็น 2 กรณี คือ 1) กรณีที่ไม่มีโครงการทางเลือก (แบบจำลองกรณีฐาน) และ 2) กรณีที่มีการดำเนินการโครงการทางเลือกเพื่อแก้ปัญหาการจราจรที่เกิดขึ้น (Proposed Projects) ในป้อนาคตซึ่งแบ่งเป็นระยะสั้น (1 ปี) ระยะกลาง (5 ปี) แนวคิดในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ทางเลือก ดังแสดงในภาพที่ 133



ภาพที่ 133 แนวคิดในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ทางเลือก

แบบจำลองที่ได้รับตรวจสอบความคลาดเคลื่อน (Error Checking) เปรียบเทียบแบบจำลอง (Calibration) และตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) จนได้ค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แบบจำลองที่ได้นั้นจะถูกนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ประเมินทางเลือกในการแก้ปัญหาด้านการจราจรที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและรองรับสภาพปัญหาด้านการจราจรที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยการวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และประเมินทางเลือกต่างๆ เพื่อได้มาซึ่งทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดทางด้านวิศวกรรมจราจรโดยใช้ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ (Measure of Effectiveness, MOEs) ของแต่ละทางเลือก ขั้นตอนและรายละเอียดในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ ประเมินทางเลือกต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

9.1 แบบจำลองกรณีฐาน (Base Case Model)

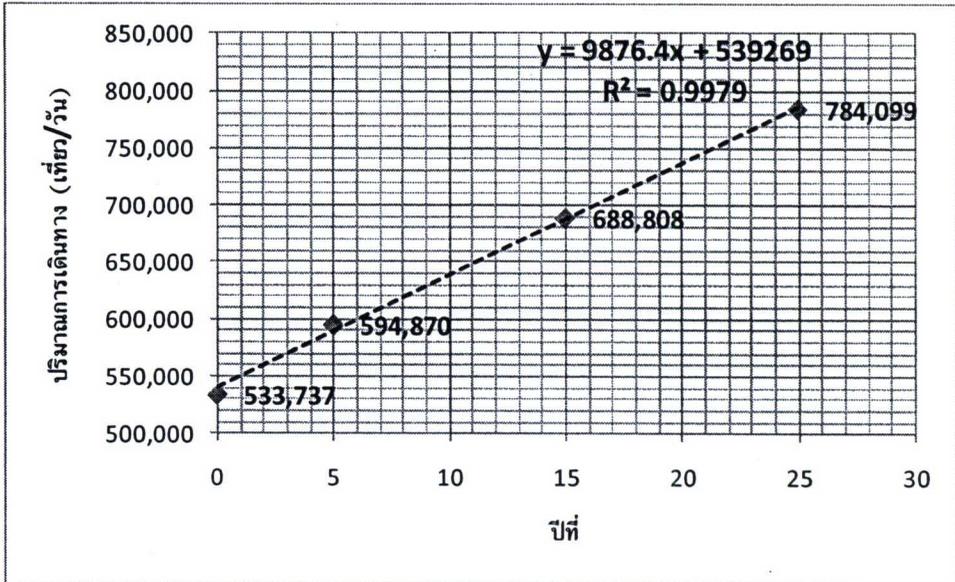
แบบจำลองกรณีฐานหรือทางเลือกในอนาคตที่ไม่มีโครงการ (“Future No-Build” Alternative) เป็นทางเลือกที่เกิดจากแบบจำลองฐานที่ได้ทำการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจนมีความมั่นใจแล้ว ซึ่งแบบจำลองฐานจะเปรียบเสมือนเป็นสภาพในปัจจุบันที่ไม่มีโครงการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงระบบการจราจร โดยกำหนดปริมาณการเดินทางที่ได้จากการคาดการณ์ปริมาณการเดินทางในอนาคต ดังนี้

1) คาดการณ์ปริมาณการเดินทางในอนาคต (Future Demand Forecast)

ส่วนประกอบหลักที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์ทางเลือกในการแก้ปัญหาการจราจร คือการคาดการณ์การจราจรในอนาคต ซึ่งขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการประมาณการและสมมติฐานที่ใช้ในการหาค่าปริมาณจราจรในอนาคต ในการศึกษาที่ใช้หลักการ Historical Growth Patterns เป็นวิธีการในการประมาณค่าการเดินทางในอนาคต พิจารณา Growth Rate (Downling et al., 2004) จากผลการประมาณการเดินทางของ โครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม เศรษฐกิจ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น เพื่อก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนเมืองขอนแก่น (ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, 2550)

โดยในการศึกษาดังกล่าวได้พิจารณาผลกระทบต่างๆ ได้แก่ การศึกษา การจัดทำแผนแม่บทด้านการจราจรและขนส่งที่ผ่านมา การรวบรวมข้อมูลด้านเศรษฐกิจและสังคม ข้อมูลระบบโครงข่ายคมนาคมและขนส่ง รวมทั้งการสำรวจข้อมูลสภาพจราจรในปีปัจจุบัน เช่น ปริมาณจราจรบริเวณช่วงถนนและทางแยก ความเร็วเฉลี่ย ความล่าช้า และความยาวแถวคอยบริเวณทางแยก เป็นต้น รวมทั้งข้อมูลการเปลี่ยนแปลงด้านเศรษฐกิจ-สังคม เพื่อประกอบการจัดทำแบบจำลองในอนาคต เป็นต้น ก่อนทำการคาดการณ์ปริมาณการเดินทางในอนาคต ผลการคาดการณ์ปริมาณการเดินทางในช่วง 25 ปี พบว่า ปริมาณการเดินทางมีอัตราการเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยคิดที่ 25 ปี เพิ่มขึ้นร้อยละ 46.9 (เทียบกับปีปัจจุบัน พ.ศ.2550) โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.55 ต่อปี ในขณะที่หากพิจารณาเฉพาะช่วงเวลาที่ส่งผลกับการศึกษานี้ (พ.ศ. 2550-2557) จะสามารถประมาณค่า Growth Rate และ Growth Factor เมื่อเทียบกับปี

ปัจจุบันที่ทำการศึกษา (พ.ศ. 2552) โดยสมมติให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการเดินทางในรูปแบบสมการเชิงเส้น ดังแสดงในภาพที่ 134 และตารางที่ 70



ภาพที่ 134 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเดินทางในช่วงที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 70 ประมาณค่า Growth Factor

ปีที่	พ.ศ.	ปริมาณการเดินทาง (เที่ยว/วัน)	Growth Rate	Growth Factor เทียบกับปีปัจจุบัน (ปี 2552)
	2550	539269		
	2551	549145	1.83	
0	2552	559022	1.80	
1	2553	568898	1.77	1.77
2	2554	578775	1.74	
3	2555	588651	1.71	
4	2556	598527	1.68	
5	2557	608404	1.65	8.83

ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อคาดการณ์ปริมาณการเดินทางในอนาคตโดยใช้ Growth Factor ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ตัวคูณปริมาณการเดินทางในปีปัจจุบัน เท่ากับ 1.77 และ 8.83 สำหรับปีที่ 1 (พ.ศ.2553) และปีที่ 5 (พ.ศ.2557)

2) ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

ในการศึกษาได้พิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ การเปิดให้บริการของห้างเซ็นทรัล พลาซ่า จังหวัดขอนแก่น บริเวณใกล้สี่แยกประตูเมือง ซึ่งเป็นห้างสรรพสินค้าที่เป็นศูนย์รวมความบันเทิงและความสมบูรณ์แบบที่ใหญ่ที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่กว่า 250,000 ตร.ม. ซึ่งสามารถจอดรถยนต์ได้ 1,500 คัน และรถจักรยานยนต์ 1,000 คัน โดยมีทางเข้าทั้งหมดสามช่องทาง คือ ด้านถนนมิตรภาพสองช่องทางและถนนศรีจันทร์อีกหนึ่งช่องทาง โดยกำหนดให้สามารถเลี้ยวซ้ายเข้า-ออกต่างๆ เท่านั้น

วิโรจน์ รุโจปการ (2544) กล่าวว่า ในการประมาณค่าการเกิดการเดินทางในการศึกษานี้ใช้วิธีอัตราการเดินทาง (Trip Rate) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยการสร้างการเดินทางหรือการดึงดูดการเดินทางต่อหน่วยของสิ่งก่อสร้างที่ทำให้เกิดการเดินทาง เช่น ประชากร การจ้างงาน และพื้นที่ เป็นต้น ชาคริต ชูวุฒยากร (2550) กล่าวว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินของอาคารกับปริมาณการเดินทางมีความสัมพันธ์ ในระดับที่สามารถพัฒนาแบบจำลองได้ โดยการเดินทางเข้าและออกของอาคารแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ที่ดินของอาคาร อัตราการเกิดและการดึงดูดการเดินทางของอาคารมีความสัมพันธ์กับการใช้พื้นที่ของอาคาร โดยการคาดการณ์การเกิดการเดินทางของ ห้างเซ็นทรัลพลาซ่า จังหวัดขอนแก่น ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้อัตราการเดินทางที่ได้ทำการศึกษาในจังหวัดเชียงใหม่ สำหรับปริมาณการเดินทางเข้าและออกอาคารที่ใช้เพื่อการพาณิชย์กรรมเป็นลักษณะห้างสรรพสินค้า/นันทนาการ ซึ่งมีลักษณะและพฤติกรรมการเดินทางและพื้นที่ใช้สอยของห้างฯ ที่ใกล้เคียงกับจังหวัดขอนแก่น โดยมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นมีสมการอัตราการเดินทาง (หน่วยเป็นเที่ยวต่อวัน) เท่ากับ $0.136 * A$ และ $0.137 * A$ ($A =$ พื้นที่ใช้สอย หน่วยเป็น ตร.ม.) สำหรับอัตราการเดินทางเข้าและออกพื้นที่ตามลำดับ (ชาคริต ชูวุฒยากร, 2550)

สำหรับกรณีศึกษาห้างเซ็นทรัล พลาซ่า ขอนแก่น มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 53,000 ตารางเมตร (บริษัท เซ็นทรัล พัฒนา จำกัด, 2552) โดยใช้สัดส่วนที่มีช่วงเวลาที่มียปริมาณการเดินทางเข้าและออกสูงสุดของวันในหนึ่งชั่วโมง (เฉพาะช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น) เท่ากับร้อยละ 10.7 และ 16.5 สำหรับอัตราการเดินทางเข้าและออกตามลำดับ ซึ่งในการวิจัยนี้เลือกใช้สัดส่วนการเข้าและออกเท่ากันที่ประมาณร้อยละ 13 ดังนั้นจะได้ปริมาณการเดินทางเข้าและออกประมาณ 937 และ 943 เที่ยวต่อหนึ่งชั่วโมงเร่งด่วน และจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น (สำรวจในช่วงที่ห้างฯ เปิดให้บริการแล้ว) เพื่อนำไปใช้ในการคาดการณ์ปริมาณการเดินทางเข้าออกห้างฯ และกระจายการเดินทางสู่โซนต้นทางและโซนปลายทาง ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น (17.00-18.00 น.) ดังแสดงในตารางที่ 71 และตารางที่ 72



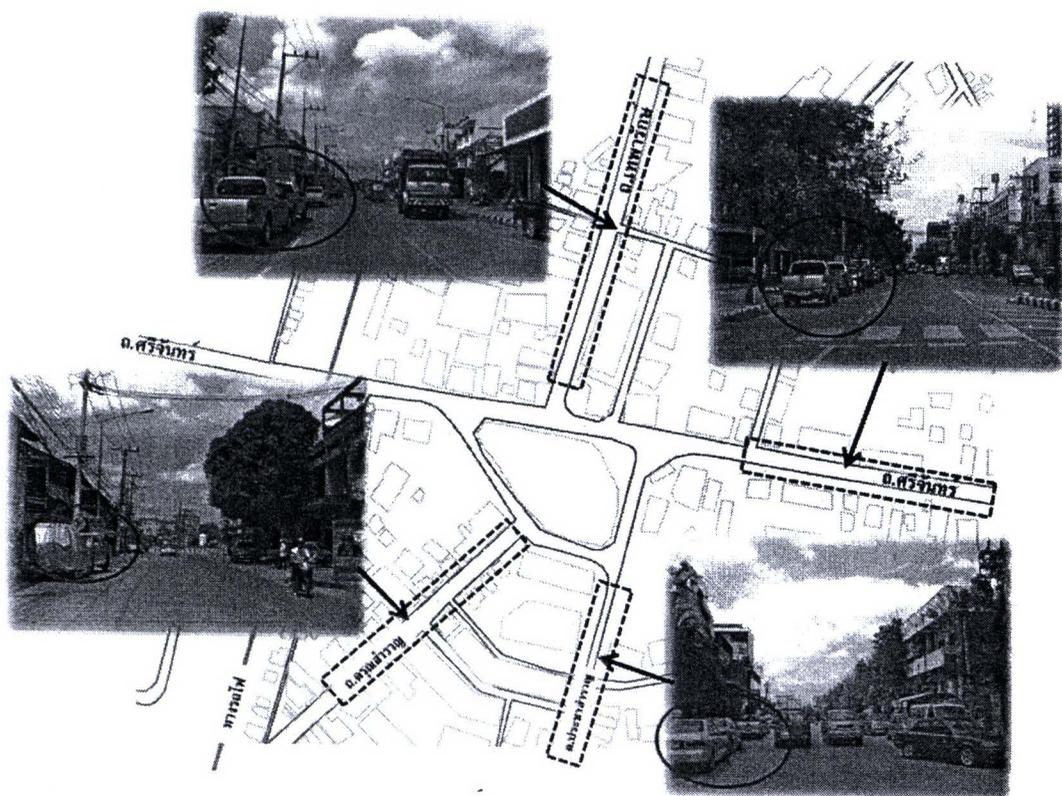
ภาพที่ 137 การสร้างห้างเซ็นทรัล พลาซ่า ในแบบจำลองกรณีฐาน

9.2 แบบจำลองกรณีมีโครงการทางเลือก (Alternative Model Case)

1) การพัฒนาทางเลือกในการแก้ไขปัญหาการจราจร

ในการพัฒนาและการสร้างทางเลือกในการแก้ไขปัญหาการจราจรสำหรับการวิจัยนี้ ได้พิจารณาจากประเด็นปัญหาด้านการจราจรที่พบจากการสำรวจข้อมูลด้านการจราจร การจัดการจราจร สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบัน และสภาพการปัญหาด้านการจราจรที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเดินทางในอนาคต เพื่อเสนอแนะทางเลือกเพื่อแก้ไขปัญหา ซึ่งจะพิจารณาร่วมกันกับแนวทาง/มาตรการ/นโยบายต่างๆ ให้ได้มาซึ่งทางเลือกที่มีความเหมาะสมในการแก้ไขและบรรเทาปัญหาด้านการจราจรในระยะสั้นและสามารถรองรับปัญหาการจราจรที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประเด็นหลักของสภาพปัญหาที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และการจัดการจราจรในปัจจุบัน มีดังนี้

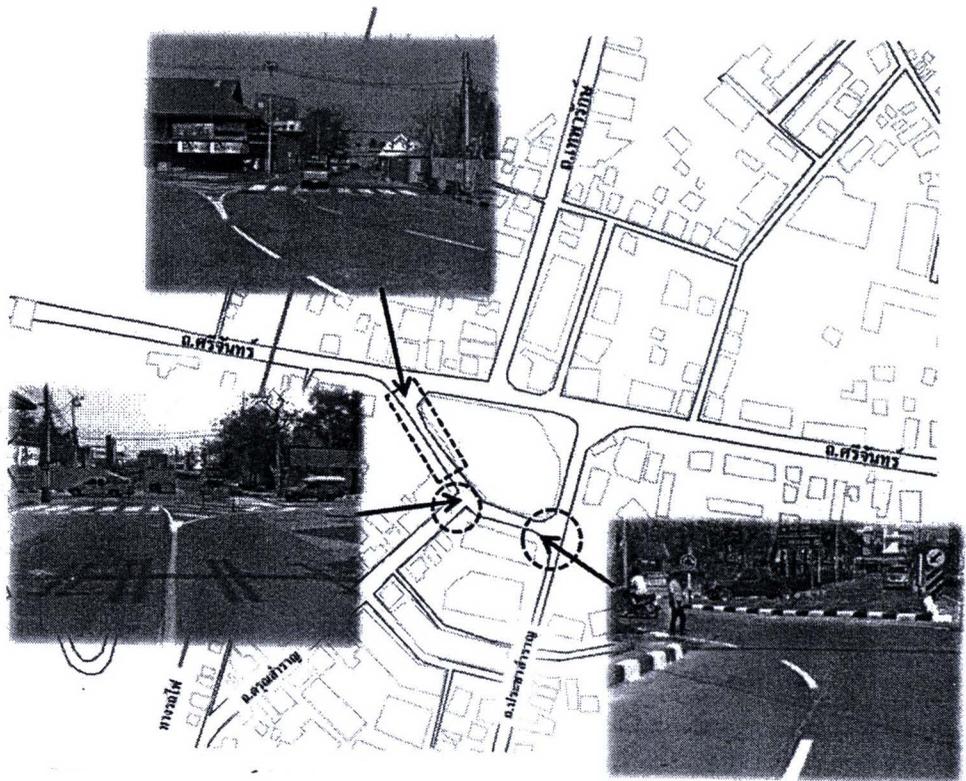
1.1) การอนุญาตให้สามารถจอดรถริมถนน (On-Street parking) ได้ทั้งสองด้านของถนน ตลอดช่วงที่เข้าสู่ห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง ส่งผลให้ความจุของช่วงถนนลดลงอย่างมาก จากถนนที่มีขนาด 4 ช่องจราจร (2 ช่องจราจรในแต่ละทิศทาง) สามารถใช้ได้เพียง 2 ช่องจราจร (1 ช่องจราจรในแต่ละทิศทาง) ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด ความยาวแถวคอย และทำให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางเมื่อเข้าสู่บริเวณที่เข้าสู่ห้าแยกฯ ดังแสดงในภาพที่ 138



ภาพที่ 138 การอนุญาตให้จอดรถริมถนนบนช่วงถนนที่เข้าสู่ห้าแยกฯ

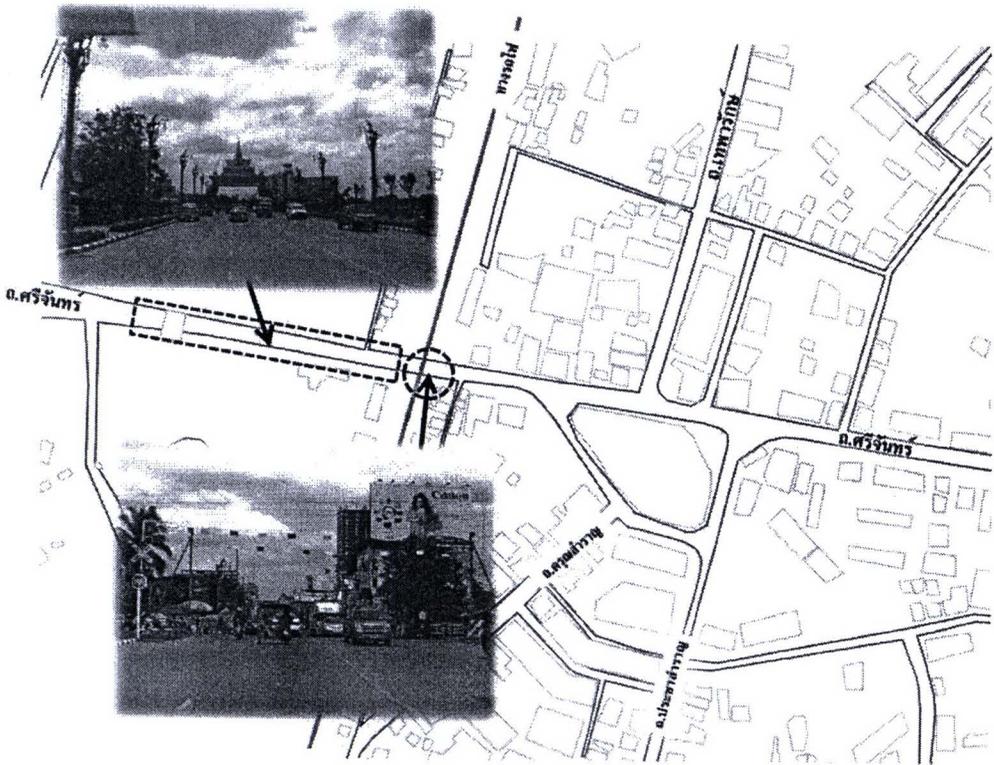
1.2) ในพื้นที่ศึกษามีการควบคุมการจราจรด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร 2 ตำแหน่ง คือบริเวณสี่แยกประตูเมือง และห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง โดยทั้งสองเป็นระบบรอบสัญญาณไฟที่มีเวลาคงที่ (Isolated fixed time signal) และมีการทำงานที่เป็นอิสระและไม่ได้ทำงานประสานกัน ทำให้ยานมีการเคลื่อนที่สลับกับการหยุดเคลื่อนที่สลับกันบ่อยครั้ง นอกจากนี้พบว่ารอบสัญญาณไฟจราจรในปัจจุบันไม่ได้สอดคล้องกับปริมาณจราจร จนเกิดความล่าช้าและความยาวแถวคอยเป็นระยะทางยาวมากโดยเฉพาะบริเวณสี่แยกประตูเมืองตามแนวถนนศรีจันทร์ ซึ่งมีผลต่อเนื่องจนเกิดปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง

1.3) บริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองในปัจจุบันมีจำนวนช่องจราจรที่ไม่สม่ำเสมอ ได้แก่ บริเวณช่วงถนนในบริเวณวงเวียนด้านทิศตะวันตกซึ่งเชื่อมต่อจากถนนตรุณสำราญมายังถนนศรีจันทร์ที่มีช่องจราจร 3 ช่องจราจร ซึ่งถนนในวงเวียนมีจำนวนช่องจราจร 4 ช่องจราจร และบริเวณขาทางแยกที่เข้าสู่วงเวียนบนถนนประชาสำราญและถนนตรุณสำราญซึ่งมีช่องจราจรลดลงจาก 2 ช่องจราจร เหลือเพียง 1 ช่องจราจร (ภาพที่ 139) ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ของยานเป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่อง เกิดความขัดแย้งของยานและเกิดความสับสนแก่ผู้ขับขี่ และเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ



ภาพที่ 139 ความไม่สม่ำเสมอของช่องจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง

1.4) บริเวณช่วงถนนศรีจันทร์จากบริเวณประตูเมืองถึงห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองซึ่งมีลักษณะเป็นคอขวดซึ่งช่องจราจรลดลงจาก 6 ช่องจราจร (3 ช่องจราจรในแต่ละทิศทาง) ก่อนถึงทางรถไฟ เหลือ 4 ช่องจราจร (2 ช่องจราจรในแต่ละทิศทาง) บริเวณจุดตัดทางรถไฟ (ภาพที่ 140) ซึ่งเป็นเหตุให้บริเวณดังกล่าวมีปัญหาเรื่องความจุของถนนมีความเร็วเฉลี่ยต่ำ มีความขัดแย้งของยานสูง และเป็นบริเวณที่มีปัญหาการจราจรติดขัดอย่างมากจนส่งผลให้บางช่วงเวลามีความยาวแถวคอยมีความยาวจนถึงบริเวณสี่แยกประตูเมือง ประกอบกับการมีขบวนรถไฟ 2 ขบวนที่เวลา 07.55 และ 08.25 น. และอีกหนึ่งขบวนเวลา 16.20 น. ยิ่งเสริมให้ปัญหาการจราจรติดขัดในบริเวณนี้เข้าสู่ภาวะวิกฤต



ภาพที่ 140 คอขวดบริเวณจุดตัดทางรถไฟ

แบบจำลองมีโครงการทางเลือกหรือทางเลือกในอนาคตที่มีการปรับปรุง (“Future Build” Alternatives) เป็นแบบจำลองที่ได้พิจารณาจากสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองกรณีฐาน โดยมีการประยุกต์ใช้หลักการทางวิศวกรรมจราจรในการสร้างทางเลือกในการแก้ไขปัญหาด้านการจราจรในบริเวณพื้นที่ศึกษา นอกจากนั้นต้องพิจารณาถึงสภาพปัญหาจากการประมวลผลของแบบจำลองกรณีฐาน ซึ่งจะบ่งชี้ให้เห็นถึงภาพรวมของปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคตหากไม่มีการปรับปรุงและจัดการที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์สภาพปัญหาการจราจรในปัจจุบัน การพิจารณาจากแนวโน้มของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไป และการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเดินทางในอนาคต สามารถเสนอแนะทางเลือกสำหรับแก้ไขปัญหาด้านการจราจรและขนส่ง ดังแสดงในตารางที่ 73

ตารางที่ 73 ทางเลือกในการแก้ไขปัญหาด้านการจราจรและขนส่ง

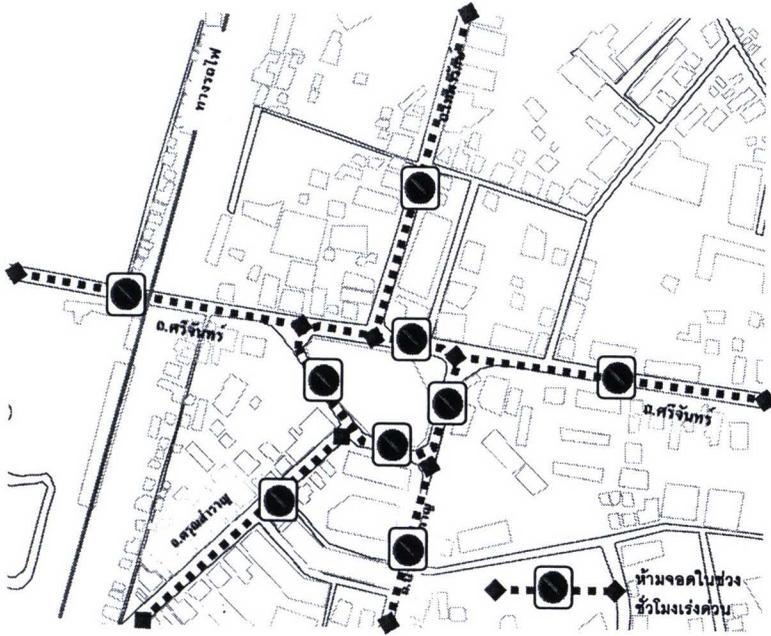
ช่วงเวลา	ทางเลือกที่	รายละเอียด
ระยะสั้น 1 ปี (พ.ศ.2553)	1	ห้ามจอดริมถนนบริเวณบนช่วงถนนที่เข้าสู่ห้าแยกฯ
	2	ปรับรอบสัญญาณไฟจราจร
	3	ทางเลือกที่ 1 + 2
ระยะกลาง 5 ปี (พ.ศ.2557)	1	ขยายช่องจราจรบริเวณห้าแยกฯ
	2	ก่อสร้างทางลอดบริเวณสี่แยกประตูเมือง
	3	ก่อสร้างระบบ BRT
	4	ทางเลือกที่ 1 + 2

2) ทางเลือกระยะสั้น (พ.ศ.2553)

แนวทางการพัฒนาทางเลือกระยะสั้นในช่วงเวลา 1 ปี (พ.ศ. 2553) มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขและบรรเทาปัญหาด้านการจราจรที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งโครงการที่เสนอในระยะสั้นหรือโครงการเร่งด่วนมีลักษณะเป็นโครงการที่ใช้งบประมาณไม่สูงนัก ใช้เวลาน้อยและสามารถดำเนินการทันที ผลจากการดำเนินโครงการสามารถแก้ไขหรือบรรเทาปัญหาการจราจรได้อย่างชัดเจน การวิจัยนี้ได้เสนอโครงการระยะสั้น 2 โครงการ คือ การปรับปรุงรอบสัญญาณไฟจราจร และการห้ามจอดบนช่วงถนนที่เข้าสู่ห้าแยกฯ ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1) ห้ามจอดริมถนนบริเวณบนช่วงถนนที่เข้าสู่ห้าแยกฯ

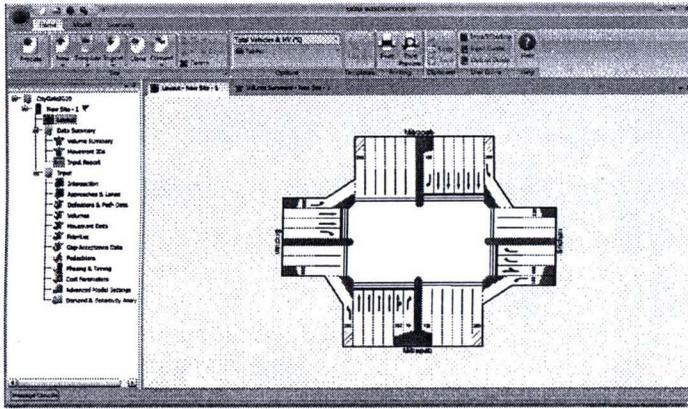
ถนนที่เข้าสู่ห้าแยกฯ มีเขตทางและผิวจราจรที่คับแคบ และปริมาณจราจรที่ผ่านในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนจำนวนมาก ประกอบกับถนนบางสายได้อนุญาตให้จอดรถทั้งสองข้างได้ตลอดเวลา จึงทำให้ไม่สามารถใช้ความจุของถนนได้เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนการห้ามจอดรถในชั่วโมงเร่งด่วน (07.00-09.00 น. และ 16.00-18.00 น.) บนช่วงถนนเหล่านี้จึงเป็นแนวทางที่สามารถเพิ่มความจุของถนนให้สามารถรองรับปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วนได้อย่างเต็มที่ ดังนั้น จึงเสนอแนะให้ภายในบริเวณห้าแยกฯ มีการควบคุมการห้ามจอดริมถนน (On-street parking) บนช่วงถนนที่เข้า-ออกห้าแยก ศาลเจ้าพ่อหลักเมืองและตลอดแนวถนนรอบในวงเวียนด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามควรมีการจัดพื้นที่สำหรับจอดรถนอกพื้นที่ถนน (Off-street parking) บริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองในช่วงเวลาดังกล่าว ในขณะที่เดียวกันเนื่องจากการการสัญจรบริเวณห้าแยกฯ ซึ่งมีการจัดการจราจรเป็นวงเวียน ยวดยานมีการเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่องซึ่งทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยแก่คนเดินเท้า ขณะข้ามถนนอย่างมาก จึงควรเสนอแนะให้มีการก่อสร้างอุโมงค์คนเดินเท้าด้วย เพื่อไม่ให้เกิดความขัดแย้งและลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุจราจรระหว่างคนเดินเท้าและผู้ขับขี่ยวดยาน ดังแสดงในภาพที่ 141



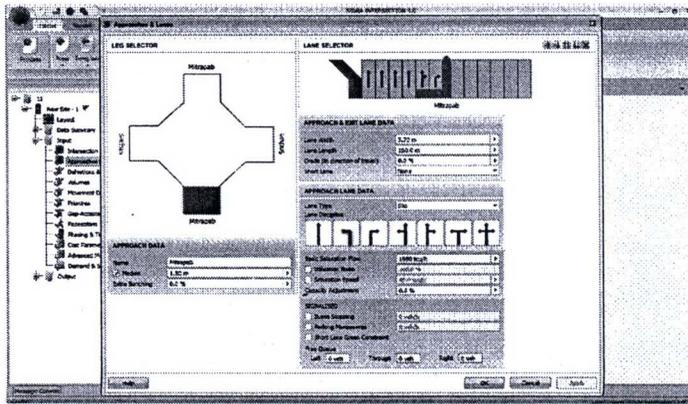
ภาพที่ 141 ทางเลือกในการบังคับห้ามจอดบนช่วงถนนที่เข้าสู่ห้าแยกฯ

2.2) ปรับปรุงรอบสัญญาณไฟจราจร

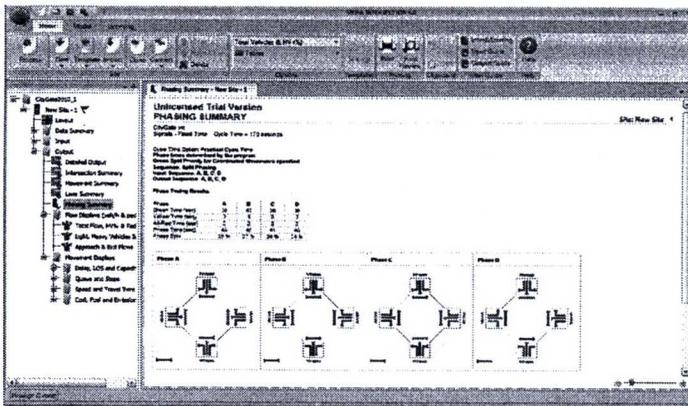
ประสิทธิภาพของระบบสัญญาณไฟจราจรขึ้นอยู่กับจังหวะและความยาวรอบสัญญาณไฟมีความเหมาะสมกับปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกเพียงใด หากมีการจัดจังหวะและรอบสัญญาณไฟที่ยังไม่เหมาะสมกับปริมาณจราจรเท่า ผลที่ตามมาคือหากสัญญาณไฟจราจรมีความยาวรอบสัญญาณไฟยาวเกินไป ยานพาหนะจะต้องหยุดคอยและก่อให้เกิดแถวคอยความล่าช้า ในทางกลับกันหากสัญญาณไฟจราจรที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟที่สั้นจนเกินไป จะไม่สามารถระบายยานพาหนะออกจากทางแยกไม่ทัน ซึ่งจะทำให้เกิดการจราจรติดขัด ดังนั้นการปรับจังหวะและความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรให้มีความเหมาะสมจึงช่วยลดความล่าช้า ลดเวลาในการเดินทาง บรรเทาปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณทางแยก และทำให้การระบบสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การวิเคราะห์ระบบสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกใช้โปรแกรม SIDRA Version 4 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบสัญญาณไฟจราจรที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้กันเป็นอย่างแพร่หลาย (ภาพที่ 142) ซึ่งสามารถคำนวณหาความล่าช้าและระดับการให้บริการของทางแยกเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของทางแยก การใช้โปรแกรม SIDRA คำนวณหาจังหวะ (Phase) และความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร (Cycle Length) โดยใช้ปริมาณจราจรที่ได้คาดการณ์ในอนาคต (ปี พ.ศ.2553) ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเย็น ในการคำนวณและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทางแยกดังกล่าว ตัวอย่างผลการประยุกต์ใช้โปรแกรม SIDRA ในการปรับปรุงจังหวะและรอบสัญญาณไฟจราจร ดังแสดงในภาพที่ 143 และรายละเอียดผลการวิเคราะห์รอบสัญญาณไฟที่เหมาะสมทั้งหมด ได้แสดงใน ภาคผนวก จ



ก) การกำหนดลักษณะทางกายภาพ



ข) การกำหนดข้อมูลทั่วไป



ค) ผลการวิเคราะห์รอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม

ภาพที่ 142 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้โปรแกรม SIDRA ในการปรับปรุงรอบสัญญาณไฟจราจร (สี่แยกประตูเมือง)

Phase	A		B		C		D	
Green Time (sec)	28		20		26		21	
Yellow Time (sec)	3		3		3		3	
All-Red Time (sec)	2		2		2		2	
Cycle Time (sec)	115							

ภาพที่ 143 ตัวอย่างผลการปรับปรุงจังหวะและรอบสัญญาณไฟจราจรโดยใช้โปรแกรม SIDRA (บริเวณสี่แยกประตูเมือง ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น)

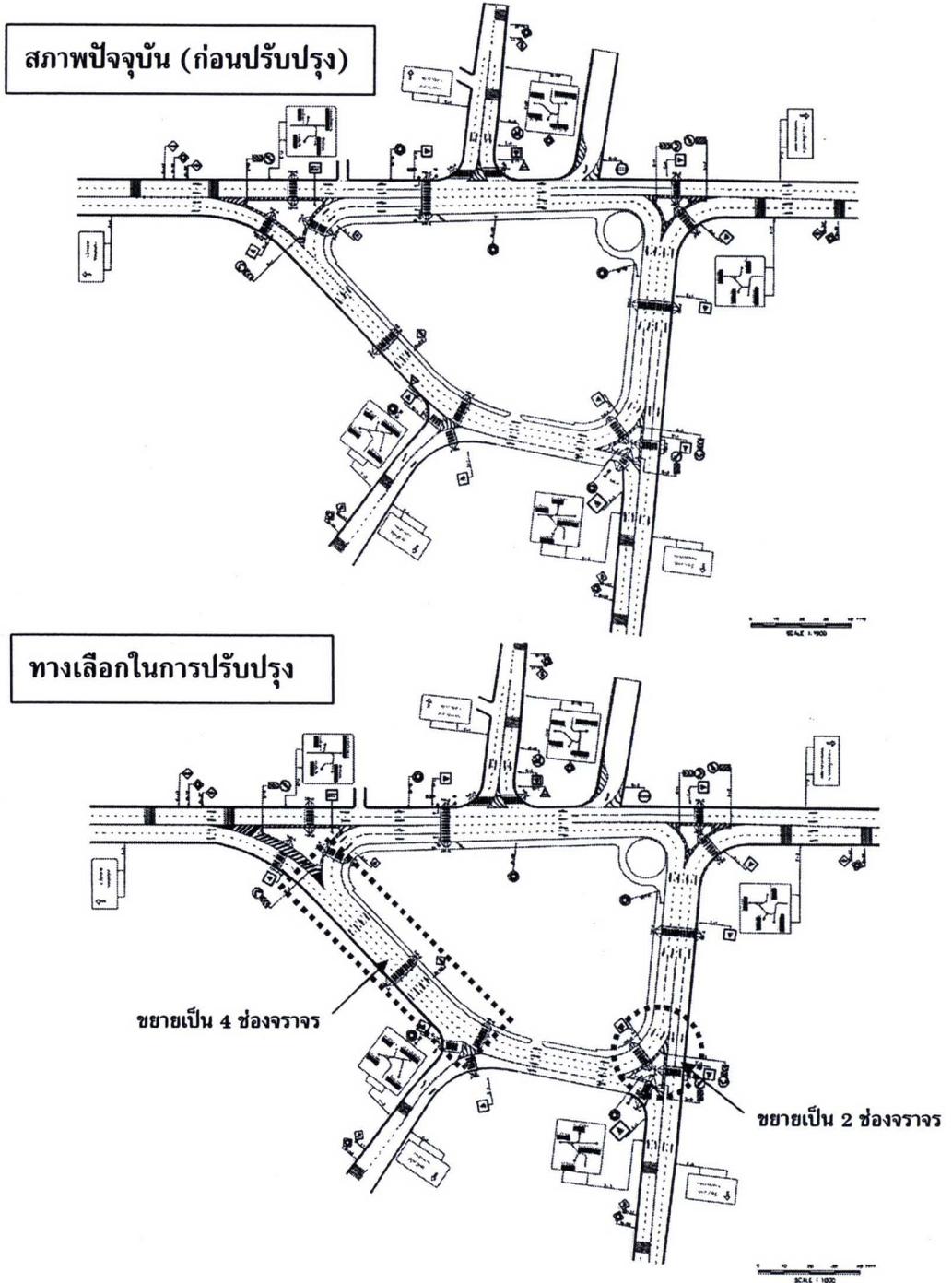
3) ทางเลือกระยะกลาง (พ.ศ.2557)

แนวทางการพัฒนาทางเลือกระยะกลางในช่วงเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2557) มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาด้านการจราจรที่มีความวิกฤตมากขึ้น เพิ่มขีดความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งโครงการที่เสนอในระยะกลางมีลักษณะเป็นโครงการที่ใช้งบประมาณในการดำเนินการสูงกว่า ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการยาวนานมากขึ้น และไม่สามารถดำเนินการได้ทันที ต้องมีการประชาสัมพันธ์และการมีส่วนร่วมของภาคส่วนอื่นๆ มีการออกแบบอย่างละเอียด รวมทั้งมีการศึกษาผลกระทบด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกัน ผลจากการดำเนินโครงการสามารถแก้ไขปัญหาการจราจรในปัจจุบันและสามารถรองรับปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยในการวิเคราะห์โครงการทางเลือกระยะกลางจะทำการบูรณาการกับโครงการที่เหมาะสมที่สุดในระยะสั้นซึ่งถือเป็นโครงการผูกมัด เข้าด้วยกัน ในโครงการระยะกลางที่เสนอมี 3 โครงการ คือ ขยายช่องจราจรบริเวณห้าแยกฯ ก่อสร้างทางลอดบริเวณสี่แยกประตูเมือง และก่อสร้างระบบรถประจำทางด่วนพิเศษ (BRT) โดยที่ทางเลือกที่ 1 และ 2 เป็นแนวทางในการปรับปรุงสภาพโครงข่ายด้านกายภาพ แต่ในขณะที่ทางเลือกที่ 3 เป็นการปรับปรุงในเชิงนโยบายในการพัฒนาระบบขนส่งมวลชน จึงพิจารณาแยกกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

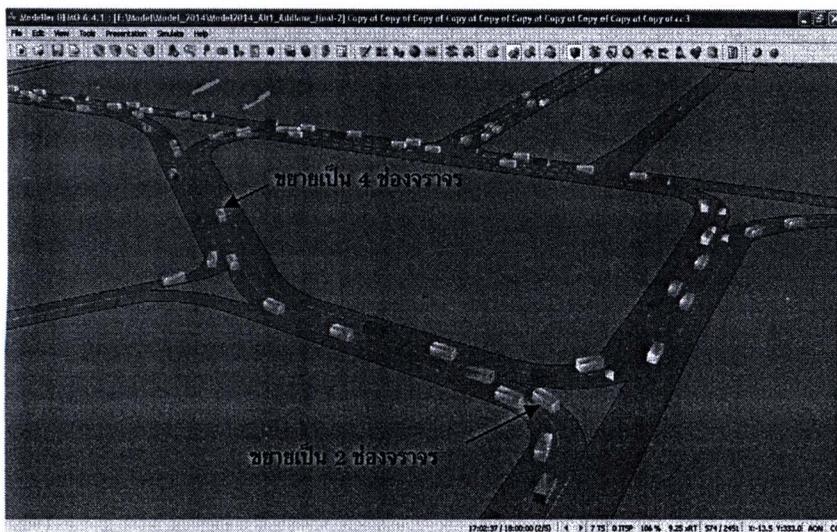
3.1) ขยายช่องจราจรบริเวณห้าแยกฯ

ปัจจุบันห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองมีปริมาณจราจรที่คับคั่ง ดังนั้นการขยายช่องจราจรบางส่วนเพื่อเพิ่มความจุรองรับปริมาณจราจรในอนาคตจะช่วยลดปัญหาการจราจรติดขัดได้ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าตามลักษณะทางกายภาพจะสามารถดำเนินการได้รวดเร็ว แต่มีข้อจำกัดในเรื่องกรรมสิทธิ์ที่ดิน ดังนั้นทางเลือกในการขยายช่องจราจรบริเวณห้าแยกฯ จึงกำหนดให้เป็นโครงการระยะกลาง ซึ่งโครงการนี้เสนอให้ขยายช่องจราจรบริเวณช่วงถนนรอบวงเวียนห้าแยกฯ ด้านทิศตะวันตกเชื่อมต่อระหว่างถนนตรุษสาราญและถนนศรีจันทร์จากเดิมเป็น 3 ช่องจราจร ให้เป็น 4 ช่องจราจรความกว้างช่องจราจรฯ ละ 3 เมตร และขยายมุมเลี้ยวบริเวณด้านหน้าสำนักงานเทศบาลนครขอนแก่น (จุดเชื่อมกับถนนประชาสาราญ ด้านทิศใต้

ของวงเวียน) จากเดิมเป็นถนน 1 ช่องจราจรให้เป็น 2 ช่องจราจร ความกว้างช่องจราจรๆ ละ 3 เมตร
 แนวทางเลือกในการขยายช่องจราจรบริเวณห้าแยกฯ ดังแสดงในภาพที่ 144 และการพัฒนา
 แบบจำลองทางเลือกขยายช่องจราจรบริเวณห้าแยกฯ ดังแสดงในภาพที่ 145



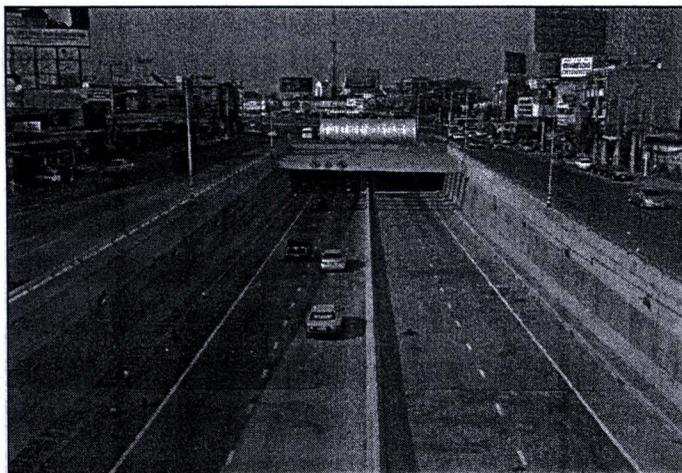
ภาพที่ 144 แนวทางในการขยายช่องจราจรบริเวณห้าแยกฯ



ภาพที่ 145 การจำลองทางเลือกขยายช่องจราจรบริเวณห้าแยกฯ

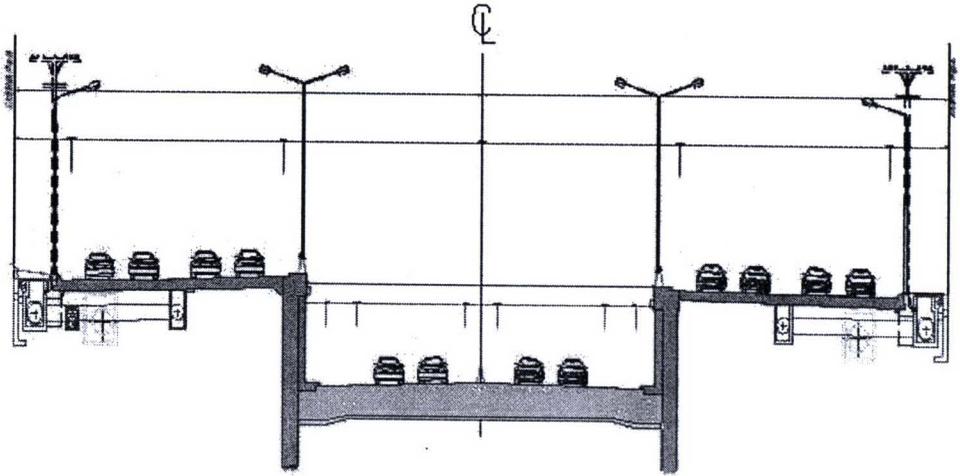
3.2) ก่อสร้างทางลอดบริเวณสี่แยกประตูเมือง

การก่อสร้างทางลอด (Underpass) บริเวณสี่แยกประตูเมืองจะช่วยให้กระแสจราจรผ่านทางแยก (Through traffic) โดยไม่ต้องหยุดคอย เป็นการลดความล่าช้า และเวลาในการเดินทาง สามารถแก้ปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณสี่แยกประตูเมืองซึ่งมีผลเชื่อมโยงมาถึงบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง ซึ่งโครงการนี้กำหนดให้ก่อสร้างทางลอดตามแนวดนเนินตรากภาพ (ตามแนวเหนือ-ใต้) โดยก่อสร้างเป็นทางลอดขนาด 4 ช่องจราจร แยกเป็น 2 ช่องจราจรแต่ละทิศทาง ช่องจราจรกว้างช่องจราจรละ 3.5 เมตร รวมทั้งมีการปรับปรุงจังหวะและรอบสัญญาณไฟจราจรให้มีความสอดคล้องกับสภาพจราจรใหม่ด้วย ตัวอย่างการก่อสร้างทางลอด ดังแสดงในภาพที่ 146

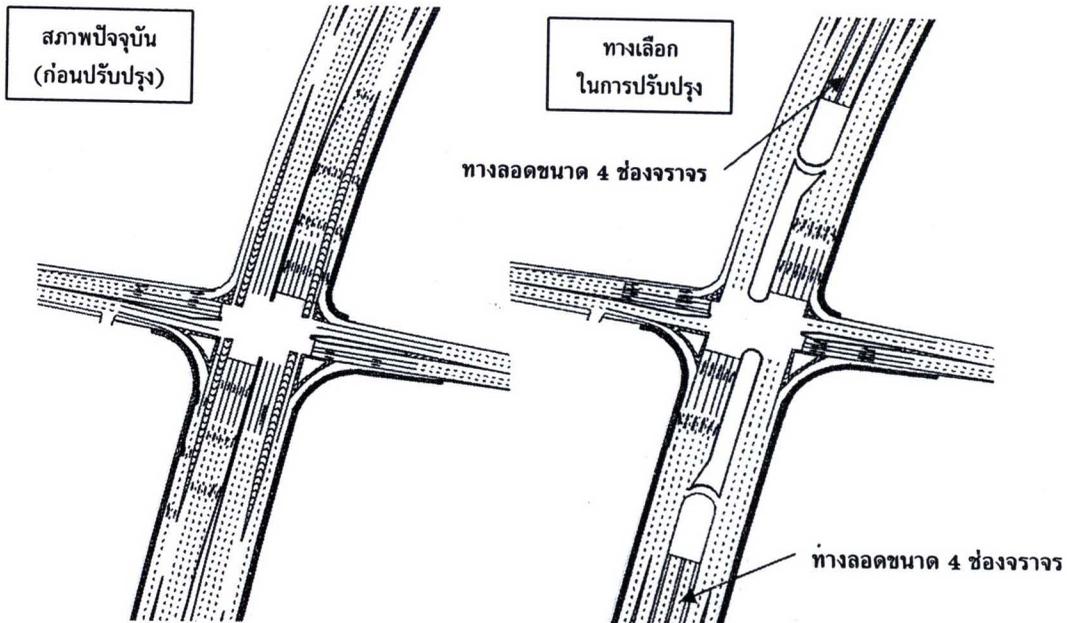


ภาพที่ 146 ตัวอย่างการก่อสร้างทางลอด (บริเวณสี่แยกสามเหลี่ยม จังหวัดขอนแก่น)

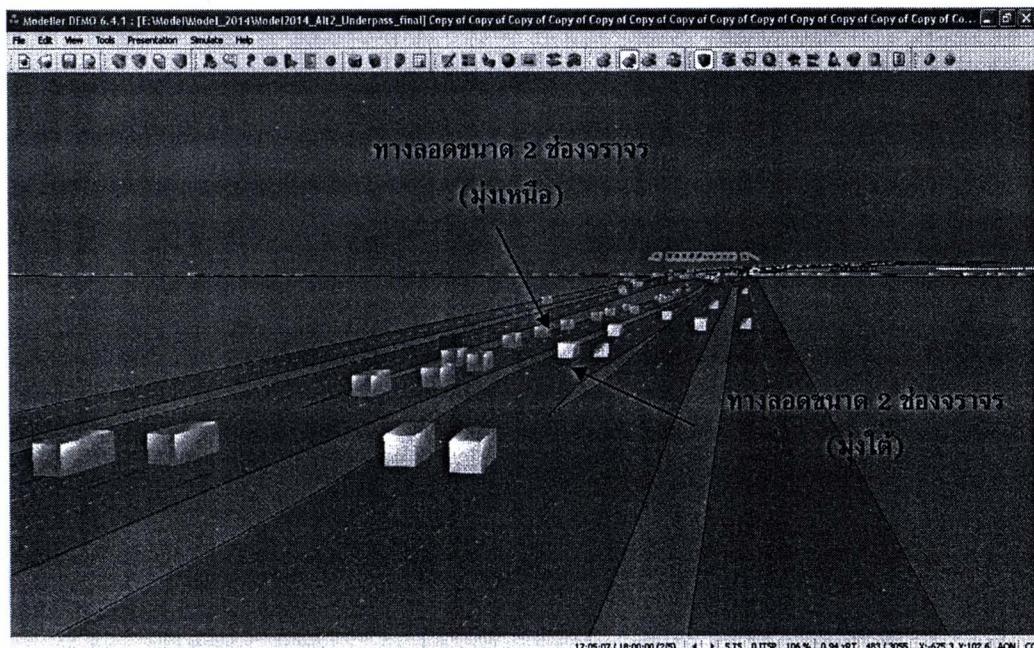
ในการก่อสร้างทางลอด สามารถดำเนินการได้โดยการกำหนดให้ระดับของช่วงถนนมีระดับที่ต่างกันเมนู Junction > Core > Z Coordination ทั้งนี้ได้กำหนดลักษณะกายภาพและการจัดช่องจราจรโดยยึดแบบก่อสร้างทางลอดบริเวณสี่แยกสามเหลี่ยม โดยแนวทางเบื้องต้นในการก่อสร้างทางลอดดังแสดงในภาพที่ 147 และภาพที่ 148 การสร้างทางลอดในโปรแกรม PARAMICS ดังแสดงในภาพที่ 149



ภาพที่ 147 ตัวอย่างแนวทางในการก่อสร้างทางลอด (บริเวณสี่แยกสามเหลี่ยม จังหวัดขอนแก่น) (กรมทางหลวง, 2550)



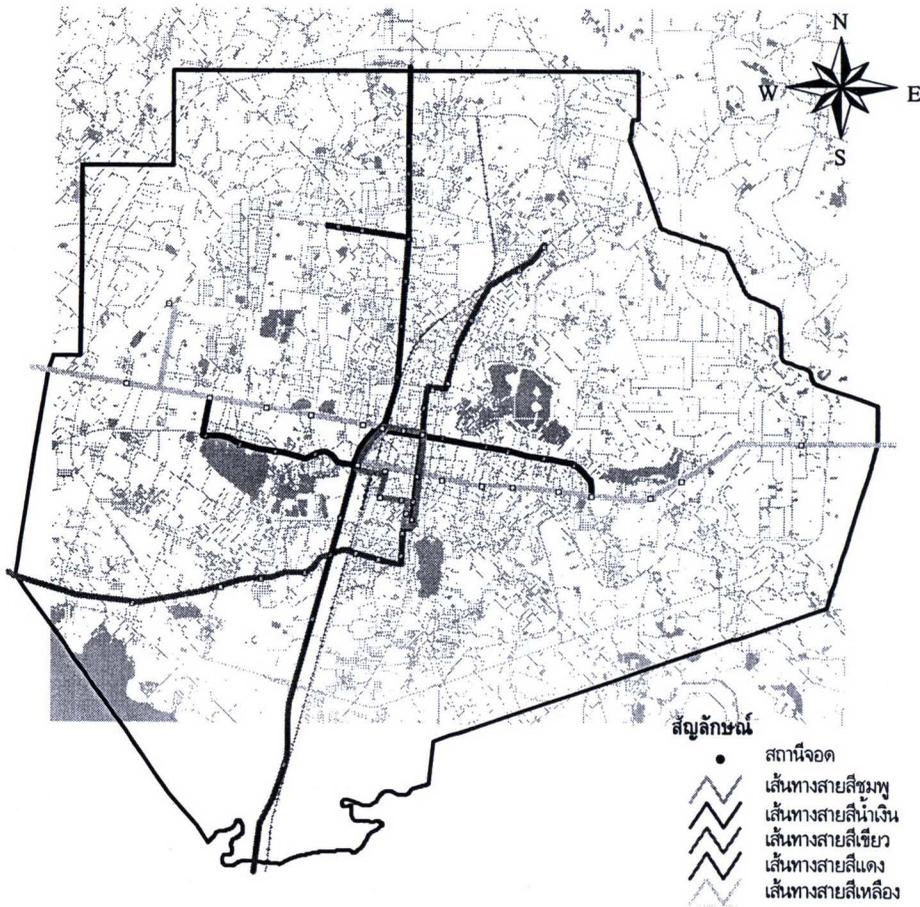
ภาพที่ 148 แนวทางเบื้องต้นในการก่อสร้างทางลอดบริเวณสี่แยกประตูเมือง



ภาพที่ 149 การจำลองทางเลือกก่อสร้างทางลอดบริเวณสี่แยกประตูเมือง

3.3) ก่อสร้างระบบรถโดยสารประจำทางด่วนพิเศษ (BRT)

การปรับปรุงระบบขนส่งมวลชน เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดอย่างยั่งยืน ซึ่งระบบขนส่งมวลชนจะต้องเป็นระบบที่ประหยัด ตรงเวลา สะดวก และรวดเร็ว และสอดคล้องกับความต้องการในการเดินทางในอนาคตซึ่งจะมีส่วนทำให้ผู้ใช้รถยนต์ส่วนบุคคลและรถจักรยานยนต์บางส่วนหันมาใช้บริการระบบขนส่งมวลชนแทนจากการศึกษาในโครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม เศรษฐกิจ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น เพื่อก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนเมืองขอนแก่น (ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, 2550) พบว่า เมืองขอนแก่นให้ใช้ระบบประจำทางด่วนพิเศษ (Bus Rapid Transit, BRT) เป็นระบบที่เหมาะสมที่สุด โดยมีเส้นทางเสนอแนะเบื้องต้นผ่านบริเวณพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 150) ซึ่งเมื่อมีโครงการต้องทำการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายถนน ซึ่งจะต้องจัดให้มีช่องจราจรเฉพาะเพื่อรองรับระบบรถ BRT ในการพัฒนาแบบจำลองของระบบรถ BRT มีรายละเอียดดังนี้

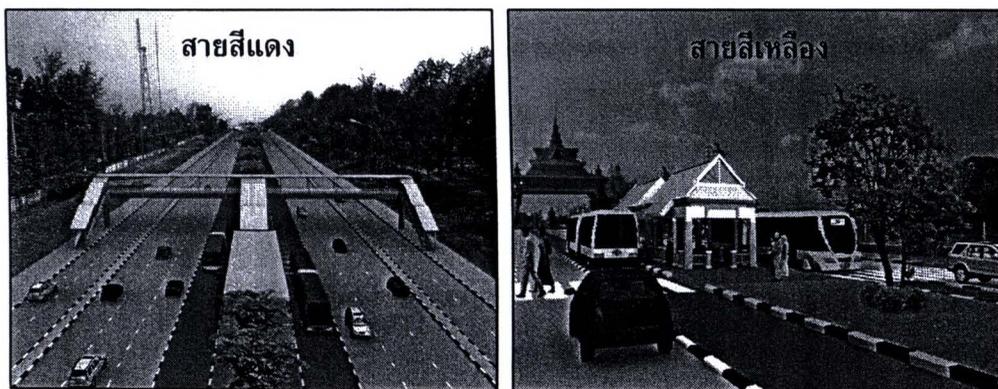


ภาพที่ 150 โครงข่ายเส้นทางของระบบขนส่งมวลชนเมืองขอนแก่น
(ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, 2550)

3.3.1) ข้อมูลทั่วไปของระบบขนส่งมวลชนเมืองขอนแก่น

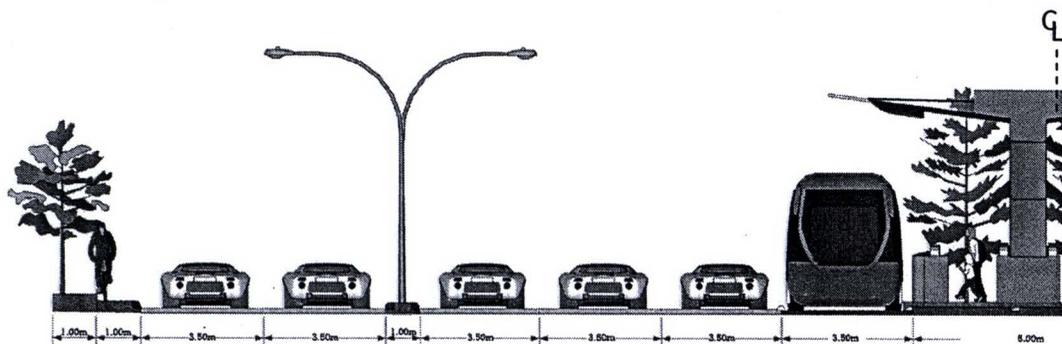
ระบบรถโดยสารขนส่งมวลชนของเมืองขอนแก่น ได้มีการกำหนดให้ใช้รถ BRT มีความยาวของรถ 12 เมตร สำหรับการวิจัยนี้กำหนดให้ดำเนินการสายสีแดงและสายสีเหลืองสำหรับทางเลือกโครงการระยะกลาง เนื่องจากเป็นเส้นทางที่สำคัญในแนวเหนือใต้และตะวันออกตะวันตก มีปัญหาในเรื่องเขตทางน้อยกว่าเส้นทางอื่น ๆ และผ่านทสสถานที่สำคัญของเทศบาลนครขอนแก่น กำหนดความถี่ในการให้บริการในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนที่ 5 นาที โดยมีการออกแบบการจัดการช่องจราจรสำหรับระบบ BRT 2 ช่องจราจร (เส้นทางที่ผ่านพื้นที่ศึกษา) มี 1 ช่องจราจรในแต่ละทิศทางซึ่งเป็นรูปแบบที่ประยุกต์ใช้กับถนนการจราจรแบบวิ่งสวนทาง ที่มีเขตทางกว้างเพียงพอที่จะสามารถที่จะจัดระบบการจราจรให้รถ BRT สามารถวิ่งสวนทางได้หรือมีช่องสำหรับรถ BRT 2 ช่องทาง โดยพิจารณาพื้นที่ของสถานีจอดรถให้ตั้งอยู่

กึ่งกลางถนน ส่วนจำนวนช่วงจราจรสำหรับรถทั่วไปขึ้นอยู่กับความกว้างของเขตทาง ณ ตำแหน่ง
สถานีนั้น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 151

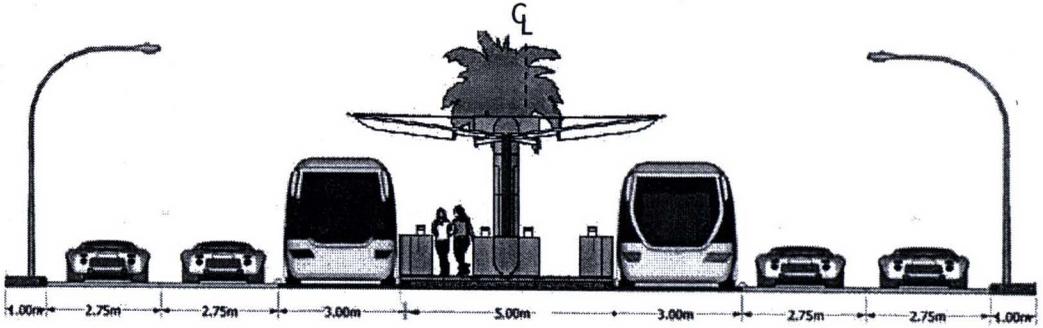


ภาพที่ 151 ภาพจำลองการจัดช่องจราจรสำหรับ BRT 2 ช่องจราจร
(ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, 2550)

สำหรับขนาดของช่องจราจรสำหรับรถ BRT กำหนดให้มีขนาด 3.5 เมตร โดยใช้พื้นที่ของช่องจราจรปกติที่ติดกับช่องกลางหรือเกาะกลางถนน แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีของสายสีเหลืองซึ่งตัดผ่านถนนศรีจันทร์มีความจำเป็นต้องคงจำนวนช่องจราจรที่ให้บริการในปัจจุบัน ดังนั้นเพื่อให้มีความคล้อยคลึงและสามารถประยุกต์ใช้ได้จริงกับข้อจำกัดของขอบเขตทางที่มีอยู่ การศึกษานี้จึงมีเน้นให้มีขยายผิวจราจรน้อยที่สุดเพื่อลดปัญหาผลกระทบกับการค้าขายและการใช้ประโยชน์ที่ดินริมถนน และเพื่อลดการเวนคืนที่ดินและปัญหาเรื่องกรรมสิทธิ์ที่ดิน ซึ่งใช้วิธีลดขนาดความกว้างของช่องจราจรที่มีอยู่ในปัจจุบันลงสแกนและรักษาช่องจราจรให้มีจำนวนเท่าเดิม แนวทางในการกำหนดขนาดช่องจราจรสำหรับรถ BRT ดังแสดงในภาพที่ 152 ถึงภาพที่ 153

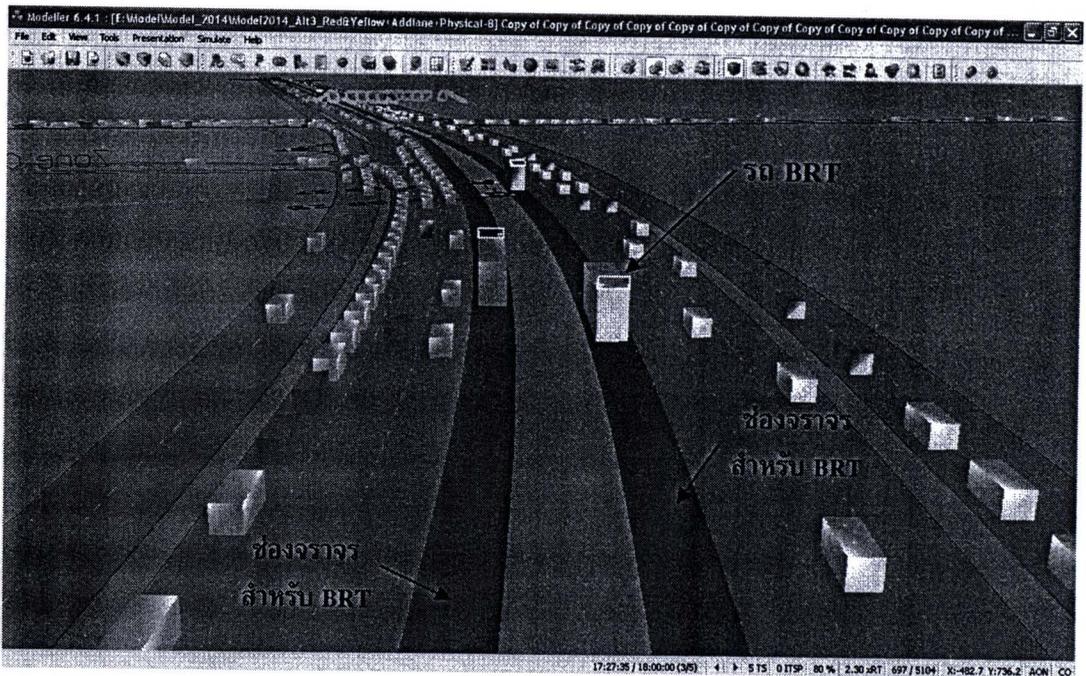


ภาพที่ 152 แนวทางในการจัดช่องจราจรสำหรับรถ BRT บนถนนมิตรภาพ (สายสีแดง)
(ดัดแปลงจากศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, 2550)



ภาพที่ 153 แนวทางในการจัดช่องจราจรสำหรับรถ BRT บนถนนศรีจันทร์ (สายสีเหลือง)
(ดัดแปลงจากศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, 2550)

ในการสร้างเส้นทางเฉพาะสำหรับระบบขนส่งมวลชนฯ สามารถดำเนินการในเมนู Lane Attributes > Core > PT lane เพื่อกำหนดให้ระบบขนส่งสาธารณะใช้ช่องจราจรนี้ แต่การกำหนดดังกล่าวต้องทำการกำหนดควบคู่ไปกับการบังคับให้ช่องจราจรนี้สำหรับรถ BRT เท่านั้น เนื่องจาก “PT lane” จะทำให้รถในระบบขนส่งสาธารณะประเภทอื่นใช้ช่องจราจรนี้เช่นกัน โดยดำเนินการในเมนู Lane Attributes > Core > Restriction ดังแสดงในภาพที่ 154



ภาพที่ 154 การสร้างช่องจราจรสำหรับ BRT ในโปรแกรม PARMICS
(เส้นทางรถ BRT ตามแนวดนมิติภาพ)

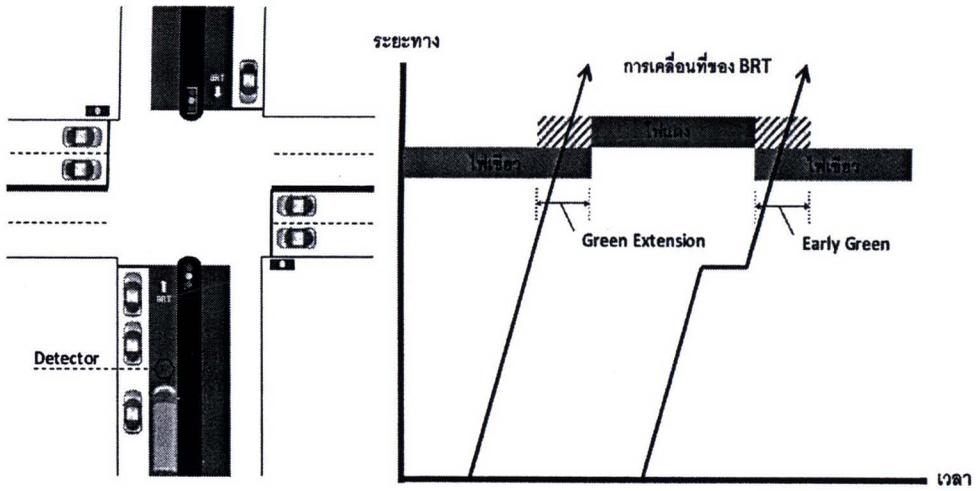
3.3.2) สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงการเดินทาง

การมีระบบขนส่งมวลชนฯ ยังมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการเลือกรูปแบบประเภทการเดินทางในอนาคต ซึ่งมีการคาดการณ์ว่าจะมีเลือกใช้ระบบขนส่งสาธารณะมากขึ้นใน ตามแบบจำลอง Multinomial Logit Model (MNL) ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ประมาณการสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงการเดินทาง จากรูปแบบเดินทางในปัจจุบัน (รถยนต์ รถจักรยานยนต์ และรถสองแถว) มาเดินทางโดยรถ BRT สำหรับค่าใช้จ่ายในการเดินทาง (Travel cost) และ เวลาในการเดินทาง (Travel time) ต่าง ๆ ซึ่งผลการการคาดการณ์ที่สามารถดำเนินการได้จริง คือ เวลาการเดินทางของรถ BRT น้อยกว่ารถสองแถวปัจจุบัน 10% และค่าโดยสารเท่ากับ 15 บาท จะมีผู้เดินทางเปลี่ยนมาใช้ระบบรถ BRT ร้อยละ 29, 26 และ 22 จากเดิมใช้รถสองแถว รถยนต์ส่วนบุคคล และ รถจักรยานยนต์ ตามลำดับ หากค่าโดยสารต่ำกว่านี้จะมีผู้ใช้รถ BRT มากขึ้น แต่รายได้ที่เก็บได้อาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุน หากเวลาในการเดินทางสามารถลดลงได้มากขึ้นจะมีผู้ใช้รถ BRT มากขึ้น (ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, 2550)

3.3.3) การสร้างระบบสัญญาณไฟจราจรสำหรับรถ BRT

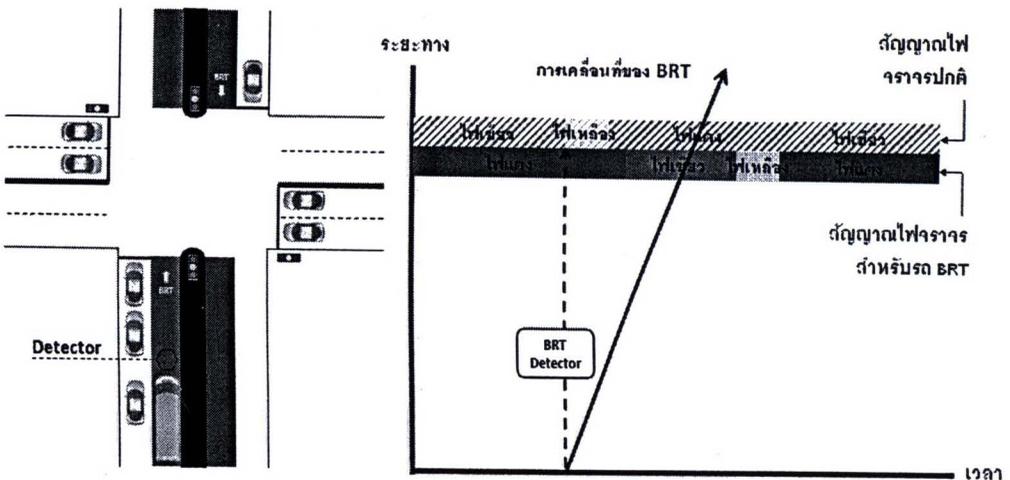
มาตรการในการจัดระบบสัญญาณไฟจราจรแก่ระบบ BRT เป็นแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและระดับการให้บริการของระบบรถ BRT การให้สิทธิพิเศษสัญญาณไฟสำหรับระบบขนส่งสาธารณะ (Transit Signal Priority, TSP) เหนือยานประเภทอื่น ๆ เป็นนโยบายการจัดการเพื่ออำนวยความสะดวกในการให้บริการระบบขนส่งสาธารณะ ให้ผ่านทางแยกที่มีการควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร เป็นการลดความล่าช้าของระบบขนส่งสาธารณะที่ ลดเวลาในการเดินทาง และเพิ่มความน่าเชื่อถือในการให้บริการแก่ระบบขนส่งสาธารณะ (ITS America, 2002 อ้างถึงใน Thaned, 2007)

การใช้สัญญาณไฟที่ให้สิทธิพิเศษสำหรับรถ BRT (BRT Priority Function) หลักการทั่วไปในการให้สิทธิพิเศษสำหรับรถ BRT ประกอบด้วย 1) Green Extension และ 2) Early Green สำหรับ Green Extension จะทำให้รถ BRT ผ่านทางแยกโดยไม่มี ความล่าช้าหรือไม่หยุดรอสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกด้วยการเพิ่มความยาวสัญญาณไฟเขียวบนถนนสายหลักจนกว่ารถ BRT จะผ่านทางแยกในกรณีที่ เป็นจังหวะสัญญาณไฟเขียวอยู่แล้ว ในขณะที่ Early Green จะทำให้รถ BRT ผ่านทางแยกโดยไม่มี ความล่าช้าหรือไม่หยุดรอสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกด้วยการกำหนดรอบสัญญาณไฟเขียวสิทธิพิเศษสำหรับรถ BRT บนถนนสายหลักก่อนถึงรอบสัญญาณปกติ (ลดเวลาของสัญญาณไฟแดง) เมื่อรถ BRT กำลังเข้าสู่ทางแยกในกรณีที่ เป็นจังหวะสัญญาณไฟแดง โดยในทางปฏิบัติระบบการให้สิทธิพิเศษสำหรับรถ BRT จะทำงานประสานกับอุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจร (Detector) ซึ่งจะถูกติดตั้งในระยะที่เหมาะสมก่อนถึงทางแยก ดังแสดงในภาพที่ 155



ภาพที่ 155 หลักการในการให้สิทธิพิเศษสำหรับรถ BRT (ดัดแปลงจาก Thaned, 2007)

การจัดจังหวะสัญญาณไฟสำหรับรถ BRT ล่วงหน้า (BRT Preemption Function) การจัดจังหวะสัญญาณไฟสำหรับรถ BRT ล่วงหน้านั้นจะใช้ในกรณีที่ BRT ต้องการเลี้ยว จะเป็นการออกแบบจังหวะสัญญาณไฟเฉพาะสำหรับรถ BRT ซึ่งจะไม่ทำงานในระหว่างรอบสัญญาณไฟปกติ เมื่อเครื่องตรวจจับรถ BRT (Detector) พบว่ามี BRT วิ่งเข้ามาสู่ทางแยก จะยกเลิกจังหวะสัญญาณไฟที่แสดงอยู่ที่นั่นแล้วตัดเข้าสู่จังหวะสัญญาณไฟเฉพาะรถ BRT เป็นระยะเวลาที่ตั้งไว้ (Preset Time) แล้วจึงเปลี่ยนกลับทำงานต่อจากรอบสัญญาณไฟปกติอีกครั้ง ตัวอย่างของการจัดจังหวะสัญญาณไฟล่วงหน้าแสดงในภาพที่ 156



ภาพที่ 156 การจัดจังหวะสัญญาณไฟสำหรับ BRT ล่วงหน้า (ดัดแปลงจากสำนักการจราจรและขนส่ง, 2548)

ในการสร้างระบบสัญญาณไฟจราจรสำหรับรถ BRT ใช้วิธีการเช่นเดียวกับการสร้างระบบสัญญาณไฟจราจรที่แปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจรบริเวณที่เป็นจุดตัดทางรถไฟ โดยการเขียนภาษาทางคอมพิวเตอร์บน ASCII text file ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับภาษา C ซึ่งใช้คำสั่งหลัก คือ If, then และ Else ใน Plan file เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของระบบสัญญาณไฟจราจรให้มีจังหวะและรอบสัญญาณไฟที่ต้องการตอบสนองเมื่อรถ BRT ผ่านตัวตรวจวัดปริมาณจราจร ตัวอย่าง Plan file ควบคุมการสร้างระบบสัญญาณไฟจราจรสำหรับ BRT ดังแสดงในภาพที่ 157 และภาพที่ 158 และรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ง

plan 6 definition

```

loops 3
if (init){
variable;
}
if (((count [2] type [8]) + (count [3])) > ((count [2] type [9]) + (count [1])))
{
    green1 = 0;
    green2 [4] = 10;
}

```

plan 7 definition

```

loops 3
if (init){
variable;
}
if (phase = 4)
{
green2 [4] = 0;
clear [1];
clear [2];
clear [3];
}

```

plan 8 definition

```

loops 3
if (init){
variable;
}
if (((count [2] type [8]) + (count [3])) < ((count [2] type [9]) + (count [1])))
{
    green1 = 0;
    green2 [1] = 10;
}

```

plan 9 definition

```

loops 3
if (init){
variable;
}
if (phase = 1)
{
green2 [1] = 0;
clear [1];
clear [2];
clear [3];
}

```

ภาพที่ 157 Plan file กำหนดการจัดจังหวะสัญญาณไฟสำหรับรถ BRT ล่วงหน้า
(บริเวณสี่แยกประตูเมือง)

```

plan 2 definition
loops 1
if (init){
variable;
}
if ((count [1]) >= 1)
{
    green1 = 0;
    green2 [3] = 20;
}

plan 3 definition
if (init){
variable;
}
if (phase = 3)
{
green2 [3] = 0;
clear [1];
}

```

ภาพที่ 158 Plan file กำหนดการใช้สัญญาณไฟที่ให้สิทธิพิเศษสำหรับรถ BRT (บริเวณห้าแยกฯ)

9.3 ดัชนีชี้วัดประสิทธิผล (Measure of Effectiveness, MOEs)

ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง จุลภาคแต่ละทางเลือก ด้วยการประมวลผลหลายๆ ครั้ง ร่วมกับการสุ่มค่า Seed Value ต้องทำการเลือกตัวชี้วัดตามหลักการทางสถิติบางค่า เพื่อทำการสรุปและวิเคราะห์ผลของแต่ละแบบจำลองสำหรับแต่ละทางเลือกและได้เลือกวิธีการสำหรับผสมผสานผลสรุปทางสถิติสำหรับแต่ละทางเลือก ดัชนีชี้วัดประสิทธิผลแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก (Downling et al., 2004) ดังนี้

1) ดัชนีชี้วัดประสิทธิผลของระบบโดยรวม (Overall System Performance)

ดัชนีชี้วัดประสิทธิผลของระบบโดยรวมเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของระบบเป็นผลลัพธ์ที่แสดงค่าทางด้านสถิติที่ดีที่สุดในการประเมินทางเลือกต่างๆ โดยการเลือกตัวชี้วัดฯ ต้องพิจารณาจากวัตถุประสงค์ของแต่ละโครงการ โดยในการศึกษานี้กำหนดตัวชี้วัดประสิทธิผลของประสิทธิภาพของระบบโดยรวม ดังนี้

1.1) Mean System Speed

1.2) Total System Delay

โดยในการวิจัยนี้จะไม่ทำการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดประสิทธิ Vehicle-Kilometers Traveled (VKT) และ Vehicle-Hours Traveled (VHT) เนื่องจากธรรมชาติของแบบจำลองระดับจุลภาค ซึ่งเมื่อมีปริมาณความต้องการเดินทางเพิ่มสูงขึ้นจนเกิดปัญหาการจราจรติดขัดจนมีความยาวแถวคอยที่ยาวมาก จะทำให้ระบบไม่สามารถปล่อยยวดยานเข้าสู่โครงข่ายภายในช่วงเวลาที่ทำการประมวลผลได้ทั้งหมด เนื่องจากมีการติดขัดเป็นลักษณะคอขวด

บริเวณจุดที่ปล่อยยวดยานออกจากโซน ส่งผลแบบจำลองที่มีปัญหาการจราจรติดขัดจนเกินความจุของช่วงถนนและทางแยกที่จะรับได้ทำให้ปริมาณจราจรที่เข้าสู่ระบบไม่เท่ากัน จึงไม่เหมาะสมที่จะนำค่า VKT และ VHT มาใช้เปรียบเทียบหรือวิเคราะห์ทางเลือกเนื่องจากทั้งสองดัชนีชี้วัดมีความสัมพันธ์กับปริมาณจราจรโดยตรง

2) ดัชนีชี้วัดประสิทธิผลเฉพาะจุด (Localized Problems)

ดัชนีชี้วัดประสิทธิผลของเฉพาะตำแหน่งเป็นตัวชี้วัดเพิ่มเติมนอกจากการวิเคราะห์ด้วยดัชนีชี้วัดประสิทธิผลของระบบโดยรวม โดยทั่วไปจะเป็นการประเมินผลในตำแหน่งที่มีปัญหาการจราจรติดขัดในโครงข่าย ซึ่งในการศึกษานี้ได้พิจารณาถึงผลกระทบด้านการจราจรที่เกิดขึ้นกับหัวแยกศาลเจ้าพ่อฯ เป็นหลัก โดยถือว่าส่วนอื่นของโครงข่ายได้ทำการวิเคราะห์ด้วยดัชนีชี้วัดประสิทธิผลโดยภาพรวมซึ่งมีความครอบคลุมแล้ว ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลจากดัชนีชี้วัดประสิทธิผลเฉพาะจุดเลือกใช้ดัชนีชี้วัด ได้แก่

- 2.1) ความยาวแถวคอยสูงสุด (Queue Max)
- 2.2) ความเร็วเฉลี่ย (Average speed)
- 2.3) ความล่าช้า (Delay)
- 2.4) เวลาในการเดินทาง (Travel Time)

9.4 - สมมติฐานที่ใช้ในการวิจัย

1) สมมติฐานที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

1.1) กำหนดวิธีการแจกแจงการเดินทางแบบ All-or-Nothing (AON) เนื่องจากยวดยานทุกคันในโครงข่ายที่ทำการศึกษามีการเลือกเส้นทางที่แน่นอนชัดเจนโดยเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางจากโซนต้นทางถึงโซนปลายทาง ซึ่งทำให้ตัวแปรเกี่ยวกับพฤติกรรมทางเลือกเส้นทางไม่มีผลต่อผลลัพธ์จากการประมวลแบบจำลอง

1.2) กำหนดค่าระดับพื้นที่ในแนวตั้งไม่มีผลกับความถูกต้องของแบบจำลองโดยในการพัฒนาแบบจำลองฐานให้มีระดับในแนวตั้งเท่ากันทั้งโครงข่าย (ค่า $z = 0.00$ ม.) เนื่องจากข้อจำกัดในการเก็บรวบรวมข้อมูล ยกเว้นกรณีทางเลือกก่อสร้างทางลอดซึ่งมีระดับเท่ากับ -5.00 เมตร

1.3) กำหนดให้ความเร็วของรถไฟที่ตัดข้ามพื้นที่ศึกษาไม่เกิน 40 กม./ชม.

1.4) พฤติกรรมการขับขี่ของจักรยานยนต์ตามหลังคันหน้าอย่างเป็นระเบียบ ในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นให้เสมือนว่าเป็นพฤติกรรมขับขี่ของจักรยานยนต์ในสภาพจริง

1.5) พฤติกรรมการเดินทางและใช้พื้นที่เพื่อการพาณิชย์กรรมเป็นลักษณะห้างสรรพสินค้า/นันทนาการ ของจังหวัดขอนแก่นถือว่ามีความใกล้เคียงกับจังหวัดเชียงใหม่และสามารถใช้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่

ใช้สอยกับเที่ยวการเดินทาง สำหรับการสร้างอัตราการเดินทางเขาและออกพื้นที่ รวมทั้ง สัดส่วนการเข้าออกพื้นที่ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนในลักษณะเทียบเคียงกันได้

1.6) การกำหนดลักษณะของขบวนรถในแบบจำลองใช้วิธีการแปลง ขบวนรถทุกประเภทให้เป็นหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล โดยกำหนดค่า PCU สำหรับ รถจักรยานยนต์ (PCUMC) เท่ากับ 0.33 ซึ่งถือว่าเป็นแนวทางที่มีความเหมาะสมสูงสุดและ สามารถใช้เทียบเคียงกับปริมาณจราจรจริงจากการสำรวจ

1.7) ค่า Headway และ Reaction time ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ ความอ่อนไหวของตัวแปรซึ่งเท่ากับ 1.1 และ 0.6 ถือว่าเป็นตัวแปรที่เป็นตัวแทนแสดงถึง พฤติกรรมการขับขี่ในสภาพท้องถนนที่ได้ทำการสำรวจ และกำหนดให้ใช้ค่าเดียวกันในการพัฒนา แบบจำลองทางเลือกทุกแบบจำลอง

2) สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเลือกในการจัดการจราจร

2.1) ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนทั้งใน กระบวนปรับเทียบ ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และการประเมินทางเลือกในการ จัดการจราจรจะไม่คำนึงถึงการให้ค่าน้ำหนัก ซึ่งสมมติให้ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในแต่ละจุด ที่ทำการเปรียบเทียบค่ามีความสำคัญเท่ากัน

2.2) โดยในการวิเคราะห์โครงการทางเลือกระยะกลางจะทำการบูรณาการกับโครงการที่เหมาะสมที่สุดในระยะสั้นซึ่งถือเป็นโครงการผูกมัด (Committed project) เข้าด้วยกัน

2.3) การมีระบบขนส่งมวลชนฯ มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง พฤติกรรมในการเลือกรูปแบบประเภทการเดินทางในอนาคต ซึ่งจะมีผู้เดินทางเปลี่ยนมาใช้ ระบบรถ BRT ร้อยละ 29, 26 และ 22 จากเดิมใช้รถสองแถว รถยนต์ส่วนบุคคล และ รถจักรยานยนต์ ตามลำดับ

10. การวิเคราะห์ทางเลือก (Alternative Evaluation)

การวิเคราะห์ทางเลือกเป็นการสรุปและทำให้มั่นใจว่าระบบการจัดการ นโยบาย หรือ การก่อสร้างโครงสร้าง และสิ่งอำนวยความสะดวกด้านการจราจรและขนส่ง ที่ถูกกำหนดเป็น ทางเลือกมีความเหมาะสมและไม่ทำให้เกิดผลกระทบในเชิงลบ โดยพิจารณาและจัดเรียงลำดับ ทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบจากตัวชี้วัดประสิทธิผลทั้งใน ลักษณะของภาพรวมทั้งโครงข่าย และเฉพาะจุดหรือตำแหน่งที่สำคัญในโครงข่าย ซึ่งผลวิเคราะห์ ทางเลือกและสรุปผลการศึกษา จะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 5

11. บทสรุปวิธีการศึกษา

1) การวิจัยนี้ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Microsimulation model) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และจัดการจราจร โดยเลือกใช้โปรแกรม PARAMICS ในการพัฒนาแบบจำลองระดับจุลภาคในห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง ถึงแม้ว่าจะมีข้อดีและข้อจำกัด ซึ่งไม่สามารถจำลองจักรยานยนต์และรถจักรยานได้ แต่โดยภาพรวมมีความสามารถเทียบเคียงกับโปรแกรมอื่น ๆ ในการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคในรูปแบบต่าง ๆ รวมทั้งมีฟังก์ชันที่ครอบคลุมในการประยุกต์ใช้จำลองสภาพการจราจร โดยมีข้อดีและความเหมาะสมหลายประการ เช่น สามารถจำลองการจัดการจราจรในลักษณะที่เป็นวงเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับการศึกษาที่สามารถสำรวจปริมาณการเดินทางจากต้นทาง-ปลายทางได้โดยตรง มีความละเอียดสูงในการแสดงถึงพฤติกรรมการขับขี่ของยานยนต์แต่ละคัน ใช้หลักการสุ่มซึ่งทำให้มีลักษณะและพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกับสภาพการจราจรจริงที่มีการแปรเปลี่ยนตามช่วงเวลา มีความอ่อนไหวสูง ทำให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดจากการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงการจัดการจราจร และสามารถแสดงผลสามมิติและภาพเคลื่อนไหวเพื่อใช้ในการนำเสนอได้ เป็นต้น

2) การวิจัยนี้ได้เลือกบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง จังหวัดขอนแก่น เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นเสมือนจุดศูนย์กลางของเมือง มีเส้นทางเชื่อมต่อไปยังสถานที่สำคัญหลายแห่ง และอยู่ในบริเวณย่านศูนย์กลางเศรษฐกิจการค้าของเมือง จนส่งผลให้พื้นที่มีปัญหาการจราจรติดขัดอย่างมาก อีกทั้งมีการเปิดให้บริการของห้าง Central plaza บริเวณสี่แยกประตูเมือง ซึ่งมีเส้นทางเชื่อมต่อกับห้าแยกฯ ผ่านถนนศรีจันทร์ ซึ่งมีผลให้บริเวณข้างเคียงมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน เกิดการเติบโตทางเศรษฐกิจ มีร้านค้าและที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเหมาะสมในการทำการศึกษาเพื่อประเมินผลทางเลือกต่างๆ ในการแก้ไขปัญหการจราจรที่จะเกิดขึ้นในปัจจุบันและอนาคตอย่างยิ่ง

3) การสำรวจข้อมูลการสำรวจและเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ ข้อมูลกายภาพ (เช่น จำนวนของช่องจราจร ความกว้างของช่องจราจรและทางเท้า ลักษณะทางกายภาพของทางแยก) ข้อมูลการควบคุมการจราจร (เช่น ตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุมการจราจร จัหวะและรอบสัญญาณไฟจราจร) ข้อมูลปริมาณการเดินทาง (ปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง) และข้อมูลสำหรับปรับเทียบแบบจำลอง (เช่น ปริมาณจราจรบนช่วงถนน ปริมาณจราจรที่ทางแยก ความยาวแถวคอย เป็นต้น)

4) การสร้างตารางการเดินทางจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางทั้งสิ้น 8 โหนด ในพื้นที่ศึกษาที่ไม่ใช่ทางแยกเดี่ยวและทำการสำรวจในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ได้ทำการปรับแก้ปริมาณการเดินทางให้สอดคล้องกัน โดยประยุกต์และปรับใช้หลักการของ Bertini et al. (2002) แบ่งวิธีการปรับแก้ปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ปรับเทียบปริมาณจราจรบริเวณจุดเชื่อมต่อ กระจายปริมาณจราจรเข้าสู่โหนด ปรับผลรวมของโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง และปรับแก้ตารางปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง

5) กระบวนการพัฒนาแบบจำลองฐานในการวิจัยนี้ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 5 ขั้นตอน คือ การสร้างแบบจำลอง การกำหนดปริมาณการเดินทาง การตรวจสอบความคลาดเคลื่อน การประมวลผลแบบจำลอง และการแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลอง

6) ในการประมวลผลแบบจำลองต้องพิจารณาหลักสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ (1) การคำนวณจำนวนครั้งของการประมวลที่ต้องการอย่างน้อย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีค่าตามหลักการทางสถิติตามหลักการเฟ้นสุ่ม (Stochastic) (2) การเปลี่ยนค่า Seed เพื่อสร้างค่าการตัดสินใจสุ่มของยวดยานแต่ละคันออกมาผ่านพฤติกรรมต่าง ๆ ของผู้ขับขี่ยวดยาน (3) การตัดผลลัพธ์ในช่วง Warm-up period ออกจากผลการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มนำปล่อยยวดยานเข้าสู่โครงข่ายจากเริ่มไม่มียวดยานซึ่งให้ผลที่ไม่เหมือนกับสภาพจริง

7) การเปรียบเทียบแบบจำลองฐานในการศึกษานี้ได้ให้ความสำคัญและคำนึงถึงพฤติกรรมของจักรยานยนต์ ที่มีผลกระทบและทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างแบบจำลองกับสภาพจริงในสนาม เนื่องจากโปรแกรม PARAMICS V.6.4.1 ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองไม่มีฟังก์ชันในการจำลองพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ได้โดยตรง โดยกำหนดแนวทางในการทดสอบเพื่อกำหนดแนวทางในการเปรียบเทียบแบบจำลองที่เหมาะสม ได้แก่ แบบจำลองยวดยานทุกประเภท (All vehicle model) แบบจำลองเฉพาะยวดยานขนาดใหญ่ (No motorcycle model) แบบจำลองหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล (PCU model) และแบบจำลองช่องจราจรเสมือน (Virtual lane model) โดยไม่ทำการทดสอบกรณีของแบบจำลองหน่วยเทียบเท่ารถจักรยานยนต์ เนื่องจากไม่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาที่มีสัดส่วนปริมาณจราจรของรถจักรยานยนต์ไม่มากพอ ซึ่งพบว่า แบบจำลองที่ทำการแปลงยวดยานทุกประเภทให้เป็นหน่วยเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล โดยกำหนดค่า PCU สำหรับรถจักรยานยนต์ (PCU_{MC}) เท่ากับ 0.33 (รถบัสเท่ากับ 2.5 รถบรรทุกขนาดกลางเท่ากับ 2.0 และรถบรรทุกขนาดใหญ่เท่ากับ 3.0) เป็นแนวทางที่มีความเหมาะสมสูงสุดในการนำไปใช้เป็นแบบจำลองฐานเพื่อเข้าสู่กระบวนการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองต่อไป

8) ตัวแปรที่มีความอ่อนไหวสูงสุดที่เหมาะสมแก่การปรับค่าในกระบวนการเปรียบเทียบแบบจำลองในโปรแกรม PARAMICS ได้แก่ Headway, Reaction time, Perturbation, Feedback period และ Familiarity ซึ่งผลการทดสอบการวิเคราะห์ความอ่อนไหวสำหรับตัวแปรดังกล่าวพบว่า ตัวแปรที่เกี่ยวกับการเลือกเส้นทางซึ่งได้แก่ Feedback, Familiarity และ Perturbation มีความอ่อนไหวของผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลต่ำทั้งนี้เนื่องจากโครงข่ายมีขนาดเล็กการแจกแจงการเดินทางเป็นแบบ All-or-Nothing ยวดยานใช้เส้นทางที่แน่นอน ตัวแปรการเลือกเส้นทางจึงไม่มีผลต่อค่าที่ ต่างจากค่า Headway และ Reaction Time ซึ่งเป็นตัวแปรเกี่ยวกับพฤติกรรมรถขับขี่ของยวดยาน ซึ่งมีความอ่อนไหวสูง เนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมรถขับขี่โดยตรงและเหมาะสมสำหรับการปรับค่าสำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองในการศึกษานี้

9) เกณฑ์การเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่กำหนดขึ้นในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เกณฑ์ของ Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) Volume 12 และจากเกณฑ์ของหน่วยงานอื่นๆ เพิ่มเติม โดยใช้ค่า GEH สำหรับเปรียบเทียบปริมาณจราจร และใช้ร้อยละของความแตกต่างสำหรับเปรียบเทียบค่าเวลาในการเดินทาง ความเร็ว และใช้ความคลาดเคลื่อนเป็นจำนวนคั่นร่วมกับการใช้ร้อยละของความแตกต่างในการเปรียบเทียบความยาวแถวคอย

10) ผลการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ได้ค่า Headway = 1.1 วินาที และ Reaction Time = 0.6 วินาที ซึ่งจากการพิจารณาจากตัวชี้วัดต่างๆ ได้แก่ ปริมาณจราจร ความเร็ว เวลาในการเดินทาง และความยาวแถวคอย มีความสอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนามเป็นอย่างดี ในขณะที่การเปรียบเทียบภาพเคลื่อนไหวจากหน้าจอของโปรแกรมกับผลการเก็บสำรวจสภาพจริงในสนามด้วยกล้อง VDO ในภาพรวมของประสิทธิภาพการจราจรทั้งโครงข่าย พบว่า มีความยาวแถวคอยที่เสมือนสภาพจริง มีสภาพปัญหาการจราจรติดขัดในตำแหน่งและช่วงถนนซึ่งปรากฏสภาพดังกล่าวในภาพจากกล้อง VDO อย่างสมเหตุสมผล โดยภาพรวมมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงอย่างมาก

11) การพัฒนาทางเลือกพิจารณาถึงสภาพปัญหาการจราจรในปัจจุบันซึ่งเกิดจากผลกระทบที่ขึ้นต่อเนื่องและเชื่อมโยงกับสี่แยกประตูเมือง เนื่องจากรอบสัญญาณไฟจราจรที่มีความไม่สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก และมีผลของลักษณะทางกายภาพและการจัดการจราจรของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ การอนุญาตให้จอดรถตามแนวนอนที่เข้าสู่ห้าแยกฯ ความไม่สม่ำเสมอของจำนวนช่องจราจรบริเวณพื้นที่ศึกษา และข้อจำกัดในด้านประสิทธิภาพการรองรับปริมาณจราจรของโครงข่ายถนน

12) การเสนอแนะทางเลือกในการแก้ไขปัญหาด้านการจราจร แบ่งเป็นระยะสั้น (1 ปี) ซึ่งเป็นโครงการที่ใช้เวลาในการดำเนินการน้อย งบประมาณไม่สูงมาก และสามารถแก้ไขปัญหาการจราจรเฉพาะหน้าเห็นผลได้อย่างชัดเจน ได้แก่ ห้ามจอดบนช่วงถนนที่เข้าสู่ห้าแยกฯ และการปรับปรุงรอบสัญญาณไฟจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองและสี่แยกประตูเมือง และระยะกลาง (5 ปี) ซึ่งเป็นโครงการที่มีระยะเวลาในการดำเนินโครงการมากกว่า มีงบประมาณสูง และมีผลกระทบต่อการจัดการจราจรและการแก้ปัญหาการจราจรในปัจจุบันอย่างมาก ได้แก่ การก่อสร้างทางลอดบริเวณสี่แยกประตูเมือง ขยายผิวจราจรบริเวณห้าแยกฯ และการก่อสร้างระบบ BRT