

การตรวจเอกสาร

1. ระบบการขนส่งสาธารณะ

Henry (1986) กล่าวว่า การขนส่งสาธารณะแยกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การขนส่งระหว่างเมือง และการขนส่งในเมือง การขนส่งระหว่างเมืองมักจะก่อให้เกิดปัญหาค้นจรรย์ แต่จะมีผลกระทบเมื่อการเดินทางระหว่างเมืองเข้าใกล้สถานีขนส่ง ซึ่งมักตั้งอยู่ในพื้นที่เขตเมือง ซึ่งจะต้องเชื่อมโยงกับการขนส่งในเมืองเป็นผลทำให้เกิดปัญหาทางด้านการจราจร การขนส่งในเมืองสามารถแยกได้ 2 ประเภท คือ การขนส่งมวลชนท้องถิ่น (Local Transit) และการขนส่งมวลชนแบบเร็ว (Rapid Transit)

1.1 การขนส่งมวลชนท้องถิ่น (Local Transit) เป็นการขนส่งมวลชนที่ให้บริการบนถนน ทางหลวง และรางวิ่งโดยใช้รถยนต์ รถราง (Streetcar) เป็นพาหนะ ขับเคลื่อนให้บริการในเขตเมือง โดยทั่วไปจะใช้รถยนต์โดยสาร โดยจำแนกขนาดตามขนาดแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ รถยนต์โดยสารขนาดเล็ก รถยนต์โดยสารขนาดมาตรฐาน (Standard Bus) รถยนต์โดยสารชนิดพ่วง (Articulated bus) และรถยนต์โดยสารสองชั้น (Double-Decker Bus) รายละเอียดตามตารางที่ 1 ข้อมูลเทคนิคของรถยนต์โดยสาร สำหรับพื้นที่เมืองนครสวรรค์การขนส่งมวลชนท้องถิ่นประกอบด้วยรถโดยสารประจำทางหมวดที่ 1 มีเส้นทางให้บริการ 5 เส้นทางคือ สายวัดไทร - ตลาดใต้ สายวัดเทพสามัคคีธรรม - สถานีรถไฟ สายรอบเมือง (ข) สายรอบเมือง (ค) สายรอบเมือง (ง)

1.2 การขนส่งแบบเร็ว (Rapid Transit) เป็นระบบขนส่งมวลชนที่ให้บริการบนเขตทางที่กันไว้โดยเฉพาะไม่มีการรบกวนจากการจราจรอื่น ๆ และรวมทั้งคนเดินเท้า เป็นการขนส่งที่มีความเร็วสูงสามารถผู้โดยสารได้มาก มีความแน่นอนของเวลาการเดินทาง และมีความปลอดภัยเนื่องจากมีการกันเขตทางไว้โดยเฉพาะ ในปัจจุบันการขนส่งแบบเร็วจะมุ่งเน้นที่รูปแบบการขนส่งด้วยรถไฟฟ้า สำหรับการขนส่งแบบเร็วยังไม่มีการให้บริการในเขตเมืองนครสวรรค์ เนื่องจากปริมาณการเดินทางยังไม่มากนัก จากประสบการณ์ของทวีปยุโรปการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าขนาดเบา (Light Rail Transit) ปริมาณการเดินทางต้องมากกว่า 20,000 คนต่อชั่วโมง สำหรับกรุงเทพมหานครกำลังก่อสร้าง

โครงการรถไฟฟ้าฟ้ามหานคร ระยะแรกช่วงหัวลำโพง - บางซื่อ (สายสีน้ำเงิน) คาดว่าจะสามารถขนส่งผู้โดยสารได้มากกว่า 40,000 คน/ชั่วโมง/ทิศทาง

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิคของรถโดยสาร

| รายการ | | ขนาดเล็ก | ขนาดมาตรฐาน | แบบพวง | แบบสองชั้น |
|-----------------------------|--------|-----------|-------------|---------------|-----------------|
| | | (Minibus) | (Standard) | (Articulated) | (Double-decker) |
| 1. ความยาว (m) | ช่วง | 5.5-7.5 | 9.4-12.0 | 16.0-18.0 | 8.4-12.0 |
| | ทั่วไป | 6.0 | 11.0 | 17.0 | 10.0 |
| 2. ความกว้าง (m) | ช่วง | 2.1-2.4 | 2.4-2.6 | 2.4-2.6 | 2.4-2.6 |
| | ทั่วไป | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.4 |
| 3. ความสูง (m) | ช่วง | 2.1-2.9 | 2.7-3.1 | 2.7-3.1 | 4.0-4.5 |
| | ทั่วไป | 2.8 | 3.0 | 3.0 | 4.2 |
| 4. รัศมีการเลี้ยว (m) | ช่วง | 6.6-7.8 | 10-13 | 10-13 | 10-13 |
| | ทั่วไป | 7 | 12 | 12 | 12 |
| 5. ความจุ (จำนวนที่รวม) | ช่วง | 20-35 | 65-85 | 110-120 | 80-125 |
| | ทั่วไป | 25 | 80 | 110 | 100 |
| 6. ความจุ (จำนวนที่นั่ง) | ช่วง | 12-25 | 24-53 | 36-72 | 65-100 |
| | ทั่วไป | 20 | 40 | 60 | 75 |
| 7. ความกว้างที่นั่ง (m) | ช่วง | 0.7-0.8 | 0.7-0.8 | 0.7-0.8 | 0.7-0.8 |
| | ทั่วไป | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 8. ความสูงจากพื้น (m) | ช่วง | 0.3-0.4 | 0.5-0.9 | 0.5-0.9 | 0.5-0.9 |
| | ทั่วไป | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 9. ความเร็วสูงสุด (Kmph) | ช่วง | 60-100 | 60-100 | 60-100 | 60-100 |
| | ทั่วไป | 80 | 80 | 80 | 80 |

ที่มา : Henry (1986)

2. ระดับบริการ (Level of Service)

ระดับบริการ หมายถึง คุณภาพของการสัญจรยานพาหนะบนถนน ซึ่งจะปรากฏในทัศนะหรือการรับรู้ของผู้ใช้ถนนในรูปของความสะดวกสบาย ปลอดภัย ประหยัด ความรวดเร็วในการเดินทางตลอดจนความมีอิสระในการขับขี่ ระดับบริการของกระแสจราจรใด ๆ บนสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีการไหลต่อเนื่องแบ่งออกเป็น 6 ระดับ จาก A ถึง F หรือจากดีที่สุดถึงแย่มากที่สุด

ระดับบริการ A (Level of Service A) เป็นลักษณะการไหลของกระแสจราจรอิสระ (Free Flow) ในระดับบริการ A จะมีปริมาณขดยานบนถนนจำนวนน้อย ทำให้เลือกใช้ความเร็วได้ อิสระไม่จำกัด

ระดับบริการ B (Level of Service B) เป็นลักษณะการไหลของกระแสจราจรที่สม่ำเสมอ (Stable Flow) ในระดับบริการ B ปริมาณการจราจรจะเริ่มเพิ่มขึ้นมากกว่าระดับบริการ A ทำให้มีอิสระในการใช้ความเร็วลดลง แต่ก็ยังมีโอกาสจะเคลื่อนที่หรือแซงรถคันอื่น ๆ ได้

ระดับบริการ C (Level of Service C) การไหลของกระแสจราจรที่สม่ำเสมอแต่ทำให้เริ่มจะปราศจากอิสระในการเลือกใช้อัตราความเร็ว การเปลี่ยนช่องทางจราจรหรือการแซง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณจราจรได้เพิ่มขึ้นมาก

ระดับบริการ D (Level of Service D) เป็นลักษณะที่เริ่มเข้าสู่การไหลของกระแสจราจรไม่สม่ำเสมอ (UnStable Flow) ทำให้จะเริ่มขาดความสะดวกสบายในการใช้ถนน การจราจรเริ่มติดขัดความเร็วจะลดน้อยลง

ระดับบริการ E (Level of Service E) เป็นลักษณะการไหลของกระแสจราจรไม่สม่ำเสมอ ในลักษณะนี้ปริมาณการจราจรมีจำนวนใกล้เคียงหรือเท่ากับความสามารถของถนนการจราจรติดขัดและเริ่มมีการหยุดที่บ่อยครั้ง

ระดับบริการ F (Level of Service F) เป็นลักษณะการไหลของกระแสจราจรที่ถูกบังคับ (Forced Flow) ปริมาณการจราจรจะมีจำนวนมากเกินที่ความจุของถนนจะรองรับได้ เป็นสาเหตุทำให้การจราจรติดขัดมาก ความเร็วจะลดลงเหลือศูนย์หรือไม่มีการเคลื่อนที่ของกระแสจราจร ก่อให้เกิดความล่าช้าเป็นอย่างมาก

สำหรับระดับบริการของรถโดยสารประจำทาง จะใช้ความเร็ว ความหนาแน่น และ อัตราการไหลเป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบระดับบริการของรถโดยสารประจำทาง จะแยกตามลักษณะของถนนสายหลักและย่านศูนย์กลางธุรกิจ ดังตารางที่ 3

ความเร็วในการเดินทางของรถโดยสารขึ้นอยู่กับปริมาณจราจร สิ่งอำนวยความสะดวกด้านจราจรในแต่ละท้องถิ่น สภาพของการจราจรจะไม่เหมือนกันขึ้นกับลักษณะพื้นที่ Henry (1986) ศึกษาความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางตามลักษณะพื้นที่ สรุปผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเร็วเฉลี่ยของรถโดยสาร

| ลักษณะพื้นที่ | ความเร็วการเดินทาง (กม./ชม.) | |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------|
| | ช่วงจราจรสูงสุด | นอกช่วงจราจรสูงสุด |
| 1. การบริการในท้องถิ่น | | |
| - ย่านศูนย์กลางธุรกิจขนาดใหญ่ | 8 | 11 |
| - ถนนสายหลัก | 17 | 22 |
| - ช่องทางเฉพาะในย่านศูนย์กลางธุรกิจ | 13 | 16 |
| - ช่องทางเฉพาะบนถนนสายหลัก | 24 | 27 |
| 2. การบริการบนทางด่วน | | |
| - ทางด่วน | 48 | 70 |
| - ช่องทางเฉพาะบนทางด่วน | 70 | 70 |

ที่มา : Henry (1986)

ตารางที่ 3 ระดับบริการของรถโดยสารตามอัตราการใช้

| ระดับบริการ | ลักษณะ | อัตราการใช้ คัน/ช่องจราจร/ชั่วโมง | ค่ากลาง |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------|
| ถนนสายหลัก | | | |
| A | การใช้รถโดยสาร | 25 หรือน้อยกว่า | 15 |
| B | การใช้รถโดยสาร ไม่ถูกบังคับ | 26 ถึง 45 | 35 |
| C | การใช้รถโดยสาร ยังสามารถแข่งได้ | 46 ถึง 75 | 60 |
| D | เริ่มเข้าสู่การใช้รถโดยสาร | 76 ถึง 105 | 90 |
| E | การใช้รถโดยสาร การจราจรติดขัด | 106 ถึง 135 | 120 |
| F | การใช้รถโดยสาร ไม่มีการเคลื่อนที่ | มากกว่า 135 | 150 |
| ถนนในย่านธุรกิจ | | | |
| A | การใช้รถโดยสาร | 20 หรือน้อยกว่า | 15 |
| B | การใช้รถโดยสาร ไม่ถูกบังคับ | 21 ถึง 40 | 30 |
| C | การใช้รถโดยสาร ยังสามารถแข่งได้ | 41 ถึง 60 | 50 |
| D | เริ่มเข้าสู่การใช้รถโดยสาร | 61 ถึง 80 | 70 |
| E | การใช้รถโดยสาร การจราจรติดขัด | 81 ถึง 100 | 90 |
| F | การใช้รถโดยสาร ไม่มีการเคลื่อนที่ | มากกว่า 100 | 110 |

ที่มา : Highway Capacity Manual (1985)

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาหา ค่า ความเร็วการเดินทาง ความล่าช้า ระยะเวลาเดินทางและสาเหตุของความล่าช้า ระดับบริการของรถโดยสารประจำทางหมวดที่ 1 ที่มีเส้นทางให้บริการอยู่ในเขตเมืองนครสวรรค์ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ศึกษาวิจัยในครั้งนี้เพื่อตรวจสอบมาตรฐานการบริการ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเร็วยของรถโดยสารประจำทาง

LERDHIRUNYWONGSA (1976) ได้ทำการศึกษาความเร็ว ความล่าช้า และระยะเวลา รอคอย (Waiting Time) รถโดยสารประจำทางเมืองเชียงใหม่ ผลการศึกษาความเร็วโดยเฉลี่ยรถโดยสารประจำทางที่มีเส้นทางเดินรถเมืองเชียงใหม่กับอำเภอใกล้เคียงเท่ากับ 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะเวลาารอคอยรถโดยสารประจำทางโดยเฉลี่ย 23 นาทีและความเร็วของรถโดยสารประจำทางที่มีเส้นทางเดินรถในเมืองเชียงใหม่ความเร็วประมาณ 17 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะเวลาารอคอยรถโดยสารอยู่ในช่วง 4 ถึง 6.3 นาที ผลการศึกษาสามารถหาระดับบริการของรถโดยสารจะได้ระดับบริการ A ดังระบุใน TUNGKAVACRIRANON (1994)

SRISAKDA (1989) จากการศึกษาความเร็ว ความล่าช้า และระยะเวลาารอคอยของรถโดยสารประจำทางในจังหวัดเชียงใหม่จำนวน 4 สายทาง ในช่วงเวลาที่ดำเนินการศึกษา 3 ช่วง คือ ช่วงเช้า (7.00 - 9.00 น.) นอกเวลาเร่งด่วน (9.00 - 15.00 น.) และช่วงเย็น (15.00 - 18.00 น.) ผลการศึกษาระยะเวลาารอคอยเฉลี่ยของรถโดยสารประจำทางสาย 1, 2, 3 และ 6 เป็น 5.7 , 5.3 , 4.7 และ 7 นาที ตามลำดับ ความเร็วการเดินทางของรถโดยสารประจำทางสาย 1, 2 และ 3 อยู่ในช่วง 13.9 - 26.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รถโดยสารประจำทางสาย 6 ความเร็วการเดินทางคือ 22.5 - 31.0 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลการศึกษาสามารถหาระดับบริการของรถโดยสารจะได้ระดับบริการ A ดังระบุใน TUNGKAVACRIRANON (1994)

TUNGKAVACHIRANON (1994) ได้ทำการศึกษาระบบขนส่งสาธารณะในเมืองเชียงใหม่พบว่า ความเร็วการเดินทางของรถโดยสารประจำทางที่มีเส้นทางเดินรถในเมืองเชียงใหม่ความเร็วประมาณ 15.3 - 21 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วการเดินทางของรถโดยสารประจำทางที่มีเส้นทางเดินรถเมืองเชียงใหม่กับอำเภอใกล้เคียงความเร็วประมาณ 25.4 - 44 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลการศึกษาสามารถหาระดับบริการของรถโดยสารจะได้ระดับบริการ A

ลักษณะของผู้ใช้บริการ ศึกษาทัศนคติความคิดเห็นของผู้ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะ โดยสัมภาษณ์ผู้โดยสารที่รอกอยรถโดยสารสาธารณะ ผลการศึกษาปรากฏว่า รายได้ของผู้ใช้บริการมีรายได้ต่ำกว่า 5,000 บาทต่อเดือน อายุของผู้ใช้บริการอยู่ในช่วง 15 ถึง 30 ปี สาเหตุที่เลือกใช้

บริการรถโดยสารปรับอากาศมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 45.8 เพราะเห็นว่าความสะดวกสบายเนื่องมีระบบปรับอากาศ สาเหตุที่เลือกใช้บริการรถโดยสารประจำทางมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 55.9 เพราะเห็นว่าค่าโดยสารราคาถูกและสาเหตุที่เลือกใช้บริการรถสองแถวมากที่สุดร้อยละ 33.3 เพราะเห็นว่ามี ความรวดเร็วกว่า อาชีพที่ใช้บริการรถโดยสารประจำทาง มาก 3 อันดับแรกคือ นักเรียน/นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 29.6 รับจ้างคิดเป็นร้อยละ 17.7 และรับราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจคิดเป็นร้อยละ 14.0

4. แบบจำลองเพื่อการวางแผนการขนส่ง

Bruton (1975) กล่าวว่ากระบวนการวางแผนการขนส่ง (Transportation Planning process) เริ่มต้นในทั้งยุโรปและอเมริกาเหนือ ช่วงประมาณปี ค.ศ 1950 's โดยมีจุดประสงค์หลักที่จะจัดปัญหาการติดขัดของกระแสรถ ความล่าช้า อุบัติเหตุ รวมทั้งการวางแผนโครงการต่าง ๆ เพื่อลงทุนก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกหรือโครงการเพื่อกำหนดมาตรฐานสำหรับบรรเทาความรุนแรงของปัญหาจราจร โดยอาศัยการวิเคราะห์ความต้องการเดินทางและพยากรณ์รูปแบบการเดินทาง ขั้นตอนการศึกษา/วิเคราะห์ความต้องการเดินทางแบ่งออกเป็น 2 ระดับดังระบุใน วิโรจน์ (2536)

4.1 การวิเคราะห์ความต้องการด้านการเดินทาง (Transport Demand Analysis) หมายถึง ขั้นตอนการทำงานที่พยายามจะกำหนดขอบเขตและอธิบายกลไกการรวมตัวของความต้องการด้านการเดินทางตลอดจนการพยายามสร้างและพัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ความต้องการด้านการเดินทางด้วยการใช้ข้อมูลและตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสม ขั้นตอนการวิเคราะห์จะมีความสำคัญก็ต่อเมื่อสามารถนำไปประกอบหรือประยุกต์ใช้กับแบบจำลองที่มีอยู่ได้และในขณะเดียวกันก็ต้องสามารถปรับปรุงแบบจำลองดังกล่าวให้ดีขึ้นด้วย การสร้างแบบจำลองมีหลักการสำคัญ 3 ประการ

- แบบจำลองที่สร้างจะต้องสามารถปะติดปะต่อเข้ากับความจริงที่พบเห็นได้
- แบบจำลองที่สร้างจะต้องตรงกับหรือสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้
- แบบจำลองที่สร้างจะต้องสามารถพิสูจน์ให้เห็นว่าใช้กับข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ได้และ

สามารถตรวจสอบด้วยกรรมวิธีทางสถิติได้

4.2 การพยากรณ์ความต้องการเดินทาง (Transport Demand Forecasting) ในทางทฤษฎี ขั้นตอนนี้จะเน้นถึงการนำผลของขั้นตอนการวิเคราะห์ความต้องการเดินทางมาใช้ เพื่อคำนวณหา

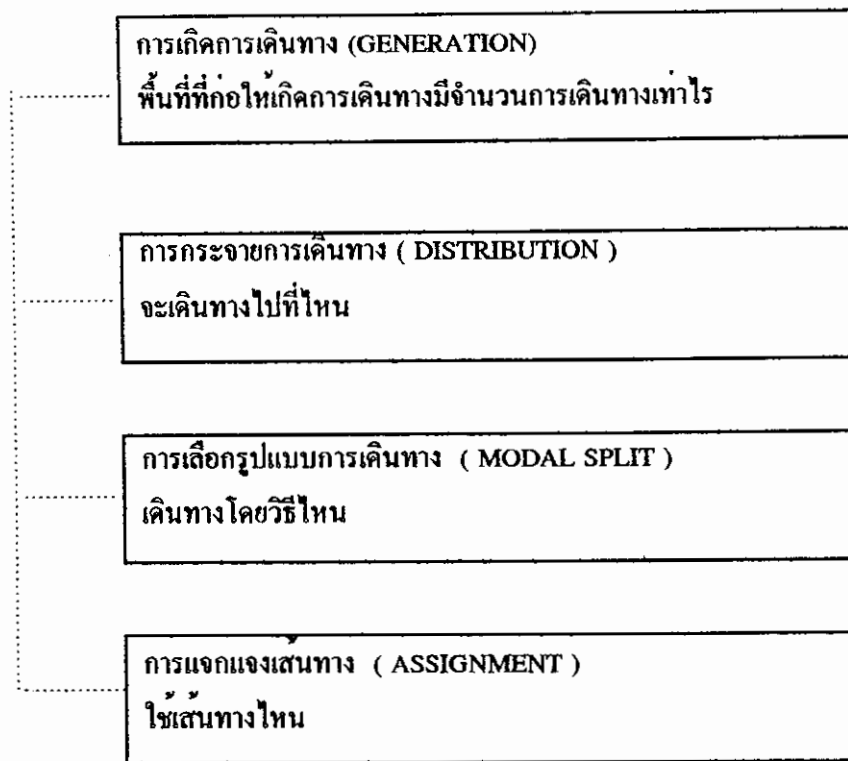
ปริมาณการเดินทางในอนาคตให้สัมพันธ์กับสภาพและสมมุติฐานของการใช้พื้นที่ ตลอดจนการเสนอ และการให้บริการด้านการขนส่ง ขั้นตอนการพยากรณ์จะมีความหมายหรือใช้การได้ก็ต่อเมื่อสามารถ แสดงประสิทธิภาพในการอธิบายสิ่งที่ศึกษาได้ดี ละเอียดและสอดคล้องกับความเป็นจริงที่สังเกตเห็น ได้อย่างถูกต้อง

การวิเคราะห์ความต้องการเดินทางและการพยากรณ์ปริมาณความต้องการเดินทางมี จุดประสงค์คล้ายกัน คือผลิตหรือสร้างแบบจำลองซึ่งเป็นการสร้างเพื่ออธิบายความเป็นจริงที่พบเห็น ให้อยู่ในรูปร่าง ๆ และสามารถพยากรณ์ความเป็นไป ปรากฏการณ์ สภาพการณ์หรือรูปลักษณะของ ความต้องการเดินทางได้ด้วยระดับความเชื่อมั่นระดับหนึ่ง

แบบจำลองที่ใช้กันทั่วไปสำหรับการวางแผนการขนส่งในบริเวณเมืองเป็นแบบ จำลองชนิดต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนประกอบด้วย

- แบบจำลองการเกิดการเดินทาง (Trip Generation Model)
- แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution Model)
- แบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่ง (Modal Split Model)
- แบบจำลองการแจกแจงเส้นทาง (Trip Assignment Model)

งานวิจัยจะศึกษาระบบขนส่งสาธารณะในเมืองนครสวรรค์ เน้นพัฒนาเฉพาะแบบจำลอง การเลือกประเภทการขนส่ง เขตพื้นที่ฝั่งเมืองรวมเมืองนครสวรรค์ ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่เขตเทศบาล นครสวรรค์และบริเวณโดยรอบ เพื่อตรวจสอบศึกษาสัดส่วนการใช้รถยนต์สาธารณะกับรถยนต์ส่วนบุคคลศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเลือกประเภทขนส่ง ตัวแปรที่จะนำมาวิเคราะห์คือระยะเวลาในการ เดินทาง



ภาพที่ 4 แบบจำลองเพื่อการวางแผนการขนส่งชนิดต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน

5. แบบจำลองการเลือกประเภทขนส่ง (Modal Split Model)

วีโรจน์ (2536) กล่าวว่า แบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่งเป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ศึกษาสัดส่วนของการเดินทางในแต่ละวันของมนุษย์ว่ามีการใช้ประเภทของการขนส่งต่าง ๆ คือการเดินทางทั้งหมดของระบบการขนส่งในพื้นที่ศึกษาอย่างไร องค์ประกอบหรือปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจหลายประการ เช่น ความเร็ว ความสะดวกสบาย ค่าใช้จ่าย ความเที่ยงตรงแน่นอนของประเภทขนส่ง นอกจากนี้ยังมีระยะเวลาและระยะทางในการเดินทาง ขนาดของเมือง สถานสภาพทางด้านเศรษฐกิจ-สังคม ประชากร

Mcfadden (1976) กล่าวว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อการเลือกยานพาหนะเดินทาง คือตัวแปรที่ส่งผลวิกฤต (Critical) ต่อแบบจำลองคือ

- ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

- เวลาการเดินทาง
- ความถี่ของการเปลี่ยนรถ
- สิ่งที่เราพาหะชนิดใดเหมาะสมสำหรับบุคคลหนึ่งบุคคลใด (เช่น ความต้องการใช้รถยนต์ขณะทำงาน ความสามารถในการขับรถ)

ตัวแปรที่ส่งผลสำคัญ (Important)

- จำนวนเปลี่ยนถ่ายรถ
- จำนวนผู้รับผิดชอบบุคคลในครัวเรือน
- ความหนาแน่นการจ้างงานของแหล่งงาน
- องค์ประกอบภายในครอบครัว

ตัวแปรที่ส่งผลคลุมเครือ (Ambiguous)

- รายได้ต่อครัวเรือน
- ความหนาแน่นของประชากรในย่านที่พักอาศัย
- ตำแหน่ง CBD ของย่านที่พักอาศัย
- จำนวนคนที่มีงานในครัวเรือน
- อายุของบุคคลในครัวเรือน
- ความเที่ยงตรงในเรื่องเวลาของยานพาหนะขนส่ง
- ความรู้สึกในด้านปลอดภัย ความสะดวกสบาย

ตัวแปรที่ส่งผลไม่มาก (LOW)

- แหล่งงานในบ้าน CBD
- เพศ
- อายุ
- สถานะการทำงานของบุคคลในครัวเรือน ดังระบุใน สหวิทยัม (2536)

5.1 วิธีการวิเคราะห์การเลือกประเภทการขนส่ง Bruton (1975) กล่าวว่า แบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่งเป็นหนึ่งในจำนวนแบบจำลองต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนซึ่งนิยมใช้ในการวางแผนการขนส่ง โดยที่แบบจำลองทั้ง 4 แบบ อันได้แก่ แบบจำลองการเกิดการเดินทาง แบบจำลองการกระจายการเดินทาง แบบจำลองการเลือกประเภทขนส่ง และแบบจำลองการแจกแจงเส้นทางการเดินทาง

การสร้างแบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ วิธีวิเคราะห์รวม (Aggregate Analysis) และวิธีวิเคราะห์แยกย่อย (Disaggregate Analysis) ทั้งสองวิธีนี้มีลักษณะการวิเคราะห์แตกต่างกัน ซึ่งที่เห็นได้ชัดก็คือหน่วยที่ใช้วิเคราะห์พื้นฐาน คือ วิธรรวมใช้ตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ในระดับพื้นที่ย่อย ส่วนวิธีแยกย่อยใช้ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ระดับบุคคล/ครอบครัว

5.1.1 วิธีวิเคราะห์รวม (Aggregate Analysis) โดยใช้ Logit Model การสร้างแบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่งโดยใช้ Logit Model เป็นแบบจำลองที่นำพฤติกรรมการตัดสินใจของกลุ่มคนมาใช้ การตัดสินใจจะเดินทางหรือไม่อย่างไรและโดยรูปแบบไหน โดยจะตัดสินใจเลือกการเดินทางที่ให้รรถประโยชน์แก่ตัวเองสูงที่สุด เมื่อไปถึงจุดหมายปลายทางเท่ากัน การเดินทางที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า ใช้นเวลาการเดินทางน้อยกว่า

สำหรับแบบจำลองประเภทรวมจะขอให้พิจารณาจาก การกระจายการเดินทางหรือการแลกเปลี่ยนถ่ายเทระหว่างพื้นที่ (Interzonal Transfers) เป็นการเชื่อมโยงระหว่างแต่ละเขตพื้นที่ในบริเวณที่ทำการศึกษาว่าสัดส่วนของการเดินทางทั้งหมดของเขตพื้นที่ใด ๆ ก็ตามไปสู่เขตพื้นที่อื่น ๆ เท่าใด โดยยึดหลักการหรือขึ้นอยู่กับความสามารถในการดึงดูดการเดินทางของพื้นที่ปลายทาง และแปรผันกับความห่างหรือระยะทาง (Separation) ซึ่งอาจจะเป็นรูประยะทาง ระยะเวลาการเดินทาง ค่าใช้จ่าย โดยเขียนรูปสมการดังนี้

$$T_{ij}^k = A_i O_i B_j D_j \exp(-\beta C_{ij}^k) \quad (1)$$

โดยที่ T_{ij} = ปริมาณการเดินทางระหว่าง i และ j

A_i, B_j = ค่าคงที่

O_i = ปริมาณการสร้างการเดินทางจาก i

D_j = ปริมาณการดึงดูดการเดินทางสู่ j

C_{ij} = ความต้านทานระหว่าง i และ j

β = พารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่า

k = ประเภทการขนส่ง

สามารถเขียนได้ว่า

$$P_{ij}' = \frac{T_{ij}}{T_j} \quad (2)$$

โดย $P_{ij}' =$ โอกาสที่ผู้เดินทางจะเลือกประเภทขนส่ง

$$P_{ij}' = \frac{\exp(-\beta C_{ij}')}{\sum_k \exp(-\beta C_{ij}^k)} \quad (3)$$

การประมาณค่า β ใน Logit Model ระดับรวม(Aggregate) กำหนดให้มีข้อมูลความต้านทาน C_{ij}^1 และ C_{ij}^2 พร้อมทั้งให้ β เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่าและ δ เป็นค่า Biased สำหรับประเภทการขนส่งใดประเภทหนึ่ง ได้สมการเพื่อประมาณค่า β ดังนี้

$$\ln[P_1 / (1 - P_1)] = \beta(C_2 - C_1) + \beta\delta \quad (4)$$

เป็นรูปสมการเชิงเส้นตรงโดยมี β เป็นความลาดชัน และ $\beta\delta$ ค่าคงที่ δ เป็นค่า Biased สมการเชิงเส้นตรงในรูป Natural Logarithms จะเป็นประโยชน์มากสำหรับการปรับเทียบหรือประมาณค่าพารามิเตอร์ β โดยเฉพาะสำหรับเมื่อมีข้อมูลระดับรวม(Aggregate) ระดับคู่ขนาน การตรวจสอบประสิทธิภาพต้องดู Regression ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

5.1.2 การวิเคราะห์แยกย่อย (Disaggregate Analysis) โดยใช้ Logit Model เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นอาศัยความน่าจะเป็นที่บุคคลจะเลือกรูปแบบการเดินทางที่ให้อรรถประโยชน์ (Utility) สูงสุดซึ่งอรรถประโยชน์จะประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วนคือ ส่วนที่กำหนดได้ชัดเจน (Systematic หรือ Non-Random) และส่วนที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Random)

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (5)$$

โดยที่ $U_{in} =$ อรรถประโยชน์ของการเดินทางโดยยานพาหนะ i

V_{in} = ธรรมดาประโยชน์ส่วนที่เป็น Non - Random

\mathcal{E}_{in} = ธรรมดาประโยชน์ส่วนที่เป็น Random

การตัดสินใจเลือกยานพาหนะหรือรูปแบบการเดินทางจะเลือกขานรูปแบบการเดินทางที่ให้ธรรมดาประโยชน์สูงกว่า ความน่าจะเป็นที่บุคคลใด ๆ (n) จะเลือกเดินทางด้วยรูปแบบการเดินทาง i เมื่อค่าธรรมดาประโยชน์ของทางเลือกที่ i มีค่ามากกว่าค่าธรรมดาประโยชน์ของทางเลือก j

$$U_i \geq U_j$$

โดยที่ P_i = โอกาสที่ผู้เดินทางจะเลือกประเภทการขนส่ง

U_i = ธรรมดาประโยชน์ของ i (Utility)

U_j = ธรรมดาประโยชน์ของ j (Utility)

ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นของผู้ตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทางคนที่ n จะเลือกทางเลือก i ซึ่งให้ค่าธรรมดาประโยชน์สูงสุดในรูปแบบการเดินทางที่มีให้บุคคล n เลือก (M_n) สามารถแทนด้วยสมการดังนี้

$$P_n(i) = \text{Prob} (U_{in} \geq U_{jn}) ; j \in M_n \text{ และ } j \neq i \quad (6)$$

เนื่องจาก $U_{in} = V_{in} + \mathcal{E}_{in}$

และ $U_{jn} = V_{jn} + \mathcal{E}_{jn}$

ดังนั้น $P_n(i) = \text{Prob} (V_{in} + \mathcal{E}_{in} \geq V_{jn} + \mathcal{E}_{jn})$

$$= \text{Prob} (\mathcal{E}_{jn} \leq V_{in} - V_{jn} + \mathcal{E}_{in}) \quad (7)$$

ให้ $f(\mathcal{E}_{1n}, \mathcal{E}_{2n}, \dots, \mathcal{E}_{jn})$ เป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Function) ขององค์ประกอบสุ่ม (Random Component) ได้ความน่าจะเป็นการเลือกรูปแบบการเดินทางประเภทที่ 1

$$P_n(1) = \int_{\varepsilon_{1n}=-\infty}^{\infty} \int_{\varepsilon_{2n}=-\infty}^{V_{1n}-V_{2n}+\varepsilon_{1n}} \dots \int_{\varepsilon_{jn}=-\infty}^{V_{1n}-V_{jn}+\varepsilon_{1n}} f(\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \dots, \varepsilon_{jn}) d\varepsilon_{jn} \dots d\varepsilon_{1n} \quad (8)$$

กำหนดให้ Random Component มีการกระจายแบบ Gumbel ที่เป็นอิสระ จะได้

$$f(\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \dots, \varepsilon_{jn}) = f(\varepsilon_{1n})f(\varepsilon_{2n}) \dots f(\varepsilon_{jn}) \quad (9)$$

จะได้ Probability Density Function : PDF

$$f(\varepsilon) = \exp [-\varepsilon - \exp(-\varepsilon)] \quad (10)$$

จะได้ Cumulative Density Function : CDF

$$F(\varepsilon) = \exp [-\exp(-\varepsilon)] \quad (11)$$

แทน (9) ใน (8)

$$P_n(1) = \int_{\varepsilon_{1n}=-\infty}^{\infty} f(\varepsilon_{1n}) \int_{\varepsilon_{2n}=-\infty}^{V_{1n}-V_{2n}+\varepsilon_{1n}} f(\varepsilon_{2n}) \dots \int_{\varepsilon_{jn}=-\infty}^{V_{1n}-V_{jn}+\varepsilon_{1n}} f(\varepsilon_{jn}) d(\varepsilon_{jn}) \dots (d\varepsilon_{1n}) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} P_n(1) &= \int_{\varepsilon_{1n}=-\infty}^{\infty} f(\varepsilon_{1n}) \times F[V_{1n} - v_{2n} + \varepsilon_{1n}] \times \dots \times F[V_{1n} - v_{jn} + \varepsilon_{1n}] d(\varepsilon_{1n}) \\ &= \int_{\varepsilon_{1n}=-\infty}^{\infty} f(\varepsilon_{1n}) \prod_{j \neq i}^J F[V_{1n} - v_{jn} + \varepsilon_{1n}] d(\varepsilon_{1n}) \end{aligned} \quad (13)$$

หรือเขียนในรูปสมการทั่วไป จะได้

$$P_n(i) = \int_{\varepsilon_{in}=-\infty}^{\infty} f(\varepsilon_{in}) \prod_{j \neq i}^J F[V_{in} - v_{jn} + \varepsilon_{in}] d(\varepsilon_{in}) \quad (14)$$

จากสมการ (10) และ (11) พิจารณาเทอม

$$f(\varepsilon_{in}) \prod_{j \neq i}^J F[V_{in} - v_{jn} + \varepsilon_{in}] = \prod_{j \neq i}^J \exp[-e^{-\varepsilon_{in} - V_{in} + V_{jn}}] \exp[-\varepsilon_{in} - e^{-\varepsilon_{in}}]$$

$$= \exp\left[-\varepsilon_{in} - e^{-\varepsilon_{in}} \left(1 + \sum_{j \neq i}^J \frac{e^{V_{jn}}}{e^{V_{in}}}\right)\right] \quad (15)$$

กำหนดให้

$$\lambda_{in} = \ln\left[1 + \sum_{j \neq i}^J \frac{e^{V_{jn}}}{e^{V_{in}}}\right] = \ln\left[\sum_{j \neq i}^J \frac{e^{V_{jn}}}{e^{V_{in}}}\right]$$

แทนค่า λ_{in} ลงในสมการ (15)

$$f(\varepsilon_{in}) \prod_{j \neq i}^J F[V_{in} - v_{jn} + \varepsilon_{in}] = \exp[-\varepsilon_{in} - e^{-\varepsilon_{in} + \lambda_{in}}]$$

$$= \exp[-\varepsilon_{in} - e^{-(\varepsilon_{in} - \lambda_{in})}] \quad (16)$$

แทนค่าสมการ (16) ใน (14)

$$P_n(i) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-\varepsilon_{in} - e^{-(\varepsilon_{in} - \lambda_{in})}] d(\varepsilon_{in})$$

$$P_n(i) = \exp(-\lambda_{in}) \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-\varepsilon^* - e^{-\varepsilon^*}] d(\varepsilon^*) \quad (17)$$

เมื่อ $\varepsilon^* = \varepsilon_{in} - \lambda_{in}$

$$P_n(i) = \exp(-\lambda_{in}) = \sum_{j \neq i}^J \frac{e^{V_{in}}}{e^{V_{jn}}} \quad (18)$$

สำหรับ Discrete Choice Model จะทราบเพียงแต่ข้อมูลการเลือกประเภทการขนส่ง (Mode Choice) ของผู้เดินทางแต่ละคน สำหรับกรณีประเภทขนส่ง 2 ประเภท ลักษณะข้อมูลจะอยู่ในรูป 0 หรือ 1 นอกจากนี้จะทราบ Attribute หรือคุณสมบัติของประเภทการขนส่ง แต่ละประเภทที่ผู้เดินทางสามารถเลือกใช้ได้ Attributes ต่าง ๆ ได้แก่ ระยะเวลาเฉลี่ยในการเดินทาง ระยะเวลาในการเดินทาง เวลาจอดรถโดยสารประจำทาง และค่าใช้จ่ายในการเดินทาง Attribute ที่เป็นคุณสมบัติของผู้เดินทางเช่น รายได้ อายุ การครอบครองยานพาหนะ เพศ และอาชีพ ข้อมูลข้างต้นจะทำให้สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ β ซึ่งจะนำไปแทนค่าคำนวณหาสัดส่วนการเดินทาง หรือการเลือกประเภท การขนส่งแต่ละประเภทได้ ทั้งนี้เมื่อทราบรูปแบบ หรือ Function การกระจาย หรือ Logit Function

$$P_n(i) = \frac{e^{V_{in}}}{e^{V_{in}} + e^{V_{jn}}} \quad (19)$$

โดยที่ $P_n(i)$ = ความน่าจะเป็นที่คนที่ n เลือกเดินทางด้วยประเภทการขนส่ง i

V_{in} = Utility (อรรถประโยชน์) ส่วนที่เป็น Non - Random ของคนที่ n ที่เลือกเดินทางด้วยประเภทขนส่ง i

i, j = ประเภทการขนส่ง i และ j

Ben-Akiva and Lerman (1985) กล่าวว่า ลักษณะการกระจายของ ϵ_{in} ไม่สามารถประเมินได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์จะพิจารณาที่แยกค่าแตกต่างระหว่าง ประเภทการขนส่ง เช่น V_{in} และ V_{jn} หรือ $(V_{in} - V_{jn})$ และ $(\epsilon_{in} - \epsilon_{jn})$ ซึ่งส่วนประกอบหลังนี้คือค่าการรบกวน (Disturbances) ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของการรบกวนของแต่ละประเภทการขนส่ง i และ j ค่าเฉลี่ยของการรบกวนประเภทการขนส่ง i มีค่าสูงกว่าของ j จึงสามารถกำหนดให้มีค่าคงที่ค่าหนึ่งแทน ผลต่างของค่าเฉลี่ยการรบกวนทั้งสองรวมเป็นตัวแปรเฉพาะตัวแปรหนึ่งเพิ่มเข้าไปใน V_{in} ได้เป็นการเพิ่มตัวแปรค่าคงที่ Alternative Specific Constant ไปรวมกับ Non - Random Component หรือ Systematic Component ซึ่งจะไม่ทำให้การวิเคราะห์ผิดไปค่าคงที่ดังกล่าวนี้จัดเป็นค่า Biased ของการขนส่ง โดยมีรูปแบบสมการ Non - Random Utility ดังนี้

$$V_{in} = \beta_1 x_{in1} + \beta_2 x_{in2} + \dots + \beta_k x_{ink} = \beta' x_{in} \quad (20)$$

$$V_{jn} = \beta_1 x_{jn1} + \beta_2 x_{jn2} + \dots + \beta_k x_{jnk} = \beta' x_{jn} \quad (21)$$

โดย X_{in} = Vector ของ Attribute ของประเภทการขนส่ง i ที่คนที่ n เลือก

X_{jn} = Vector ของ Attribute ของประเภทการขนส่ง j ที่คนที่ n เลือก

β' เป็น vector ของพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณจำนวน k ตัว และกรณีที่มีเพียง 1 Attribute และสมมติไม่มี Alternative Specific Constant ความน่าจะเป็น ในการเลือกประเภทการขนส่งเป็น

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta' x_{in}}}{e^{\beta' x_{in}} + e^{\beta' x_{jn}}} \quad (22)$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธี Maximum Likelihood เป็นการประมาณค่าที่มีประโยชน์มากเมื่อต้องการทราบค่าพารามิเตอร์เป็นค่าเฉพาะไม่ใช่เป็นช่วงเพื่ออธิบายวิธีการ Maximum Likelihood จะใช้ Density Function หนึ่ง ซึ่งพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่าจากประชากร คือ β โดย Density Function ของประชากร มีรูปแบบได้เป็น $f(x, \beta)$ เมื่อให้ n เป็นจำนวนค่าที่สังเกตได้จากประชากรคือ X_1, \dots, X_n ดังนั้น Joint Density ของประชากรและตัวแปรจากการสังเกต มี Function ดังนี้

$$l = f(x_1, \beta) f(x_2, \beta) \dots f(x_n, \beta) \quad (23)$$

ซึ่งเรียกได้ว่า Likelihood Function และ Maximum Likelihood จะหาได้โดยการ Take Partial Derivative “ l ” เทียบกับค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณ และกำหนดให้เท่ากับ 0 แต่เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์มักจะทำการ Take Natural Logarithms Function “ l ” และ Partial Derivative ได้ผลดังนี้

$$\frac{1}{f(x_1, \beta)} \frac{\partial f(x_1, \beta)}{\partial \beta} + \dots + \frac{1}{f(x_n, \beta)} \frac{\partial f(x_n, \beta)}{\partial \beta} = 0 \quad (24)$$

สำหรับการประยุกต์กับการศึกษา Logit Model ในแบบจำลองการเลือกประเภทการ
ขนส่งมีรูปแบบของ Likelihood Function ดังนี้

$$\ell(\beta_1, \dots, \beta_k) = \prod_{n=1}^N P_n(i)^{y_{in}} P_n(j)^{y_{jn}} \quad (25)$$

โดยที่ β = Vector ของพารามิเตอร์ที่ต้องประเมิน

$y_{in} = 1$ หากคนที่ n เลือกประเภทขนส่ง i

0 หากคนที่ n เลือกประเภทขนส่ง j

$P_n(i)$ = ความน่าจะเป็นที่คนที่ n เลือกประเภทขนส่ง i

$P_n(j)$ = ความน่าจะเป็นที่คนที่ n เลือกประเภทขนส่ง j

เมื่อ Take Natural Logarithms จะได้

$$\ell(\beta_1, \dots, \beta_k) = \sum_{n=1}^N [y_{in} \log P_n(i) + y_{jn} \log P_n(j)] \quad (26)$$

โดยที่ k = จำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่า

เมื่อต้องการให้ค่า L สูงสุดจะต้อง Differential ℓ เทียบกับ β และให้สมการ Partial Derivative เท่ากับศูนย์จะได้ค่าพารามิเตอร์ $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ ที่ให้ $L(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ สูงสุด และกรณี Binary Logit Model จะได้ Log Likelihood function ได้ดังนี้

$$L(\beta) = \sum_{n=1}^N \left\{ y_{in} \log \left(\frac{e^{\beta'x_{in}}}{e^{\beta'x_{in}} + e^{\beta'x_{jn}}} \right) + y_{jn} \log \left(\frac{e^{\beta'x_{jn}}}{e^{\beta'x_{in}} + e^{\beta'x_{jn}}} \right) \right\} \quad (27)$$

หากให้ $X_n = X_{in} - X_{jn}$ หรือ $X_{nk} = X_{ink} - X_{jnk}$ สำหรับ $K=1, \dots, K$

$$\text{จะได้ } P_n(i) = \frac{1}{1 + e^{-\beta'X_n}}; P_n(j) = \frac{e^{-\beta'X_n}}{1 + e^{-\beta'X_n}}$$

การประมาณค่า เพื่อหาค่า $L(\beta)$ ที่สูงสุด $\frac{\partial L}{\partial \beta_k}(\beta) = 0$ จะได้

$$\sum_{n=1}^N [y_{in} - P_n(i)] x_{nk} = 0 \quad ,k=1, \dots, k \quad (28)$$

6. การตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

แบบจำลอง Logit จากการประเมินโดยวิธี Log Likelihood Function สามารถตรวจสอบความสามารถในการอธิบายได้จากดัชนี ρ^2 ซึ่งหมายถึง

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\beta)}{L(0)} \quad (29)$$

โดยที่ $\rho^2 = \text{Rho - Square}$

$L(\beta) = \text{Maximum Likelihood}$ เมื่อประมาณได้ค่า β

$L(0) = \text{ค่า Function ของ Log Likelihood}$ เมื่อพารามิเตอร์ทุกค่าที่ประเมินมีค่าเท่ากับศูนย์

ค่าของ ρ^2 จะมีลักษณะใกล้เคียงกับนิยามของ Coefficient of Determination (R^2) ซึ่งหากมีค่าเข้าใกล้ 1 จะดีที่สุด และมีค่าใกล้ 0 จะมีความหมายตรงกันข้ามคือ อธิบายความแปรปรวนไม่ได้ดี ในกรณีสำหรับ ρ^2 จำเป็นต้องพิจารณาสัดส่วนของการเลือกประเภทการขนส่งในความเป็นจริงอีกด้วย นั่นคือ ρ^2 ค่าสูง ๆ จะไม่ดีเสมอไป อาจจะไม่เหมาะสมก็เป็นได้ เช่น จากแบบจำลองที่ให้ค่า $\rho^2 = 0.55$ ภายใต้สภาพการแบ่งสัดส่วนการเลือกประเภทการขนส่ง 2 ประเภทเป็น 0.9 / 0.1 กล่าวได้ว่าประสิทธิภาพด้อยกว่าแบบจำลองที่ให้ค่า ρ^2 เพียง 0.25 ก็เป็นได้ หากกรณีหลังมีสภาพการเลือกประเภทการขนส่งแบ่งได้เป็นสัดส่วนเท่า ๆ กัน การเปรียบเทียบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 ซึ่งเป็นตารางที่ใช้ในการตรวจสอบแบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่ง และมีการเลือกเกิดขึ้นจริงในสนามการสำรวจข้อมูล

กรณีในแบบจำลองที่มี Alternative - Specific Constant การเปรียบเทียบแบบจำลองที่มีความแตกต่างในเรื่องของสัดส่วนดังกล่าวข้างต้น จำเป็นต้องปรับการคำนวณค่า ρ^2 ใหม่ เพื่อให้สมการเทียบกันได้ โดยพิจารณาจาก

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\beta)}{L(c)} \quad (30)$$

โดยที่ $L(C) = \text{Log Likelihood Function}$ เมื่อมีเฉพาะ Alternative Specific Constant

ซึ่งเป็นการปรับตามจำนวนตัวแปรที่อยู่ในสมการเพื่อให้สมการสามารถเปรียบเทียบกันได้ในระดับจำนวนตัวแปร หรือ Attribute ที่ใช้ในสมการที่ไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามการใช้ค่าเป็นดัชนีในการตรวจสอบอาจกล่าวได้ว่า เป็นการตรวจสอบในเชิงภาพรวม หรือเบื้องต้นเท่านั้นโดยข้อเท็จจริงจำเป็นต้องตรวจสอบสมมติฐานทางสถิติ คือค่าสถิติ $-2[L(0)-L(\beta)]$ และ $-2[L(c)-L(\beta)]$

$$\text{กรณี } -2 [L(0) - L(\beta)]$$

จะทดสอบ Null Hypothesis ด้วยการกระจายแบบ X^2 เมื่อมี Degree of Freedom เท่ากับ K โดย H_0 : ตัวพารามิเตอร์ทุกตัวแปรเป็นศูนย์ ณ ระดับนัยสำคัญที่กำหนด เช่น $\alpha = 0.05$

$$\text{กรณี } -2 [L(C) - L(\beta)]$$

จะทดสอบ Null Hypothesis ด้วยการกระจายแบบ X^2 เมื่อมี Degree of Freedom เท่ากับ $K - 1$ โดย H_0 : ตัวพารามิเตอร์ทุกตัวนอกเหนือจาก Alternative - Specific Constant เป็นศูนย์ ณ ระดับนัยสำคัญที่กำหนด

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีที่ใช้ตรวจสอบแบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่ง

| สัดส่วนในการที่ผู้เดินทางเลือกประเภทการขนส่งที่ 1 | ค่าต่ำสุดของ ρ^2 |
|---|-----------------------|
| 0.50 | 0.00 |
| 0.60 | 0.03 |
| 0.70 | 0.12 |
| 0.80 | 0.28 |
| 0.95 | 0.53 |
| 0.95 | 0.71 |

ที่มา : Ortuzar and Willumsen (1990)

6.1 การทดสอบนัยสำคัญของการมีค่าพารามิเตอร์ เป็นการทดสอบว่าตัวแปรที่นำเข้ามาพิจารณาในการสร้างแบบจำลอง มีความสำคัญหรือมีอิทธิพลต่อแบบจำลองหรือไม่ โดยใช้ค่าสถิติการทดสอบ t-test ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบคือ

$$t_{n-k, \frac{\alpha}{2}} = \frac{\beta_i}{\sqrt{\text{VAR}(\beta_i)}} \quad (31)$$

โดยที่ $t_{n-k, \alpha/2}$ = ค่า t-value ที่ระดับความเชื่อมั่น $(1-\alpha)$

β_i = ค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณขึ้น

$\text{VAR}(\beta_i)$ = ค่าความแปรปรวนของ β_i ซึ่งจาก Cramer Rao Theorem

จะได้
$$\text{VAR}(\beta_i) = \frac{\partial^2 L(\beta)}{\partial^2 \beta_i^2}$$

n = จำนวนข้อมูลที่ใส่ประมาณค่า

k = Degree of Freedom ที่เสียไป จะมีค่าเท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ที่นำมาประมาณค่า

การทดสอบทำโดยตั้งสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ว่า $H_0 : \beta_1=0$ โดยจะไม่ยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \beta_1= 0$ หรือตัวแปรนั้นมีอิทธิพลต่อแบบจำลองที่ระดับความเชื่อมั่น $(1-\alpha)$ ที่ 90% และ 95% เมื่อค่า t-value มากกว่าหรือเท่ากับ 1.282 และ 1.645 ตามลำดับ

7. วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Regression Analysis)

การวิเคราะห์แบบถดถอยเป็นวิธีการใช้หลักกำลังสองน้อยที่สุด (Least square) เพื่อให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent Variable) และตัวแปรอิสระ (Independent Variable) การวิเคราะห์จะกำหนดให้ฟังก์ชันของค่าเฉลี่ยเป็นเส้นตรงเรียกว่า การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ถ้าหากไม่เป็นเส้นตรง เรียกว่า การถดถอยไม่เป็นเส้นตรง

การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) เป็นวิธีทางสถิติ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ 1 ตัว รูปแบบของสมการโดยทั่ว คือ

$$\hat{y}_i = \hat{a} + b\hat{x} \quad (32)$$

โดยที่ \hat{y}_i = ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

\hat{x} = ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

\hat{a}, \hat{b} = ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของการถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุเชิงเส้นตรง (Multiple Linear Regression Analysis) เป็นการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ทั่วไปในคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\hat{y}_i = a + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \quad (33)$$

โดยที่ \hat{y}_i = ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

x_1, \dots, x_n = ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

a = ค่าคงที่ (Constant)

a_1, \dots, a_n = สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression Coefficient)

เมื่อทราบค่า \hat{y}_i เรียบร้อยแล้ว การตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการถดถอยนี้ สามารถกระทำโดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination, R^2)

จากสูตร $R^2 = \frac{\text{ความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้}}{\text{ความแปรปรวนทั้งหมด}}$

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (34)$$

หากค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1.0 หรือ 100 % เรียกได้ว่า สมการถดถอยเชิงเส้นตรงนั้น ๆ สามารถอธิบายความแปรปรวนของเหตุการณ์ได้สูงเข้าใกล้ 100 %

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการเดินทางและการเลือกรูปแบบการเดินทาง

Ben-Akiva (1985) ได้พัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางของเมือง Washington, D.C โดยใช้ Logit Model ตัวแปรในแบบจำลองประกอบด้วยเวลาการเดินทางในยานพาหนะ เวลาการเดินทางนอกยานพาหนะ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของระบบสาธารณะ การครอบครองยานพาหนะหรือการเป็นเจ้าของยานพาหนะ พื้นที่ย่านธุรกิจหลักของเมือง และค่าใช้จ่ายและผู้ใช้รถยนต์ โดยใช้ตัวอย่างในการสร้างแบบจำลองการเลือกรูปแบบการขนส่ง จำนวน 1476 การเดินทาง (Trip) ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แบบจำลอง Binary logit Model ของเมือง Washington, D.C

| ลำดับตัวแปร | ตัวแปร | สัมประสิทธิ์ |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|
| 1. | ค่าคงที่ | 1.45 |
| 2. | เวลาการเดินทางในรถ (นาที) | - 0.0089 |
| 3. | เวลาการเดินทางภายนอกรถ (นาที) | - 0.0303 |
| 4. | ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถ | - 0.0115 |
| 5. | ค่าโดยสารของระบบขนส่งสาธารณะ | - 0.00708 |
| 6. | การครอบครองยานพาหนะ | - 0.770 |
| 7. | พื้นที่ในย่านธุรกิจ | - 0.561 |
| L(0) = -1023 | | |
| L(β) = -347.4 | | |
| -2[L(0)-L(β)] = 1371.1 | | |
| $\rho^2 = 0.660$ | | |

ที่มา : Ben-Akiva (1985)

JICA (1990) ได้ทำการศึกษาสภาพการเดินทางของประชากรในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่ย่อย 108 พื้นที่ย่อย ตัวอย่างในการสำรวจข้อมูล 15,053 ครัวเรือน จำนวนประชากรที่สำรวจ 48,593 คน ครัวเรือนที่มีรถยนต์ส่วนบุคคล 4,291 ครัวเรือน และไม่มีรถยนต์ส่วนบุคคล 10,762 ครัวเรือน มีจำนวนการเดินทาง 86,075 การเดินทาง

ผลการสำรวจและรวบรวมข้อมูลพบว่าการเดินทางในปี พ.ศ. 2535 จะมีการเดินทางทั้งหมดประมาณ 12,236,710 เที่ยวต่อวัน เฉพาะการเดินทางในเขตกรุงเทพมหานคร และเมื่อรวมปริมณฑลจะมีความต้องการเดินทาง 19,054,701 เที่ยวต่อวัน ในปี พ.ศ. 2548 คาดว่าความต้องการเดินทางของประชากรในกรุงเทพมหานครจะเป็น 16,669,884 เที่ยวต่อวัน ซึ่งเมื่อรวมกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจะมีการเดินทาง 25,703,504 เที่ยวต่อวัน

ผลการศึกษาลักษณะของการใช้ยานพาหนะในการเดินทางของประชากรในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลปรากฏว่าประชากร เดินทางโดยรถประจำทางคิดเป็นร้อยละ 32.7 รถยนต์ส่วนบุคคลคิดเป็นร้อยละ 27.4 เดินทางโดยรถจักรยานยนต์ร้อยละ 15.6 เดินทางโดยรถแท็กซี่คิดเป็นร้อยละ 8.3 เดินทางด้วยเท้าคิดเป็นร้อยละ 15.2 และเดินทางโดยรูปแบบอื่น ๆ ร้อยละ 0.9 จากการศึกษาพบว่าหากภาครัฐบาล จัดให้มีการก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ จะทำให้กลุ่มผู้ใช้รถประจำทาง กลุ่มผู้ใช้รถยนต์ส่วนบุคคลและกลุ่มผู้ใช้รถแท็กซี่ ซึ่งคิดรวมเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 64.80 ของจำนวนการเดินทางทั้งหมด

JICA ได้พัฒนาแบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่งโดยใช้ Logit Model ตัวแปรที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองประกอบด้วย 3 ตัวแปร คือ ส่วนต่างของระยะเวลาการเดินทาง (Time Difference) ส่วนต่างค่าใช้จ่ายในการเดินทาง (Cost Difference) และจำนวนการเปลี่ยนถ่ายรถในระบบขนส่งสาธารณะ (Number of Transfers in Public) มีรูปแบบของแบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่ง ดังนี้

$$p = 1 / (1 + \exp (A + B\Delta T + C\Delta C + D.N))$$

โดยที่ p = สัดส่วนการเลือกเดินทางด้วยรถส่วนบุคคล

ΔT = ส่วนต่างของเวลาการเดินทาง(รถสาธารณะ - รถส่วนบุคคล) นาที

ΔC = ส่วนต่างของค่าใช้จ่ายการเดินทาง นาที

N = เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนถ่ายระบบขนส่งสาธารณะ

A,B,C และ D = สัมประสิทธิ์

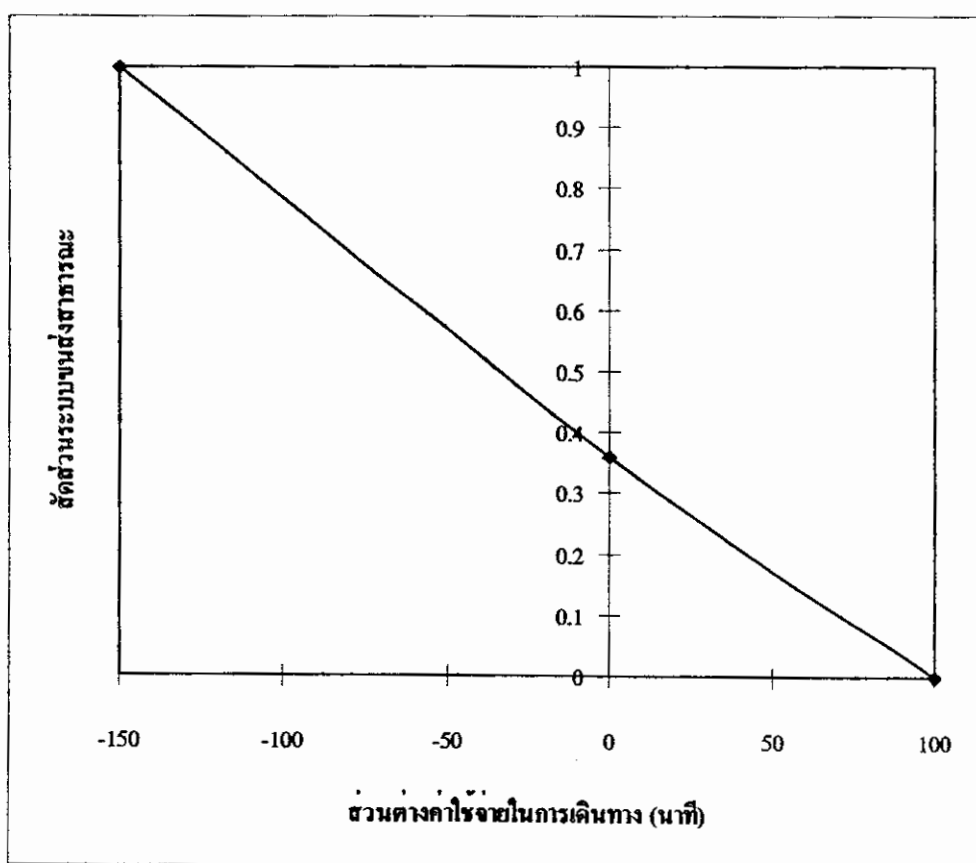
ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่งในกรุงเทพมหานคร

| มียานพาหนะครอบครอง | A | B | C | D |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| ไปทำงาน | -1.689 | -0.073 | -0.120 | 0.215 |
| ไปโรงเรียน | -0.703 | -0.162 | -0.382 | |
| ไปทำธุรกิจ | -2.601 | -0.008 | -0.169 | -0.701 |
| ไปทำกิจกรรมส่วนตัว | -1.103 | -0.093 | -0.302 | -0.254 |
| ไม่มียานพาหนะครอบครอง | A | B | C | D |
| ไปทำงาน | 1.148 | -0.092 | -0.284 | - |
| ไปโรงเรียน | 2.264 | -0.056 | -0.366 | - |
| ไปทำธุรกิจ | -1.101 | -0.010 | -0.165 | - |
| ไปทำกิจกรรมส่วนตัว | 1.378 | -0.046 | -0.114 | - |

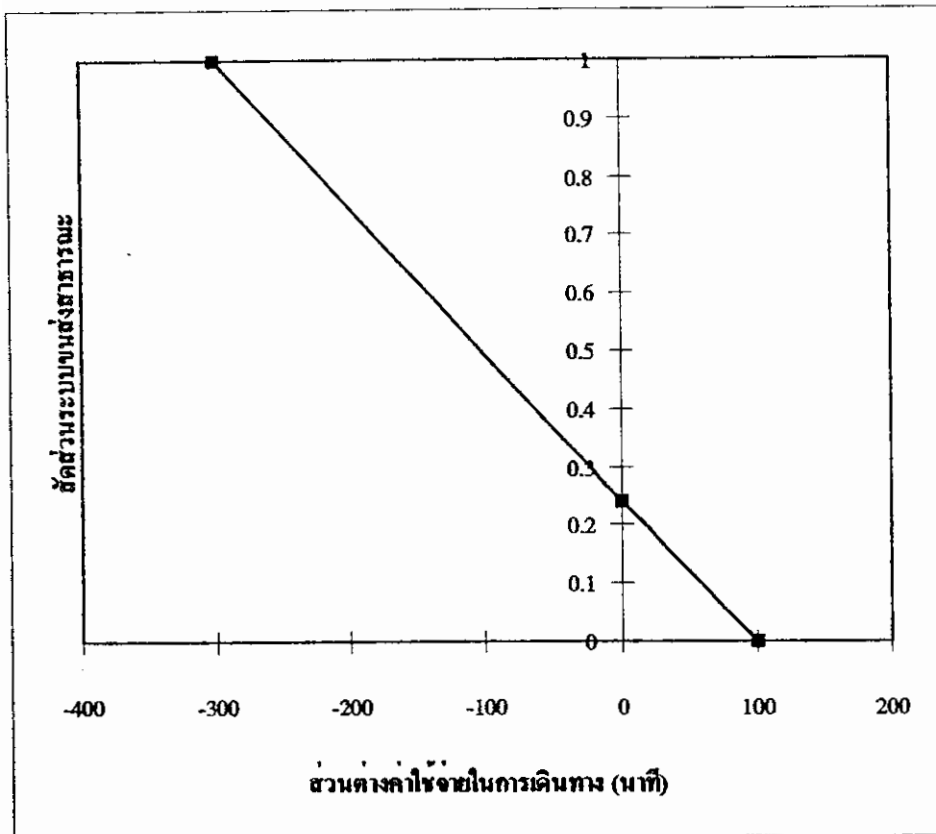
ที่มา : JICA (1990)

Bangkok Transport System (1991) ได้พัฒนาแบบจำลองการเลือกรูปแบบการขนส่งจากข้อมูล JICA (1990) โดยใช้ Binary logit ตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติในแบบจำลองประกอบด้วยตัวแปรบริการระบบขนส่ง ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการเดินทางที่แตกต่างกันระหว่างยานพาหนะแต่ละชนิด จำนวนครั้งในการเปลี่ยนยานพาหนะและระยะเวลาในการเดินทาง นอกจากนี้ยังมีตัวแปรทางเศรษฐกิจ

และสังคม ได้แก่ จำนวนในแต่ละครัวเรือนและรายได้ต่อครัวเรือน การศึกษาการเลือกรูปแบบในการเดินทางได้กำหนดร้อยละการใช้ระบบขนส่งสาธารณะเมื่อผลต่างของค่าใช้จ่ายในการเดินทางในรูปของเวลาเป็นนати โดยแยกการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ บริเวณเขตระบบรถไฟฟ้าผ่านและบริเวณนอกเขตอิทธิพลรถไฟฟ้า ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6 จากผลการศึกษาพื้นที่อิทธิพลรถไฟฟ้าพบว่า หากค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากันระหว่างระบบขนส่งสาธารณะกับรถส่วนบุคคล ประชากรจะเลือกใช้ระบบขนส่งสาธารณะประมาณร้อยละ 36 และนอกบริเวณอิทธิพลประมาณร้อยละ 25 จากการศึกษาแสดงว่าหากผลต่างค่าใช้จ่ายในการเดินทางมีค่าติดลบมากขึ้น ประชากรจะหันมาใช้ระบบขนส่งสาธารณะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5 แบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่งของกรุงเทพมหานครบริเวณพื้นที่อิทธิพลรถไฟฟ้า
ที่มา : Bangkok Transport System (1991)



ภาพที่ 6 แบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่งของกรุงเทพมหานครนอกบริเวณอิทธิพลรถไฟฟ้า
ที่มา : Bangkok Transport System (1991)

สุทธิพงษ์ (2536) ได้ทำการศึกษาประยุกต์แบบจำลอง Logit ในขั้นตอนการเลือกยานพาหนะเดินทางสำหรับเขตฝั่งเมืองรวมเมืองเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ร่วมกับสำนักงานพลังงานแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2530 ที่ทำการสัมภาษณ์รายครัวเรือน ซึ่งเป็นข้อมูลทางเศรษฐกิจและสังคมของครัวเรือน และลักษณะการเดินทางของบุคคลในครัวเรือนในวันทำงานจำนวน 1,039 ครัวเรือน คิดเป็นประมาณร้อยละ 2.5 ของครัวเรือนทั้งหมด พื้นที่ศึกษาใช้พื้นที่เขตฝั่งเมืองรวมเชียงใหม่ที่ประกาศกฎกระทรวงฉบับที่ 7 พ.ศ. 2527 รวมพื้นที่ประมาณ 104 ตารางกิโลเมตร แบ่งพื้นที่ย่อยออกเป็น 77 พื้นที่ย่อย ได้ทำการตัดข้อมูลบางส่วนที่ไม่สมบูรณ์ออกเหลือข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองจำนวนเที่ยวการเดินทาง 4,641 เที่ยว ผลการศึกษาการเลือกยานพาหนะในการเดินทาง

ตารางที่ 7 การเลือกยานพาหนะในการเดินทางในเมืองเชียงใหม่

| ประเภทยานพาหนะ | จำนวนการเดินทาง | ร้อยละ |
|------------------|-----------------|--------|
| รถโดยสารประจำทาง | 187 | 6.71 |
| รถโดยสารขนาดเล็ก | 375 | 13.46 |
| รถจักรยานยนต์ | 1348 | 48.40 |
| รถนั่งส่วนบุคคล | 586 | 21.04 |
| การเดิน | 289 | 10.38 |
| รวม | 2785 | 100.00 |

ที่มา : สุทธิพงษ์ (2536)

สุทธิพงษ์ (2536) ได้พัฒนาแบบจำลองการเลือกประเภทขนส่ง โดยใช้ Logit Model ตัวแปรที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองประกอบด้วย เวลาการเดินทางในยานพาหนะ เวลาการเดินทางนอกยานพาหนะ เวลาการเดินทางทั้งหมด ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง รายได้เฉลี่ยต่อครัวเรือนและสถานะในครอบครัว ได้แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางเมืองเชียงใหม่แสดงดังตารางที่ 8 และจากแบบจำลองพบว่าข้อมูลที่มีอิทธิพลต่อการเลือกรูปแบบการเดินทาง ประกอบด้วย

1. ข้อมูลที่เกี่ยวกับระดับการบริการระบบการขนส่ง ได้แก่ เวลาการเดินทาง เวลาจอด ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ค่าครองชีพความสามารถเข้าถึงพื้นที่ย่อยของรถประจำทาง จุดหมายปลายทางของการเดินทาง และระยะทางที่ใช้ในการเดินทาง

2. ข้อมูลสภาพเศรษฐกิจและสังคมของผู้เดินทาง ได้แก่ ความเป็นเจ้าของยานพาหนะ รายได้ของครัวเรือน สถานะภาพการทำงาน ระดับการศึกษา เพศ และสถานะในครัวเรือน

ตารางที่ 8 แบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่งของเมืองเชียงใหม่

| ลำดับ | ตัวแปร | ค่าสัมประสิทธิ์ | t-Value |
|-------|--|-----------------|---------|
| 1 | ค่าคงที่ของผู้เดินทางด้วยรถโดยสารขนาดเล็ก | 3.9865 | 9.3478 |
| 2 | เวลาการเดินทางนอกยานพาหนะ | -0.2042 | -6.5115 |
| 3 | เวลาการเดินทางในยานพาหนะ | -0.0553 | -3.0497 |
| 4 | ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง | -0.6136 | -8.1791 |
| 5 | ค่าครองชีพความสามารถเข้าถึงบริเวณถนนทางแพ ของรถโดยสารขนาดเล็ก | -0.9482 | -3.7080 |
| 6 | รายได้ของครัวเรือนที่เดินทางด้วยรถโดยสารขนาดเล็ก | -0.2112 | -2.7618 |
| 7 | สถานะในครัวเรือนของผู้เดินทางด้วยรถโดยสารขนาดเล็ก | 1.3215 | 2.1646 |
| | ค่าดัชนีสัดส่วนของ Likelihood (ρ^2) | | 0.5078 |
| | ค่าการตรวจสอบความถูกต้องโดยรวม | | 81.29% |

ที่มา : สุทธิพงษ์ (2536)

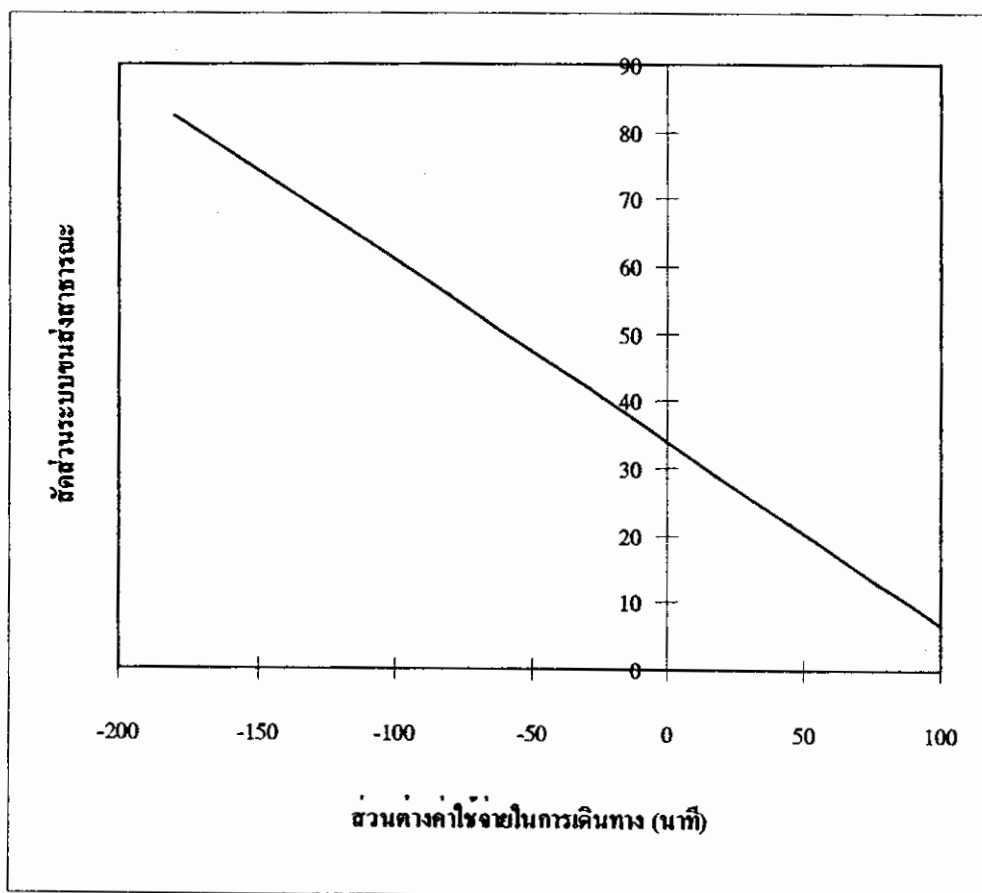
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2541) ได้ศึกษาการจัดทำตัวแบบการจักระบบการจราจรและการขนส่งเมืองภูมิภาค ระยะที่ 3 (จังหวัดราชบุรี) พื้นที่ศึกษาจะอยู่ในเขตผังเมืองรวมราชบุรีมีพื้นที่รวม 37.2 ตารางกิโลเมตรได้แบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่ย่อย 58 พื้นที่ย่อย โดยสัมภาษณ์การเดินทางรายครัวเรือนทั้งสิ้น 1,251 ตัวอย่างคิดประมาณร้อยละ 5 ของจำนวนครัวเรือนในพื้นที่ศึกษาซึ่งมีจำนวน 22,190 ครัวเรือน มีจำนวนประชากรในเขตผังเมืองรวม 88,796 คน

ผลการศึกษาด้านการเดินทาง จำนวนเที่ยวในการเดินทาง 156,250 เที่ยว/วัน คาดการณ์จำนวนเที่ยวในการเดินทาง ปี 2541 จำนวน 169,675 เที่ยว/วัน และคาดการณ์จำนวนเที่ยวในการเดินทาง ปี 2549 จำนวนเดินทาง 183,100 เที่ยว/วัน มีอัตราการเดินทางโดยเฉลี่ย 1.76 เที่ยว/วัน รูปแบบการเลือกการเดินทาง มีการเดินด้วยเท้าร้อยละ 25.00 โดยรถสาธารณะร้อยละ 6.00 และรถส่วนบุคคลร้อยละ 69.10

แบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่งในเมืองราชบุรีใช้ตัวแปรค่าใช้จ่ายในการเดินทางแปลงออกมารูปของเวลาเป็นนาที โดยตัวแปรหลักจะใช้ส่วนต่างระหว่างค่าใช้จ่ายในการเดินทางของผู้เดินทางที่เลือกใช้การเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะกับค่าใช้จ่ายของผู้เดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลตัวแปรตามเป็นสัดส่วนการเลือกเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะจะได้สมการดังนี้

$$\% \text{ ระบบขนส่งสาธารณะ} = 33.8 - 0.27 (\text{ส่วนต่างค่าใช้จ่ายในการเดินทาง})$$

$$R^2 = 0.87$$



ภาพที่ 7 แบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่งของเมืองราชบุรี

ที่มา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2541)