# บทที่ 3
# วิธีการศึกษา

## 3.1 ประเภทของข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษา

ตามที่ได้กล่าวถึงในส่วนของการทบทวนผลงานที่ผ่านมาแล้วว่า ประเภทของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการหาค่าความยืดหยุ่นของความต้องการในการเดินทางมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ ข้อมูลประเภทกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental) และข้อมูลประเภทที่ไม่ได้มาจากการทดลอง (Non-Experimental) ซึ่งการใช้ข้อมูลทั้ง 2 ประเภทต่างก็มีข้อดีและข้อด้อยต่างกัน การตัดสินใจว่าจะเลือกใช้ข้อมูลประเภทใดในการศึกษาจึงต้องพิจารณาประเภทของข้อมูลที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่จะทำการศึกษาให้มากที่สุด ตารางที่ 3.1 แสดงถึงข้อดีและข้อด้อยของข้อมูลในแต่ละประเภท

**ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยระหว่างข้อมูลประเภทกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental) และข้อมูลที่ไม่ได้มาจากการทดลอง (Non-Experimental)**

| ประเภทของข้อมูล | ข้อดี | ข้อด้อย |
|---|---|---|
| **Quasi-Experimental** | • เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการเปลี่ยนแปลงการให้บริการจริง<br>• มีความน่าเชื่อถือค่อนข้างสูง | • ยากในการควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน<br>• มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง<br>• การเปลี่ยนแปลงที่สนใจไม่ได้เกิดขึ้นบ่อยครั้งนัก |
| **Non-Experimental** | | |
| Time-Series | • มีความน่าเชื่อถือสูง<br>• เป็นการศึกษาจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง | • จะต้องระมัดระวังอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่จะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา<br>• ลักษณะของข้อมูลที่ได้อาจจะมีความละเอียดไม่เพียงพอ |
| Cross-Sectional (Revealed Preference) | • เป็นการสัมภาษณ์ผู้เดินทางจากสถานการณ์ที่ผู้เดินทางได้ประสบมาจริง<br>• มีความน่าเชื่อถือสูงกว่าข้อมูล Stated Preference<br>• ไม่มีผลกระทบในเรื่องแนวโน้ม | • ไม่มีอิสระในการกำหนดตัวแปรเท่ากับวิธี Stated Preference<br>• ไม่สามารถทำการศึกษาถึงระบบที่ยังไม่เปิดให้ใช้บริการได้ |

**ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยระหว่างข้อมูลประเภทกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental) และข้อมูลที่ไม่ได้มาจากการทดลอง (Non-Experimental) (ต่อ)**

| ประเภทของข้อมูล | ข้อดี | ข้อด้อย |
|---|---|---|
| Cross-Sectional (Stated Preference) | • ผู้วิจัยมีอิสระในการกำหนดตัวแปรที่จะทำการศึกษา<br>• สามารถควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนได้ดี<br>• เนื่องจากเป็นเหตุการณ์สมมติ จึงสามารถเก็บข้อมูลได้มากกว่าหนึ่งข้อมูลจากผู้เดินทางหนึ่งคน<br>• ไม่มีผลกระทบจากแนวโน้มของระยะเวลา<br>• ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูล | • ความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้น้อยกว่าวิธี Reveal Preference<br>• การตอบสนองของผู้เดินทางต่อสถานการณ์สมมติอาจจะไม่ได้เป็นอย่างที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จริง |

ผลงานในอดีตที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่า การใช้ข้อมูลในแบบกึ่งทดลองนั้นมีจุดอ่อนที่สำคัญคือการควบคุมปัจจัยภายนอกทำได้ลำบาก จึงทำให้ขอบเขตของงานวิจัยต้องอยู่ภายใต้สมมติฐานว่าไม่มีผลกระทบจากปัจจัยภายนอกหรือต้องสร้างตัวแปรเพิ่มเติมเพื่อเป็นตัวแทนของปัจจัยภายนอกต่างๆ เหล่านั้น ดังเช่นงานวิจัยของ Yamploy (1987) ซึ่งได้ทำการศึกษาค่าความยืดหยุ่นของผู้เดินทางในระบบรถโดยสารประจำทางในกรุงเทพมหานคร ในงานวิจัยดังกล่าวใช้ข้อมูลแบบ Time-Series ในการสร้างฟังก์ชันความต้องการแล้วหาค่าความยืดหยุ่นจากฟังก์ชันความต้องการที่หาได้ โดยผลการวิจัยออกมาว่า ค่าความยืดหยุ่นของความต้องการที่มีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงราคาค่าโดยสารมีค่าเท่ากับ -0.62 แต่จุดที่น่าสนใจคือในงานวิจัยดังกล่าวไม่ได้พิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอกระบบรถโดยสารประจำทาง เช่น แนวโน้มของระบบขนส่งสาธารณะประเภทอื่นเป็นต้น ซึ่งอาจทำให้ค่าความยืดหยุ่นที่หาได้มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตัวแปรแทรกซ้อนที่เป็นปัจจัยภายนอก

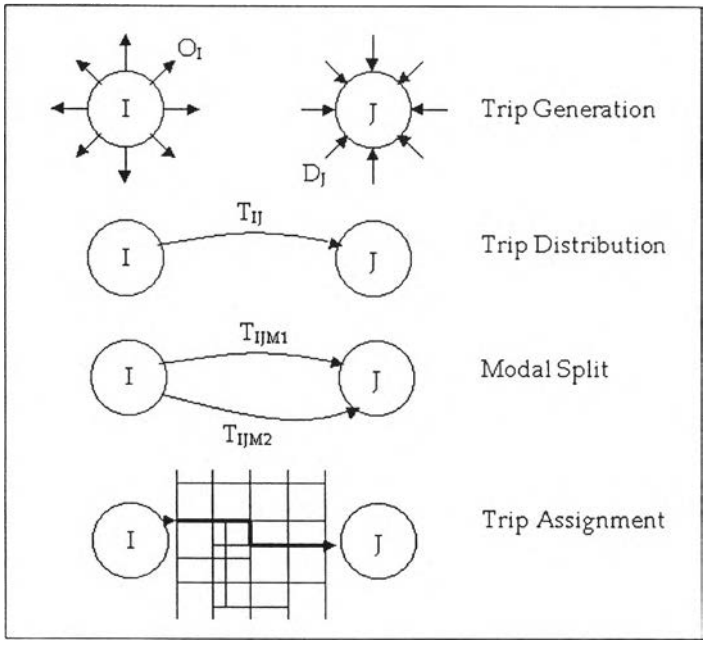
จากผลงานการวิจัยที่ผ่านมาดังที่ได้สรุปไว้ในบทที่ 2 จะสังเกตได้ว่า การศึกษาค่าความยืดหยุ่นของความต้องการในการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะในต่างประเทศนั้น มักจะนิยมใช้ข้อมูลในแนวลึก (Time Series Data) ในการนำมาวิเคราะห์ โดยจะต้องอาศัยระยะเวลาในการเก็บข้อมูล และเสียค่าใช้จ่ายในการวิจัยค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาถึงข้อดีและข้อด้อยรวมถึงความเหมาะสมในปัจจัยต่างๆแล้ว จึงเลือกที่จะใช้วิธีการวิเคราะห์หาค่าความยืดหยุ่นจากแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Mode Choice Model) ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมโดยใช้เทคนิควิธีการแบบ Stated Preference ซึ่งแม้ว่าจะมีข้อด้อยอยู่บ้างในส่วนของความน่าเชื่อถือของผลการสำรวจที่เป็นการตอบสนองต่อเหตุการณ์สมมติของผู้เดินทาง แต่ข้อมูลประเภทดังกล่าวมี

ข้อดีที่สำคัญคือ ผู้วิจัยมีอิสระในการกำหนดตัวแปรต่างๆ และสามารถที่จะควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนได้ รวมถึงข้อได้เปรียบในการศึกษาระดับแยกย่อยและการศึกษาในเรื่องของค่าความยืดหยุ่นที่มีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรในระบบขนส่งสาธารณะอื่นภายนอกดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

## 3.2 แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Mode Choice Model)

แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง เป็นขั้นตอนหนึ่งในจำนวน 4 ขั้นตอนของแบบจำลองต่อเนื่อง (Sequential 4-step Model) ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์หาสัดส่วนการกระจายของปริมาณการเดินทางออกตามรูปแบบการเดินทางแต่ละประเภท โดยในการวิเคราะห์จะคำนึงถึงตัวแปรในลักษณะต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทางของผู้เดินทาง อันได้แก่

- ลักษณะต่างๆ ของการเดินทาง เช่น จุดประสงค์ในการเดินทาง ความยาวนานในการเดินทาง ช่วงเวลาของวันที่เดินทาง หรือลักษณะพื้นที่ที่เกิดการเดินทางเป็นต้น
- ลักษณะต่างๆ ของผู้เดินทาง เช่น รายได้ ลักษณะการครอบครองรถยนต์ส่วนบุคคล ความหนาแน่นของบริเวณที่อยู่อาศัย หรือระยะทางระหว่างบ้านกับศูนย์กลางย่านธุรกิจเป็นต้น
- ลักษณะต่างๆ ของรูปแบบการเดินทาง เช่น ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ความสามารถในการเข้าถึง เวลาที่ใช้เดิน เวลารอคอย เวลาที่ใช้ในการเดินทางบนยานพาหนะเป็นต้น




**รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในแบบจำลองต่อเนื่อง**

**ที่มา: Meyer and Miller (1984)**

วิธีการที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการใหญ่ ๆ ได้แก่

1) วิธีการวิเคราะห์ในระดับรวม (Aggregate Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์โดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของการใช้รูปแบบการเดินทาง กับตัวแปรจำนวนยวดยานต่อประชากร ซึ่งเป็นวิธีที่พิจารณาถึงพฤติกรรมในระดับพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ย่อยมาทำนายถึงพฤติกรรมการเลือกรูปแบบการเดินทาง

2) วิธีการวิเคราะห์ในระดับแยกย่อย (Disaggregate Analysis) ซึ่งเป็นวิธีการที่นำเอาพฤติกรรมการตัดสินใจของคนมาเป็นพื้นฐาน โดยคนจะตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทางที่ให้อรรถประโยชน์แก่ตนเองมากที่สุด วิธีนี้เป็นวิธีการที่จะนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีในหัวข้อต่อไป

### 3.2.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์การเลือกรูปแบบการเดินทางในระดับแยกย่อย

แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางที่สร้างขึ้นจะใช้รูปแบบของแบบจำลองประเภท Logit ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีอรรถประโยชน์ที่คำนึงถึงความไม่แน่นอน (Random Utility) โดยมีสมมติฐานว่า ผู้เดินทางจะเลือกรูปแบบการเดินทางที่ก่อให้เกิดความพึงพอใจสูงสุด โดยความพึงพอใจที่ผู้เดินทางได้รับนั้นจะสามารถวัดได้ด้วยฟังก์ชันความพึงพอใจ (Utility Function) ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนของความพึงพอใจที่สามารถวัดได้ (Systematic Components) และส่วนที่เป็นความไม่แน่นอน (Random Components) ดังแสดงในสมการ

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \qquad (3.1)$$

โดยที่ $U_{in}$ = ความพึงพอใจที่ผู้เดินทางคนที่ $n$ จะได้รับจากการตัดสินใจเลือกเดินทางด้วยรูปแบบการเดินทาง $i$

$V_{in}$ = ส่วนของความพึงพอใจที่สามารถวัดได้

$\varepsilon_{in}$ = ส่วนที่เป็นความไม่แน่นอน

ส่วนของความพึงพอใจที่สามารถวัดได้นั้น มักจะกำหนดให้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรที่สะท้อนถึงลักษณะของการบริการที่ได้รับจากรูปแบบการเดินทาง (เช่นเวลาในการรอคอย เวลาที่ใช้ในการเดินทาง หรือค่าใช้จ่ายเป็นต้น) และตัวแปรที่เป็นลักษณะเฉพาะของผู้เดินทาง (เช่นรายได้ เพศ และอายุเป็นต้น) ดังแสดงในสมการที่ 3.2

$$V_{in} = \beta_0 + \beta_1 x_{in1} + \beta_2 x_{in2} + ... + \beta_k x_{ink} \quad (3.2)$$

โดยที่ $\beta_k$ = สัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรตัวที่ $k$ ที่มีต่อระดับความพึงพอใจ

$x_{ink}$ = ตัวแปรตัวที่ $k$ ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อความพึงพอใจที่ผู้เดินทางคนที่ $n$ จะได้รับจากการเลือกรูปแบบการเดินทาง $i$

ความพึงพอใจในส่วนที่เป็นความไม่แน่นอน ซึ่งไม่สามารถวัดได้นั้น พอจะสรุปได้ว่าเกิดขึ้นจากสาเหตุหลัก 4 ประการ (Ben-Akiva and Lerman, 1985) ได้แก่

- ผลจากการที่ไม่สามารถจะนำตัวแปรทุกตัวที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทางของผู้เดินทางเข้ามาพิจารณาได้ทั้งหมด
- ทัศนคติของผู้เดินทางที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละบุคคล
- ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการสำรวจข้อมูล
- ความไม่เที่ยงตรงของเครื่องมือที่นำมาใช้ในการวัดค่า

จากทฤษฎีอรรถประโยชน์ที่คำนึงถึงความไม่แน่นอน ผู้เดินทางจะเลือกรูปแบบการเดินทางที่ก่อให้เกิดความพึงพอใจสูงสุด จากทางเลือกทั้งหมดที่ผู้เดินทางคนนั้นมีอยู่ ($C_n$) นั่นคือ

$$U_{in} \geq U_{jn}, \forall_j \in C_n \quad (3.3)$$

เมื่อแทนค่าของ $U$ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สามารถวัดได้และส่วนที่เป็นความไม่แน่นอนลงไปจะสามารถเขียนสมการที่ (3.3) ได้ใหม่เป็น

$$V_{in} + \varepsilon_{in} \geq V_{jn} + \varepsilon_{jn}, \forall_j \in C_n \quad (3.4)$$

$$V_{in} - V_{jn} \geq \varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in}, \forall_j \in C_n \quad (3.5)$$

เนื่องจากมีส่วนของความไม่แน่นอนรวมอยู่ จึงยังไม่สามารถสรุปได้อย่างมั่นใจว่าความพึงพอใจที่ได้รับจากรูปแบบการเดินทาง $i$ จะมากกว่าความพึงพอใจที่ได้รับจากรูปแบบการเดินทาง $j$ ถึงแม้ว่าส่วนของความพึงพอใจที่สามารถวัดได้จากรูปแบบการเดินทาง $i$ จะมากกว่าส่วนของความพึงพอใจที่สามารถวัดได้จากรูปแบบการเดินทาง $j$ ก็ตาม จึงต้องอาศัยทฤษฎีความน่าจะ

เป็นเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ โดยจากสมการที่ (3.6) ความน่าจะเป็นที่ผู้เดินทางจะเลือกรูปแบบการเดินทาง $i$ ในการเดินทางสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_n(i) = P(V_{in} - V_{jn} \geq \varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in}, \forall_j \in C_n) \tag{3.6}$$

โดยที่ $P_n(i)$ = ความน่าจะเป็นที่ผู้เดินทางคนที่ $n$ จะเลือกรูปแบบการเดินทาง $i$ จากกลุ่มทางเลือก $C_n$

การหาความน่าจะเป็นในสมการที่ (3.6) จำเป็นที่จะต้องทราบการกระจายตัวของตัวแปร $\varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in}$ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักสมมติให้ตัวแปรดังกล่าวมีการกระจายตัวในแบบ Gumbel โดยมีค่า Parameters เป็น $\mu$ และ $\eta$ เนื่องจากง่ายต่อการวิเคราะห์ อีกทั้งการกระจายตัวแบบ Gumbel มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับการกระจายตัวแบบ Normal ซึ่งเป็นที่นิยมในการนำมาใช้อธิบายพฤติกรรมต่างๆ ของคน โดยเมื่อกำหนดให้ $\varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in}$ มีการกระจายตัวแบบ Gumbel แล้วสามารถวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่ผู้เดินทางคนที่ $n$ จะเลือกรูปแบบการเดินทาง $i$ จากทางเลือก $C_n$ ได้ดังสมการที่ (3.7) ซึ่งนิยมเรียกกันว่าแบบจำลองประเภท Logit

$$P_n(i) = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j=1}^{C_n} e^{V_{jn}}} \tag{3.7}$$

ในกรณีที่กลุ่มทางเลือก ($C_n$) ประกอบไปด้วยทางเลือกเพียง 2 ทางเลือก มักจะเรียกแบบจำลองชนิดนี้ว่า Binary Logit Model แต่ถ้าหากจำนวนทางเลือกในกลุ่มทางเลือกมีมากกว่า 2 ทางเลือกแล้ว จะเรียกแบบจำลองว่า Multinomial Logit Model

### 3.2.2 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์

การพัฒนาแบบจำลองประเภท Logit ดังในสมการที่ 3.7 จำเป็นที่จะต้องมีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ ($\beta_k$) ซึ่งเป็นส่วนที่บ่งบอกถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ในแบบจำลองที่มีต่อระดับความพึงพอใจ ($V_{in}$) ของผู้เดินทางที่จะได้รับจากการเดินทาง สำหรับแบบจำลองประเภท Logit วิธีการทางสถิติที่มักนิยมนำมาใช้ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว ได้แก่วิธี Maximum Likelihood โดยมีหลักการในการวิเคราะห์หากลุ่มสัมประสิทธิ์ $\beta_k$ ที่ทำให้ค่าฟังก์ชันความเป็นไปได้ (Likelihood Function) มีค่าสูงที่สุด โดยที่ฟังก์ชันความเป็นไปได้ของแบบจำลองประเภท Logit ($L^*$) มีรูปแบบดังสมการที่ (3.8)

$$L^* = \prod_{n=1}^{N} \prod_{i \in C_n} P_n(i)^{y_{in}} \qquad (3.8)$$

โดยที่ $y_{in}$ = ตัวแปรที่กำหนดการเลือก โดยมีค่า
เท่ากับ 1 ถ้าผู้เดินทางคนที่ $n$ เลือกรูปแบบทางเลือก $i$ และ
เท่ากับ 0 ถ้าผู้เดินทางคนที่ $n$ เลือกรูปแบบทางเลือกอื่น ๆ

การประมาณกลุ่มค่าสัมประสิทธิ์ ( $\beta_k$ ) ที่ทำให้ฟังก์ชันความพึงพอใจ ( $L^*$ ) มีค่าสูงสุด สามารถทำได้โดยการหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของฟังก์ชัน $L^*$ เทียบกับ $\beta_k$ ให้มีค่าเท่ากับ 0 แต่แทนที่จะหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสมการที่ 3.8 โดยตรง เรามักนิยมถอดค่าลอการิทึ่มของฟังก์ชัน $L^*$ ซึ่งจะทำให้รูปแบบของฟังก์ชันจากเดิมที่อยู่ในลักษณะผลคูณ เปลี่ยนเป็นอยู่ในรูปของการบวก ดังแสดงในสมการที่ 3.9

$$L = \ln L^* = \sum_{n=1}^{N} \sum_{i \in C_n} y_{in} \left( \beta' x_{in} - \ln \sum_{j \in C_n} e^{\beta' x_{jn}} \right) \qquad (3.9)$$

จากคุณสมบัติของลอการิทึ่ม การประมาณค่ากลุ่มสัมประสิทธิ์ ( $\beta_k$ ) ที่ทำให้ฟังก์ชันความเป็นไปได้ $L$ มีค่าสูงสุด ก็ย่อมจะทำให้ลอการิทึ่มของฟังก์ชันความเป็นไปได้ $L^*$ ในสมการที่ 3.8 มีค่าสูงสุดด้วยเช่นกัน

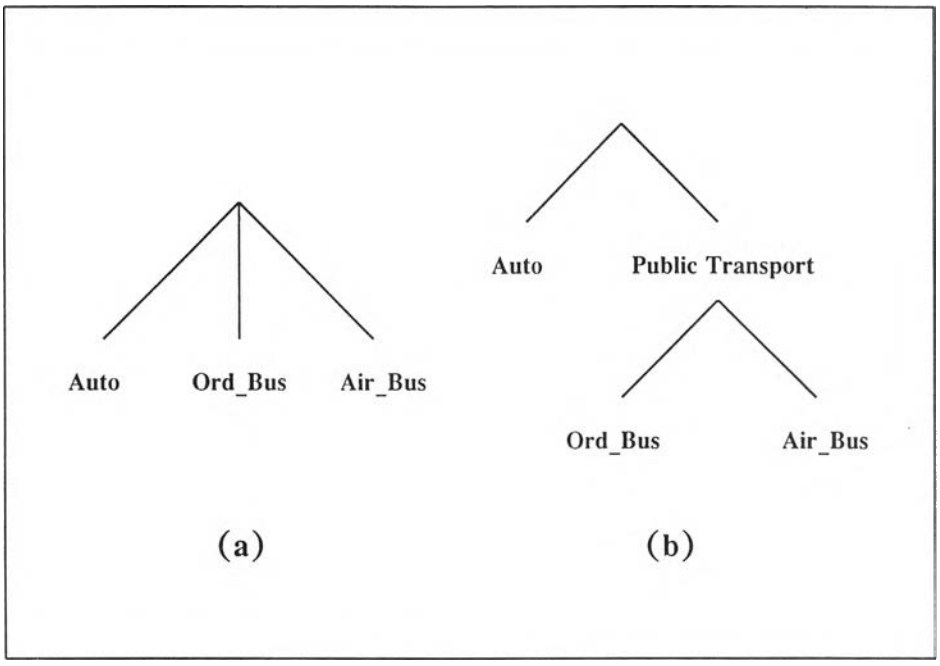
### 3.2.3 โครงสร้างทางเลือกของแบบจำลอง

แบบจำลองประเภท Multinomial Logit มีคุณสมบัติที่สำคัญข้อหนึ่งซึ่งจำเป็นจะต้องนำมาพิจารณาอันได้แก่ คุณสมบัติการเป็นอิสระจากทางเลือกอื่นที่ไม่นำมาเกี่ยวข้อง (Independence from Irrelevant Alternatives Property หรือ IIA) ผลจากคุณสมบัติดังกล่าว จะทำให้อัตราส่วนของความน่าจะเป็นในการเลือกทางเลือก 2 ทางเลือกใด ๆ จะเป็นอิสระและไม่ถูกกระทบกระเทือนจากฟังก์ชันความพึงพอใจของทางเลือกอื่น ตัวอย่างเช่น อัตราส่วนของความน่าจะเป็นในการเลือกทางเลือก $i$ กับทางเลือก $l$ จะเป็นอิสระจากฟังก์ชันความพึงพอใจของทางเลือกอื่น ( $j$ ) ในกลุ่มทางเลือก $C_n$ ที่ไม่ใช่ทางเลือก $i$ และทางเลือก $l$ ดังแสดงในสมการที่ 3.10

$$\frac{P_n(i)}{P_n(l)} = \frac{e^{V_{in}} \Big/ \sum_{j \in C_n} e^{V_{jn}}}{e^{V_{ln}} \Big/ \sum_{j \in C_n} e^{V_{jn}}} = \frac{e^{V_{in}}}{e^{V_{ln}}} \qquad (3.10)$$

คุณสมบัติข้อดังกล่าวจะก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทำนายผล โดยเฉพาะกรณีที่ในแต่ละทางเลือกมีความสัมพันธ์กันสูง ตัวอย่างเช่นกรณี Red Bus/Blue Bus (Ben-Akiva, 1985) ซึ่งเป็นรูปแบบทางเลือก 2 ทางเลือกที่แตกต่างกันเพียงสีของตัวรถ แต่มีลักษณะอื่น ๆ เหมือนกันทุกประการ ดังนั้นในการกำหนดทางเลือกเพื่อใช้ในการตัดสินใจจึงควรที่จะกำหนดให้ทางเลือกแต่ละทางเลือกมีความสัมพันธ์กันให้น้อยที่สุด

วิธีการอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา ได้แก่การแบ่งโครงสร้างทางเลือกออกเป็นลำดับขั้น (Choice Hierarchy) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.2 จากแบบจำลองที่มีโครงสร้างเป็นแบบ Multinomial Logit Model (รูปที่ 3.2a) โดยมีทางเลือกที่ประกอบไปด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล (Auto) รถโดยสารประจำทางธรรมดา (Ord_Bus) และรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ (Air_Bus) ซึ่งอาจจะเกิดปัญหาขึ้นจากคุณสมบัติ IIA เมื่อทางเลือกรถโดยสารประจำทางธรรมดาและรถโดยสารประจำทางปรับอากาศมีความสัมพันธ์กันสูง การแก้ไขปัญหาจึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเลือกโดยการจัดให้ทางเลือกทั้งสองอยู่ในกลุ่มระบบขนส่งสาธารณะ (Public Transport) ดังรูปที่ 3.2b ซึ่งโครงสร้างในลักษณะนี้จะทำให้คุณสมบัติของความเป็นอิสระต่อกันระหว่างทางเลือกรถโดยสารประจำทางธรรมดาและรถโดยสารประจำทางปรับอากาศหายไป




**รูปที่ 3.2 โครงสร้างแบบ Multinomial Logit (a) และโครงสร้างแบบ Nested Logit (b)**

โครงสร้างทางเลือกแบบเป็นลำดับขั้น ทำให้ฟังก์ชันความน่าจะเป็นในการเลือกมีรูปแบบที่ซับซ้อนมากขึ้นกว่าโครงสร้างแบบ Multinomial Logit แบบจำลองที่มีโครงสร้างทางเลือกเป็นแบบลำดับขั้นนี้มักนิยมเรียกกันทั่วไปว่า Nested Logit Model หรือ Hierarchical Logit Model จากกลุ่มทางเลือกดังแสดงในรูปที่ 3.2b ในการเลือกลำดับที่หนึ่ง ซึ่งเป็นการตัดสินใจเลือกระหว่างรถยนต์ส่วนบุคคลกับระบบขนส่งสาธารณะ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นในการเลือกเดินทาง

ด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล (Auto) จะมีรูปแบบดังสมการที่ 3.11 และฟังก์ชันความน่าจะเป็นในการเลือกเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะ (Public) จะมีรูปแบบดังสมการที่ 3.12

$$P_n(Auto) = \frac{e^{V_{Auto,n}}}{e^{V_{Auto,n}} + e^{V_{Public,n} + \theta \cdot \Gamma_{Public,n}}} \tag{3.11}$$

$$P_n(Public) = \frac{e^{V_{Public,n} + \theta \cdot \Gamma_{Public,n}}}{e^{V_{Auto,n}} + e^{V_{Public,n} + \theta \cdot \Gamma_{Public,n}}} \tag{3.12}$$

โดยที่ $\theta$ = ค่าสเกลพารามิเตอร์ ซึ่งจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1

ค่า $\Gamma$ ในสมการเป็นค่าความพึงพอใจสูงสุดที่เกิดจากทางเลือกในลำดับที่สอง (อันเป็นทางเลือกที่ประกอบไปด้วยรถโดยสารประจำทางธรรมดา (Ord_Bus) และรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ (Air_Bus)) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากลอการิทึ่มผลรวมเอกซ์โปเนนเชี่ยลของฟังก์ชันความพึงพอใจในรูปแบบของการเดินทางในกลุ่มทางเลือกลำดับที่สอง ดังสมการที่ 3.13

$$\Gamma_{Public,n} = \ln\left[e^{(V_{Ord_Bus})} + e^{(V_{Air_Bus})}\right] \tag{3.13}$$

โดยอาศัยหลักการของ Conditional Probability ทำให้เราสามารถที่จะหาฟังก์ชันความน่าจะเป็นในการเลือกรถโดยสารประจำทางธรรมดาได้ดังสมการที่ 3.14

$$P_n(Ord_Bus) = P_n(Public) \times P_n(Ord_Bus \mid Public) \tag{3.14}$$

$P_n(Ord_Bus \mid Public)$ คือความน่าจะเป็นที่ผู้เดินทางจะเลือกรถโดยสารประจำทางธรรมดาจากทางเลือกในกลุ่มระบบขนส่งสาธารณะ โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังสมการที่ 3.15

$$P_n(Ord_Bus \mid Public) = \frac{e^{V_{Ord_Bus}}}{e^{V_{Ord_Bus}} + e^{V_{Air_Bus}}} \tag{3.15}$$

โดยอาศัยหลักการเดียวกันก็จะสามารถหาความน่าจะเป็นที่ผู้เดินทางจะเลือกรถโดยสารประจำทางปรับอากาศในการเดินทางได้

การวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเลือกที่สอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้เดินทางที่สำรวจได้จึงเป็นขั้นตอนหนึ่งที่จะต้องกระทำในขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง รูปแบบที่เหมาะสมซึ่งอาจจะอยู่ในรูป Multinomial Logit Model หรือว่า Nested Logit Model มีผลทำให้ค่าความยืดหยุ่นที่จะต้องทำการวิเคราะห์จากแบบจำลองมีรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

### 3.2.4 การวิเคราะห์หาค่าความยืดหยุ่นจากแบบจำลอง

การวิเคราะห์หาค่าความยืดหยุ่นจากแบบจำลองสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการของทฤษฎีค่าความยืดหยุ่นแบบจุด (ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของความน่าจะเป็นในการเลือกรูปแบบการเดินทางกับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจที่จะได้รับจากรูปแบบ

$$\varepsilon_{x_{ink}}^{P_n(i)} = \frac{\partial P_n(i)}{\partial x_{ink}} \cdot \frac{x_{ink}}{P_n(i)} \qquad (3.16)$$

โดยที่ $\varepsilon_{x_{ink}}^{P_n(i)}$ = ค่าความยืดหยุ่นของผู้เดินทางซึ่งเกิดจากค่าความน่าจะเป็นที่ผู้เดินทางคนที่ $n$ จะเข้ามาใช้บริการรูปแบบการเดินทาง $i$ ที่เปลี่ยนไปต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร $x$ ตัวที่ $k$ ที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในการเลือกรูปแบบการเดินทาง $i$ ของผู้เดินทางคนที่ $n$

สมการที่ 3.16 แสดงถึงค่าความยืดหยุ่นแบบ Direct Elasticity ซึ่งเป็นค่าความยืดหยุ่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่เกิดขึ้นภายในของรูปแบบ โดยอาศัยหลักการเดียวกันสามารถที่จะหาความยืดหยุ่นแบบ Cross Elasticity ได้จากการเปรียบเทียบสัดส่วนในการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นกับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจที่จะได้รับจากการเดินทางด้วยรูปแบบอื่น

$$\varepsilon_{x_{jnk}}^{P_n(i)} = \frac{\partial P_n(i)}{\partial x_{jnk}} \cdot \frac{x_{jnk}}{P_n(i)} \qquad (3.17)$$

โดยที่ $\varepsilon_{x_{jnk}}^{P_n(i)}$ = ค่าความยืดหยุ่นของผู้เดินทางซึ่งเกิดจากค่าความน่าจะเป็นที่ผู้เดินทางคนที่ $n$ จะเข้ามาใช้บริการรูปแบบการเดินทาง $i$ ที่เปลี่ยนไปต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร $x$ ตัวที่ $k$ ที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในการเลือกรูปแบบการเดินทาง $j$ ของผู้เดินทางคนที่ $n$

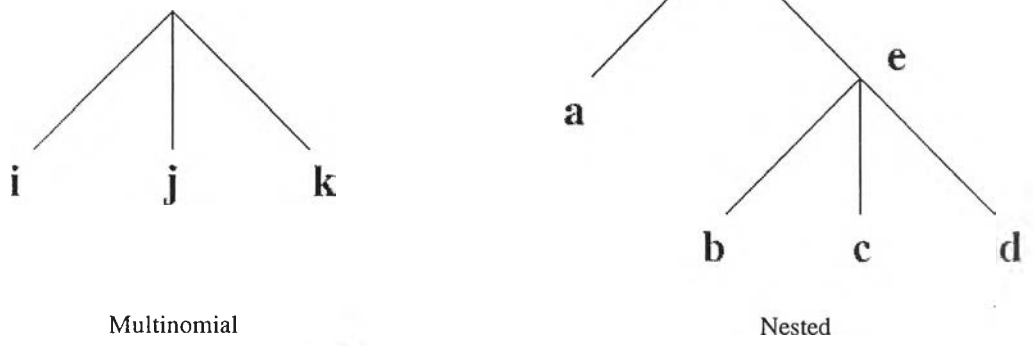
ดังจะเห็นได้จากสมการที่ 3.16 และ 3.17 การหาค่าความยืดหยุ่นจากแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางจะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันความน่าจะเป็น $P_n(i)$ ซึ่งจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปตามโครงสร้างในการตัดสินใจของผู้เดินทาง โดยใช้ทฤษฎีค่าความยืดหยุ่นแบบจุดและหลักการ

ทางคณิตศาสตร์ในการหาอนุพันธ์ของฟังก์ชัน จึงสามารถที่จะทำการวิเคราะห์หาค่าความยืดหยุ่นจากแบบจำลองที่มีโครงสร้างในการตัดสินใจรูปแบบต่าง ๆได้ ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความยืดหยุ่นที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองประเภท Multinomial Logit และแบบจำลองประเภท Nested Logit

**ตารางที่ 3.2 ค่าความยืดหยุ่นของแบบจำลองรูปแบบ Multinomial และ Nested**

| รูปแบบการเดินทางที่ต้องการจะหาค่าความยืดหยุ่น | รูปแบบการเดินทางที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าของตัวแปร | | |
|---|---|---|---|
| | **Multinomial Logit** | **Nested Logit** | |
| | รูปแบบ I | รูปแบบ a | รูปแบบ b |
| **Multinomial Logit** | | | |
| รูปแบบ i | $[1-P(i)]x_{ik}\beta_k$ | | |
| รูปแบบ j | $-P(i)x_{ik}\beta_k$ | | |
| **Nested Logit** | | | |
| รูปแบบ a | | $[1-P(a)]x_{ak}\beta_k$ | $-P(b)x_{bk}\beta_k$ |
| รูปแบบ b | | $-P(a)x_{ak}\beta_k$ | $[(1-P(e))P(b \mid e)+\frac{1}{\theta}(1-P_{b\mid e})]x_{bk}\beta_k$ |
| รูปแบบ c | | $-P(a)x_{ak}\beta_k$ | $-[P(b)+\frac{(1-\theta)}{\theta}P(b \mid e)]x_{bk}\beta_k$ |

*หมายเหตุ*




Multinomial Nested

**ที่มา: Forinash and Koppelman (1993)**

จากตารางจะสังเกตเห็นว่าค่าความยืดหยุ่นที่ได้จากแบบจำลองประเภท Nested Logit จะมีความซับซ้อนกว่าแบบจำลองประเภท Multinomial Logit อันมีผลเนื่องมาจากโครงสร้างทางเลือกแบบเป็นลำดับขั้น ทำให้ฟังก์ชันความน่าจะเป็นมีความซับซ้อนมากขึ้นดังที่ได้กล่าวถึงไว้ในหัวข้อที่ 3.2.3

I20610051