บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ความจุ (Capacity)

พนกฤษณ คลังบุญครอง (2547) กล่าวว่า ในการวิเคราะห์สภาพปัญหาการจราจรติดขัดบนโครงข่ายถนนจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงวิธีการที่ถูกต้องและเหมาะสมซึ่งจะสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความจุของช่วงถนนได้ เนื่องจากความจุของช่วงถนนจะมีความสัมพันธ์กับปัจจัย ต่าง ๆ เช่น ประเภทของถนน (ทางด่วนพิเศษ (Freeway) ถนนสายหลัก (Arterial Road) ถนนนอกเมือง (Rural Road) เป็นต้น) ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ จำนวนและความกว้างของช่องจราจร ระยะจากขอบถนนถึงอุปสรรคทั้งสองด้านของถนน ในการวิเคราะห์สภาพปัญหาการจราจรติดขัดมักจะพิจารณาในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนซึ่งมีกระแสจราจรที่ค่อนข้างผันแปรตามเวลาในช่วงชั่วโมงดังกล่าว สำหรับการวิเคราะห์และหาค่าความจุในการให้บริการบนช่วงถนนในเมือง Austroads ได้กำหนดวิธีการประมาณค่าความจุบนช่องจราจรของถนน ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ความจุในการให้บริการของช่วงถนนในเขตเมือง

ประเภทของถนน	ความจุบนช่องถนนทิศทางเดียว (Veh/h)
ช่องจราจรชิดกับชนวนกลาง (Median lane) หรือช่องจราจรใน	
ถนนแบ่งกลาง (Divided)	1000
ถนนไม่แบ่งกลาง (Undivided)	900
ช่องจราจรนอกหรือชิดกับคันหิน (Kerb lane)	
ช่องจราจรซึ่งชิดกับช่องจอดรถ	900
สภาพทางโล่ง	900
มีจอดรถบางครั้ง	600

(Austroads, 1998 อ้างถึงใน ประสิทธิ์ จึงสงวนพรสุข, 2540)

2. ระดับการให้บริการ (Level of Service)

2.1 นิยามของระดับการให้บริการ

พนกฤษณ คลังบุญครอง (2547) กล่าวว่า ระดับการให้บริการ คือ การวัดเชิงคุณภาพเพื่ออธิบายถึงสภาพการไหลของกระแสจราจร เพื่อประเมินระดับความติดขัดของกระแสจราจร ระดับการให้บริการจะสามารถนำเอาปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็วและเวลาในการเดินทาง อิสระในการขับขี่ และความปลอดภัยเข้ามาร่วมพิจารณาด้วย โดยระดับการให้บริการสามารถ

แบ่งออกได้เป็น 6 ระดับ คือ A, B, C, D, E และ F โดยที่ระดับ A เป็นสภาพการไหลของกระแสจราจรซึ่งดีที่สุด ส่วนระดับ F เป็นระดับซึ่งแย่ที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ระดับการให้บริการ A เป็นสภาพการไหลอิสระ คนขับรถแต่ละคนไม่ถูกรบกวนเนื่องจากรถคันอื่นในกระแสการจราจร มีอิสระที่จะเลือกขับด้วยความเร็วที่ต้องการมีอิสระในการบังคับพวงมาลัยมากที่สุด และมีระดับความสะดวกสบายต่อคนขับรถมากที่สุด

2) ระดับการให้บริการ B เป็นสภาพการไหลคงตัว รถคันอื่นในกระแสการจราจรเริ่มมากขึ้นจนสังเกตได้ โดยอิสระในการเลือกความเร็วยังคงไม่ค่อยถูกระทบ แต่อิสระในการบังคับพวงมาลัยเริ่มลดลง ระดับความสะดวกสบายลดน้อยลงจากระดับ A

3) ระดับการให้บริการ C ยังอยู่ในสภาพการไหลคงตัว แต่การเลือกความเร็วจะถูกกระทบจากรถคันอื่น ๆ การบังคับพวงมาลัยต้องคอยระมัดระวังค่อนข้างมาก และระดับความสะดวกสบายลดลง จนสังเกตได้ชัด

4) ระดับการให้บริการ D เป็นสภาพซึ่งมีความหนาแน่นสูง แต่ยังคงมีสภาพการไหลคงตัว อิสระในการเลือกความเร็วและบังคับพวงมาลัยถูกจำกัดอย่างมาก ระดับความสะดวกสบายอยู่ในขั้นแย่ โดยทั่วไปหากมีปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดปัญหาการจราจรได้

5) ระดับการให้บริการ E เป็นสภาพที่เข้าใกล้สู่ระดับความจุ ความเร็วทั้งหมดถูกลดลงจนต่ำ แต่ค่อนข้างคงที่อิสระในการบังคับพวงมาลัยน้อยมาก ระดับความสะดวกสบายอยู่ในขั้นแย่มาก เป็นสภาพที่ไม่คงตัวเนื่องจากหากมีปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย จะทำให้เกิดการจราจรติดขัดได้

6) ระดับการให้บริการ F เป็นสภาพการจราจรติดขัด เมื่อปริมาณการจราจรเกินระดับความจุของถนน จะเกิดแถวคอย (Queues) รถต้องหยุดบ่อย ๆ มีสภาพไม่คล่องตัวอย่างมาก

2.2 ระดับการให้บริการของช่วงถนนในเขตเมือง

ช่วงถนนในเขตเมืองประกอบด้วยถนนสายหลัก (Arterials) และถนนสายรอง (Collectors) ซึ่งถูกลำดับชั้นของถนนไว้ระหว่างถนนท้องถิ่น (Local streets) และถนนทางหลวงชานเมืองและนอกเมืองหลายช่องจราจร (Multilane suburban and rural) โดยความแตกต่างอยู่ที่หน้าที่การใช้งาน ระบบควบคุมการจราจร ลักษณะเฉพาะของการจราจร และพัฒนาการใช้ประโยชน์ที่ดินด้านข้าง ตัวแปรหลักที่ใช้วัดระดับการให้บริการของช่วงถนนในเขตเมือง คือ ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง (Average travel speed) (Transportation Research Board, 2000) เกณฑ์การประเมินระดับการให้บริการของช่วงถนนในเมืองขึ้นอยู่กับความเร็วเฉลี่ยและลำดับชั้นของถนน (ตารางที่ 16) แต่ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางจะไม่เหมาะอย่างยิ่งในการใช้วัดค่าระดับการให้บริการของช่วงถนนในกรณีที่ปริมาณจราจรสูงเกินความจุของช่วงถนนเกณฑ์ในการประเมินระดับการให้บริการบนช่วงถนนในเขตเมือง ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 16 ลำดับชั้นของถนนในเมือง

ประเภทของถนน	หน้าที่การใช้งาน	
	ถนนสายประธานหลัก	ถนนสายประธานหลัก
ความเร็วสูง (High-Speed)	I	N/A
ชานเมือง (Suburban)	II	II
กึ่งในเมือง (Intermediate)	II	III หรือ IV
ในเมือง (Urban)	III หรือ IV	IV

(TRB, 2000)

ตารางที่ 17 เกณฑ์ระดับการให้บริการของช่วงถนนในเมืองแบ่งตามลำดับชั้นของถนน

ประเภทของถนนในเมือง	I	II	III	IV
ความเร็วที่การไหลอิสระ	90 to 70 km/h	70 to 55 km/h	55 to 50 km/h	55 to 40 km/h
ระดับการให้บริการ	ความเร็วในการเดินทางเฉลี่ย (km/h)			
A	> 72	> 59	> 50	> 41
B	> 56-72	> 46-59	> 39-50	> 32-41
C	> 40-56	> 33-46	> 28-39	> 23-32
D	> 32-40	> 26-33	> 22-28	> 18-23
E	> 26-32	> 21-26	> 17-22	> 14-18
F	> 26	> 21	> 17	< 14

(TRB, 2000)

ถึงแม้ว่าปกติการพิจารณาระดับการให้บริการของโครงข่ายในเขตเมืองจะใช้ความล่าช้าบริเวณทางแยกทั้งแบบมีสัญญาณไฟจราจรและไม่มีสัญญาณไฟจราจรเป็นหลัก แต่ในบางกรณีจำเป็นต้องประมาณค่าความจุบนช่วงถนนสำหรับการออกแบบความจุบนช่วงถนนให้สมดุลกับทางแยก ซึ่ง Austroads ได้กำหนดเกณฑ์สำหรับการพิจารณาระดับการให้บริการของช่วงถนนในเมือง โดยพิจารณาจากสัดส่วนปริมาณจราจรต่อความจุของช่วงถนนในเขตเมือง ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 เกณฑ์ระดับการให้บริการของถนนในเมือง

ระดับการให้บริการ	อัตราส่วนปริมาณจราจรต่อความจุ (V/C)
A	0.00 – 0.60
B	0.60 – 0.70
C	0.70 – 0.80
D	0.80 – 0.90
E	0.90 – 1.00
F	> 1.00

(Austroads, 1998)

2.3 ระดับการให้บริการของทางแยกที่มีการควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร

TRB (2000) กล่าวว่า ระดับการให้บริการของทางแยกที่มีการควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรสามารถประเมินค่าระดับการให้บริการได้โดยตรงจากค่าความล่าช้าเฉลี่ย ซึ่งอาจเป็นค่าระดับการให้บริการจากความล่าช้าเฉลี่ยต่อจำนวนยวดยานต่อช่องจราจรหรือแต่ละขาที่เข้าสู่ทางแยก โดยเกณฑ์ในการประเมินระดับการให้บริการของทางแยกที่ควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 เกณฑ์ระดับการให้บริการของทางแยกที่ควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร

ระดับการให้บริการ	ความล่าช้า (s/veh)
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

(TRB, 2000)

2.4 ระดับการให้บริการของทางแยกที่ไม่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร

TRB (2000) กล่าวว่า ระดับการให้บริการของทางแยกที่ไม่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรสามารถประเมินค่าระดับการให้บริการได้จากความล่าช้า และมีเกณฑ์ประเมินระดับการให้บริการเช่นเดียวกับการประเมินระดับการให้บริการของทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร แต่มีค่าความล่าช้าที่ใช้เปรียบเทียบกับระดับการให้บริการที่ต่ำกว่า เนื่องจากความแตกต่างของอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกด้านการขนส่งที่สร้างความแตกต่างในด้าน

การรับรู้และตัดสินใจของผู้ขับขี่ ซึ่งทางแยกที่มีสัญญาณไฟใช้ควบคุมมักจะใช้ในการจัดการจราจรกับบริเวณที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าและมีความล่าช้าสูงกว่าทางแยกที่ไม่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร โดยเกณฑ์ในการประเมินระดับการให้บริการของทางแยกที่ไม่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 เกณฑ์ระดับการให้บริการของทางแยกที่ไม่มีการควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟ

ระดับการให้บริการ	ความล่าช้า (s/veh)
A	<10
B	>10-15
C	>15-25
D	>25-35
E	>35-50
F	>50

(TRB, 2000)

3. เครื่องมือในการวิเคราะห์สภาพการจราจร (Traffic Analysis Tools)

3.1 Sketch-Planning Tools

Sketch-planning เป็นวิธีการวิเคราะห์ด้วยการประมาณการความต้องการในการเดินทางและการดำเนินการด้านการจราจรที่เกิดจากผลการปรับปรุงระบบการขนส่ง สำหรับการประเมินลักษณะเฉพาะของโครงการหรือทางเลือกโดยไม่นำการวิเคราะห์ในเชิงลึกด้านวิศวกรรมมาพิจารณา ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์อย่างง่าย วิธีการนี้เป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นใช้ในการเตรียมการเรื่องงบประมาณและการทำข้อเสนอโครงการโดยไม่ได้พิจารณารายละเอียดย่อย ๆ ในกระบวนการก่อสร้างจริง ดังนั้น Sketch-planning โดยทั่วไปเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดและมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดของเครื่องมือในการวิเคราะห์การจราจร แต่อย่างไรก็ตาม Sketch-planning มีข้อจำกัดในขอบเขต ความน่าเชื่อถือ และความสามารถในการนำเสนอ (Jeannotte et al., 2004) เช่น QuickZone, Surface Transportation Efficiency Analysis Model (STEAM), และ ITS Deployment Analysis System (IDAS) เป็นต้น (US Department of Transportation, 2002)

3.2 Travel Demand Models

Travel demand models มีความสามารถในการวิเคราะห์โดยเฉพาะ เช่น การคาดการณ์ความต้องการในการเดินทางซึ่งพิจารณาถึงการเลือกปลายทาง ประเภทการเดินทาง และเส้นทางในการเดินทาง เป็นต้น โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical models) สำหรับการทำนายความต้องการในการเดินทางในอนาคตโดยใช้ข้อมูลและสภาวะปัจจุบันและ

ขยายเป็นสถานการณ์ในอนาคตจากการครอบครองที่อยู่อาศัยและลักษณะการจ้างงาน Travel demand models มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ด้านการเงินและผลกระทบของการปรับปรุงทางหลวงในพื้นที่เมือง อย่างไรก็ตามไม่สามารถออกแบบในการวิเคราะห์นโยบายการจัดการจราจรระบบขนส่งอัจฉริยะได้ มีข้อจำกัดเรื่องความถูกต้องในการประมาณการตัวชี้วัดจากเปลี่ยนแปลงในลักษณะการดำเนินการต่าง ๆ มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำในการแสดงลักษณะของความต้องการในการเดินทางที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Jeannotte et al., 2004) เช่น TransCAD, Cube, Quick Response System (QRS) model, Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium 2 (EMME2) และ IDAS เป็นต้น (US Department of Transportation, 2002)

3.3 Analytical/Deterministic Tools (HCM-Based)

Analytical/Deterministic เป็นเครื่องมือที่ถูกกำหนดบนพื้นฐานของ Highway Capacity Manual (HCM) ในการประมาณค่าความจุและตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านการให้บริการการจราจรจะไม่มีกระบวนการทำซ้ำ ในทางปฏิบัติข้อมูลนำเข้าและตัวแปร และผลที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละขั้นตอนจะมีเพียงคำตอบเดียว สามารถคาดการณ์ความจุ ความหนาแน่น ความเร็ว ความล่าช้า และความยาวแถวคอยของนโยบายและสิ่งอำนวยความสะดวกของระบบขนส่งได้อย่างรวดเร็ว และสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้จากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ Analytical/Deterministic เป็นเครื่องมือที่ดีสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีขนาดเล็กหรือเฉพาะส่วน มีความเหมาะสมสำหรับการช่วยในการตัดสินใจถ้าสิ่งอำนวยความสะดวกมีความจุเพียงพอ แต่มีความถูกต้องน้อยในการคาดการณ์ปริมาณความติดขัดหรือความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้นเมื่อมีความต้องการการเดินทางเกินความจุ แบบจำลองนี้มีความละเอียดอยู่ระหว่าง Travel demand model และ Macroscopic simulation models (Jeannotte et al., 2004) เช่น Highway Capacity Software (HCS), Synchro และ the TEAPAC suite of programs เป็นต้น(US Department of Transportation, 2002)

3.4 Traffic Signal Optimization Tools

มีลักษณะคล้ายคลึงกับ Analytical/Deterministic โดยที่ Traffic Signal Optimization Tools โดยทั่วไปยึดวิธีการของ HCM เป็นหลัก อย่างไรก็ตาม traffic optimization tools เป็นเพียงการออกแบบเบื้องต้นเพื่อพัฒนาจังหวะรอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมสำหรับทางแยกเดี่ยว ถนนสายหลัก และโครงข่ายที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร (Jeannotte et al., 2004) เช่น Progression Analysis and Signal System Evaluation Routine (PASSER), Signal Operations Analysis Package (SOAP), Synchro, Traffic Network Study Tool (TRANSYT-7F), Time-Space Diagram for Windows (TSDWin) Synchro, Sidra และ the TEAPAC suite of programs เป็นต้น(US Department of Transportation, 2002)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

3.5 Macroscopic Simulation Models

Macroscopic simulation models เป็นเครื่องมือในการจำลองสภาพการจราจร (Simulation tool) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากความสัมพันธ์แบบ Deterministic ของปริมาณจราจร ความเร็ว และความหนาแน่นของกระแสจราจร Macroscopic simulation models ออกแบบสำหรับการดำเนินการในการวิเคราะห์ระบบของสิ่งอำนวยความสะดวกบนถนน แต่มีลักษณะคล้ายกับ Sketch-Planning และ HCM models เนื่องจาก Macroscopic simulation models เป็น deterministic ให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละเพียงคำตอบเดียว ความละเอียดของ Macroscopic simulation อยู่ระหว่าง HCM methods และ Microscopic simulation (Jeannotte et al., 2004) เช่น Bottleneck Traffic Simulator (BTS), Freeway Corridor Simulation Model (FREQ), Corridor Flow Simulation Software (CORFLO), PASSER, และ TRANSYT-7F เป็นต้น (US Department of Transportation, 2002)

3.6 Mesoscopic Simulation Models

Mesoscopic models เป็นเครื่องมือในการจำลองสภาพการจราจรซึ่งรวมเอาคุณสมบัติของทั้ง Microscopic simulation models และ Macroscopic simulation models เช่น Continuous Traffic Assignment Model (CONTRAM) และ Dynamic Network Assignment Simulation Model for Advanced Road Telematics for Planning (DYNASMART-P) เป็นต้น (US Department of Transportation, 2002)

3.7 Microscopic Simulation Models

Microscopic simulation models เป็นเครื่องมือในการจำลองสภาพการจราจรซึ่งพิจารณาถึงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคันตามทฤษฎี Car-following, Gap acceptance และ Lane-changing ออกแบบสำหรับการดำเนินการในการวิเคราะห์ระบบของสิ่งอำนวยความสะดวกบนถนน โดยอาศัยทฤษฎีที่เกิดจากช่องว่างของ Macroscopic models อาศัยหลักการสุ่ม แทนคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียว โดยผู้ใช้ต้องทำการวิเคราะห์ผลจากค่าเฉลี่ยในระดับของช่วงค่าความมั่นใจที่ต้องการ (Jeannotte et al., 2004) เช่น Traffic Software Integrated System/Corridor Simulation (TSIS/CORSIM), INTEGRATION, SimTraffic, Wide Area Traffic Simulation (WATSim), VISSIM และ Parallel Microscopic Traffic Simulator (PARAMICS) เป็นต้น (US Department of Transportation, 2002)

4. แบบจำลองสภาพการจราจร (Simulation Model)

4.1 นิยามของแบบจำลองสภาพการจราจร

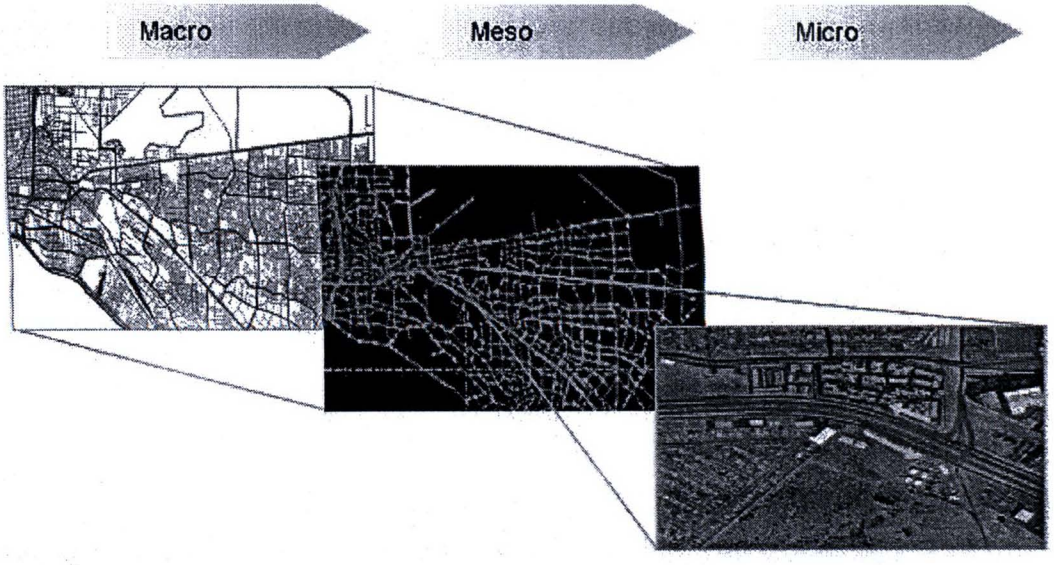
George Edward Pelham Box (1987 อ้างถึงใน Taylor and Stazic (2010) กล่าวว่า "..จงจำไว้ว่าแบบจำลองทั้งหมดมีความผิดพลาด คำถามในทางปฏิบัติ คือ แบบจำลองเหล่านั้นมีความผิดพลาดมากขนาดไหนจนทำให้แบบจำลองนั้นไม่มีประโยชน์ที่จะนำไป

ประยุกต์ใช้.." และ "..แบบจำลองทุกแบบจำลองเป็นการประมาณการ ที่สำคัญแบบจำลองทั้งหมดมีความผิดพลาด แต่บางส่วนสามารถใช้งานได้ อย่างไรก็จะต้องตระหนักถึงอยู่ตลอดเวลาว่าแบบจำลองเป็นธรรมดาของการประมาณการ..." (George Edward Pelham Box, 2007 อ้างถึงใน Taylor and Stazic, 2010)

Krogscheepers and Kacir (2001) กล่าวว่า ซึ่งการจำลองสภาพจราจรเป็นการจำลองสภาพการณ์ต่าง ๆจากสถานที่จริงหรือสถานการณ์ที่สมมติขึ้นโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรเป็นเครื่องมือ ข้อดีของการจำลองสภาพจราจร เช่น ช่วยประหยัดเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ สามารถทำการศึกษาผลกระทบต่อการจราจรเมื่อเกิดอุบัติการณ์ต่าง ๆ สามารถสมมติเหตุการณ์ที่ไม่ได้เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ศึกษา ทำให้มองเห็นสภาพจราจรและปัญหาการจราจรโดยรวมอย่างเป็นระบบและสามารถคาดการณ์ปัญหาจราจรที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตได้ ซึ่งทำให้สามารถใช้ทดสอบการจัดการการจราจรรูปแบบต่าง ๆ ได้ตามต้องการ รวมทั้งการจำลองสภาพการจราจรจะให้ค่าตัววัดประสิทธิภาพการจราจรโดยตรงโดยไม่ต้องไปเก็บข้อมูลในสนามอีกด้วย ดังนั้นจึงทำให้การจำลองสภาพจราจรเพื่อวิเคราะห์และวางแผนด้านการจราจรและขนส่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมากมีผู้ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน

4.2 ระดับของแบบจำลองสภาพการจราจร

การจำลองสภาพการจราจรสามารถจำแนกตามลักษณะของระดับการจำลองสภาพจราจรได้เป็น 3 ระดับ คือ 1) แบบจำลองสภาพการจราจรระดับมหภาค 2) แบบจำลองสภาพการจราจรระดับกึ่งจุลภาค และ3) แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค แนวคิดระดับของแบบจำลองสภาพการจราจรดังแสดงในภาพที่ 21 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 21 แนวคิดระดับของแบบจำลองสภาพการจราจร (Dynust online user's., (2010)

1) แบบจำลองสภาพการจราจรระดับมหภาค (Macro Simulation)

Dowling et al. (2004) กล่าวว่า การจำลองสภาพการจราจรระดับมหภาค ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (Speed) ความหนาแน่น (Density) และปริมาณจราจร (Flow) แบบจำลองสภาพการจราจรระดับมหภาค มีลักษณะคล้ายกับ Sketch-Planning และ HCM models เนื่องจาก Macroscopic simulation models เป็น Deterministic ให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละเพียงคำตอบเดียว เป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้จำลองสภาพการเคลื่อนที่ของกลุ่มยวดยาน โดยการวิเคราะห์จะไม่คำนึงหรือพิจารณาถึงตัวชี้วัดการจราจรและพฤติกรรมของยานพาหนะแต่ละคัน

2) แบบจำลองสภาพการจราจรระดับกึ่งจุลภาค (Meso Simulation)

Dowling., et al. (2004) กล่าวว่า การจำลองสภาพการจราจรระดับกึ่งจุลภาค เป็นนำเอาหลักการและลักษณะการจำลองสภาพการจราจรทั้งระดับมหาภาคและระดับจุลภาคมาผสมผสานกัน การแสดงผลของแบบจำลองระดับกึ่งจุลภาคแสดงถึงพฤติกรรมของยวดยาน มีการกำหนดประเภทของยวดยานและพฤติกรรมของผู้ขับขี่คล้ายกับแบบจำลองระดับจุลภาค แต่อย่างไรก็ตามก็มีความคล้ายคลึงกับแบบจำลองระดับมหภาค คือ มีการแสดงผลค่าความเร็วเฉลี่ยบนช่วงถนน โดยไม่คำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแบบพลวัต (Dynamic Speed) กับปริมาณจราจร ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองระดับกึ่งจุลภาคจะให้ค่าต่าง ๆ ที่ละเอียดน้อยกว่าแบบจุลภาค แต่สามารถใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนในระดับโครงข่ายขนาดใหญ่ได้ดีกว่าระดับจุลภาคถึงแม้จะมีประสิทธิภาพด้อยกว่าระดับมหภาค

3) แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Micro Simulation)

Dowling., et al. (2004) กล่าวว่า การจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคมีหลักการพื้นฐานมาจากแบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกันของยวดยาน (Car-Following model) และแบบจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร (Lane – Changing model) เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคัน การขับขี่ของยวดยานแต่ละคัน การขับขี่ของยวดยานคันหน้าที่มีการเพิ่มความเร็ว ลดความเร็ว และหยุดจะมีผลต่อการขับขี่ของยวดยานที่ขับขี่ตามมา โดยทั่ว ๆ ไป การปล่อยยวดยานเข้าสู่โครงข่ายของแบบจำลองระดับจุลภาคใช้หลักการกระจายตัวทางสถิติ (Stochastic process) ผ่านโครงข่ายตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยขึ้นอยู่กับผลของการกำหนดปลายทาง ประเภทของยวดยานพาหนะ และลักษณะของผู้ขับขี่ นอกจากนั้นในแบบจำลองระดับจุลภาคยังแสดงลักษณะเฉพาะของการเคลื่อนตัวของแต่ละยวดยานมีผลกระทบจาก ค่าระดับตามแนวดิ่งของโครงข่ายถนน โค้งราบ การยกโค้ง ซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของแบบจำลองระดับจุลภาคอย่างมาก สิ่งที่จำเป็นอันดับแรกของแบบจำลองระดับจุลภาค คือการปรับเทียบ (Calibration) แบบจำลองและการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองผ่านการปรับค่าตัวแปรเกี่ยวกับผู้ขับขี่ที่มีความอ่อนไหว

5. หลักการพื้นฐานในการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค

แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค หมายถึง แบบจำลองที่จำลองพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยวดยานที่อยู่ภายในระบบโครงข่ายถนนหรือสิ่งอำนวยความสะดวกด้านการขนส่งรูปแบบอื่นในสภาพการจราจร ประกอบขึ้นด้วยเงื่อนไขการจราจร 2 ลักษณะ คือ (1) แบบพลวัต (Dynamic) หมายถึง เงื่อนไขการจราจรเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และ(2) แบบเฟ้นสุ่ม (Stochastic) หมายถึง เงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการจำลองจะถูกสร้างขึ้นโดยวิธีการสุ่ม (Random) ส่งผลให้การประมวลผลของแบบจำลอง ใช้ข้อมูลนำเข้า (Input) ชุดเดียวกัน แต่มีเปลี่ยนหมายเลขเริ่มต้นของการสุ่ม (Seed) จะได้ผลลัพธ์ (Output) ที่ไม่เท่ากันกับการประมวลผลแบบจำลองในครั้งแรก (จะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย) โดยในระหว่างการจำลองตำแหน่งและพฤติกรรมของยานยนต์จะถูกพิจารณาใหม่ในทุก ๆ ช่วงเวลาย่อยของวินาที (Time Step) โดยอาศัยหลักการพื้นฐานของการเคลื่อนที่ เช่น ความเร่งคูณกับเวลาเท่ากับความเร็ว และพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่ เช่น การขับขี่ตามกันและการเปลี่ยนช่องจราจร เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา (ทวี วิชัยเมธาวี, 2545)

Dowling et al. (2004) กล่าวว่า หลักการพื้นฐานในการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค มีอยู่ 4 หลักการ ดังนี้

5.1 กลไกการปรับเปลี่ยนข้อมูลให้ทันสมัย (System Update Mechanism)

การปรับเปลี่ยนข้อมูลให้ทันสมัยในระหว่างการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคจะถูกกระทำเป็นระยะ ๆ (Discrete) ต่อช่วงเวลา ซึ่งกลไกมีอยู่ 2 รูปแบบ ดังนี้

5.1.1 Discrete Time (Time-Scan) เป็นรูปแบบที่ทำการปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยในทุก ๆ ช่วงของเวลา ซึ่งถูกกำหนดให้มีความยาวเท่า ๆ กัน (Fixed) เช่น แบบจำลองจะทำการคำนวณตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของยวดยานแต่ละคันในทุก ๆ Time Step เป็นต้น

5.1.2 Discrete Event (Event-Scan) เป็นรูปแบบที่ทำการปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยในแต่ละช่วงของเวลาซึ่งมีความยาวแตกต่างกัน (Variable) โดยความยาวของช่วงเวลาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความยาวของช่วงเวลาในแต่ละเหตุการณ์ เช่น การเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟเขียวไปเป็นสัญญาณไฟเหลืองและเป็นไฟแดงของระบบสัญญาณไฟจราจรล่วงหน้า เป็นต้น

5.2 ลักษณะความสุ่มในกระแสจราจร (Randomness in Traffic Flow)

แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคแบ่งวิธีการลักษณะความสุ่มได้ 2 วิธี ดังนี้

5.2.1 กำหนดค่าแน่นอน (Deterministic) เป็นวิธีที่กำหนดให้ลักษณะของยวดยานและผู้ขับขี่ ทั้งหมดในแบบจำลอง มีลักษณะไม่แตกต่างกัน เช่น กำหนดขนาดรถยนต์ส่วนบุคคลทุกคันในแบบจำลอง มีความยาว 4.9 เมตร เป็นต้น

5.2.2 เฟ้นสุ่ม (Stochastic) เป็นวิธีที่กำหนดลักษณะของผู้ขับขี่และยวดยานแต่ละคันโดยการสุ่มจากเส้นโค้งการกระจายตัวทางสถิติของลักษณะของผู้ขับขี่และยวดยานที่ถูก

กำหนดไว้ล่วงหน้าในแบบจำลอง โดยในการสุ่มจะได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ถ้าใช้หมายเลขเริ่มต้นของการสุ่ม (Seed) แตกต่างกัน เช่น ความเร็วในการเดินทางที่ต้องการของยวดยานแต่ละคัน (Desired Speed) ในแบบจำลอง จะถูกกำหนดโดยใช้วิธีสุ่มจากเส้นโค้งการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ของ Desired Speed ซึ่งถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าในขั้นตอนการ Coding แบบจำลอง เป็นต้น

5.3 การสร้างยวดยาน (Vehicle Generation)

การสร้างยวดยานในระหว่างการจำลองสภาพการจราจร มีกระบวนการซึ่งทำงานประสานกัน 2 กระบวนการ ดังนี้

5.3.1 กระบวนการสร้างและปล่อยยวดยานเข้าสู่กระแสการจราจร

ยวดยานในแบบจำลองระดับจุลภาคจะถูกสร้าง ณ เวลาเริ่มต้นของ Time Step ในระหว่างการจำลอง ที่ Node ทางเข้า (Source) หรือที่พื้นที่ย่อย (Zones) ของโครงข่ายถนนที่ทำการวิเคราะห์ โดยแบบจำลองจะทำการพิจารณาและตัดสินใจว่าจะสร้างและปล่อยยวดยานหนึ่งคันหรือมากกว่าเข้าสู่โครงข่ายถนนใน Time Step นั้นหรือไม่ ซึ่งจำนวนของยวดยานทั้งหมดที่ถูกสร้างขึ้นโดยกระบวนการดังกล่าวนี้ อาจจะมีค่าไม่เท่ากับจำนวนที่ผู้วิจัยกำหนดเริ่มต้นในแบบจำลอง โดยอาจจะมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

5.3.2 การกำหนดคุณสมบัติของยวดยานและผู้ขับขี่

การกำหนดคุณสมบัติของยวดยานและผู้ขับขี่ จะกระทำควบคู่กันไปกับกระบวนการสร้างและปล่อยยวดยานเข้าสู่กระแสการจราจรของแบบจำลอง โดยคุณสมบัติที่แบบจำลองกำหนดให้กับยวดยานแต่ละคัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ลักษณะของยวดยาน (Vehicle Characteristic)

ประกอบด้วย ประเภท (เช่น รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถโดยสารประจำทาง และรถบรรทุก) ความยาว ความกว้าง อัตราเร่งและอัตราหน่วงสูงสุด ความเร็วสูงสุด และรัศมีวงเลี้ยวสูงสุด เป็นต้น

2) ลักษณะของผู้ขับขี่ (Driver Behaviour)

ประกอบด้วย ระดับความก้าวร้าว (ความมั่นใจ) ในการขับขี่ (Driver Aggressiveness) ระยะเวลาในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยา (Reaction Time) ความเร็วที่ใช้ในการขับขี่ที่ต้องการ และช่วงเวลาว่างวิกฤต (Critical Gaps) สำหรับการเปลี่ยนช่องจราจร การแทรกเข้าสู่กระแสการจราจร และการตัดข้ามกระแสการจราจร รวมถึงลักษณะการเลือกใช้เส้นทาง

5.4 การเคลื่อนที่ของยวดยาน (Vehicle Movement)

การเคลื่อนที่ของยวดยานในแบบจำลองมีอยู่หลายลักษณะขึ้นอยู่กับอิทธิพลที่ผู้ขับขี่ได้รับ ซึ่งอาจมาจากยวดยานคันอื่น ๆ ในกระแสการจราจร หรืออาจมาจาก

สภาพแวดล้อมทางกายภาพและการควบคุมการจราจรของโครงข่ายถนนในแบบจำลอง โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของยวดยานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

5.4.1 การเคลื่อนที่ในลักษณะที่ไม่มีปฏิสัมพันธ์กับยวดยานคันอื่น ๆ

ยานยนต์เดี่ยวที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากยวดยานคันอื่น ๆ ในกระแสการจราจร จะเคลื่อนที่โดยใช้ Desired Speed ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขีดจำกัดความเร็ว (Speed Limit) หรือความเร็วอิสระ (Free-Flow Speed) ของช่วงถนน ในกรณีที่ไม่จำกัดความเร็วในการขับขี่ และระดับความก้าวร้าวในการขับขี่ของผู้ขับขี่ ซึ่งอาจทำให้ผู้ขับขี่ใช้ความเร็วสูงหรือต่ำกว่าความเร็วอิสระ แต่อย่างไรก็ตาม จากอิทธิพลของลักษณะทางเรขาคณิต สภาพของผิวจราจร และปัจจัยอื่น ๆ ของช่วงถนน จะทำให้ยวดยานคันดังกล่าวไม่สามารถรักษา Desired Speed ให้อยู่ในระดับคงที่ไว้ได้

5.4.2 การเคลื่อนที่ในลักษณะที่มีปฏิสัมพันธ์กับยวดยานคันอื่น

1) หลักการเคลื่อนตัวตามกัน (Car Following)

เป็นวิธีการเคลื่อนตัวของยวดยานอย่างปลอดภัยในช่องจราจรเดียวกัน ซึ่งแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคเกือบทั้งหมดที่มีอยู่ในปัจจุบัน ใช้ในการจำลองพฤติกรรมการเคลื่อนตัวตามกันของยวดยาน โดยในขณะเคลื่อนตัวตามกัน ยวดยานคันที่แล่นตามหลังจะพยายามรักษาระยะห่างปลอดภัยน้อยที่สุดระหว่างยวดยานไว้ ซึ่งระยะห่างปลอดภัยดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของยวดยานและผู้ขับขี่แต่ละคน ซึ่งถูกกำหนดขึ้นโดยวิธีเฟ้นสุ่มในขั้นตอนการสร้างยวดยานของแบบจำลอง และฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างปลอดภัยน้อยที่สุดระหว่างยวดยานที่ต้องการกับลักษณะของยวดยานและผู้ขับขี่ ซึ่งฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างปลอดภัยน้อยที่สุดระหว่างยวดยานที่ต้องการกับลักษณะของยวดยานและผู้ขับขี่ ดังสมการที่ 5

$$a_f = F(v_l, v_f, s, T, X_i) \qquad (5)$$

เมื่อ

a_f คือ อัตราเร่งของยวดยานคันที่เคลื่อนตัวตาม หลังจากผ่านช่วงเวลารับรู้และตัดสินใจ T

v_l คือ ความเร็วของยวดยานคันที่แล่นนำหน้า

v_f คือ ความเร็วของยวดยานคันที่แล่นตามหลัง

s คือ ระยะห่างระหว่างยวดยานที่แล่นตามกัน (Head way)

T คือ เวลารับรู้และตัดสินใจในการเคลื่อนตัวตามคันหน้า

X_i คือ ตัวแปรอื่น ๆ ของแบบจำลอง

2) หลักการเปลี่ยนช่องจราจร (Lane Changing)

เป็นวิธีการที่อาศัยหลักการของช่องว่างที่ยอมรับได้ (Gap Acceptance) ในการจำลองพฤติกรรมการเปลี่ยนจราจรของยวดยานบนช่วงถนนแบบหลายช่องจราจร ซึ่งกระบวนการดังกล่าว จะเริ่มจากผู้ขับขี่ถูกกระตุ้นให้ทำการเปลี่ยนช่องจราจร จากเงื่อนไข 3 เงื่อนไข ซึ่งประกอบด้วย 1) ถูกบังคับให้ออกจากช่องจราจรปัจจุบัน (Mandatory) เนื่องจากลักษณะทางกายภาพหรือการควบคุมการจราจรของช่วงถนนเปลี่ยนแปลงไป เช่น ต้องออกจากทางต่อเชื่อมของทางด่วนเพื่อเข้าสู่ทางด่วน เป็นต้น 2) ต้องการแซงยวดยานคันที่เคลื่อนตัวอยู่ข้างหน้าในช่องจราจรเดียวกันซึ่งมีความเร็วต่ำกว่า (Discretionary) เพื่อรักษา Desired Speed เอาไว้ และ (3) ผู้ขับขี่ต้องการเปลี่ยนตำแหน่งของยวดยานไปอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมกับสถานการณ์ด้านการจราจรที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในช่วงถนนด้านหน้า (Anticipatory) เช่น ต้องการเข้าสู่ช่องจราจรเสริมสำหรับรถรอเลี้ยวขวาที่ทางแยก เป็นต้น หลังจากนั้นผู้ขับขี่จะทำการพิจารณาช่องว่างที่มีอยู่ในกระแสการจราจรบนช่องจราจรเป้าหมาย ถ้าพบว่าช่องว่างที่มีอยู่มีค่ามากกว่าช่องว่างที่ยอมรับได้ ผู้ขับขี่จะทำการเปลี่ยนช่องจราจรทันที แต่ถ้าพบว่าช่องว่างที่มีอยู่มีค่าน้อยกว่าช่องว่างที่ยอมรับได้ ผู้ขับขี่จะรอจนกว่าช่องว่างที่มีอยู่มีค่าเพียงพอ จึงจะทำการเปลี่ยนช่องจราจรต่อไป

5.5 ข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลองระดับจุลภาค (Strengths and Limitations)

แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคมีข้อดีและข้อจำกัดหลายประการ สามารถสรุปประเด็นสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 21

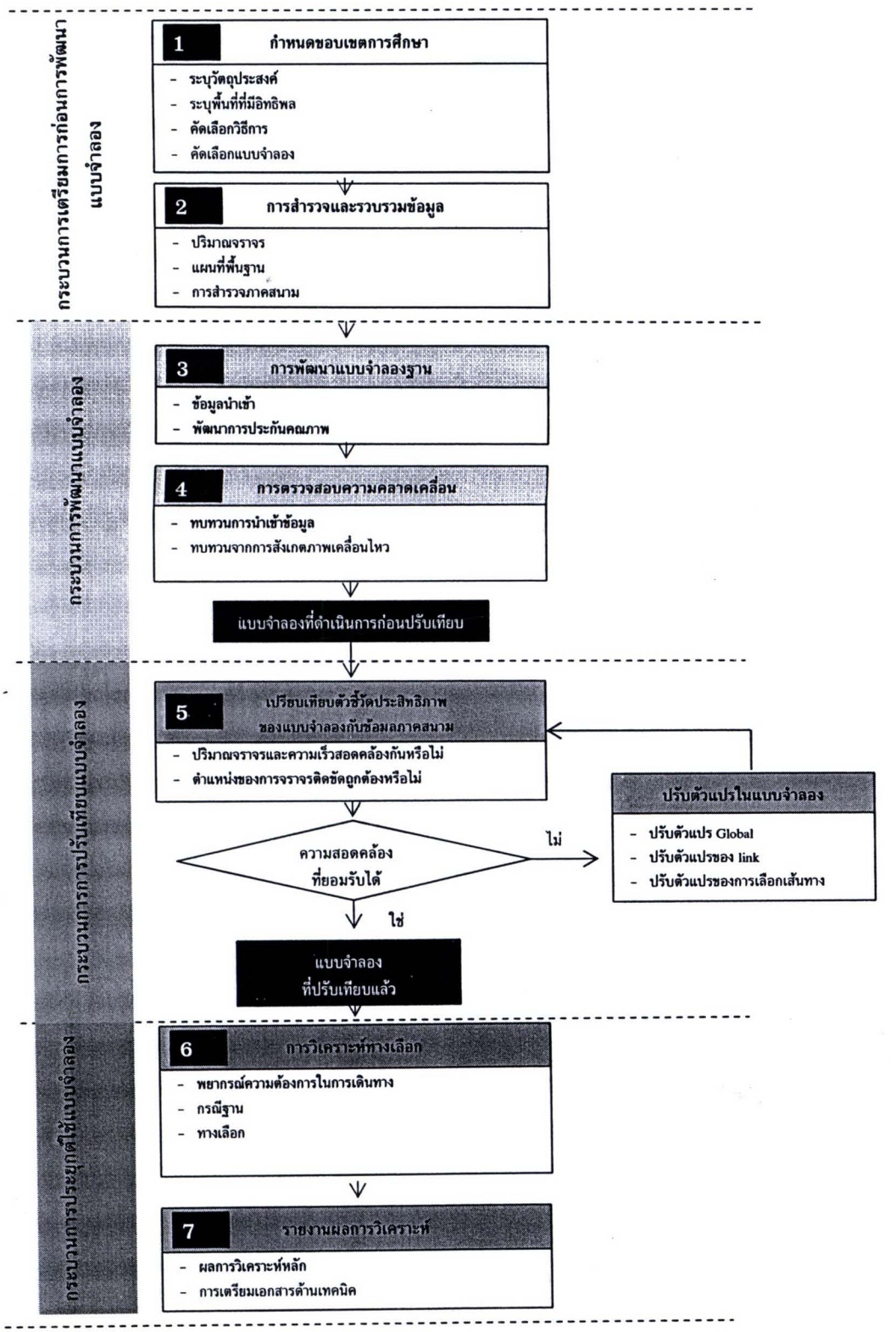
ตารางที่ 21 เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลองระดับจุลภาค

ข้อดี	ข้อจำกัด
(1) สามารถสร้างเหตุการณ์จำลองเพื่อทำการทดสอบในเงื่อนไขต่าง ๆ ได้จำนวนมาก (2) มีประสิทธิภาพในการประเมินสภาพปัญหาการจราจรติดขัดบนระบบขนส่ง ด้วยการแบ่งการวิเคราะห์เป็นช่วง ๆ เวลาได้ (3) สามารถประเมินผลกระทบ และสภาพการจราจรติดขัด จากการก่อสร้างหรือการทำลายสิ่งอำนวยความสะดวกด้านการจราจรได้ (4) สามารถแปรผันปริมาณจราจรและสภาพการจราจรติดขัดในการจำลองสภาพการจราจรได้ (5) สามารถแสดงพฤติกรรมและการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคันได้อย่างละเอียด (6) ประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเรขาคณิตของโครงข่าย (7) สามารถพัฒนาระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transport Systems, ITS) ได้ (8) สามารถแสดงผลสามมิติและภาพเคลื่อนไหวได้	(1) ต้องการข้อมูลนำเข้าจำนวนมาก และต้องให้ความสำคัญในการตรวจสอบข้อมูลอย่างละเอียด (2) ต้องทำการปรับค่าตัวแปรจำนวนมากในการปรับเทียบแบบจำลอง รวมทั้งไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้หากไม่สามารถปรับเทียบให้ใกล้เคียงกับสภาพจริงในสนาม (3) การปรับเทียบแบบจำลองมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและใช้เวลามาก (4) ไม่สามารถประเมินผลกระทบจากการจอดรถริมถนน (on-street parking) จอดรถซ้อนคัน (double parking) (5) ไม่สามารถจำลองรถจักรยานยนต์ รถจักรยาน และคนเดินเท้า รวมทั้งไม่สามารถกำหนดให้ยวดยานขับขี่บนช่องจราจรเดียวกันได้ (6) ไม่สามารถสร้างปริมาณการเกิดการเดินทางได้ (Trip generation) (7) ไม่สามารถสร้างตารางการแจกแจงการเดินทางได้ (O-D matrix) (8) ไม่สามารถสร้างระบบที่เหมาะสมที่สุดได้ (Optimisation) ได้ด้วยตัวเอง เช่น รอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม เป็นต้น (9) ไม่สามารถวิเคราะห์ Post-modelling analysis ได้ เช่น การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และการปลดปล่อยมลพิษ เป็นต้น

(Jeannotte, 2004)

6. กระบวนการการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค

Dowling et al. (2004) กล่าวว่า กระบวนการในการพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค แบ่งออกได้เป็น 7 ขั้นตอน (ดังแสดงในภาพที่ 22) แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 22 กระบวนการในการพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

สภาพการจราจรระดับจุลภาค (ดัดแปลงจาก Dowling et al., 2004)

1) การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Project Scope)

การกำหนดขอบเขตของการศึกษาเป็นกระบวนการจัดการและประเมินความพร้อมก่อนการสร้างแบบจำลอง ทั้งในเรื่องของการกำหนดระยะเวลา ทรัพยากร เครื่องมือ วิธีการที่ต้องใช้ รวมทั้งการรวบรวมทบทวนเอกสารเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองแบบจุลภาค (Dowling et al., 2004)

2) การสำรวจและรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

เป็นภาระงานที่มีความเกี่ยวข้องกับการคัดเลือก จัดเก็บข้อมูล และเตรียมความพร้อมของข้อมูลที่มีความจำเป็นในการวิเคราะห์แบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะทางเรขาคณิต (เช่น ความยาวถนน ความกว้าง จำนวนช่องจราจร และรัศมีความโค้ง) การควบคุมการจราจรของโครงข่ายถนน (เช่น ระบบสัญญาณไฟจราจร และรอบสัญญาณไฟจราจร) ความต้องการในการเดินทางในขณะนั้น (เช่น ปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง ปริมาณจราจรบริเวณทางแยก และปริมาณจราจรบริเวณช่วงถนน) ข้อมูลสำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง (เช่น ความจุของถนน ความยาวแถวคอย และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง) และข้อมูลการเดินทางรูปแบบอื่น ๆ (เช่น ระบบขนส่งสาธารณะ จักรยาน และคนเดินเท้า) เป็นต้น (Dowling et al., 2004)

3) การพัฒนาแบบจำลองฐาน (Base Model Development)

วัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาแบบจำลองฐานเพื่อให้เป็นแบบจำลองที่สามารถตรวจสอบได้ ใกล้เคียงสภาพจริง และมีความถูกต้องสูงสุด การพัฒนาแบบจำลองมีลักษณะเป็นการสร้างชั้น (Layer) ของข้อมูลหลาย ๆ ชั้นซ้อนกันในแบบจำลอง โดยข้อมูลชั้นแรกที่ถูกสร้างได้แก่ Link- Node Diagram ซึ่งถือเป็นรากฐานของแบบจำลอง ข้อมูลชั้นที่ 2 ซึ่งจะถูกสร้างบน Link- Node Diagram ได้แก่ ข้อมูลการควบคุมการจราจรและลักษณะการดำเนินการของแต่ละ Link ซึ่งแบบจำลองที่ได้หลังจากขั้นตอนนี้เรียกว่า โครงข่ายพื้นฐาน (Basic Network) จากนั้นจึงทำการเพิ่มข้อมูลความต้องการและพฤติกรรมในการเดินทางเข้าไปในโครงข่ายพื้นฐาน และขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการพัฒนาแบบจำลอง คือ การป้อนข้อมูลสำหรับควบคุมการจำลองสภาพการจราจรเข้าไปในแบบจำลอง (Dowling et al., 2004)

4) การตรวจสอบความคลาดเคลื่อน (Error Checking)

เป็นขั้นตอนที่ผู้ศึกษาทำการตรวจสอบและค้นหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการสร้างชั้นของข้อมูลต่าง ๆ และการป้อนข้อมูลต่าง ๆ เข้าสู่แบบจำลอง (Dowling et al., 2004)

5) เปรียบเทียบตัวชี้วัดประสิทธิผลของแบบจำลองกับข้อมูลภาคสนาม (Compare Model MOEs to Field Data)

เป็นขั้นตอนที่ผู้ศึกษาทำการเลือกตัวแปรเพียงบางตัวในแบบจำลอง เพื่อทำการปรับเทียบและทำกระบวนการดังกล่าวซ้ำ ๆ จนสรุปได้ว่าค่าตัวแปรที่เลือกเมื่อประมวลผลแบบจำลองแล้วให้ค่าที่มีความสอดคล้องกับผลจากการสำรวจจริงมากที่สุด ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลามากหากต้องการผลที่มีความถูกต้องที่สุด (Dowling et al., 2004)

6) การวิเคราะห์ทางเลือก (Alternatives Analysis)

เป็นขั้นตอนที่ผู้ศึกษาประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรประมวลผลหลาย ๆ ครั้ง ในการประเมินแบบหลาย ๆ ทางเลือก โดยขั้นแรกต้องทำการคาดการณ์ปริมาณความต้องการในการเดินทางฐาน (Baseline demand forecast) ซึ่งทุกทางเลือกจะต้องใช้ข้อมูลชุดเดียวกัน และทำการ ประมวลแบบจำลองทุกทางเลือกที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยใช้ค่าตัวแปรที่ได้จากกระบวนการสอบเทียบแบบจำลองและใช้เงื่อนไขจราจรที่ผู้ศึกษาต้องการทดสอบ จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการจราจรที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองของทางเลือกทุกทางเลือกที่ถูกนำเสนอ และประเมินหาทางเลือกที่เหมาะสมต่อไป (Dowling et al., 2004)

7) รายงานผลการวิเคราะห์ (Analysis Report)

เป็นขั้นตอนที่ผู้ศึกษาจัดทำรายงานทางด้านเทคนิคในการพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรในการศึกษา และจัดทำเอกสารสรุปผลผลการปรับเทียบแบบจำลองและผลการวิเคราะห์ทางเลือกต่าง ๆ ที่ถูกนำเสนอ รวมถึงการจัดเตรียมการนำเสนอผลการศึกษาในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อช่วยเพิ่มความเข้าใจให้แก่ผู้ประเมินโครงการและสาธารณะชนทั่วไปที่สนใจ ต่อไป (Dowling et al., 2004)

7. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองสภาพการจราจรในระดับจุลภาค

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองสภาพการจราจรในระดับจุลภาค โดยทั่วไปเป็นแบบจำลองที่ใช้หลักการเคลื่อนที่ตามกันของยวดยาน ซึ่งการเคลื่อนที่ของยวดยานคันหน้าจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของยวดยานคันหลัง ทำให้ในระหว่างการจำลองสามารถมองเห็นยวดยานแต่ละคันเคลื่อนที่บนถนนได้เสมือนจริง ในปัจจุบันจึงได้มีผู้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองพฤติกรรมการจราจรในระดับจุลภาค เช่น Paramics, NETSIM, AIMSUN, CORSIM และ VISSIM เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างและข้อมูลเบื้องต้นของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองสภาพการจราจรในระดับจุลภาคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มีรายละเอียดดังนี้

7.1 โปรแกรม VISSIM

โปรแกรม VISSIM (Verkehr in Stadten - Simulation) พัฒนาโดยบริษัท PTV (Planing Transport Verkerhr) ประเทศสาธารณรัฐเยอรมัน เป็นโปรแกรมที่มีการพัฒนาการ

จำลองพฤติกรรมการขับขี่ยวดยานและจำลองระบบขนสง มีตัวกลางสื่อสารในรูปกราฟฟก (Graphic User Interface) ชวยใหสามารถเชื่อมตออุปกรณที่ใชการควบคุมสภาพการจราจรในภาคสนามได โปรแกรม VISSIM แบงประเภทการทำงานออกเปน 2 ประเภท คือ แบบ Exchanging Detector Calls และแบบ Signal Status Through an Interface โดยการทำงานของโปรแกรมจะจำลองสภาพการเคลื่อนที่ของกระแสการจราจรและจดบันทึกไฟลขอมูลสถิติตาง ๆ ตามที่ผูใชงานตองการ เชน เวลาการเดินทาง ความลาชาหรือความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกเปนตน โปรแกรม VISSIM สามารถจำลองสภาพการเคลื่อนที่ของการจราจรโดยพิจารณาเป็นการเคลื่อนที่ของผู้ขับขี่ (Driver Vehicle) บนโครงขาย โดยที่ผูขับขี่จะถูกกำหนดพฤติกรรมการขับขี่ตามที่ผูใชงานกำหนดไว ดังนั้น พฤติกรรมการขับขี่จะตอบสนองตอความสามารถทางดานเทคนิค (Technical Capabilities) ของยานพาหนะนั้น ๆ ซึ่งสามารถจำแนกลักษณะของ Driver Vehicle Units (DVU) ไดเปน 3 ประเภทหลัก ๆ (Visual Solutions, Incorporated, 2010) คือ

1) คุณสมบัติทางดานเทคนิคของยานพาหนะ เชน ความยาวของรถ ความเร็วสูงสุดของรถ อัตราเรงความเร็วของรถ ตำแหนงที่ถูกตองภายในโครงขาย ความเร็วและความเรงที่ถูกตอง

2) พฤติกรรมของผู้ขับขี่ เชน การรับรูทางดานกายภาพและจิตใจของผูขับขี่ ความจำของผูขับขี่ ความเร็วในการขับขี่ของผูขับขี่ ขึ้นอยูกับความเร็วปัจจุบันและความเร็วที่ผูขับขี่ตองการ

3) ความสัมพันธระหว่างผู้ขับขี่ เชน ความสัมพันธระหวางรถคันที่ขับนำหน้าและรถคันที่ขับตามหลังของผูขับขี่ รวมถึงรถในชองจราจรข้างเคียง ความสัมพันธระหวางเสนทางและทางแยก ความสัมพันธระหว่างสัญญาณไฟจราจร

โปรแกรม VISSIM สามารถใชในการแกปญหาดานการคมนาคมขนสงอื่น ๆ เช่น ใชพัฒนาและประเมินดานสัญญาณไฟจราจรและวิเคราะหประเภทของสัญญาณไฟจราจรได หลายรูปแบบ เชน สัญญาณไฟจราจรแบบรอบสัญญาณไฟจราจรคงที่ (Fixed-Time) สัญญาณไฟจราจรแบบปรับตามปริมาณจราจร (Vehicle Actuated) ประเมินสภาพการจราจรในโครงขายที่มีสัญญาณไฟจราจรตอเชื่อมกัน ประเมินความเหมาะสม และผลกระทบในกรณีที่ตองการรวมระบบรถรางเขากับโครงขายถนนในเมือง ประยุกตใชในการวิเคราะหบริเวณ Weaving (บริเวณที่กระแสการจราจรเขามารวมกัน) และบริเวณ Merging (บริเวณที่กระแสการจราจรเขามารวมกัน) ของโครงขายถนนที่ศึกษา วิเคราะหความจุ (Capacity) และการดำเนินงานที่เกี่ยวกันรถราง และระบบรถประจำทางในบริเวณสถานีที่จับซอน ประเมินมาตรการในการใหสิทธิพิเศษสำหรับรถประจำทาง เชน ที่หยุดรถประจำทางสำหรับรับ-สงผูโดยสารช่องจราจรสำหรับรถประจำทาง เป็นตน (ทวี วิชัยเมธาวี, 2545)

7.2 โปรแกรม NETSIM

กนกวรรณ เด่นพรภูวกล และคณะ (2547) กล่าวว่า โปรแกรม NETSIM เป็นโปรแกรมที่จำลองสภาพการจราจรที่ออกแบบใช้สำหรับการจราจรภายในเมืองและทางด่วน เป็นแบบจำลองที่มีการจำลองสภาพการจราจรโดยมีพื้นฐานของเวลาในการอธิบาย ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงการจัดการจราจรในโครงข่ายทุก ๆ คาบเวลาที่คงที่ ทั้งนี้อาศัยการจัดการจากการกระจายตัวของความน่าจะเป็น การสุ่มตัวอย่างต่อเนื่องและเป็นอิสระต่อกัน เพื่อนำค่าที่ได้จากตัวแปรสุ่มไปใช้ในการหาลักษณะการจราจรที่ต้องการในการจำลองโครงข่ายจะมีการแสดงในรูปของ Node และ Link และยวดยานของพาหนะที่เข้าสู่โครงข่ายอย่างสุ่ม โดยมีการจัดแบ่งชนิดของยวดยานไว้ 16 ชนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทหลัก ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุก รถโดยสารประจำทาง และรถยนต์ส่วนบุคคลที่มีผู้โดยสารร่วมมาด้วย นอกจากนี้ยังพิจารณาพารามิเตอร์ที่เป็นองค์ประกอบของการจราจรนอกเหนือจากประเภทยานพาหนะอีก คือ พฤติกรรมของผู้ขับขี่ รูปแบบถนน และปัจจัยอื่น ๆ ในการจำลองสภาพการจราจรโดยโปรแกรม NETSIM ยังประกอบไปด้วย ส่วนที่ใช้ในการกำหนดการควบคุมการจราจร และส่วนที่ใช้ในการกำหนดพฤติกรรมของยวดยานซึ่งส่งผลให้ NETSIM เป็นแบบจำลองแบบจุลภาคที่มีรายละเอียดที่ครบถ้วนกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนท้องถนน ทั้งนี้การควบคุมแบบจำลอง NETSIM สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1) การกำหนดการควบคุมจราจร ใช้เครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดการควบคุมจราจรภายในแบบจำลอง NETSIM ประกอบด้วย Fixed time Signals, Traffic actuated signals, Left and right Turn controls, Stop and yield sings, Surveillance system

2) การกำหนดพฤติกรรมของยวดยาน พารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง NETSIM ประกอบด้วย Car following behavior, Lane Changing, Bus traffic, Lane blockages, Pedestrian vehicle conflicts

7.3 โปรแกรม CORSIM

โปรแกรม CORSIM (Corridor Simulation) พัฒนาโดย The Federal Highway Administration (FHWA) ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1996 ประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อย FRESIM ที่ใช้จำลองสภาพจราจรบนทางหลวง (Freeway) และโปรแกรม NETSIM ที่ใช้จำลองสภาพจราจรในเมือง มีจุดเด่นคือ สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรม Synchro ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์การประสานสัญญาณไฟจราจร และการจัดสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม โปรแกรม CORSIM มีรูปแบบการสร้างโครงข่ายโดยใช้จุดและส่วนของถนน (Node - Link) จะต้องมีการกำหนดพิกัดของแต่ละจุด จากนั้นจึงทำการเชื่อมจุดด้วยส่วนของถนน และต้องกำหนดระยะทางในส่วนของถนนให้สอดคล้องกับพิกัด สามารถกำหนดปริมาณการจราจรลงบนถนนได้ โปรแกรม CORSIM จะแสดงออกในรูปของ ความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ในแต่ละช่วงถนนที่เวลาต่าง ๆ เวลา

ในการเดินทาง ความล่าช้าจากการหยุดรถ ความล่าช้าโดยรวม ความยาวของแถวคอย ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ ปริมาณสารมลพิษทางอากาศที่ถูกปล่อยออกมา (ทวี วิชัยเมธาวี, 2545)

7.4 โปรแกรม AIMSUN

โปรแกรม AIMSUN พัฒนาโดย TSS-Transport เมืองบาเซโลน่า ประเทศสเปน โปรแกรม AIMSUN เป็นเครื่องมือจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคซึ่งสามารถจำลองสถานการณ์และโครงข่ายต่างๆ เช่น โครงข่ายถนนในเมือง, ทางด่วน, ทางหลวง,ถนนวงแหวน, ถนนสายหลัก และส่วนประกอบอื่นๆ เป็นต้น โปรแกรม AIMSUN สามารถใช้ในการออกแบบก่อนทำการก่อสร้างจริง เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์สำหรับวิศวกรจราจรในการออกแบบและประเมินระบบการจราจร ให้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีในการทดสอบระบบควบคุมการจราจรใหม่ การจัดการเกี่ยวกับนโยบาย และอื่นๆที่ใช้ฐานข้อมูลจากการจราจรรูปแบบเดิม รวมทั้งการสร้างระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transport Systems, ITS) นอกจากนั้นโปรแกรม AIMSUN สามารถจำลองเพิ่มความสามารถในระบบการควบคุมการจราจร เช่น SCATS, VSPLUS, C-Regelaar, ระบบควบคุมระบบขนส่งสาธารณะ, ระบบการจัดการจราจรขั้นสูง เช่น การใช้ VMS, การยับยั้งการจราจร (traffic calming strategies) ระบบนำทางให้กับยวดยาน (Vehicle Guidance Systems) การจัดการทางยกระดับ ตารางเวลาและระบบควบคุมการให้บริการของระบบขนส่งสาธารณะและการประมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นมลพิษต่างๆ และการใช้พลังงาน (TSS-Transport Simulation Systems, 2009)

7.5 โปรแกรม PARAMICS

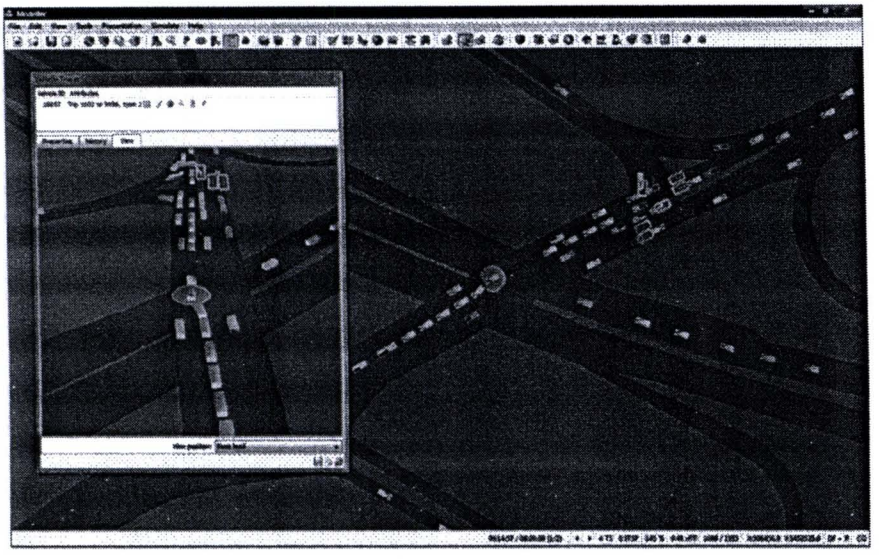
PARAMICS เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสภาพการจราจรบนถนน เพื่อใช้ในการศึกษาและเป็นแนวทางในการออกแบบและแก้ปัญหาก่อนการดำเนินการจริงและใช้ทดสอบทางเลือกต่างๆ ได้ จึงทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำงานและวางแผนได้ Paramics เป็นโปรแกรมปฏิบัติการขั้นสูงซึ่งสามารถจะแสดงผลได้ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ เป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการจำลองลักษณะการเคลื่อนตัวของยวดยานในกระแสจราจรรวมถึงพฤติกรรมการขับขี่ยวดยานของผู้ใช้รถใช้ถนนบนโครงข่ายเส้นทางต่าง ๆ ทั้งถนนในเมือง (Urban) ถนนนอกเมือง (Rural) ทั้งนี้รายละเอียดเพิ่มเติมในการประยุกต์ใช้โปรแกรม PARAMICS สำหรับการจำลองสภาพการจราจร ได้แสดงในหัวข้อที่ 8

การวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม PARAMICS ในการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค ถึงแม้ว่าจะมีข้อด้อยและข้อจำกัดซึ่งไม่สามารถจำลองจักรยานยนต์และรถจักรยานได้ แต่โดยภาพรวมมีความสามารถเทียบเคียงกับโปรแกรมอื่นๆ ในการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคในรูปแบบต่างๆ รวมทั้งมีฟังก์ชั่นที่ครอบคลุมในการประยุกต์ใช้จำลองสภาพการจราจรเป็นอย่างดี

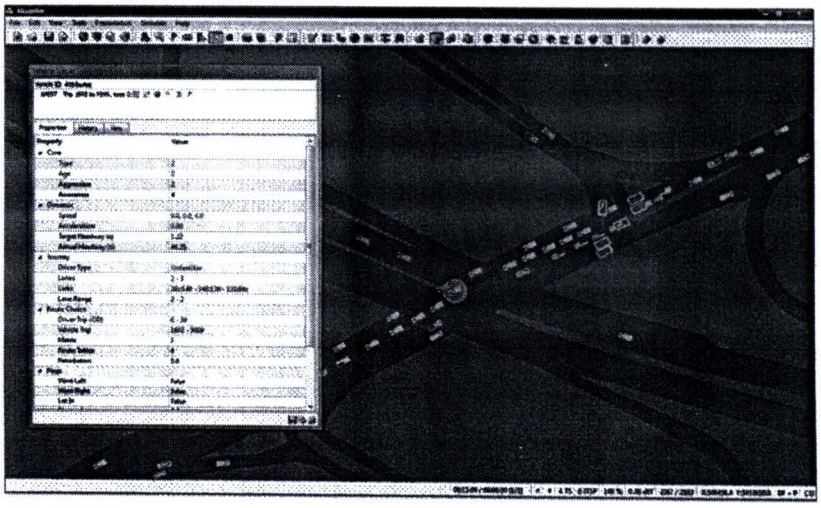
8. การประยุกต์ใช้โปรแกรม PARAMICS ในการจำลองสภาพการจราจร

8.1 คุณสมบัติทั่วไป

ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน (2549). กล่าวว่า PARAMICS โปรแกรม PARAMICS (**PARA**llel **MIC**ro Simulation) เป็นโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Quadstone ประเทศอังกฤษ ซึ่งโปรแกรมนี้สามารถแสดงผลในรูปแบบของภาพ 3 มิติ (ภาพที่ 23) รวมทั้งสามารถจำลองสภาพการจราจรในสถานการณ์ต่าง ๆได้หลากหลาย เช่น สัญญาณไฟจราจร และ วงเวียน เป็นต้น นอกจากนั้นยังสามารถจำลองการติดตามการเคลื่อนตัวของยวดยาน โดยสามารถแสดงความเร็ว ระยะทาง เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ของยวดยานที่กำลังติดตามได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 23 การจำลองสภาพการจราจร โดยใช้โปรแกรม PARAMICS (Quadstone PARAMICS Ltd, 2010)

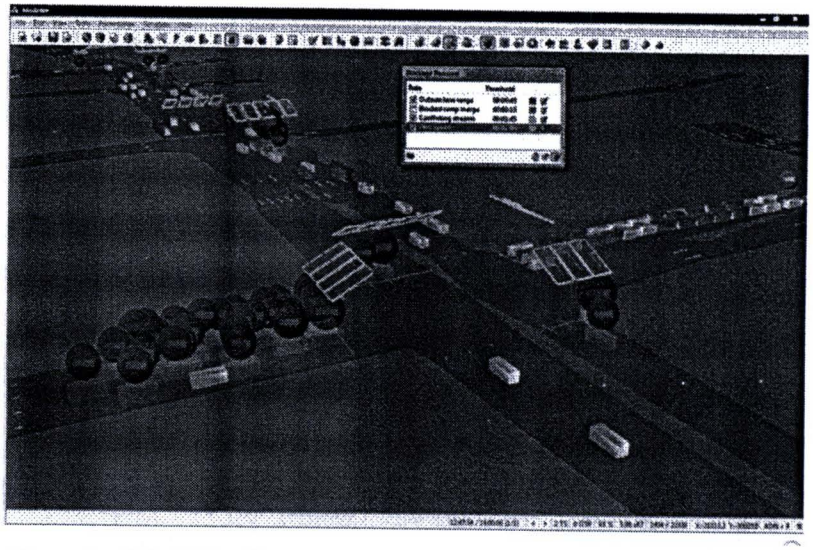


ภาพที่ 24 การแสดงผลข้อมูลของยวดยานที่กำลังติดตาม (Quadstone PARAMICS Ltd., 2010)

8.2 องค์ประกอบของโปรแกรม PARAMICS (Paramics Module)

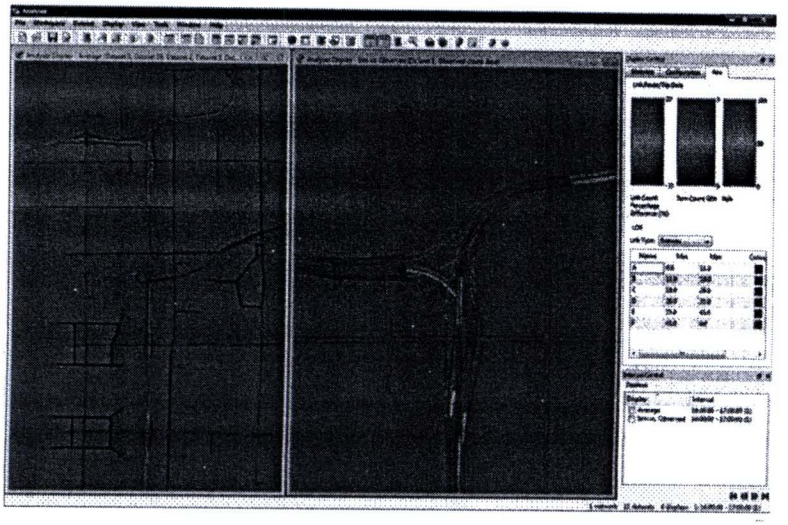
โปรแกรม Paramics เป็นชุดโปรแกรมที่ประกอบด้วยเครื่องมือสำหรับการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคที่มีประสิทธิภาพสูง เหมาะสำหรับการจัดการปัญหาด้านการจราจรในสภาพปัจจุบัน ชุดโปรแกรม Paramics มีองค์ประกอบหลายส่วน (Quadstone Paramics Ltd, 2010) ดังนี้

1) **Paramics Modeller** ประกอบด้วยสามภาระงานหลัก คือ การสร้างโครงข่าย ประมวลผล และการแสดงผลภาพเคลื่อนไหว (2 และ 3 มิติ) ที่สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติและแสดงผลทางภาพผ่านหน้าจอของผู้ใช้งาน ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลในส่วนของ paramics Modeller ดังแสดงในภาพที่ 25



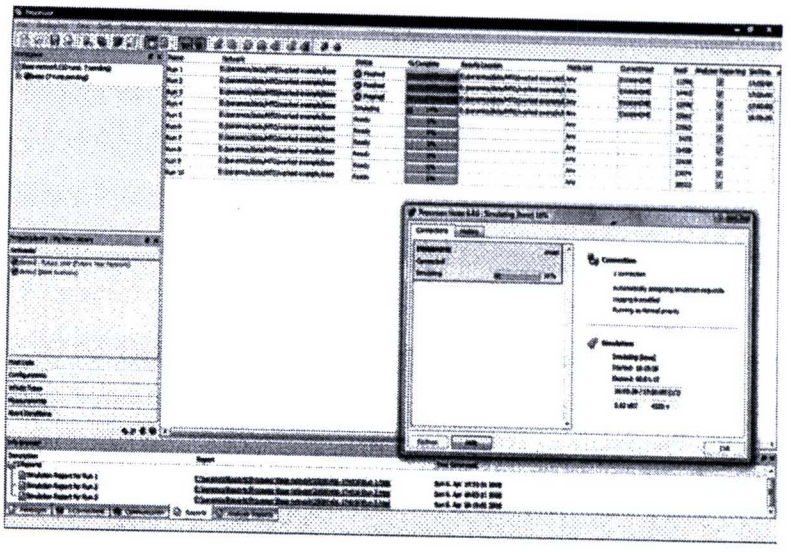
ภาพที่ 25 Paramics Modeller (Quadstone PARAMICS Ltd., 2010)

2) Paramics Analyser ประด้วยด้วยการตรวจสอบ การแจกแจงข้อมูล การวิเคราะห์ และการสร้างรายงานสำหรับแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ โดย Paramics Analyser เป็นกระบวนการวิเคราะห์หลังจากการประมวลผลแบบจำลอง สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์จากข้อมูลหลาย ๆ ชุด ช่วยเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วในขั้นตอนการปรับเทียบและการตรวจสอบแบบจำลอง ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลในส่วนของ Paramics Analyser ดังแสดงในภาพที่ 26



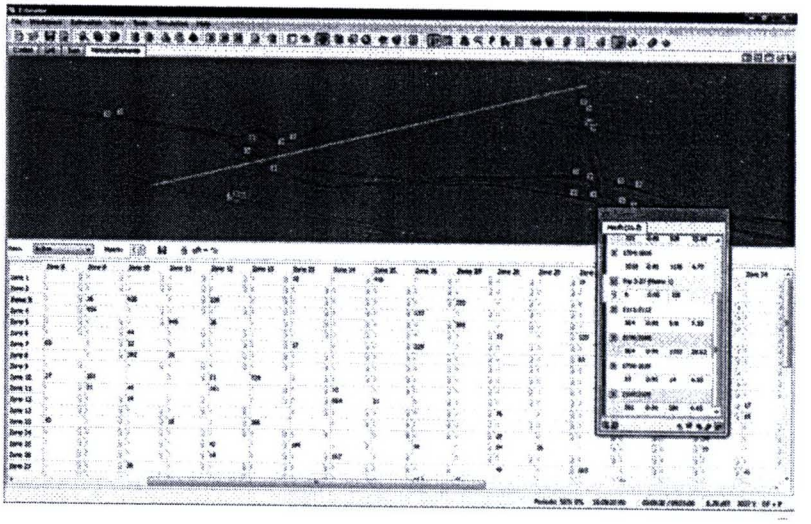
ภาพที่ 26 Paramics Analyser (Quadstone PARAMICS Ltd, 2010) http://www.Paramics-online.com

3) Paramics Processor ประกอบด้วยการทดลอง การทดสอบ การสรุปผลของกระบวนการประมวลผลแบบจำลอง Paramics Processor มีส่วนของการปรับตั้งค่าต่าง ๆ ก่อนการทดสอบและประมวลผล สามารถทำการจำลองโดยอัตโนมัติทำให้ช่วยลดเวลาในกระบวนการประมวลผลแบบจำลอง สะดวก และรวดเร็วกว่าการประมวลผลในส่วนของ Paramics Modeller แต่ไม่มีการแสดงผลในรูปแบบภาพเคลื่อนไหวได้ ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลในส่วนของ Paramics Processor ดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 Paramics Processor (Quadstone PARAMICS Ltd., 2010)

4) Paramics Estimator เป็นส่วนที่ใช้ในการตรวจสอบและประมาณค่าปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง (O-D Matrix Estimation) ซึ่งจะนำไปใช้ในส่วนของ Paramics Modeller ต่อไป ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลในส่วนของ Paramics Estimator ดังแสดงในภาพที่ 28

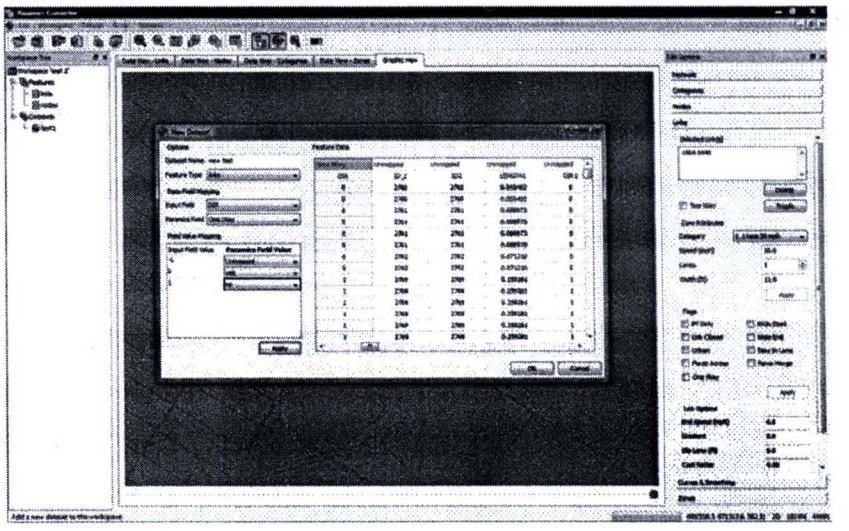


ภาพที่ 28 Paramics Estimator (Quadstone PARAMICS Ltd., 2010)

5) **Paramics Designer** เป็นส่วนที่ใช้ในการออกแบบและสร้างแบบอาคารหรือองค์ประกอบต่าง ๆในลักษณะและพื้นผิวซึ่งเป็นสามมิติสำหรับใช้ในส่วนของ Paramics Modeller ซึ่งจุดประสงค์หลักของ Paramics Designer เน้นการนำไปใช้เพื่อนำเสนอภาพในรูปแบบสามมิติ เพิ่มความสวยงามในแสดงผลภาพเคลื่อนไหว ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลในส่วนของ Paramics Designer ดังแสดงในภาพที่ 29

ภาพที่ 29 Paramics Designer (Quadstone PARAMICS Ltd, 2010)

6) **Paramics Converter** เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแปลงข้อมูลดิบ ให้เป็นโครงข่ายถนนบนโปรแกรม ซึ่งสามารถปรับแก้รายละเอียดต่าง ๆ ผ่านหน้าจอโปรแกรมได้ อีกทั้งในส่วนนี้สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมอื่น ๆ ประกอบด้วย EMME/2, Mapinfo, ESRI, Synchro, Corsim, Cube/TP+/Viper, Flat Ascii, และ CSV ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลในส่วนของ Paramics Converter ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 Paramics Converter (Quadstone PARAMICS Ltd., 2010)

7) Paramics Programmer เป็นส่วนที่ใช้การเขียนโปรแกรมประยุกต์ API เพื่อแก้ปัญหาด้านการจราจรและปรับปรุงความสามารถของแบบจำลองให้ดี โดยส่วนใหญ่จะทำการปรับแบบจำลองพฤติกรรมของผู้ขับขี่ยวดยาน และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อช่วยให้แบบจำลองที่มีความซับซ้อนมีสภาพเสมือนจริงสูงสุด

8) Paramics Monitor เป็นส่วนที่ใช้วิเคราะห์ระดับมลภาวะที่เกิดจากการจราจร ซึ่งสามารถวัดผลได้ในแต่ละช่วงของเส้นทาง (Link) ของถนน โดยวัดรวมยวดยานทั้งหมดที่อยู่ในเส้นทางนั้น ๆ

8.3 กระบวนการการพัฒนาแบบจำลองของโปรแกรม PARAMICS

การพัฒนาแบบจำลองของโปรแกรม PARAMICS มีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) สร้างแบบจำลองบนโปรแกรม PARAMICS จากแผนที่ในลักษณะของไฟล์ AutoCAD (*.DXF) หรือ ไฟล์รูปภาพ (*.BMP) ซึ่งไฟล์ดังกล่าวต้องมีมาตรส่วนที่ถูกต้อง

2) สร้างโครงข่ายถนนโดยเริ่มจากการกำหนดจุดอ้างอิง (Node) เส้นทางเชื่อมระหว่างจุดอ้างอิง โซน และกำหนดองค์ประกอบทางด้านเรขาคณิต

3) นำเข้าข้อมูลความต้องการในการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง (Origin-Destination) รวมไปถึงปริมาณการเดินทางที่คงที่ เช่น การใช้รถประจำทาง เป็นต้น

4) กำหนดวิธีการแจกแจงการเดินทาง

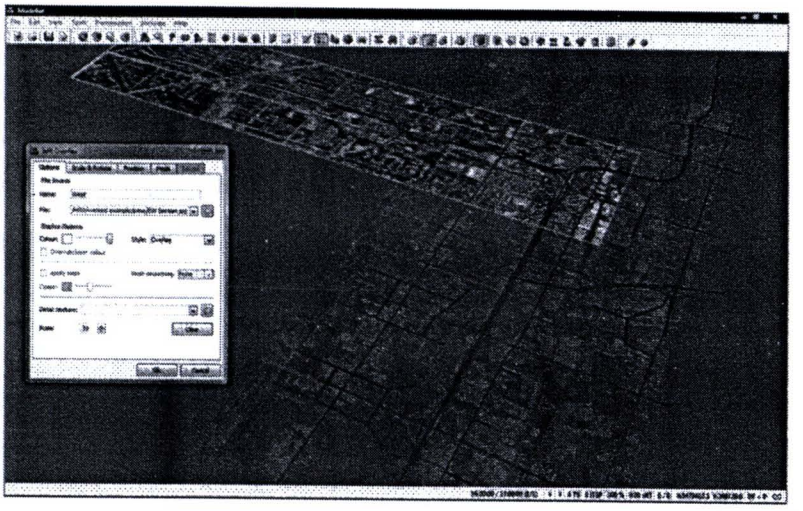
5) ประมวลผลแบบจำลองและการเก็บผลการศึกษา

6) ปรับเทียบแบบจำลองเพื่อให้สอดคล้องกับผลการสำรวจจริง

7) ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับข้อมูลอิสระที่ได้จากการสำรวจจริง

8.4 การสร้างโครงข่ายถนนบนโปรแกรม PARAMICS (Network Model Creation)

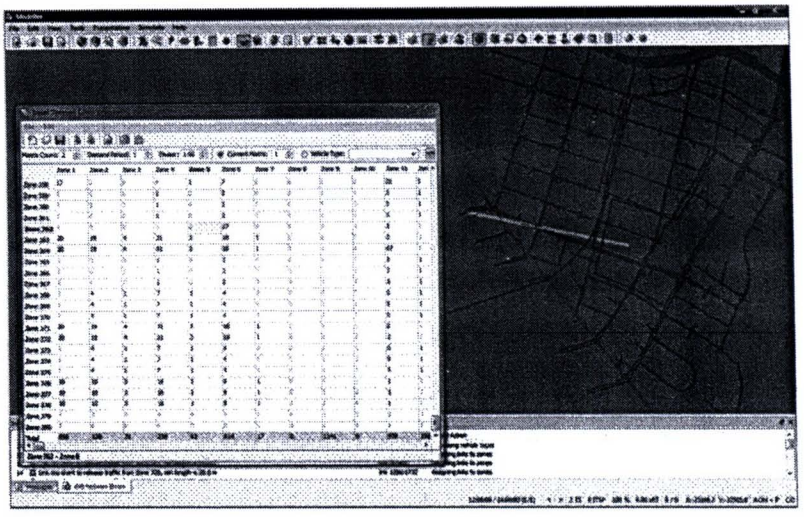
การสร้างโครงข่ายถนนเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่สุดของการสร้างแบบจำลองด้านการจราจรเนื่องจากการสร้างโครงข่ายที่มีความถูกต้องจะเป็นตัวที่สามารถสะท้อนสภาพการจราจรที่มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงและทำให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งโปรแกรม PARAMICS สามารถจำลองสภาพการจราจรตั้งแต่ทางแยกเดี่ยวขนาดเล็กไปจนถึงโครงข่ายถนนขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อน โดยสามารถต้องซ้อนทับโครงข่ายถนนที่สร้างขึ้นกับแบบที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรม AutoCAD (*.dxf) หรือรูปภาพ (*.bmp) หรือภาพถ่ายทางอากาศ (*.tga) ในส่วนของ Parmics Modeller ดังแสดงในภาพที่ 31 โดยข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างโครงข่ายจราจรในโปรแกรม PARAMICS เช่น สภาพทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา จำนวนและขนาดของช่องจราจร การจัดการระบบจราจร การจัดช่องทางจราจร การห้ามจอดวันคู่-วันคี่ การจัดการจราจรแบบวงเวียน การจัดการเดินรถทางเดียว และระบบและความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น



ภาพที่ 31 การสร้างโครงข่ายถนน

8.5 การสร้างตารางการเดินทางจากต้นทาง-ปลายทาง (Origin-Destination Matrix)

การสร้างตารางการเดินทางเป็นขั้นตอนหนึ่งของโปรแกรมเพื่อกำหนดปริมาณการเดินทางจากโซนต้นทางไปยังโซนปลายทาง ซึ่งถือเป็นขั้นตอนที่จะต้องใช้เวลาและงบประมาณอย่างสูงหากต้องการค่าที่มีความถูกต้อง โดยจะใช้ข้อมูลและกำหนดสามารถกำหนดปริมาณการเดินทางตามเวลาที่ได้ทำการสำรวจ การสร้างตารางการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง ซึ่งถ้าหากโครงข่ายมีขนาดใหญ่มากจนไม่สามารถหาปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางได้โดยตรง อาจประมาณค่าปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง จากข้อมูลบางส่วนที่ได้จากการสำรวจในส่วนของ Paramics Estimator ดังแสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 การสร้างตารางการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง

8.6 การกำหนดวิธีการแจกแจงการเดินทาง (Traffic Assignment)

ในโปรแกรม Paramics (เวอร์ชั่น 6.4.1) มีการกำหนดวิธีการแจกแจงการเดินทางออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

1) All-or-Nothing (AON) วิธีนี้มีข้อสมมุติฐานว่าผู้ขับขี่เดินทางระหว่างโซนต้นทางไปยังโซนปลายทางด้วยเส้นทางเดียวที่ให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด วิธีดังกล่าวเหมาะสมสำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก มีปริมาณการจราจรต่ำและไม่มีการเปลี่ยนเส้นทางตามสภาพการจราจร

2) Perturbation (P) หรือ Stochastic วิธีนี้จะคำนึงถึงความไม่แน่นอนในการเลือกใช้เส้นทางเดินทางซึ่งอาจจะมาจากการพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการเดินทาง ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าแต่ละเส้นทางมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอย่างสุ่มและผู้ขับขี่จะเลือกเส้นทางในการเดินทางโดยการพิจารณาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดก่อนการเดินทาง (พิจารณาจากระยะทางและเวลาในการเดินทาง ซึ่งเป็นต้นเหตุให้เกิดค่าใช้จ่าย)

3) Dynamics Feedback (DF) วิธีนี้มีสมมุติฐานว่าผู้ขับขี่มีความคุ้นเคยกับเส้นทางและพร้อมที่จะเปลี่ยนเส้นทางหากมีข้อมูลกลับมายังผู้ขับขี่วิธีการนี้ทำให้ผู้ขับขี่มีการพิจารณาเส้นทางในการเดินทางอยู่ตลอดเวลา โดยการคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดตามการรับรู้ที่ทันการณ์

8.7 การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)

ในการจำลองสภาพการจราจรจำเป็นจะต้องมีการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อให้พฤติกรรมต่างๆ ของยวดยานในแบบจำลองมีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับสภาพการจราจรที่เป็นจริงมากที่สุด เพื่อให้เป็นที่ยอมรับได้ก่อนที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์และประเมิน

ประสิทธิภาพของโครงข่ายถนนจริง และโครงข่ายถนนทางเลือก Gardes et al. (2002) กล่าวว่า องค์ประกอบในปรับเทียบแบบจำลองแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ 1) การปรับเทียบโครงข่าย (Network Calibration) 2)การปรับเทียบปริมาณการเดินทาง (Demand Calibration) 3)การปรับเทียบการตั้งค่าการประมวลผล (Overall simulation configuration Calibration) และ 4)การปรับเทียบพฤติกรรมของผู้ขับขี่ (Driver behavior Calibration) นอกจากการปรับเทียบแบบจำลองโดยการปรับค่าองค์ประกอบข้างต้นแล้วองค์ประกอบในปรับเทียบแบบจำลองอีกส่วนหนึ่งที่แนะนำโดย Henry et al. (2004) คือ การปรับเทียบพฤติกรรมการเลือกเส้นทาง (Route choice behavior) ซึ่งมีรายละเอียดในการปรับเทียบทั้งหมดดังนี้

1) การปรับเทียบโครงข่าย (Network Calibration)

ตัวแปรที่ต้องทำการปรับเทียบในส่วนโครงข่ายถนน เช่น ลักษณะทางเรขาคณิตของโครงข่าย (Network Geometries) (ความกว้างของช่องจราจร (lane width) มุมโค้ง (Radius of Curvature) ความลาดเอียงผิวถนน (Grad) และขอบคันทาง (Kerb) เป็นต้น) การเลือกช่องจราจร (Next Lane) เส้นหยุด (Stop Line) และเส้นหยุดเสมือน (Virtual Stop Line) ตำแหน่งที่ติดตั้งป้ายเตือน (Signposting) ลำดับความสำคัญของกระแสจราจร (Turning Priority) การจำกัดความเร็ว (Link Speed Limit) เป็นต้น

2) การปรับเทียบปริมาณการเดินทาง (Demand Calibration)

ตัวแปรที่ต้องทำการปรับเทียบในส่วนปริมาณการเดินทาง เช่น สัดส่วนประเภทยวดยานในกระแสจราจร (Traffic Composition) ความเร็ว (Driving Speed) ความเร่ง (Acceleration) และ ความหน่วง (Deceleration) เป็นต้น

3) การปรับเทียบการปรับตั้งค่าการประมวลผล (Overall simulation configuration Calibration)

ตัวแปรที่ต้องทำการปรับเทียบในส่วนการปรับตั้งค่าการประมวลผล เช่น ช่วงเวลาในการประมวลผลต่อวินาที (Time Steps per Seconds) ความเร็วในการจดจำ (Speed Memory) เป็นต้น

4) การปรับเทียบพฤติกรรมของผู้ขับขี่ (Driver behavior Calibration)

ตัวแปรที่ต้องทำการปรับเทียบพฤติกรรมของผู้ขับขี่ เช่น ช่วงเวลาห่าง (Mean headway) และเวลาในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยา (Mean reaction time) เป็นต้น

5) การปรับเทียบพฤติกรรมการเลือกเส้นทาง (Route Choice behavior Calibration)

ตัวแปรที่มีผลกับการเลือกเส้นทางประกอบด้วยสองตัวแปร คือ การรบกวนการจราจร (Perturbation) และความคุ้นเคยเส้นทาง (familiarity)

8.8 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)

ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองในส่วนนี้จะมีความสำคัญมาก เป็นการตรวจสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดหลังจากมีการปรับเทียบแบบจำลองแล้วมาทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับข้อมูลที่เป็นอิสระกับข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อให้แน่ใจถึงความถูกต้องของแบบจำลองและพร้อมสำหรับนำไปใช้ในการทำนายผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่าง ๆ ของแบบจำลองจากสภาพเริ่มต้น ซึ่งตัวแปรที่มักใช้เป็นตัวชี้วัดความถูกต้องของแบบจำลอง เช่น เวลาในการเดินทาง (Travel time), ปริมาณจราจร (Flow), ความเร็ว (Speed), ความล่าช้า (Delay), ความยาวแถวคอย (Queues) และจากการสังเกตจากหน้าจอแสดงผลกับภาพจากกล้องวิดีโอ เป็นต้น

9. เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration Criteria)

วัตถุประสงค์หลักของการปรับเทียบแบบจำลองจะต้องการให้ผลที่ได้จากการประมวลผลของแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสำรวจในสนามมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเวลาและความพยายามของแต่ละบุคคลในการกำจัดและลดความคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการประมวลผลแบบจำลองกับผลการสำรวจข้อมูลในสภาพจริง ดังนั้นจึงมีการกำหนดเกณฑ์เพื่อให้ผู้พัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคทราบว่าเมื่อไรที่เหมาะสมในการหยุดกระบวนการปรับเทียบแบบจำลอง ซึ่งเกณฑ์สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองระดับจุลภาคมีหลายหน่วยงานและเอกสารอ้างอิงที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองกับผลที่ได้จากการสำรวจ เช่น Design manual for roads and bridges (DMRB), Wisconsin Department of Transportation (Wisconsin DOT) และ Austroad เป็นต้น ตัวอย่างเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการปรับเปรียบแบบจำลอง ดังตารางที่ 22 ถึงตารางที่ 26

ตารางที่ 22 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองที่แนะนำโดย Design manual for roads and bridges (DMRB)

Criteria and Measures	Acceptability Guideline
Assigned Hourly flows* compared with observed flows	
1. Individual flows within 15% for flows 700-2,700 vph	)
2. Individual flows within 100 vph for flows < 700 vph	) > 85% of cases
3. Individual flows within 400 vph for flows > 2,700 vph	)
4. Total screenline flows (normally > 5 links) to be within 5%	All (or nearly all) screenlines
5. GEH statistic:	
i) individual flows : GEH < 5	> 85% of cases
ii)screenline (+) totals: GEH < 4	All (or nearly all) screenlines
Modelled journey times compared with observed times	
6. Times within 15% (or 1 minute,if higher)	> 85% of routes

*All comparisons should be base on directional hourly flows and should be undertaken for at least an average hour in each modeled period.

(DMRB, 1996)

ตารางที่ 23 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองที่แนะนำโดย Wisconsin DOT

Criteria and Measures	Calibration Acceptance Targets
Hourly flows, Model Versus Observed	
Individual Link Flows	
within 15% for 700 veh/h < Flow < 2,700 veh/h	> 85% of cases
within 100 veh/h ,for Flow < 700 veh/h	> 85% of cases
within 400 veh/h ,for Flow < 2,700 veh/h	> 85% of cases
Sum of All Link Flows	Within 5% of sum of all link counts
GEH Statistic < 5 for Individual Link Flows*	> 85% of cases
GEH Statistic for Sum of All Link Flows	GEH < 4 for sum of all link counts
Travel Times, Model Versus Observed	
Journey Times, Network	
within 15% (or 1 min, if higher)	> 85% of cases
Visual Audits	
Individual Link Speeds	
Visually Acceptable Speed-Flow	To analyst's satisfaction
Relationship	
Bottlenecks	
Visually Acceptable Queuing	To analyst's satisfaction

(Wisconsin DOT, 2002 อ้างถึงใน Dowling et al., 2003)

ตารางที่ 24 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองที่แนะนำโดย Caltrans

	Parameters	Description	Validation Criteria
1	Volume Served	Percent difference between input volume and the simulation model output or assigned volume	95 to 105 % of observed value
2	Average Travel Time	Standard Deviation between floating car average travel times and simulated average travel time for a series of links	1 Standard Deviation
3	Average Travel Speed	Standard Deviation between floating car average travel speed and simulated average travel speed for individual links	1 Standard Deviation
4	Freeway Density	Percent difference between observed freeway density (from volume counts and floating car travel speed) and simulated density	90 to 110 % of observed value
5	Average and Maximum Vehicle Queue Length	Percent difference between observed queue lengths and simulated queue lengths	80 to 120 % of observed value

(California Department of Transportation (Caltrans) อ้างถึงใน Syed Anees Ahmed, 2005)

ตารางที่ 25 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองที่ปรับปรุงโดย California PATH

Criteria and Measures	Calibration Acceptance Targets
Hourly flows, Model Versus Observed	
Individual Link Flows	
within 15% for 700 veh/h < Flow < 2,700 veh/h	> 85% of cases
within 100 veh/h ,for Flow < 700 veh/h	> 85% of cases
within 400 veh/h ,for Flow < 2,700 veh/h	> 85% of cases
Total Link Flows	
Within 5%	All acceptance link
GEH Statistic < 5 for Individual Link Flows	
GEH < 5	> 85% of cases
GEH Statistic for Sum of All Link Flows	
GEH < 4	All acceptance link
Travel Times, Model Versus Observed	
JourneyTimes	
within 15% (or within one minute, if higher)	> 85% of cases
Travel Speed, Model vs. Observed	
Average Travel Speeds: Routes	
Within 5% (or one mile per hour, if higher)	> 85% of cases
Individual link speed	
Visually acceptable speed-flow relationship	To analyst's satisfaction
Speed Contour Network	
Bottleneck location	All
Bottleneck congestion duration	All
Within +- 2 analysis periods (often 15 min)	
Bottleneck congestion spillback	All
Within +- 1 Analysis periods (often freeway between ramp)	
Signal Control System Performance, Model vs Observed	
Travel time in Queue	
Within 90% confidence interval	All approaches
Delay time per vehicle	
Within 90% confidence interval	All
Maximum Queue length	
Within 90% confidence interval	85% of case
Percentage of Vehicles Stopped	
Within 90% confidence interval	All

(Adapted from FREEWAY SYSTEM OPERATIONAL ASSESSMENT, Paramics Calibration & Validation Guidelines, WDOT อ้างถึงใน Zhang and Ma, 2008)

ตารางที่ 26 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองที่สรุปโดย Austroads

Certeria and Measures (model values versus observed values)	**Acceptance targeted**	**Comments / source**
Condon flow (with more than 5 counts)	Accuracy = 3%	RTA NSW
Screenline flow (with more than 5 counts)	Accuracy = 5%	
All link flows on cordon/screenline-		
within 20% or 200 veh/h	95% of link flows	
within 10% or 100 veh/h	90% of link flows	
within 5% or 50 veh/h	80% of link flows	
Individual link flows		FHWA (2004)
within 100 veh/h for flow < 700 veh/h	> 85% of cases	
within 15% for 700 veh/h < flow < 2,700 veh/h	> 85% of cases	
within 400 veh/h for flow < 2,700 veh/h	> 85% of cases	
Sum of all link flows	Accuracy = 5%	
GEH* statistics <5 for individual link flow	> 85% of cases	
GEH* statistics for sum of all link flow	< 4	
Travel times for selected routes		RTA NSW
Median time relative to observed	within 10%	
Root-mean-square values (based on 5 runs)	90% of all routes	
Model stability		Five runs using different random number seeds are recommended.
Total screenline variation between maximum and minimum values	within 5%	
Tabulation of minimum and maximum flows of each road link on each cordon and each screenline according to variations of 20% (or 200 veh/h), 10% (or 100 veh/h) and 5% (or 50 veh/h)	To modeller's satisfaction	
Congestion pattern		Lane distribution of traffic had significant effect on network delay
Inspect the dispersal of queues, the distribution of lane demand, path allocation,etc.	To modeller's satisfaction	

(Austroads, 2006)

จากเกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองข้างต้นส่วนใหญ่มีต้นแบบมาจาก DMRB ซึ่งใช้ค่า GEH เป็นเกณฑ์ในการปรับเทียบปริมาณจราจรและใช้ร้อยละความแตกต่างในการปรับเทียบเวลา

ในการเดินทาง ก่อนที่จะมีหน่วยงานต่างทำการประยุกต์ใช้หลักการอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้เกณฑ์การปรับเทียบครอบคลุมตัวชี้วัดที่ใช้ในการปรับเทียบอื่น ๆ เพิ่มเติม

10. ดัชนีชี้วัดประสิทธิผล (Measure of Effectiveness, MOEs)

Downling et al., (2004) กล่าวว่า ดัชนีชี้วัดประสิทธิผลเป็นค่าทางสถิติที่ดีที่สุดในการบ่งชี้ถึงลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งการเลือกใช้ MOEs ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของแต่ละโครงการรวมทั้งขึ้นอยู่กับการแสดงผลลัพธ์ของเครื่องมือในการวิเคราะห์ สำหรับ MOEs แบ่งออกเป็นสองส่วน ดังนี้

10.1 ดัชนีชี้วัดประสิทธิผลของระบบโดยรวม (Overall System Performance)

1) Vehicle-Miles Traveled (VMT) หรือ Vehicle-Kilometers Traveled (VKT)

VMT เป็นตัวชี้วัดของปริมาณการเดินทางทั้งหมด (ในลักษณะของจำนวนและความยาวของเที่ยวการเดินทาง) ของระบบ การเพิ่มขึ้นของ VMT โดยทั่วไปจะบ่งบอกถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเดินทาง ซึ่ง VMT สามารถคำนวณได้จากผลการคูณของจำนวนยวดยานที่เคลื่อนตัวบน link กับความยาวของ link รวมผลในทุก link บนโครงข่าย ดังสมการที่ 6

$$VMT = \sum_{i=1}^{N}(d_i \times q_i) \qquad (6)$$

เมื่อ

d_i = ระยะทาง (กิโลเมตร หรือ ไมล์)

q_i = ปริมาณจราจรต่อชั่วโมง (คัน)

2) Vehicle-Hours Traveled (VHT)

VHT เป็นตัวชี้วัดที่ใช้ประมาณค่าของขนาดของเวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้นในระบบ ซึ่งค่าของ VHT ที่ลดลงโดยทั่วไปจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบที่ได้รับการปรับปรุงทำให้ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากเวลาในการเดินทาง โดยที่ VHT สามารถคำนวณได้จากผลคูณของปริมาณจราจรบน link กับ เวลาในการเดินทางบน link รวมผลในทุก link บนโครงข่าย ดังสมการที่ 7

$$VHT = \sum_{i=1}^{N}(t_i \times q_i) \qquad (7)$$

เมื่อ

t_i = เวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

q_i = ปริมาณจราจรต่อชั่วโมง (คัน)

3) Mean System Speed

Mean System Speed หรือความเร็วเฉลี่ยของระบบ เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพโดยรวมของโครงข่าย ความเร็วที่สูงขึ้นโดยทั่วไปแสดงถึงการลดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$MeanSystem\ Speed = \frac{VMT}{VHT} \qquad (8)$$

4) Total System Delay

Total System Delay หรือความล่าช้ารวมของระบบ เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพโดยรวมของโครงข่ายที่มีความสัมพันธ์กับเวลาในการเดินทาง ซึ่งความล่าช้าที่สูงมีผลให้เวลาในการเดินทางเพิ่มมากขึ้นและค่าใช้จ่ายในการเดินทางเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9

$$TotalSyste\,mDelay = \frac{\sum_{D=1}^{n} Di}{\sum_{q=1}^{n} q} \qquad (9)$$

เมื่อ

D_i = ความล่าช้า (วินาที/คัน)

q_i = ปริมาณจราจรต่อชั่วโมง (คัน)

10.2 ดัชนีชี้วัดสภาพของปัญหาเฉพาะตำแหน่ง (Localized Problems)

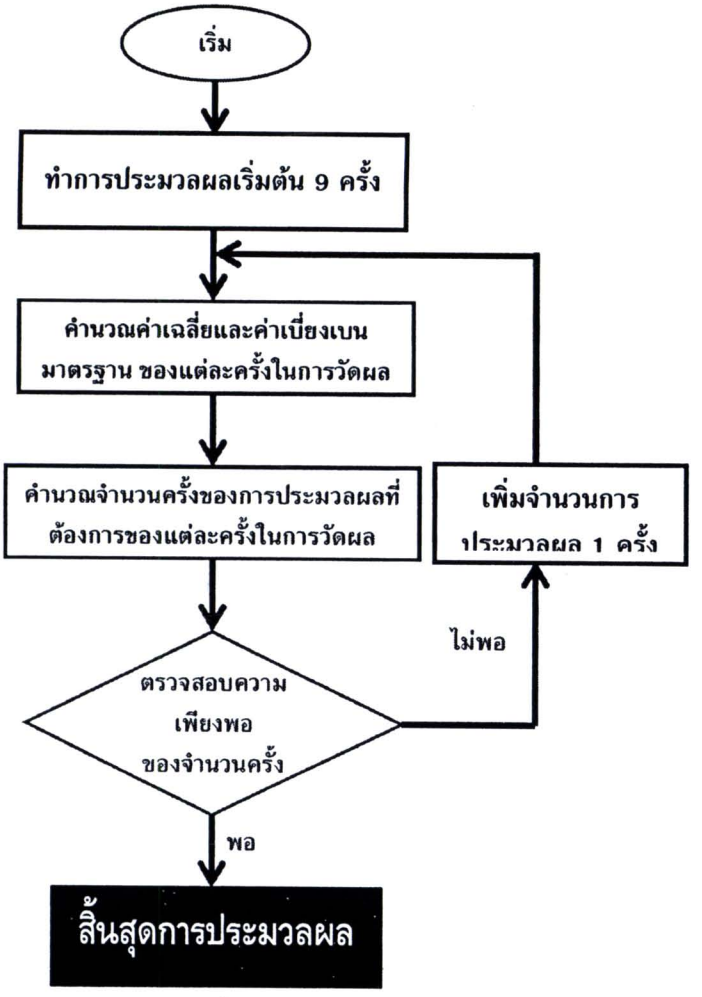
Downling et al. (2004) กล่าวว่า ดัชนีชี้วัดของสภาพปัญหาเฉพาะตำแหน่งเป็นตัวชี้วัดเพิ่มเติมนอกจากการวิเคราะห์ด้วยดัชนีชี้วัดประสิทธิผลของระบบโดยรวม โดยทั่วไปจะเป็นการประเมินผลในตำแหน่งที่มีปัญหาการจราจรติดขัดในโครงข่าย โดยใช้ตัวชี้วัด เช่น ความยาวแถวคอย ความเร็ว และความล่าช้า เป็นต้น

11. การประยุกต์ใช้หลักการทางสถิติในกระบวนการสร้างแบบจำลองสภาพการจราจร

11.1 จำนวนครั้งของการประมวลผล (Determining number of runs)

กระบวนการหาค่าจำนวนครั้งในการประมวลผลของโปรแกรม ซึ่งเริ่มต้นจากการกำหนดจำนวนครั้งการประมวลผลขั้นต้นเพื่อหาค่าทางสถิติ ซึ่งได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อนำมาหาค่าจำนวนครั้งที่ต้องการต่อไป ซึ่งจำนวนครั้งการประมวลผลจะเพียงพอก็ต่อเมื่อ จำนวนครั้งตั้งต้นมีค่ามากกว่าค่าจากสมการที่ 10 ในทางกลับกัน ถ้าหากค่าตั้งต้นมีค่ามากกว่า ก็จำเป็นต้องเพิ่มค่าตั้งต้นใหม่ และทำทดสอบจนกว่าจะให้ค่าของจำนวนครั้งในการ

ประมวลผลจะเพียงพอ (Liu, Chu and Recker, 2004) โดยกระบวนการหาจำนวนครั้งในการประมวลผลโปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 33



ภาพที่ 33 กระบวนการหาค่าจำนวนครั้งในการประมวลผลของโปรแกรม (ดัดแปลงจาก Liu et al., 2004)

$$N = (t_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\mu \cdot \varepsilon})^2 \qquad (10)$$

เมื่อ

μ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่ต้องการตรวจวัดจากการประมวลผลแบบจำลอง

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ต้องการตรวจวัดจากการประมวลผล

ε คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดได้

$t_{\alpha/2}$ คือ ค่าทดสอบของการกระจายตัวแบบ t ที่ระดับความเชื่อมั่น 1- α

11.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

เป็นการวัดการกระจายของกลุ่มข้อมูล สามารถนำไปใช้กับการแจกแจงความน่าจะเป็น ตัวแปรสุ่ม ประชากร หรือมัลติเซต สามารถหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จากสมการที่ 11

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})}{N-1}} \qquad (11)$$

เมื่อ

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x คือ ค่าที่ได้จากการประมวลแต่ละครั้ง

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของการประมวลผล

N คือ จำนวนครั้งของการประมวลผล

11.3 ค่า GEH (Geoffrey E. Havers)

GEH เป็นค่าทางสถิติที่ใช้ในการคำนวณในงานด้านวิศวกรรมจราจร การคาดการณ์ปริมาณจราจร และแบบจำลองด้านการจราจร ความเป็นมาของสมการ GEH ได้มาจากชื่อของ Geoffrey E. Havers ซึ่งเป็นผู้พัฒนาสมการและประยุกต์ใช้ในช่วงทศวรรต 1970 ในขณะที่ทำงานด้านการวางแผนการขนส่งในกรุงลอน ประเทศอังกฤษ โดยค่า GEH พัฒนามาจากหลักการทางสถิติที่เรียกว่า ไคสแควร์ (Chi-squared) ซึ่งรวมเอาความทั้งความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรและความแตกต่างสัมบูรณ์ ทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวได้อ้างอิงมาและมีการพัฒนาต่อมาโดย UKs Design Manual for Roads and Bridges (DMRB Vol. 12 Traffic Appraisal in Urban Areas) ซึ่งนำมาใช้ในการเปรียบเทียบค่าปริมาณจากการประมวลผลในแบบจำลองและค่าที่ได้จากการสำรวจจริงจราจรใน 1 ชั่วโมงเท่านั้น (หากใช้ปริมาณจราจรมากกว่าหรือน้อยกว่า 1 ชั่วโมง ต้องแปลงให้เทียบเท่า 1 ชั่วโมง) โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณค่า GEH (Quadstone Paramics, 2007) ดังแสดงในสมการที่ 12

$$GEH = \sqrt{\frac{(simulated - observed)^2}{0.5x(simulated + observed)}} \qquad (12)$$

เมื่อ

simulated คือ ค่าที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง

observed คือ ค่าที่ได้จากสำรวจจริง

Quadstone Paramics (2007) กล่าวว่า ค่าของ GEH ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดความสอดคล้องและคุณภาพของข้อมูลสามารถพิจารณาดังนี้

1) ค่า GEH < 5.0 แสดงว่าการตรวจสอบปริมาณจราจรที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลองที่พิจารณามีความสอดคล้องอย่างดีกับผลการสำรวจจริงในภาคสนาม

2) ค่า 5 < GEH < 10 ต้องมีการตรวจสอบปริมาณจราจรที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลองที่พิจารณามีความสอดคล้องอย่างดีกับผลการสำรวจจริงในภาคสนามใหม่อีกครั้ง

3) ค่า 10 < GEH แสดงว่าการตรวจสอบปริมาณจราจรที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลองที่พิจารณาไม่มีความสอดคล้องกับผลการสำรวจจริงในภาคสนาม

11.4 ค่าความแตกต่าง (Difference)

จำนวนค่าของความแตกต่างระหว่างค่าจากการสำรวจ กับค่าที่ได้จากแบบจำลอง เป็นค่าทางสถิติที่สามารถประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบค่าสองชุดข้อมูลทั้งข้อมูลทางด้านการจราจรบริเวณทางแยก ช่วงถนน และปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง การคำนวณค่าความแตกต่าง ดังแสดงในสมการที่ 13

$$Difference = simulated - observed \qquad (13)$$

11.5 ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ (Absolute Difference)

จำนวนค่าของความแตกต่างสัมบูรณ์ระหว่างค่าจากการสำรวจกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง (ค่าที่ได้เป็นบวกเสมอ) เป็นค่าทางสถิติที่สามารถประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบค่าสองชุดข้อมูลทั้งข้อมูลด้านการจราจรบริเวณทางแยก ช่วงถนน และปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง การคำนวณค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ ดังแสดงในสมการที่ 14

$$AbsoluteDifference = \sqrt{(simulated - observed)^2} \qquad (14)$$

11.6 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Difference Percentage)

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าจากการสำรวจกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง เป็นค่าทางสถิติที่สามารถประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบค่าสองชุดข้อมูลทั้งข้อมูลด้านการจราจรบริเวณทางแยก ช่วงถนน และปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง ดังแสดงในสมการที่ 15

$$PercentageDifference = \frac{simulated - observed}{observed} \times 100 \qquad (15)$$

11.7 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสัมบูรณ์ (Absolute Difference Percentage)

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสัมบูรณ์ระหว่างค่าจากการสำรวจกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง (ค่าที่ได้เป็นบวกเสมอ) เป็นค่าทางสถิติที่สามารถประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบค่าสองชุดข้อมูลทั้งข้อมูลด้านการจราจรบริเวณทางแยก ช่วงถนน และปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสัมบูรณ์ ดังแสดงในสมการที่ 16

$$AbsolutdPercentageDifference = \frac{\sqrt{(simulated - observed)^2}}{observed} \times 100 \qquad (16)$$

11.8 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เป็นหลักการทางสถิติอีกวิธีหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการปรับเทียบแบบจำลอง เพื่อให้เห็นผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อความถูกต้องและน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวเป็นการทดสอบความมั่นคงของข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์บนพิสัยของการประมาณค่าความน่าจะเป็น การใช้ดุลพินิจเกี่ยวกับตัวเลขต่าง ๆ ตลอดจนข้อสมมติพื้นฐานที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนั้น ทั้งนี้โดยการแทนที่ข้อสมมติหรือตัวเลขตัวใหม่ ซึ่งแตกต่างไปจากเดิมในระดับที่กำหนดหรือต้องการทดสอบลงไปแทนข้อสมมติหรือตัวเลขที่ใช้อยู่เดิม และทำการคำนวณใหม่อีกครั้ง แล้วพิจารณาผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ว่า แตกต่างไปจากเดิมมากน้อยเพียงใด หากผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างไปจากเดิมมากนัก หรือแตกต่างเพียงเล็กน้อยในระดับที่ไม่มีผลในทางปฏิบัติ อาจกล่าวได้ว่า ค่านั้นมีความมั่นคงไม่อ่อนไหว ได้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือและถูกต้อง แต่หากผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างจากเดิมมาก จะทำให้เกิดความไม่มั่นใจในความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ที่ได้มาก่อนหน้า โดยทั่วไปมักพิจารณาตัวแปรที่มีความสำคัญ และผู้วิเคราะห์ไม่มีความมั่นใจในความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มา และต้องการประเมินว่า หากข้อมูลตัวเลขหรือข้อสมมติที่ใช้มีความคลาดเคลื่อน จะทำให้ตัวเลขผลลัพธ์คำนวณได้แตกต่างไปจากค่าเดิมมากน้อยเพียงใด การวิเคราะห์ความอ่อนไหวที่นิยมทำกัน มี 3 ประเภท (กองวิทยาการคอมพิวเตอร์ กรมการสนเทศทหาร, 2552) ได้แก่

1) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวแบบทางเดียว (One-way Sensitivity Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวที่มีการประเมินการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรหรือองค์ประกอบในการวิเคราะห์ทีละตัว

2) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวแบบสองทาง (Two-way Sensitivity Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวที่มีการประเมินการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรหรือองค์ประกอบในการวิเคราะห์ 2 ปัจจัยไป

พร้อม ๆ กัน ซึ่งการส่วนผสมของปัจจัยทั้งสองในระดับหนึ่ง จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ ได้ตัวเลขผลลัพธ์เท่าเดิม การวิเคราะห์วิธีนี้ มักมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสมดุลของการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่สามารถบริหารหรือควบคุมได้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เช่นเดิม

3) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวแบบสามทาง (Three-way Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวแบบสามทางเป็นการวิเคราะห์โดยการทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวแบบสองทาง ซ้ำหลาย ๆ รอบ โดยเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรตัวที่ 3 ไปทีละค่า ตามที่ต้องการ แล้วสร้างภาพ แผนภูมิ แสดงเส้นสมดุลหลาย ๆ เส้น ตามแต่ค่าตัวแปรตัวที่ 3 นั่นเอง

12. บทสรุปทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1) ระดับการให้บริการเป็นการวัดเชิงคุณภาพเพื่ออธิบายถึงสภาพการไหลของกระแสจราจร เพื่อประเมินระดับความติดขัดของกระแสจราจร ระดับการให้บริการจะสามารถนำเอาปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็วและเวลาในการเดินทาง อิสระในการขับขี่ และความปลอดภัยเข้ามาร่วมพิจารณาด้วย โดยระดับการให้บริการสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ระดับ คือ A, B, C, D, E และ F โดยที่ระดับ A เป็นสภาพการไหลของกระแสจราจรซึ่งดีที่สุด ส่วนระดับ F เป็นระดับที่แย่ที่สุด ทั้งนี้การประเมินระดับการให้บริการในเขตเมืองประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ระดับการให้บริการของช่วงถนนซึ่งใช้ความเร็วเป็นตัวชี้วัด และทางแยกสัญญาณไฟ/ทางแยกไม่มีสัญญาณไฟซึ่งใช้ความล่าช้าเป็นตัวชี้วัด

2) เครื่องมือในการวิเคราะห์สภาพการจราจรแบ่งตามลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สภาพการจราจร ได้แก่ Sketch-Planning Tools, Travel Demand Models, Analytical/Deterministic Tools (HCM-Based), Traffic Signal Optimization Tools, Macroscopic Simulation Models, Mesoscopic Simulation Models และ Microscopic Simulation Models

3) แบบจำลองสภาพการจราจรเป็นหนึ่งในเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สภาพการจราจร ซึ่งแบ่งตามระดับของการวิเคราะห์ ความสามารถในการจำลอง การประยุกต์ใช้งาน และดัชนีชี้วัดที่ได้จากผลการประมวลผลแบบจำลองเป็น 3 ระดับ คือ ระดับมหภาค (Macroscopic) ระดับกึ่งจุลภาค (Mesoscopic) และระดับจุลภาค (Microscopic)

4) การจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคมีหลักการพื้นฐานมาจากแบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกันของยวดยาน (Car-Following model) และแบบจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร (Lane – Changing model) เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคัน การขับขี่ของยวดยานแต่ละคัน การขับขี่ของยวดยานคันหน้าที่มีการเพิ่มความเร็ว ลดความเร็ว และหยุดจะมีผลต่อการขับขี่ของยวดยานที่ขับขี่ตามมา การปล่อยยวดยานเข้าสู่โครงข่ายของแบบจำลองระดับจุลภาคใช้หลักการกระจายตัวทางสถิติ ผ่านโครงข่ายตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยขึ้นอยู่กับผลของการ

กำหนดปลายทาง ประเภทของยวดยานพาหนะ และลักษณะของผู้ขับขี่ นอกจากนั้นในแบบจำลองระดับจุลภาคยังแสดงลักษณะเฉพาะของการเคลื่อนตัวของแต่ละยวดยานมีผลกระทบจากค่าระดับตามแนวดิ่งของโครงข่ายถนน โค้งราบ การยกโค้ง ซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของแบบจำลองระดับจุลภาคอย่างมาก สิ่งที่จำเป็นอันดับแรกของแบบจำลองระดับจุลภาค คือการปรับเทียบ (Calibration) แบบจำลองและการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองผ่านการปรับค่าตัวแปรเกี่ยวกับผู้ขับขี่ที่มีความอ่อนไหว

5) วัตถุประสงค์หลักของการปรับเทียบแบบจำลองจะต้องการให้ผลที่ได้จากการประมวลผลของแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสำรวจในสนามมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งขั้นตอนในการปรับเทียบประกอบด้วย การปรับเทียบโครงข่าย ปริมาณการเดินทาง การตั้งค่าการประมวลผล การเลือกเส้นทาง และพฤติกรรมการขับขี่

6) เกณฑ์สำหรับการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองระดับจุลภาคมีหลายหน่วยงานและเอกสารอ้างอิงที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองกับผลที่ได้จากการสำรวจ เช่น Design manual for roads and bridges (DMRB), Wisconsin Department of Transportation (Wisconsin DOT) และ Austroad เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดใช้หลักการทางสถิติที่คล้ายคลึงกัน เช่น GEH ค่าความแตกต่าง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละของความแตกต่าง เป็นต้น รวมทั้งใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยการสังเกตการแสดงผลภาพเคลื่อนไหวด้วยสายตากับภาพ VDO ที่ได้บันทึกไว้ เป็นตัวชี้วัดการยอมรับได้ในการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

7) ดัชนีชี้วัดประสิทธิผลเป็นค่าทางสถิติที่ดีที่สุดในการบ่งชี้ถึงลักษณะเฉพาะและประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งการเลือกใช้ MOEs ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของแต่ละโครงการรวมทั้งขึ้นอยู่กับการแสดงผลลัพธ์ของเครื่องมือในการวิเคราะห์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ดัชนีชี้วัดประสิทธิผลของระบบโดยรวม (เช่น Vehicle-Miles Traveled, Vehicle-Hours Traveled, Mean System Speed และ Total System Delay เป็นต้น) และดัชนีชี้วัดสภาพของปัญหาเฉพาะตำแหน่งซึ่งดัชนีชี้วัดของสภาพปัญหาเฉพาะตำแหน่งเป็นตัวชี้วัดเพิ่มเติมนอกจากการวิเคราะห์ด้วยดัชนีชี้วัดประสิทธิผลของระบบโดยรวม โดยทั่วไปจะเป็นการประเมินผลในตำแหน่งที่มีปัญหาการจราจรติดขัดในโครงข่าย โดยใช้ตัวชี้วัด เช่น ความยาวแถวคอย และความเร็ว เป็นต้น

8) หลักการทางสถิติที่สำคัญที่ใช้ในกระบวนการพัฒนาแบบจำลอง เช่น จำนวนครั้งในการประมวลผล, ค่า GEH, ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (สำหรับเปรียบเทียบผลจากการสำรวจกับผลจากการประมวลผลแบบจำลอง) การหลักการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (สำหรับวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการปรับเทียบแบบจำลอง) เป็นต้น