บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 การวางแผนการขนส่ง

การวางแผนการขนส่งเพื่อประโยชน์ด้านการจราจร มีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อขจัดปัญหาการติดขัดของกระแสจราจร ความล่าช้า อุบัติเหตุ ทั้งยังเป็นการวางแผนการลงทุนและก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกหรือโครงการเพื่อบรรเทาความรุนแรงของปัญหา ซึ่งการวางแผนนี้จะเริ่มด้วยการรวบรวมข้อมูลด้านการจราจร และพยากรณ์ความต้องการด้านการขนส่ง โดยใช้อัตราการเจริญเติบโต (Growth Factor) ที่เหมาะสม

กระบวนการวางแผนการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ ประกอบด้วยขั้นตอนย่อย ๆ ดังนี้

2.1.1 ขั้นตอนการสำรวจ รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้ทราบความต้องการที่แท้จริงของประชากรในปัจจุบัน และทราบลักษณะการเดินทางของประชากรว่าเป็นเช่นไร มีความเหมาะ-สมกับสัดส่วนการให้บริการที่เป็นอยู่หรือไม่อย่างไร และเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่เพียงใด

2.1.2 ขั้นตอนการพยากรณ์ และการกำหนดแผนการดำเนินการ ทำให้ทราบและเข้าใจลักษณะความต้องการของประชากรในอนาคต เพื่อประโยชน์ต่อการกำหนดแผนการพัฒนาให้สอดคล้องกับความต้องการในอนาคต

2.1.3 ขั้นตอนการประเมิน เป็นขั้นตอนที่พยายามศึกษาว่าโครงการด้านการขนส่งที่ถูกเสนอไปนั้นมีความสอดคล้อง พอเพียง และเหมาะสมเพียงใดกับความต้องการของประชาชน โดยคำนึงถึงประโยชน์ของชุมชนเป็นหลัก

2.1.4 ขั้นตอนการตัดสินใจ เป็นขั้นตอนที่คัดเลือกโครงการที่ดีที่สุด เพื่อนำไปปฏิบัติและใช้ในการแก้ไขปัญหา

2.2 แบบจำลองเพื่อการวางแผนการขนส่ง

แบบจำลองเพื่อการวางแผนการขนส่งที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันเป็นแบบจำลองชนิดต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน (Sequential 4-Step Models) โดยมุ่งพิจารณาเฉพาะการเดินทางด้วยยานพาหนะ และพิจารณาหน่วยเป็น “เที่ยวการเดินทาง” (Trip) เท่านั้น ซึ่งช่วยให้การพิจารณาวางแผนด้านการคมนาคมขนส่งมีความสะดวกและความเป็นไปได้ในการทำงาน (Operationality) โดยการพิจารณานี้จะพิจารณาเฉพาะการเดินทางหรือความต้องการที่ได้รับการตอบสนองแล้ว (Satisfied Demand) และเป็นการเดินทางที่ผู้ต้องการเดินทางแสดงให้เห็น ซึ่งสามารถหาได้จากการสำรวจ

ปกติ โดยยังคงมีรูปแบบการเดินทางที่ยังไม่ได้พิจารณาอื่นๆ อีก เช่น ประชากรที่เดินทางโดยไม่ได้ใช้ยานพาหนะอันเนื่องมาจากสาเหตุอื่นๆ เช่น การให้บริการของระบบขนส่ง หรือปัญหาเกี่ยวกับสภาพครอบครัว เป็นต้น โดยข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ผู้สำรวจมิอาจทราบได้ นอกจากจะทำการสำรวจเป็นพิเศษ สำหรับความต้องการในการเดินทางลักษณะที่ไม่สามารถสำรวจมาได้นี้เรียกว่า ความต้องการแฝง (Latent Demand)

การศึกษาแบบจำลองเพื่อการวางแผนการขนส่งนี้ มีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อศึกษาความต้องการด้านการขนส่ง (Transport Demand) โดยการศึกษาสามารถแยกออกเป็น 2 ระดับ คือ

2.2.1 <u>การวิเคราะห์ความต้องการด้านการขนส่ง</u> เป็นขั้นตอนที่พยายามกำหนดขอบเขตเพื่ออธิบายกลไกการรวมตัวของความต้องการด้านการ ขนส่ง และสร้างหรือพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการพยากรณ์ความต้องการนั้น โดยใช้ข้อมูลและตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสม สำหรับการสร้างแบบจำลองนี้มีหลักเกณฑ์ที่สำคัญ 3 ประการ ดังนี้

2.2.1.1 แบบจำลองที่สร้างจะต้องสามารถปะติดปะต่อเข้ากับความเป็นจริงที่พบเห็นได้

2.2.1.2 แบบจำลองที่สร้างจะต้องตรงกับหรือสอดคล้องกับจุดประสงค์ที่กำหนดไว้

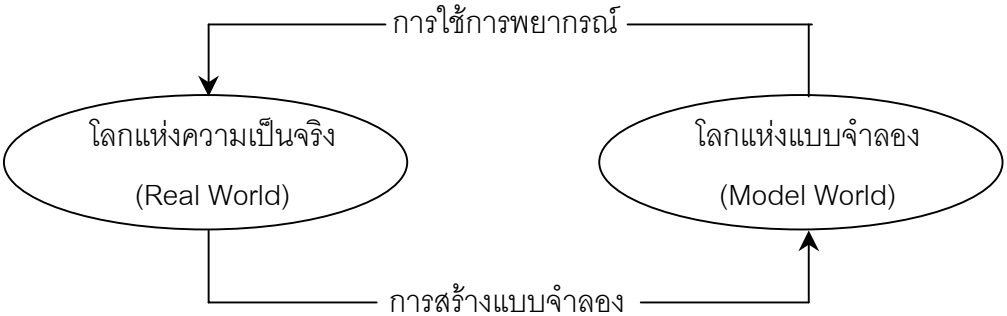
2.2.1.3 แบบจำลองที่สร้างจะต้องสามารถพิสูจน์ให้เห็นว่าสามารถใช้ข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ได้ และสามารถตรวจสอบด้วยกรรมวิธีทางสถิติได้

2.2.2 <u>การพยากรณ์ความต้องการด้านการขนส่ง</u> เป็นขั้นตอนที่เน้นถึงการนำผลของระดับการวิเคราะห์ความต้องการด้านการขนส่งมาใช้เพื่อหาปริมาณการเดินทางในอนาคต ตลอดจนการเสนอแนะการให้บริการด้านการขนส่ง

ทั้งการวิเคราะห์และการพยากรณ์ความต้องการด้านการขนส่งดังกล่าวข้างต้น จะพบว่าวัตถุประสงค์ท้ายที่สุดของการศึกษาทั้งคู่นั้น คือ การผลิตหรือสร้างแบบจำลองเพื่อใช้อธิบายความเป็นจริงที่เป็นอยู่ และเพื่อใช้พยากรณ์ความเป็นไปได้ของปรากฏการณ์ สภาพการณ์ หรือรูปลักษณ์ของความต้องการด้านการขนส่งด้วยความเชื่อมั่นในระดับหนึ่ง

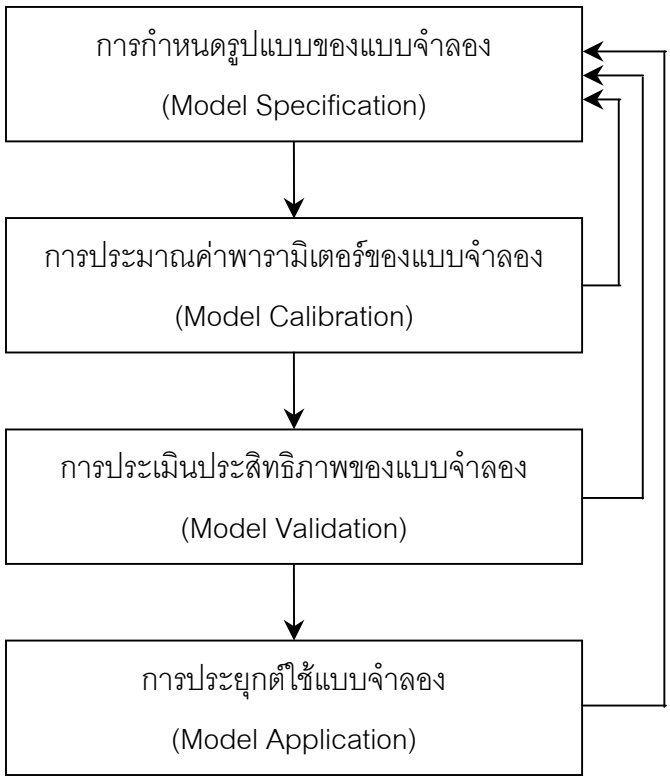
2.3 กระบวนการสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองเป็นเสมือนการพยายามจำลองสภาพความเป็นจริงในโลก (Real World) เพื่อให้ได้แบบจำลอง (Model World) ที่สามารถนำมาใช้อธิบายและพยากรณ์ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของโลกได้ดังภาพประกอบ 2.1



ภาพประกอบ 2.1 ลักษณะการใช้แบบจำลองเพื่อแทนพฤติกรรมหรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริง
ที่มา วิโรจน์ และคณะ (2542), การประเมินและติดตามโครงการ (ส่วนที่ 2), หน้า 20

สำหรับขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.2 และมีรายละเอียดดังนี้



ภาพประกอบ 2.2 กระบวนการสร้างแบบจำลอง
ที่มา วิโรจน์ และคณะ (2542), การประเมินและติดตามโครงการ (ส่วนที่ 2), หน้า 20

2.3.1 การกำหนดรูปแบบของแบบจำลอง (Model Specification) เป็นการกำหนดโครงสร้างของแบบจำลอง สมการของแบบจำลอง และตัวแปรในแบบจำลอง ซึ่งจะมีผลต่อการเก็บรวบรวมข้อมูลและการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลอง

2.3.2 การประมาณค่าของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง (Model Calibration) เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองโดยวิธีทางสถิติ เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถพยากรณ์ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด และได้ผลการพยากรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือตามหลักทางสถิติ แต่หากไม่สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ อาจจำเป็นต้องกำหนดรูปแบบของแบบจำลองตามขั้นตอนการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองใหม่

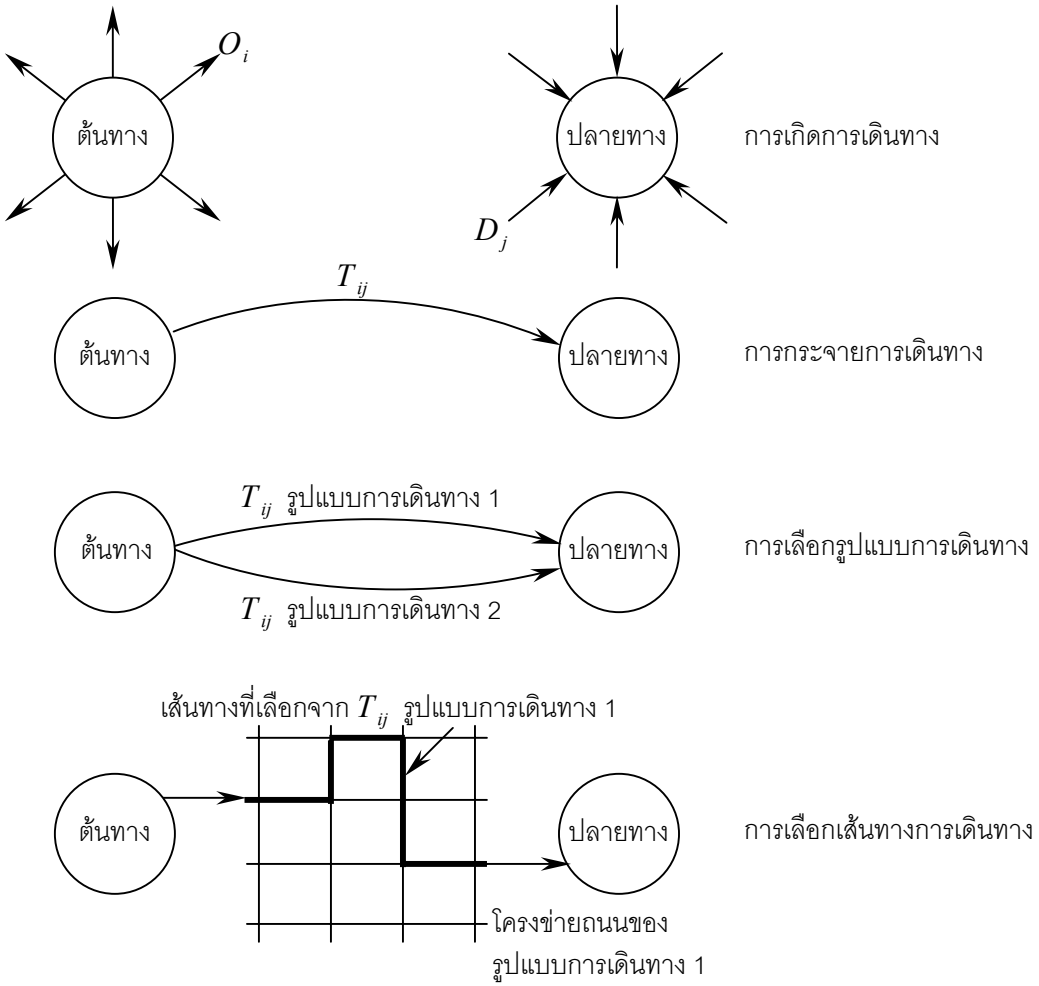
2.3.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model Validation) เป็นการตรวจสอบความสามารถในการพยากรณ์การเดินทางของแบบจำลองที่สร้างขึ้นว่ามีระดับความถูกต้องมากน้อยเพียงใด และแบบจำลองสามารถใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่ ซึ่งหากแบบจำลองที่ได้ไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ อาจจำเป็นต้องกำหนดรูปแบบของแบบจำลองตามขั้นตอนการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองใหม่

2.3.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง (Model Application) เป็นการนำแบบจำลองมาใช้งาน เช่น การพยากรณ์การเลือกยานพาหนะในการเดินทาง และการพยากรณ์ปริมาณจราจรบนถนนสายต่างๆ เป็นต้น ซึ่งหากแบบจำลองไม่สามารถประยุกต์ใช้งานได้ตามที่ต้องการ จะต้องกำหนดรูปแบบของแบบจำลองตามขั้นตอนการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองใหม่

2.4 **แบบจำลองชนิดต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน** (Sequential 4-Step Models)

แบบจำลองชนิดต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน หรือเรียกกันทั่วไปว่า “แบบจำลองต่อเนื่อง” เป็นแบบจำลองที่ใช้พยากรณ์ปริมาณการเดินทางของคนในบริเวณเขตเมือง โดยสมมติการเดินทางของออกเป็น 4 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน และในแต่ละขั้นตอนนั้นสามารถจำลองเป็นแบบจำลองย่อย ๆ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองในขั้นตอนย่อยแรกนี้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองย่อยในกลุ่มถัดไปเรื่อย ๆ โดยขั้นตอนทั้ง 4 ของแบบจำลองชนิดต่อเนื่องประกอบด้วย

- แบบจำลองการเกิดการเดินทาง (Trip Generation Model)
- แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution Model)
- แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Modal Split Model)
- แบบจำลองการเลือกเส้นทางการเดินทาง (Traffic Assignment Model)



ภาพประกอบ 2.3 ขั้นตอนของแบบจำลองชนิดต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน
ที่มา Meyer et al (1984), Urban Transportation Planning, หน้า 247

2.4.1 แบบจำลองการเกิดการเดินทาง เป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดการเดินทางที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ที่ทำการศึกษากับตัวแปรต่าง ๆ ที่เป็นปัจจัยของการเดินทาง ตัวแปรเหล่านี้ต้องมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดการเดินทางเป็นอย่างมาก ได้แก่ ตัวแปรด้านเศรษฐกิจและสังคม เช่น จำนวนประชากร รายได้ของประชากร จำนวนยวดยาน การจ้างงาน พร้อมทั้งสภาพและลักษณะการใช้ที่ดิน (Land Use) การประกอบกิจกรรมทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมอื่น ๆ เป็นต้น

2.4.2 แบบจำลองการกระจายการเดินทาง เป็นแบบจำลองปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยหลังจากที่ได้ทราบปริมาณการเกิดการเดินทางในแต่ละพื้นที่ย่อย จากแบบจำลองการเกิดการเดินทางแล้ว แบบจำลองการกระจายการเดินทางนี้ เป็นแบบจำลองที่อธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ด้านการเดินทางสัมพันธ์กับการกระจายการเดินทาง ผลจากการจำลองจำทำให้ทราบถึงปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ต่าง ๆ ในปัจจุบัน และสามารถพยากรณ์การเดินทางที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

2.4.3 แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองรูปแบบการเดินทางของคน โดยจัดแยกประเภทของการเดินทางรูปแบบต่าง ๆ เช่น การเดินทางด้วยระบบขนส่งมวลชน ยานพาหนะส่วนบุคคลหรือรูปแบบอื่น ๆ โดยคิดออกมาเป็นจำนวนร้อยละของการเดินทางทั้งหมดที่เกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้ทราบถึงจำนวนของการเดินทางโดยรูปแบบต่าง ๆ ในปัจจุบันและสามารถพยากรณ์ไปในอนาคตได้ เพื่อการวางแผนระบบคมนาคมขนส่งในอนาคตให้มีความเหมาะสมกับสภาพการณ์ที่จะเกิดขึ้นต่อไป

2.4.4 แบบจำลองการเลือกเส้นทางการเดินทาง เป็นแบบจำลองที่แสดงลักษณะการกระจายความต้องการในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยลงบนโครงข่ายทางหลวง โดยแยกแต่ละรูปแบบของการเดินทาง หรือกล่าวง่าย ๆ ได้ว่าการเลือกเส้นทาง คือ การที่จะพยายามทราบว่าผู้ขับขี่ยานพาหนะต่าง ๆ เลือกใช้เส้นทางใดเพื่อการเดินทางไปถึงจุดหมายปลายทาง โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบที่เป็นตัวตัดสินใจเลือกเส้นทางใด ๆ ในการเดินทางประกอบด้วยเวลาในการเดินทาง ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ความสะดวกสบาย และระดับการให้บริการ

2.5 แบบจำลองประมาณตารางการเดินทาง

การประมาณตารางการเดินทางเป็นส่วนหนึ่งของการพยากรณ์การเดินทางเพื่อใช้วางแผนงานด้านคมนาคมขนส่ง โดยทั่วไปแล้วการเก็บข้อมูลจุดต้นทางและจุดปลายทาง จะใช้วิธีการทำการสัมภาษณ์ตามครัวเรือน (Home Interview) ร่วมกับการสัมภาษณ์จากผู้ที่อยู่ระหว่างการเดินทาง (Roadside Interview) ซึ่งการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งเพื่อนำมาวิเคราะห์การเดินทางต้องใช้แรงงานคน เวลาและทรัพยากรเป็นจำนวนอย่างมาก ปัญหานี้ยิ่งเป็นปัญหากับประเทศที่กำลังพัฒนาซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินหรือจำนวนประชากรอย่างรวดเร็วส่งผลให้ข้อมูลจากการสำรวจนั้นเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้ข้อมูลที่ทำการสำรวจมีอายุสั้น ฉะนั้น จึงมีการพัฒนาทฤษฎีที่ใช้ในการประมาณตารางการเดินทางจุดต้นทางและจุดปลายทาง ทั้งในปัจจุบันและอนาคตโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลมากนัก

ปริมาณจราจรเปรียบเสมือนผลรวมของตารางการเดินทางกับรูปแบบการเลือกเส้นทาง (Route Choice Pattern) โดยข้อมูลรวมของจุดต้นทางและจุดปลายทางนี้จะได้จากปริมาณจราจรที่นับได้ในแต่ละช่วงถนน และจะพบว่าการนับปริมาณการจราจรเป็นการสำรวจที่ดีและน่าสนใจ เนื่องจากข้อมูลที่ได้ไม่เป็นการรบกวนผู้เดินทาง และจะมีข้อมูลนี้เก็บรวบรวมอยู่แล้ว การเก็บ ข้อมูลนั้นใช้ค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับการสัมภาษณ์ตามครัวเรือนหรือสัมภาษณ์จากผู้ที่อยู่ระหว่างการเดินทาง และข้อมูลสามารถใช้ประโยชน์ในอนาคตได้ ฉะนั้นแนวความคิดในการประมาณตารางการเดินทางหรือแบบจำลองความต้องการในการเดินทางควรมีการพิจารณาอย่างจริงจัง ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาก็ได้มีการพัฒนาวิธีการต่าง ๆ เป็นอย่างมาก

เมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ศึกษาที่แบ่งออกเป็น N พื้นที่ย่อย โดยมีการเชื่อมต่อกันโดยโครงข่ายถนนที่ประกอบด้วยชุดของเส้นทางเชื่อมจุดปลาย (Link) และจุดปลาย (Node) ตารางการเดินทางของพื้นที่ศึกษานี้จะประกอบด้วย N^2 หน่วย (Cell) แต่หากพิจารณาการเดินทางภายในพื้นที่ย่อย ตารางการเดินทางก็จะเหลือเพียง N^2-N หน่วย ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการประมาณแบบจำลองความต้องการในการเดินทางโดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจร คือ การระบุเส้นทางของการเดินทางจากจุดเริ่มต้นหนึ่งไปยังจุดปลายหนึ่งของแต่ละคู่พื้นที่ย่อย ดังสมการ 2.1

โดย
$$V_a = \sum_{ij} T_{ij} P_{ij}^a \qquad \text{เมื่อ } 0 \le P_{ij}^a \le 1 \qquad \ldots(2.1)$$

เมื่อ V_a คือ ปริมาณการจราจรจากแบบจำลองการประมาณตารางการเดินทางบนเส้นทาง a

T_{ij} คือ ปริมาณการเดินทางจากพื้นที่ย่อยจุดต้นทาง i ไปพื้นที่ย่อยจุดปลายทาง j

P_{ij}^a คือ ค่าสัดส่วนหรือความน่าจะเป็นของการเดินทางจากพื้นที่ย่อย i ไปพื้นที่ย่อย j บนเส้นทาง a ที่ได้จากการพิจารณาการเลือกเส้นทางการเดินทาง

ในทางทฤษฎีแล้วควรมีข้อมูลปริมาณจราจรที่นับได้ที่เป็นอิสระต่อกัน และมีความแปรผันน้อยเป็นจำนวนเท่ากับ N^2 ตัวแปร เพื่อที่จะคำนวณหาตารางการเดินทางที่แม่นยำ แต่ในทางปฏิบัติ จำนวนปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจจะน้อยกว่าจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่า T_{ij} อยู่มาก ดังนั้น จึงเป็นไม่ได้ที่จะหาผลลัพธ์ของตารางการเดินทางได้อย่างสมบูรณ์จากวิธีการแก้ปัญหาเพียงวิธีเดียว โดยทั่วไป จะมีตารางการเดินทางมากกว่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อแทนค่าลงในโครงข่ายจะสอดคล้องกับปริมาณการจราจรที่นับได้ วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้มีด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีโครงสร้าง (Structured Method) และวิธีไม่มีโครงสร้าง (Unstructured Method) ในกรณีของวิธีโครง

สร้าง ผู้สร้างแบบจำลองจะต้องกำหนดโครงสร้างพิเศษซึ่งได้จากแบบจำลองความต้องการการเดินทางที่มีอยู่ เพื่อเป็นการจำกัดพื้นที่ในการประมาณตารางการเดินทาง ส่วนกรณีวิธีไม่มีโครงสร้างนั้นยังคงใช้หลักการทั่วไป เช่นเดียวกับวิธีแม็กซิมั่ม ไลลีฮูด (Maximum Likelihood) หรือวิธีเอ็นโทรปี แม็กซีไมเซชัน (Entropy Maximization) เพื่อใช้ในการหาข้อมูลสำหรับใช้ประมาณค่าตารางการเดินทาง

2.5.1 การเลือกเส้นทาง (Route Choice) และการประมาณตารางการเดินทาง

Ortuzar J.D. et al (1996) อ้างอิง Robillard (1975) ได้เสนอให้ทำการเลือกเส้นทางปริมาณการจราจรสำหรับการประมาณตารางการเดินทางจากข้อมูลปริมาณจราจรที่นับได้ โดยทำการพิจารณา 2 วิธี คือ วิธีการเลือกเส้นทางแบบสัดส่วน (Proportional Assignment) และวิธีการเลือกเส้นทางแบบไม่เป็นสัดส่วน (Non-proportional Assignment) ซึ่งวิธีการเลือกเส้นทางแบบสัดส่วนจะแบ่งอัตราส่วนของผู้เดินทางที่ใช้เส้นทางใด ๆ เป็นอิสระจากปริมาณจราจร ซึ่งวิธีที่รู้จักกันดี คือ วิธีการแจกแจงทั้งหมดหรือไม่มี (AON) โดยค่า P_{ij}^{a} มีค่าเป็น 1 เมื่อเป็นการเดินทางจากพื้นที่ย่อยจุดต้นทาง i ไปพื้นที่ย่อยจุดปลายทาง j บนเส้นทาง a และมีค่าเป็น 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น ๆ

ส่วนวิธีการเลือกเส้นทางแบบไม่เป็นสัดส่วนจะคิดผลของสภาพการจราจรติดขัด ดังนั้น ปริมาณการจราจรแต่ละเส้นทางจะมีผลต่อการเลือกเส้นทางที่จะใช้ในการเดินทาง วิธีที่นิยมใช้ คือ วิธีการเลือกเส้นทางแบบสมดุล โดยที่วิธีการเลือกเส้นแบบไม่เป็นสัดส่วนได้รับการยอมรับว่าสามารถคำนวณปริมาณจราจรในแบบจำลองได้ใกล้เคียงกว่าวิธีการเลือกเส้นทางแบบสัดส่วน อย่างไรก็ตาม ความได้เปรียบของวิธีการเลือกเส้นทางแบบสัดส่วน คือ สามารถแยกการเลือกเส้นทางและการประมาณตารางการเดินทางออกจากกัน นั่นคือ อัตราส่วนของการเดินทางบนเส้นทางจะมีค่า P_{ij}^{a} เป็นเอกเทศจากตารางการเดินทางที่คำนวณได้ ในขณะที่วิธีการเลือกเส้นทางแบบไม่เป็นสัดส่วนต้องใช้ข้อมูลของการเลือกเส้นทางการประมาณตารางการเดินทางร่วมกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สอดคล้องกัน ดังนั้นจึงสรุปว่าวิธีการเลือกเส้นทางแบบสัดส่วนเป็นวิธีที่ดีในการคำนวณการเลือกเส้นทาง

2.5.2 การประมาณแบบจำลองแบบแรงโน้มถ่วงจากปริมาณการจราจร

การประมาณค่าแบบจำลองจากแบบจำลองแรงโน้มถ่วง (Gravity Model) เป็นขั้นตอนแรกของการประมาณตารางการเดินทางจากปริมาณจราจร แนวคิดเบื้องต้น คือ การเลือกแบบจำลองแรงโน้มถ่วงที่มีลักษณะเฉพาะและตรวจสอบว่าจะใช้ในการแจกแจงปริมาณจราจรได้

ผลลัพธ์เป็นอย่างไร ยกตัวอย่างเช่น กรณีการเดินทางที่เดินขึ้นในเมืองสามารถหาตารางการเดินทางได้จากสมการ 2.2

$$T_{ij} = \frac{\alpha P_i P_j}{d_{ij}^2} \quad \text{...(2.2)}$$

โดย α คือ ค่าคงที่จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

P_i คือ จำนวนประชากรในพื้นที่ย่อย i

P_j คือ จำนวนประชากรในพื้นที่ย่อย j

d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างพื้นที่ย่อย i และ j

จากสมการ 2.2 เมื่อแทนค่า T_{ij} ลงในสมการ 2.1 พบว่าตารางการเดินทางที่เลือกเส้นทางลงบนโครงข่ายจะให้ผลลัพธ์ตามสมการ 2.3

$$V_a = \sum_{ij} \frac{P_{ij}^a \alpha P_i P_j}{d_{ij}^2} = \alpha \sum_{ij} \frac{P_{ij}^a P_i P_j}{d_{ij}^2} \quad \text{...(2.3)}$$

จากสมการ 2.3 จะเห็นว่ามีเพียง α เป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ส่วนตัวแปรอื่น ๆ สามารถหาได้จากข้อมูลที่มีอยู่หรือจากแบบจำลองการเลือกเส้นทางการเดินทาง ซึ่งสามารถปรับสมการนี้โดยนำค่าการเกิดการเดินทางหรือดึงดูดการเดินทาง เช่น การจ้างงาน ผลผลิตทางอุตสาหกรรม พื้นที่อาคาร เป็นต้น มาพิจารณาร่วมกันโดยใช้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงจะได้

$$G_{ij} = \frac{O_i D_j}{d_{ij}^2} \quad \text{...(2.4)}$$

โดย G_{ij} คือ ผลรวมของจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมดที่เกิดขึ้น

O_i คือ จุดต้นทางของพื้นที่ย่อย i

D_j คือ จุดปลายทางของพื้นที่ย่อย j

เมื่อเพิ่มวัตถุประสงค์ในการเดินทางเป็นจำนวน k จะได้

$$V_a = \sum_k \sum_{ij} \frac{P_{ij}^a \alpha_k O_i^k D_j^k}{d_{ij}^2} = \sum_k \alpha_k \sum_{ij} P_{ij}^a G_{ij}^k \quad \text{...(2.5)}$$

ในที่นี้ค่า α_k เป็นค่าที่ต้องหาจากการสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ (Calibration) ส่วนค่าอื่น ๆ ถือว่าหาได้จากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ที่มีอยู่ การหาค่า α_k สามารถประมาณค่าได้ไม่ยาก โดยสามารถใช้เทคนิคของวิธีค่ากำลังสองน้อยที่สุด (Least Square) ในกรณีนี้จะให้ $V_a' = V_a + \varepsilon_a$ โดยที่ ε_a เป็นค่าความผิดพลาด แล้วให้เปลี่ยนค่าตัวแปรในสมการ 2.5 จะได้

$$V_a' = \alpha_0 + \sum_k \alpha_k \sum_{ij} P_{ij}^a G_{ij}^k \quad \text{...(2.6)}$$

โดย V_a' คือ ปริมาณการจราจรจากการสำรวจบนเส้นทาง a

α_0 คือ ค่าคงที่ของปริมาณจราจรที่ไม่สามารถแสดงในแบบจำลองแรงโน้มถ่วง เช่น ตารางการเดินทางภายในพื้นที่ย่อย (Intra Zonal Matrix)

จากสมการ 2.5 เมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วจะพบข้อบกพร่องบางประการของสมการ ในทางปฏิบัติถ้า O_i และ D_j เพิ่มเป็น 2 เท่าทั้งคู่ ปริมาณการเดินทางระหว่างคู่พื้นที่ย่อยจะต้องเพิ่มเป็น 4 เท่า ซึ่งจริง ๆ ก็น่าจะเพิ่มตามนั้นแต่ก็ไม่แน่เสมอไป จึงได้มีการปรับปรุงสมการนี้ให้เป็นสมการมาตรฐาน ดังสมการ 2.7

$$T_{ij} = \sum_k [\alpha_k O_i^k D_j^k A_j^k B_j^k f_{ij}^k] \quad \text{...(2.7)}$$

โดย α_k เป็นค่า Scaling Parameter ซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถเลือกค่าต่าง ๆ สำหรับคำนวณหาค่า T_{ij} , O_i^k และ D_j^k โดยที่ A_j^k , B_j^k เป็นค่า Balancing Factor ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$A_i^k = [\sum_j (B_j^k D_j^k f_{ij}^k)]^{-1} \quad \text{...(2.8)}$$

$$B_i^k = [\sum_j (A_j^k O_j^k f_{ij}^k)]^{-1} \quad \text{...(2.9)}$$

โดย f_{ij}^k เป็นค่า Deterrence Function เช่น $\exp(-\beta_k C_{ij})$

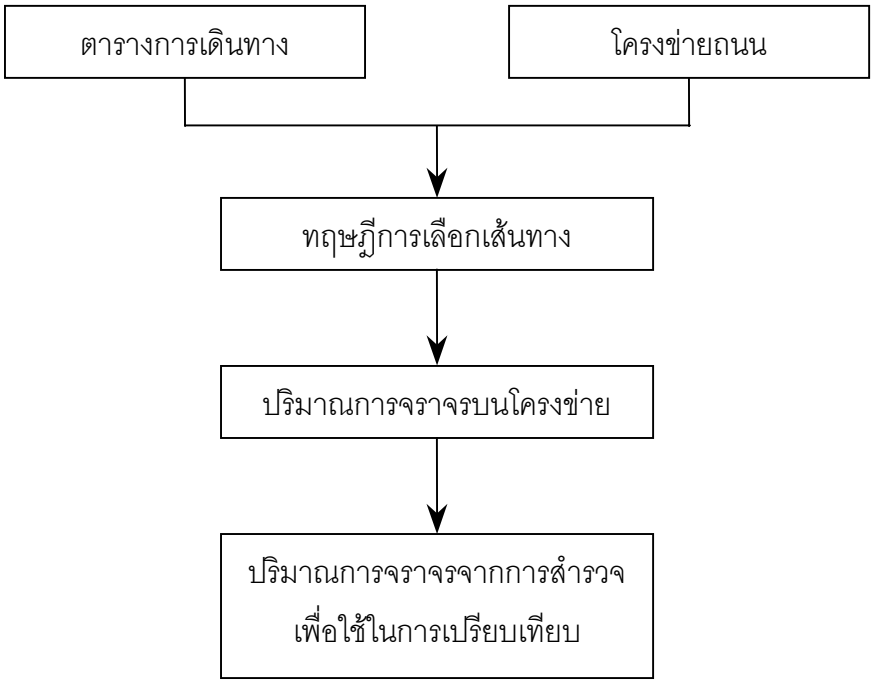
การประมาณค่าตารางการเดินทางโดยใช้สมการข้างต้นจะให้ผลการหาค่าพารามิเตอร์ได้เป็นอย่างดี โดยที่วิธีในการหาค่า A_j^k , B_j^k , β_k และ α_k แบบนี้เราเรียกว่า Alternative Calibration เช่น การใช้สมการ Non Linear Regression

2.5.3 กระบวนการเลือกเส้นทางการเดินทาง (Traffic Assignment Process)

กระบวนการแจกแจงเส้นทางการเดินทาง เป็นกระบวนการจัดปริมาณการจราจรจากตารางความต้องการเดินทางลงบนเส้นทาง ประกอบด้วยข้อมูลหลัก 2 ส่วน คือ

- ตารางการเดินทาง ซึ่งเป็นข้อมูลที่อธิบายความต้องการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย
- ระบบโครงข่ายถนน ที่อยู่ในรูปของจุดปลายและเส้นเชื่อมโยงภายในพื้นที่ศึกษา

ในกระบวนการแจกแจงเส้นทางการเดินทางนั้นจะใช้ทฤษฎีการจัดเส้นทางการเดินทางและการจัดสรรจำนวนการเดินทางลงบนเส้นทางด้วยวิธีต่างๆ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4



ภาพประกอบ 2.4 กระบวนการเลือกเส้นทางการเดินทาง

ที่มา สุรชัย (2534), การพยากรณ์ปริมาณการจราจรบนทางหลวงโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการคมนาคมขนส่งในเมือง, หน้า 87

ปริมาณการจราจรบนเส้นทางและเวลาการเดินทางที่ได้จากแบบจำลองการเลือกเส้นทางการเดินทาง จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการจราจรที่ได้จากการสำรวจข้อมูลจราจรจริงในสนาม โดยทั่วไปแล้ว ค่าจากการเปรียบเทียบมักไม่ค่อยดีนัก ค่าความแตกต่างเหล่านี้เกิดจากสาเหตุที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. ความผิดพลาดในการประมาณตารางการเดินทาง ตั้งแต่ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลองการเกิดการเดินทางในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนการวิเคราะห์การกระจายการเดินทางในขั้นตอนที่ 2 ของแบบจำลองต่อเนื่อง

2. ระบบโครงข่ายถนนมีความผิดพลาด เช่น ระยะทาง ความเร็ว เป็นต้น

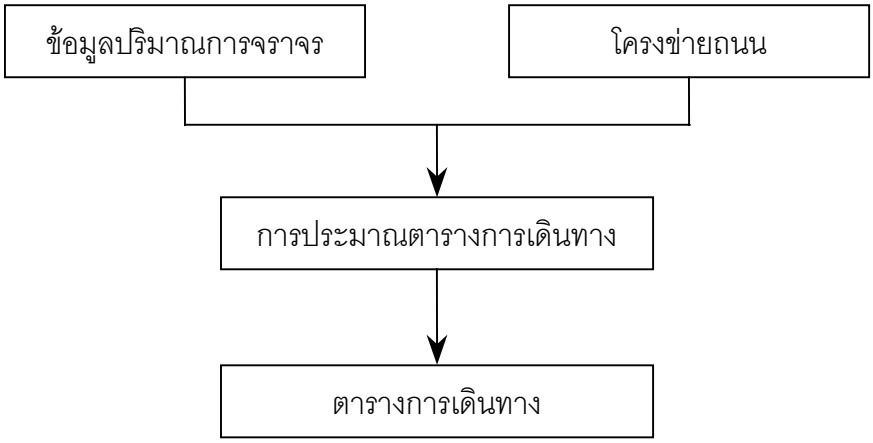
3. หลักการและทฤษฎีในการเลือกเส้นทางการเดินทางที่ใช้ไม่สามารถจำลองสภาพการจราจรที่แท้จริงได้

2.5.4 กระบวนการประมาณตารางการเดินทางจากปริมาณการจราจร

การประมาณตารางการเดินทางจากปริมาณการจราจร เป็นกระบวนการย้อนกลับของกระบวนการจัดเส้นทางการเดินทาง กล่าวคือ การจัดเส้นทางการเดินทางเริ่มจากข้อมูลตารางการเดินทางที่มีอยู่ ได้ผลลัพธ์สุดท้ายที่ปริมาณการจราจรบนเส้นทาง ส่วนกระบวนการประมาณตารางการเดินทางจากปริมาณการจราจรนั้นเริ่มจากข้อมูลปริมาณการจราจรบนเส้นทาง มีผลลัพธ์สุดท้ายที่ตารางการเดินทาง การประมาณตารางการเดินทางต้องใช้ข้อมูลหลัก 2 ส่วน คือ

- ข้อมูลปริมาณการจราจรบนเส้นทาง
- ระบบโครงข่ายถนนในรูปแบบของจุดปลายและเส้นเชื่อมโยงภายในพื้นที่ศึกษา

จากนั้นจะใช้สมมติฐานของการประมาณตารางการเดินทางเพื่อทำการประมาณตารางการเดินทาง โดยมีกระบวนการดังภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.5 กระบวนการประมาณตารางการเดินทางจากปริมาณการจราจร

ที่มา สุรชัย (2534), การพยากรณ์ปริมาณการจราจรบนทางหลวงโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการคมนาคมขนส่งในเมือง, หน้า 88

2.5.5 การประมาณค่าแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TRIPS

การประมาณค่าปริมาณเที่ยวการเดินทางจากจุดต้นทางหนึ่งไปยังจุดปลายทางหนึ่ง ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TRIPS จะมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองการประมาณค่า ตามสมการ 2.10

$$T_{ij} = a_i b_j t_{ij} \prod_k x_k^{R_{ijk}} \quad \text{...(2.10)}$$

โดย a_i คือ จำนวนเที่ยวการเดินทางที่จุดต้นทาง

b_j คือ จำนวนเที่ยวการเดินทางที่จุดปลายทาง

t_{ij} คือ จำนวนเที่ยวการเดินทางจากพื้นที่ย่อย i ไปพื้นที่ย่อย j

x_k คือ ปริมาณการจราจรจากการสำรวจบนเส้นทาง k

R_{ijk} คือ ความน่าจะเป็นของการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย i ไปพื้นที่ย่อย j บนเส้นทาง k

สำหรับในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจำนวนเที่ยวการเดินทางที่เกิดขึ้นจากพื้นที่ย่อย i ไปพื้นที่ย่อย j ค่า t_{ij} สามารถคำนวณได้โดยใช้รูปแบบสมการคณิตศาสตร์ ตามสมการ 2.11

$$t_{ij} = c_{ij}^{\alpha} e^{-\beta c_{ij}} \quad \text{...(2.11)}$$

โดย c_{ij} คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากพื้นที่ย่อย i ไปพื้นที่ย่อย j

α, β คือ ค่าพารามิเตอร์

จากสมการ 2.10 ซึ่งพิจารณาข้อมูลจำนวนเที่ยวการเดินทางที่เกิดขึ้นจากพื้นที่ย่อย i ไปพื้นที่ย่อย j นี้ เหมาะสมใช้ในการประมาณค่าตารางการเดินทางในปีปัจจุบันมากกว่าใช้ในการประมาณค่าตารางการเดินทางในปีอนาคต เนื่องจากสมการนี้ไม่มีการพิจารณาถึงพฤติกรรมของการเดินทาง แต่ในสมการ 2.11 ได้มีการประยุกต์ใช้สมการแบบจำลองแรงโน้มถ่วงมาใช้ซึ่งได้มีการพิจารณาถึงพฤติกรรมของการเดินทาง โดยตั้งสมมติฐานให้ผู้เดินทางเลือกการเดินทางที่เสียค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำที่สุด

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองจะใช้วิธีแม็กซิมั่ม ไลลีฮูด (Maximum Likelihood) โดยใช้หลักการทางสถิติเพื่อคำนวณหาค่าประมาณของค่าพารามิเตอร์ให้ใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงให้มากที่สุด การประมาณค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TRIPS จะใช้สมการ Objective Function (M) ตามสมการ 2.12

$$M = \sum_H \lambda_H h - \lambda_H H \log(\lambda_H h) \quad \text{...(2.12)}$$

โดย λ_H คือ ระดับความมั่นใจ (Confidence Level) ของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

H คือ ค่าที่ได้จากการสำรวจ

h คือ ค่าที่ถูกประมาณจากแบบจำลอง

ความถูกต้องในการประมาณค่าตัวแปรโดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณ โดยที่ค่า M ในสมการ 2.12 แสดงถึงค่าความเหมือนหรือความใกล้เคียงของค่าตัวแปรที่ประมาณขึ้น ปกติแล้วค่า M จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งการประมาณค่าเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่มีความใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด ค่า M ควรมีค่าลบน้อยที่สุด

วิธีแม็กซิมั่ม ไลลีฮูด เป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยการวิเคราะห์จากสภาพความเป็นจริง ซึ่งใช้ตัวอย่างสุ่มมีการแจกแจงแบบมีพารามิเตอร์ (Parametric Distribution) ซึ่งสามารถเขียนในรูปสมการคณิตศาสตร์ตามสมการ 2.13

$$prob\,(X = x) = \mathrm{P}_x\,(x\,|\eta) \qquad \ldots(2.13)$$

โดย X คือ ตัวแปรแบบสุ่ม (Random Variable)

x คือ กลุ่มตัวอย่าง (Sample)

η คือ ฟังก์ชันของพารามิเตอร์

จากสมการ 2.13 พบว่า $prob\,(X = x)$ เป็นฟังก์ชันการกระจายของความน่าจะเป็น (Probability Distribution Function) ในการอนุมานเชิงสถิติ เราทราบค่า x และต้องการศึกษาเกี่ยวกับพารามิเตอร์ η เราอาจจะใช้หลักการข้างต้นโดยพิจารณาในรูปของฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น (Likelihood Function) ตามสมการ 2.14

$$L\underline{x}\,(\eta) = \prod_{i=1}^{n} \mathrm{P}_x\,(x^{\,i}\,|\eta) \qquad \ldots(2.14)$$

โดย $\underline{x}$ คือ $x^{\,1}, x^{\,2}, \ldots, x^{\,n}$

n คือ จำนวนชุดของกลุ่มตัวอย่าง

จากสมการ 2.14 เมื่อพิจารณาปริมาณการจราจรซึ่งให้สมมติฐานว่ามีรูปแบบการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Distribution) จะเขียนรูปของสมการใหม่ได้ตามสมการ 2.15

$$L_H\,(h) = \frac{(\lambda h)^{\lambda H}\, e^{-\lambda h}}{(\lambda H)!} \qquad \ldots(2.15)$$

แก้สมการ 2.15 โดยใส่ลอการิทึม (Logarithms)

$$\log L_H\,(h) = (\lambda H)\log(\lambda h) - (\lambda h) - \log(\lambda H)! \qquad \ldots(2.16)$$

จากสมการ 2.16 พบว่า $\log(\lambda H)!$ เป็นค่าคงที่

เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากการสำรวจ (H) ทั้งหมดตามสมการ 2.14 จะพบว่ารูปของฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็นสามารถเขียนได้ตามสมการ 2.17

$$L = \prod_{H} L_H(h) \qquad \ldots(2.17)$$

เนื่องจากการหาค่ามากที่สุดของ L คือ ค่า M ที่น้อยที่สุด

$$M = \sum_{H} M_H \qquad \ldots(2.18)$$

ซึ่งในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของค่าที่ได้จากการสำรวจ (H) และค่าที่ถูกประมาณจากแบบจำลอง (h) ของข้อมูลแต่ละประเภทสามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรตามความเหมาะสม ดังแสดงตามตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการสำรวจและค่าที่ถูกประมาณจากแบบจำลอง ของข้อมูลแต่ละประเภท

ข้อมูล	ค่าที่ได้จากการสำรวจ (H)	ค่าที่ถูกประมาณจากแบบจำลอง (h)
จำนวนเที่ยวการเดินทางจากจุดต้นทางของพื้นที่ย่อย i ไปจุดปลายทางของพื้นที่ย่อย j	N_{ij}	T_{ij}
จำนวนเที่ยวการเดินทางจากจุดต้นทางของพื้นที่ย่อย i	O_i	$G_i = \sum_j T_{ij}$
จำนวนเที่ยวการเดินทางจากจุดปลายทางของพื้นที่ย่อย j	D_j	$A_j = \sum_i T_{ij}$
จำนวนเที่ยวการเดินทางของ Screenline บนเส้นทาง k	Q_K	$V_K = \sum_i \sum_j R_{ijk} T_{ij}$

ดังนั้นสมการ Objective Function (M) ตามสมการ 2.12 สามารถเขียนใหม่ได้ตามสมการ 2.19

Objective Function, $M =$

$\sum_K \lambda_Q (V_K - Q_K \log(\lambda_Q V_K))$ ปริมาณการจราจรจาก Screenline

$+ \sum_O \lambda_O (G_i - O_i \log(\lambda_O G_i))$ การเดินทางจากจุดต้นทาง

$+ \sum_D \lambda_D (A_j - D_j \log(\lambda_D A_j))$ การเดินทางจากจุดปลายทาง

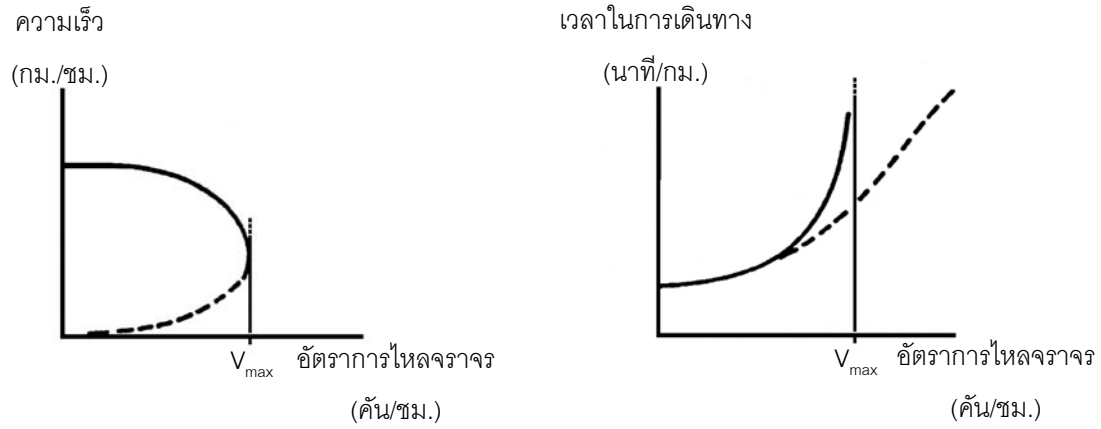
$$+\sum_{ij}\lambda_N(T_{ij}-N_{ij}\log(\lambda_N T_{ij}))$$ ตารางการเดินทางเดิม (Prior Matrix)

$$+\sum_{C}\lambda_C(T_{ij}-t_{ij})^2$$ ตารางค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ...(2.19)

2.5.6 แนวคิดพื้นฐานในการเลือกเส้นทางการเดินทาง

การเลือกเส้นทางการเดินทาง ได้กำหนดสมมติฐานให้นักเดินทางทุกคนได้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับเส้นทางการเดินทางเป็นอย่างดี โดยข้อมูลข่าวสารนี้จะรวมถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากการเลือกใช้เส้นทาง โดยที่ข้อมูลนี้จะใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกเส้นทางซึ่งจะกำหนดค่าใช้จ่ายในการใช้เส้นทางให้เป็นฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเฉพาะของเส้นทางโดยมีตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอัน ได้แก่ ระยะทาง เวลา ความเร็ว ความจุเส้นทาง เป็นต้น

การตัดสินใจเลือกเส้นทางการเดินทางนี้ จะเปรียบเทียบจากค่าใช้จ่ายตัวเดียวกัน เช่น เวลาในการเดินทาง ซึ่งเป็นค่าที่นักเดินทางทั่วไปใช้ในการพิจารณาเลือกเดินทาง ซึ่งจะเลือกเส้นทางที่ให้ประโยชน์กับตนเองสูงสุด จากภาพประกอบ 2.6 นี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว-อัตราการไหลของปริมาณการจราจร (Speed-Flow Curve) และความสัมพันธ์เวลา-อัตราการไหลของปริมาณการจราจร (Time-Flow Curve) ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการพยากรณ์การแจกแจงเส้นทาง



ภาพประกอบ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว-อัตราการไหลของปริมาณการจราจร และความสัมพันธ์ระหว่างเวลา-อัตราการไหลของปริมาณการจราจร

ที่มา McShane et al (1998), Traffic Engineering, หน้า 222

เทคนิคที่ใช้ในการเลือกเส้นทางการเดินทางมีอยู่หลายวิธีการด้วยกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่นำมาใช้เพื่อจำลองสภาพการเดินทางที่เป็นอยู่ให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด สำหรับเทคนิคที่นิยมใช้กัน เช่น

- แบบจำลองการแจกแจงทั้งหมดหรือไม่มี (All-or-Nothing Assignment)
- แบบจำลองการแจกแจงแบบสมดุล (User Equilibrium Assignment)
- แบบจำลองการแจกแจงวิธี System Optimality
- แบบจำลองการแจกแจงวิธี Capacity Restraint

) วิธีทั้งหมดหรือไม่มี เป็นการจำลองการเลือกเส้นทางแบบง่าย ๆ โดยมีสมมติฐานว่าสภาพการจราจรติดขัดไม่มีผลกระทบต่อการเลือกเส้นทางการเดินทาง ซึ่งปริมาณจราจรบนถนนจะไม่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเส้นทางการเดินทาง และผู้เดินทางทุกคนที่มีจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางการเดินทางเดียวกันจะเสียค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากัน และจะพิจารณาเลือกเส้นทางการเดินทางเดียวกันโดยจะไม่เลือกใช้เส้นทางอื่นเลย ซึ่งเส้นทางที่เลือกจะเป็นเส้นทางที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้จะขัดแย้งกับข้อเท็จจริง กล่าวคือ ในความจริงเมื่อโครงข่ายมีปริมาณการจราจรสูงขึ้น จะทำให้ต้องใช้เวลาในการเดินทางนานขึ้น ทำให้ผู้เดินทางมักจะต้องสินใจเปลี่ยนแปลงเส้นทางเดินทางใหม่

สำหรับวิธีนี้จะใช้ได้ดีกับเส้นทางที่การจราจรไม่ติดขัด หรือเป็นเส้นทางที่มีความแตกต่างกันมากในด้านค่าใช้จ่าย เช่น การเดินทางระหว่างเมืองในต่างจังหวัด การขนส่งสินค้าโดยรถบรรทุกขนาดใหญ่ เป็นต้น

ข) วิธีแบบสมดุล เป็นการจำลองการเลือกเส้นทางโดยกำหนดเงื่อนไขการเดินทาง โดยให้การเดินทางในเส้นทางต่าง ๆ ที่มีจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางการเดินทางเดียวกันนั้นมีค่าเวลาหรือค่าใช้จ่ายที่เท่ากัน สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีนี้ จะเป็นเสมือนการจำลองสภาพโครงข่ายการขนส่งที่มีปัญหาการจราจร ซึ่งจากสภาพการจราจรของโครงข่ายที่ติดขัดนี้ ไม่ว่าจะใช้เส้นทางใดก็จะเผชิญปัญหาเช่นเดียวกัน

ค) วิธี System Optimality เป็นการจำลองการเลือกเส้นทางโดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ โดยกำหนดฟังก์ชันค่าใช้จ่ายและเงื่อนไขของการเดินทางต่าง ๆ ดังสมการ 2.15

โดย
$$\min y(x) = \sum_n X_n t_n(X_n) \qquad \ldots(2.15)$$
$$q = \sum_n X_n \quad \text{และ} \quad X_n \geq 0$$

โดย $y(x)$ คือ ฟังก์ชันของค่าใช้จ่ายในการเดินทางของระบบซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณการเดินทาง (x) และเวลาการเดินทาง (t) บนช่วงถนน n

$t_n(X_n)$ คือ เวลาในการเดินทางบนช่วงถนน n เมื่อมีปริมาณการจราจรบนช่วงถนน X_n

q คือ ปริมาณการเดินทางทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนช่วงเส้นทางต่าง ๆ

ง) วิธี Capacity Restraint เป็นวิธีการที่พิจารณาถึงผลกระทบในแง่ความสามารถในการรองรับปริมาณจราจร ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีปริมาณจราจรมาใช้ในเส้นทางดังกล่าวมากขึ้น นั่นคือ เมื่อสัดส่วนของปริมาณยานพาหนะต่อความจุของถนน (V/C) เพิ่มขึ้นอันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณผู้ใช้เส้นทาง ก็จะมีผลทำให้เวลาในการเดินทางในเส้นทางนั้นเพิ่มขึ้นด้วย วิธีการนี้ส่วนมากมักนำมาใช้เพื่อจำลองสภาพการจราจรในชั่วโมงเร่งด่วน เนื่องจากสมมติฐานของแบบจำลองนี้มีความใกล้เคียงกับสภาพการเดินทางในช่วงเวลาดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคนี้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งประยุกต์ใช้โดยวิธีการกระทำซ้ำและการปรับแก้ความเร็ว สำหรับค่าใช้จ่ายในรูปแบบของเวลาที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้จะถูกแทนด้วยฟังก์ชันดังสมการ 2.16

$$T = T_0[1 + 0.15(v / c)^4] \quad \ldots(2.16)$$

โดย T คือ เวลาในการเดินทางที่มีปริมาณจราจร v บนช่วงถนนนั้น

T_0 คือ เวลาในการเดินทางภายใต้สภาพการไหลอย่างอิสระ

v คือ ปริมาณจราจรที่ถูกแจกแจง

c คือ ความจุของเส้นทางในทางปฏิบัติ

ซึ่งวิธี Capacity Restrain เป็นวิธีการที่เหมาะสมวิธีหนึ่งในแบบจำลองการเลือกเส้นทางการเดินทาง เนื่องจากมีลักษณะใกล้เคียงสภาพการจราจรจริง ซึ่งวิธีการนี้จะมีหลักการที่ว่า ปริมาณการจราจรทั้งหมดจะเป็นส่วน ๆ ซึ่งสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายหรือเวลาบนโครงข่าย ซึ่งปรับเปลี่ยนตามสภาพจราจรภายหลักการเลือกเส้นทางแต่ละครั้ง

2.6 การทดลองประสิทธิภาพแบบจำลอง

การทดลองประสิทธิภาพของแบบจำลองจะพิจารณาจากความถูกต้องของแบบจำลองโดยการตรวจสอบจากปริมาณความต้องการเดินทางที่เลือกบนโครงข่ายถนนในแบบจำลองเทียบกับสภาพการเดินทางจริงที่ได้จากการสำรวจข้อมูลปริมาณการจราจรของพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาค่าความคาดเคลื่อนที่ยอมให้ได้ ดังแสดงในตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการเลือกเส้นทางการเดินทาง

ประเภทถนน	จำนวนช่องจราจร	ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (คัน/วัน)	ร้อยละของความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
ทางด่วน	8	80,000-105,000	13
	6	55,000-80,000	18
	4	30,000-55,000	29
ถนนสายหลัก	8 แบ่งทิศทาง	37,000-47,000	13
	6 แบ่งทิศทาง	27,000-37,000	17
	4 แบ่งทิศทาง	16,000-27,000	25
	4 ไม่แบ่งทิศทาง	9,000-18,000	34
	2 ไม่แบ่งทิศทาง	2,000-8,000	56
	4 เดินรถทางเดียว	18,000-24,000	13
	3 เดินรถทางเดียว	13,000-18,000	17
	2 เดินรถทางเดียว	8,000-13,000	25

ที่มา: ปรับปรุงจาก Comsis Corporation, 1983, UTPS Highway Network Development Guide, Federal Highway Administration, US Department of Transportation

การใช้วิธีการทางสถิติในการทดลองความสอดคล้อง (Consistency) ของข้อมูลในการประมาณตารางการเดินทางก็เป็นการทดลองประสิทธิภาพของแบบจำลองอีกวิธีหนึ่ง โดยมีหลักการพื้นฐาน คือ การหาความสัมพันธ์ของตารางการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงว่ามีความใกล้เคียงกับตารางการเดินทางที่ได้จำลองขึ้น ลักษณะทางสถิติของแบบจำลองเหล่านี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการทดลองประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดีโดยใช้เครื่องมือวัดเชิงสถิติที่เหมาะสม ค่าสถิติที่ใช้ในการอธิบายแบบจำลองการประมาณตารางการเดินทางเพื่อในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยปกติค่าทางสถิติที่มักนำมาวิเคราะห์ คือ สัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination: R^2) คือ การวัดจำนวนของความแปรปรวนที่ถูกบรรยายไว้โดยสมการซึ่งแสดงไว้เป็นอัตราส่วนทศนิยมของผลรวมความแปรปรวนที่สังเกตในตัวแปรตาม (Dependent Variable) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์นี้มีค่าสูงสุด เท่ากับ 1.0 ซึ่งเป็นค่าสำหรับสมการที่สมบูรณ์ที่สุด

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{ij} (T_{ij} - T_{ij}^*)^2}{\sum_{ij} (T_{ij} - T^o)^2} \qquad \ldots(2.17)$$

เมื่อ T_{ij} คือ ปริมาณการจราจรจากการสำรวจจริง

T_{ij}^{*} คือ ปริมาณการจราจรจากแบบจำลอง

T_{ij}^{O} คือ ปริมาณการจราจรจากค่าเฉลี่ย (Mean)

R^2 เป็นเทคนิคในเชิงสถิติที่ใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับใช้เป็นเครื่องมือวัดความเหมาะสมของแบบจำลอง ซึ่งเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองและจากการสำรวจจริงว่ามีความใกล้เคียงกันอย่างไร โดยที่ค่า R^2 เท่ากับ 1 หมายความว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองและจากการสำรวจมีความสัมพันธ์อย่างหาที่แตกต่างไม่ได้