

แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง: แนวทางเลือกสำหรับการศึกษาทัศนคติของผู้เดินทาง
และพฤติกรรมการเดินทาง

STRUCTURAL EQUATION MODELING: AN ALTERNATIVE APPRPACH FOR
REVEALING TRAVELERS' ATTITUDES AND TRAVEL BEHAVIOR STUDY

สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์ (Surames Piriyawat)¹

สรวิศ นฤปิติ (Sorawit Nasupiti)²

สุชาดา บวรกิติวงศ์ (Suchada Bowarnkitiwong)³

จุฑาทิพย์ สรวิงสุวรรณ (Jutatip Suangsuwan)⁴

¹อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา charad@buu.ac.th

²รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย kong@chula.ac.th

³รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย bsuchada@chula.ac.th

⁴นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย jutasu3@hotmail.com

บทคัดย่อ : สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้การวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางด้วย Descriptive Statistic หรือ Multivariate Analysis ไม่เพียงพอสำหรับการอธิบายพฤติกรรมการเดินทางนั้นอาจเป็นเพราะพฤติกรรมของมนุษย์เป็นสิ่งที่มีความผันแปรสูง และขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้การอธิบายหรือคาดการณ์พฤติกรรมการเดินทางให้เที่ยงตรงมากขึ้น จึงต้องการวิเคราะห์ที่ลดเงื่อนไขของวิธีการทางสถิติแบบเดิมและสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้พร้อมกันครั้งละหลายตัวแปร แนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ ได้แก่ การวิเคราะห์ด้วยวิธีสมการเชิงโครงสร้าง บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางวิเคราะห์ด้วย SEM และการประยุกต์ใช้ในงานด้านการขนส่งและการจราจร และข้อได้เปรียบของวิธีดังกล่าว บทความนี้อาจทำให้เกิดมุมมองใหม่ในการศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง ตลอดจนใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ABSTRACT : One of the major causes of mistakes in investigating travelers' behaviors by using traditional statistical methods, descriptive statistical techniques or multivariate analysis, is human behavioral variation causing by various factors. Therefore, in order to increase the accuracy, the technique that more relax the statistical constrains and can explain the correlations among many travel factors simultaneously is desired. One of the significant alternatives is Structural Equation Modeling (SEM) technique. SEM is rapidly employed by transport researchers around the world and reported one of the most efficient methods for revealing travelers' behaviors effectively. The purposes of this paper are to introduce this technique to transport researchers in Thailand, applying the technique for travel behavior researches, and the advantages of this technique. This paper will open an alternative viewpoint for studying travelers' behaviors and being a reference for more extend in transport researches.

KEYWORDS : Structural equation modeling, Travel behaviors, Transport Psychology, Travelers' attitudes

1. บทนำ

ปัจจุบันการศึกษาพฤติกรรมการเดินทางรวมถึงการตรวจสอบทัศนคติของผู้เดินทางในประเทศไทย นิยมใช้วิธี Discrete Choice Analysis สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistical Techniques) อาทิ การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) หรือการวิเคราะห์การถดถอยแบบหลายตัวแปร (Multinomial Regression Analysis) ฯลฯ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบหลายตัวแปร (Multivariate Analysis) อาทิ Factor Analysis หรือ Cluster Analysis ฯลฯ แนวทางดังกล่าวดูเหมือนจะเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้เดินทาง แต่มีเป็นจำนวนมากไม่น้อยที่ไม่สามารถอธิบายหรือพยากรณ์พฤติกรรมการเดินทางได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ นักวิจัยได้ปฏิบัติตามทฤษฎีและขั้นตอนการวิจัยอย่างถูกต้องแล้ว

สาเหตุสำคัญประการหนึ่งอาจเป็นเพราะพฤติกรรมของมนุษย์นั้นเป็นสิ่งที่มีความแปรผันสูง และขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้การที่จะอธิบายหรือคาดการณ์พฤติกรรมการเดินทางให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นนั้น จึงต้องการวิธีวิเคราะห์ที่ลดข้อจำกัดและเงื่อนไขของวิธีการทางสถิติตามที่กล่าวข้างต้น และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้พร้อมกันครั้งละหลายตัวแปร แนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ ได้แก่ การวิเคราะห์ด้วยวิธีสมการเชิงโครงสร้าง (Structural Equation Modeling, SEM) แนวทางดังกล่าวได้รับความนิยมอย่างรวดเร็วในการนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านการขนส่งและการจราจร สำหรับวิเคราะห์พฤติกรรมและทัศนคติของผู้เดินทาง และได้รับการยืนยันถึงประสิทธิภาพจากผู้ที่น่าแนวทางดังกล่าวไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอความเป็นมาของการวิเคราะห์ด้วย SEM การนำ SEM มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านการขนส่งและการจราจร ข้อได้เปรียบของวิธีดังกล่าว และบทสรุปของการนำ SEM ไปประยุกต์ใช้ในอนาคต เนื้อหาของบทความอาจไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ และสมการคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนเท่าใดนัก ทั้งนี้ เพราะมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้อ่านทราบถึงความเป็นมาและขอบเขตของการนำวิธีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านขนส่ง บทความนี้อาจทำให้เกิดมุมมองใหม่ในการศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง ตลอดจนอาจใช้เป็น

ข้อมูลอ้างอิงสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาในประเด็นดังกล่าวเพิ่มเติมต่อไป

2. ความเป็นมาของแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในลักษณะเชิงโครงสร้าง มีจุดเริ่มต้นย้อนหลังกลับไปถึงประมาณต้น ค.ศ. 1900 เมื่อ Spearman ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ที่ถือได้ว่าเป็นต้นแบบของการวิเคราะห์องค์ประกอบในปัจจุบัน และถือได้ว่าเป็นบุคคลแรกที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงและตัวแปรโครงสร้างในปี ค.ศ. 1904 [1][3] จากนั้นในปี ค.ศ. 1918 Sewall Wright เป็นบุคคลแรกที่ทำการศึกษาวิเคราะห์แบบจำลองเชิงสาเหตุ และพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ซึ่งเป็นต้นแบบของการวิเคราะห์อิทธิพล (Path Analysis) ซึ่งถือได้ว่าเป็นรากฐานของวิธีการวิเคราะห์ SEM ในเวลาต่อมา [1][3][7]

ระหว่างทศวรรษ 1960 และต้นทศวรรษ 1970 นักสังคมวิทยานำโดย Blalock (1961) Boudon (1965) และ Duncan (1966) ค้นพบศักยภาพของของการวิเคราะห์อิทธิพลและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์บางส่วน (Partial Correlation Method) จากนั้นระหว่างทศวรรษ 1960 แบบจำลองที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝง (Latent Variables) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากความแปรปรวนร่วม (Covariance) ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ที่ต้องการศึกษาได้ถูกคิดค้นขึ้นโดยนักสังคมวิทยา โดยผลการศึกษาที่สำคัญเป็นของ Blalock (1963) แบบจำลองเหล่านี้เป็นรูปแบบการวิเคราะห์โดยตรงที่นำไปสู่ SEM ยุคแรกๆ ที่พัฒนาขึ้น โดย Joreskog (1970, 1973) Keesling (1972) และ Wiley (1973) [1][3]

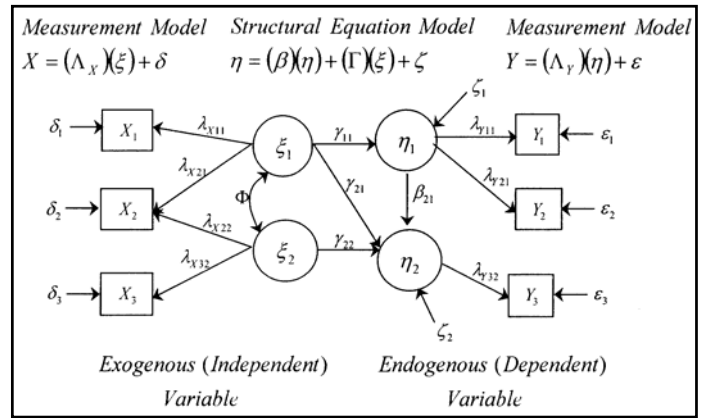
จากการทำงานของ Lawley (1940) Anderson และ Rubin (1956) และ Joreskog (1967, 1969) นำไปสู่การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ Maximum Likelihood ซึ่งเป็นวิธีประมาณค่าที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์เพื่อยืนยันองค์ประกอบ (Confirmatory Factor Analysis) และเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ร่วมกับการวิเคราะห์อิทธิพลในแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง [1][3][7] แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างยุคใหม่นั้น เป็นที่รู้จักกันในชื่อของแบบจำลอง Joreskog-Keesling-Wiley (JKW model) และเริ่มได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายหลังจากโปรแกรมที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ SEM โดยตรงได้ถูกการพัฒนาขึ้นโดย Joreskog และ Sorbom ในระหว่างปี ค.ศ. 1967-1979

จากที่กล่าวมาในตอนต้น จะเห็นได้ว่า SEM เป็นผลผลิตของการสังเคราะห์วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลหลัก 3 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) การวิเคราะห์อิทธิพล (Path Analysis) และวิธีการประมาณค่าความแปรปรวนร่วม (General Covariance Estimation Method) [1][3][7] เนื่องจาก SEM แสดงโครงสร้างในรูปความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Structural Equation Model) ด้วยเหตุนี้ SEM จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแบบจำลองความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้น (Linear Structural Relationship Model, LISREL) และเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอยู่ในรูปของความแปรปรวนร่วมและหลักการสำคัญของการวิเคราะห์นั้นเป็นการนำเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรที่ได้จากข้อมูลเชิงประจักษ์และจากแบบจำลองตามสมมติฐานมาเปรียบเทียบกับ SEM จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแบบจำลองโครงสร้างความแปรปรวนร่วม (Covariance Structural Model) [1][3][7]

ปัจจุบันแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากและถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ จิตวิทยา พฤติกรรมศาสตร์ สังคมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ การวิจัยทางการศึกษา รัฐศาสตร์ และการวิจัยทางการตลาด [3] เนื่องจากการวิจัยเชิงปริมาณในสาขาเหล่านี้ ส่วนมากเป็นการศึกษาความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้นระหว่างตัวแปรโดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์นั้นประกอบด้วยตัวแปรเป็นจำนวนมาก ซึ่งวิธีการทางสถิติทั่วไปก็สามารถนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้ได้ แต่ต้องมีการกำหนดสมมติฐานประกอบการวิเคราะห์ และส่วนมากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นมักจะไม่สามารถคล้อยตามสมมติฐานทางสถิติดังกล่าว การนำ SEM มาประยุกต์ใช้ได้รับการยอมรับจากนักวิจัยเชิงสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์ว่าสามารถลดข้อจำกัดลงได้ และมีความเหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยที่มีการกำหนดแบบจำลองให้วิเคราะห์ในเชิงสาเหตุ มีตัวแปรแฝงที่มีตัวแปรสังเกตได้หลายตัว มีความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปรเหล่านั้น และมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อน [1]

2.1 องค์ประกอบของแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง

แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างมีองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 แสดงองค์ประกอบของแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง

จากภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างของแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างที่มีองค์ประกอบเต็มรูปแบบ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรภายนอก (Exogenous Variables) และตัวแปรภายใน (Endogenous Variable) ทั้งตัวแปรภายนอกและตัวแปรภายในจะประกอบด้วยตัวแปรแฝง (Latent Variable) และตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variable) โดยตัวแปรแฝงจะไม่สามารถวัดค่าได้ในตัวมันเอง แต่จะวัดค่าได้จากตัวแปรสังเกตได้ที่เป็นองค์ประกอบของแต่ละตัวแปรแฝงนั้นๆ

ในแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างเต็มรูปแบบจะประกอบด้วยแบบจำลองย่อยที่สำคัญ 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองการวัด (Measurement Model) และแบบจำลองสมการโครงสร้าง (Structural Model) โดยแบบจำลองการวัดจะมีทั้งแบบจำลองการวัดสำหรับตัวแปรภายนอก (Exogenous Measurement Model) และแบบจำลองการวัดสำหรับตัวแปรภายใน (Endogenous Measurement Model) โดยจากภาพที่ 1 สามารถแสดงความสัมพันธ์ของแบบจำลองในรูปของสมการเมทริกซ์ได้ดังต่อไปนี้

แบบจำลองการวัดสำหรับตัวแปรภายนอก

$$X = \Lambda_x \xi + \delta \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{x11} & 0 \\ \lambda_{x21} & \lambda_{x22} \\ 0 & \lambda_{x32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$X_1 = \lambda_{x11}\xi_1 + \delta_1 \quad (3)$$

$$X_2 = \lambda_{x21}\xi_1 + \lambda_{x22}\xi_2 + \delta_2 \quad (4)$$

$$X_3 = \lambda_{x32}\xi_2 + \delta_3 \quad (5)$$

แบบจำลองการวัดสำหรับตัวแปรภายใน

$$Y = \Lambda_Y \eta + \varepsilon \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{Y11} & 0 \\ \lambda_{Y21} & 0 \\ 0 & \lambda_{Y32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$Y_1 = \lambda_{Y11} \eta_1 + \varepsilon_1 \quad (8)$$

$$Y_2 = \lambda_{Y21} \eta_1 + \varepsilon_2 \quad (9)$$

$$Y_3 = \lambda_{Y32} \eta_2 + \varepsilon_3 \quad (10)$$

แบบจำลองสมการโครงสร้าง

$$\eta = \beta \eta + \Gamma \zeta + \zeta \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \beta_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_{11} & 0 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\eta_1 = \gamma_{11} \zeta_1 + \zeta_1 \quad (13)$$

$$\eta_2 = \beta_{21} \eta_1 + \gamma_{21} \zeta_1 + \gamma_{22} \zeta_2 + \zeta_2 \quad (14)$$

โดยที่

X = เวกเตอร์ตัวแปรภายนอกสังเกตได้

Y = เวกเตอร์ตัวแปรภายในสังเกตได้

ξ = เวกเตอร์ตัวแปรภายนอกแฝง

η = เวกเตอร์ตัวแปรภายในแฝง

δ = เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปร X

ε = เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปร Y

ζ = เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน z ของตัวแปร η

Λ_X = เมทริกซ์สัมประสิทธิ์การถดถอยของ X บน ξ

Λ_Y = เมทริกซ์สัมประสิทธิ์การถดถอยของ Y บน η

Γ = เมทริกซ์อิทธิพลเชิงสาเหตุจาก ξ ไป η

β = เมทริกซ์อิทธิพลเชิงสาเหตุระหว่าง η

Φ = เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรภายนอกแฝง ξ

2.2 ประเภทของแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง

Joreskog และ Sorbom (1989) ได้แบ่งแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างออกเป็นแบบจำลองย่อยได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ [1]

2.2.1 Measurement Model and Confirmatory Factor Analysis

Models

แบบจำลองกลุ่มนี้ประกอบด้วยตัวแปรภายนอกแฝง และตัวแปรภายนอกสังเกตได้ แต่ไม่มีตัวแปรภายใน เขียนในรูปสมการได้ดังต่อไปนี้

$$X = \Lambda_X \zeta + \delta \quad (15)$$

แบบจำลองกลุ่มนี้แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่ (1)

Congeneric Measurement Models (2) Confirmatory Factor

Analysis Models และ (3) Multitrait-Multimethod Models

2.2.2 Causal Structural Models

แบบจำลองกลุ่มนี้ประกอบด้วยแบบจำลองความสัมพันธ์ทั้งแบบที่มีและไม่มีผลคลาดเคลื่อนในการวัด แบบจำลองที่ไม่มีผลคลาดเคลื่อนในการวัดจะประกอบขึ้นด้วยตัวแปรสังเกตได้ทั้งหมด โดยไม่มีตัวแปรแฝง เขียนรูปสมการได้ดังต่อไปนี้

$$Y = \beta Y + \Gamma X + \zeta \quad (16)$$

สำหรับกรณีที่มีความคลาดเคลื่อนในการวัด แบบจำลองกลุ่มนี้จะมียอดประกอบทุกอย่างเหมือนแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างเต็มรูปแบบ และมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหมือนกับที่แสดงไว้ในสมการที่ (1) (6) และ (11) แบบจำลองกลุ่มนี้ยังแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่ (1) Regression Models and ANOVA Models (2) Path Analysis และ (3) Multiple Indicators and Multiple Causes Models หรือ MIMIC Models

2.2.3 Non Observable Exogenous Variable Models

แบบจำลองกลุ่มนี้ประกอบด้วยตัวแปรภายนอกแฝง ตัวแปรภายในแฝง และตัวแปรภายในสังเกตได้เป็นองค์ประกอบ หรือในบางกรณีอาจไม่มีตัวแปรภายนอกแฝงก็ได้ เขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ดังนี้

$$Y = \Lambda_Y \eta + \varepsilon \quad (17)$$

$$\eta = \beta \eta + \Gamma \zeta + \zeta \quad (18)$$

แบบจำลองกลุ่มนี้ยังแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่ (1) Second Order Factor Analysis (2) Two-Wave Models และ (3) Simplex Models

อย่างไรก็ดี Kline (1998) ได้จัดประเภทของ SEM ออกเป็นหมวดหมู่กว้างๆ ได้แก่ Path Analysis Confirmatory Factor Analysis และ Hybrid Model แต่รูปแบบและองค์ประกอบของแบบจำลองแต่ละประเภท พบว่ามีลักษณะที่เหมือนกันกับของ Joreskog และ Sorbom (1989)

2.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์นั้น ส่วนใหญ่จะเป็นการตรวจสอบเพื่อการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งแบ่งการทดสอบเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก เป็นการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรว่ามีขนาดและเครื่องหมายสมเหตุสมผล และเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยหรือไม่ นอกจากนี้ยังต้องตรวจสอบสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R-Square) เพื่อตรวจสอบความตรงของแบบจำลอง

ขั้นตอนที่สองเป็นการตรวจสอบความกลมกลืนโดยรวมของแบบจำลอง ว่าแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นตามสมมติฐานงานวิจัยนั้น มีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากน้อยเพียงใด ค่าสถิติที่ใช้ตรวจสอบที่สำคัญ ได้แก่ ค่าสถิติไค-สแควร์ และดัชนีวัดระดับความกลมกลืน ได้แก่ Goodness of Fit Index (GFI) Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) Root Mean Square Residual (RMR) Q-Plot และ Model Modification Indices

ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการประเมินระดับความกลมกลืนในรายละเอียด วิธีการที่ใช้คือ การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (Residual Analysis) และ Model Modification Index [1][3][7]

3. SEM กับงานวิจัยด้านขนส่งและการจราจร

SEM ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านขนส่งและจราจรอย่างกว้างขวาง งานวิจัยด้านพฤติกรรมการณ์ขนส่งเป็นจำนวนมาก นำหลักการของ SEM มาประยุกต์ใช้ งานวิจัยแรกสุดที่พบว่ามี การนำ SEM มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการณ์การเดินทาง ได้แก่ งานวิจัยของ Den Boon (1980) ที่พัฒนาแบบจำลองเพื่ออธิบายการมีรถยนต์ไว้ในครอบครองและพฤติกรรมการณ์ใช้รถ

ยนต์ Golob (2003) ได้ทำการศึกษาและรวบรวมงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องและสรุปตามประเภทของงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้ [3]

3.1 Travel Demand Modeling Using Cross-sectional Data

เป็นการนำ SEM มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการณ์ใช้รถยนต์และการมีรถยนต์ไว้ในครอบครอง ข้อมูลระยะทางที่ใช้ในการเดินทางและการมีรถยนต์ไว้ในครอบครองสามารถวิเคราะห์พร้อมกันได้ ในครั้งเดียวแทนการวิเคราะห์ทีละขั้นตอน

3.2 Dynamic Travel Demand Modeling

การวิเคราะห์ข้อมูลที่มีลักษณะต่อเนื่องของอนุกรมเวลา สามารถวิเคราะห์ได้ด้วย SEM ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์และความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนสามารถระบุได้โดยอัตโนมัติด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าว

3.3 Activity-Based Travel Demand Modeling

SEM สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการเดินทางและกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการเดินทางได้โดย หาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นโดยตรงระหว่างความหนาแน่นประชากรในพื้นที่ที่ต้องการศึกษาและความต้องการเดินทางไปยังพื้นที่นั้นๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการเดินทางและพื้นที่ดึงดูดการเดินทางอื่นๆ นอกเหนือจากพื้นที่ที่ต้องการศึกษา และผลต่อเนื่องของเวลาในการเดินทางที่มีต่อเวลาที่ใช้ทำกิจกรรมในพื้นที่

3.4 Attitudes, Perceptions and Hypothetical Choices

ความได้เปรียบของ SEM คือ สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับทัศนคติ และพฤติกรรมของผู้เดินทาง และสามารถวิเคราะห์ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ซับซ้อนได้ชัดเจนกว่าการวิเคราะห์ทีละขั้นตอน

3.5 Organizational Behavior and Values

Golob และ Regan (2000) นำ SEM มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เพื่อประเมินนโยบายแก้ไขปัญหาค่าใช้จ่ายปริมาณรถบรรทุกของผู้ประกอบการขนส่งสินค้า โดยนำปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการขนส่งมาวิเคราะห์ร่วมกับทัศนคติ

ของผู้ประกอบการ รวมถึงวิเคราะห์ข้ามระหว่างกลุ่มผู้ประกอบการด้วย

3.6 Driver Behavior

พฤติกรรมของผู้ขับขี่เป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจและนำมาวิเคราะห์ด้วย SEM มากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของอุบัติเหตุ ทั้งนี้เนื่องจาก SEM สามารถแสดงความสัมพันธ์ทั้งทางตรงและทางอ้อมของปัจจัยที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุ ทำให้มิติของการวิเคราะห์เรื่องอุบัติเหตุกว้างขึ้นและวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุได้ชัดเจนขึ้น

4. ข้อได้เปรียบของ SEM

ข้อได้เปรียบของการวิเคราะห์ด้วย SEM ที่เห็นได้ชัดเจนได้แก่ การที่ SEM มีแบบจำลองการวัด (Measurement Model) สำหรับประมาณค่าตัวแปรแฝงจากตัวแปรสังเกตได้ที่เป็นองค์ประกอบของตัวแปรแฝงนั้น แล้วใช้ค่าตัวแปรแฝงดังกล่าวไปวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยหลักการนี้ทำให้ SEM สามารถแก้ปัญหาการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดค่าตัวแปรลงได้

ข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งคือ ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Regression Analysis หรือ Path Analysis นั้น ผู้วิเคราะห์จะต้องตรวจสอบข้อมูลว่ามีความสอดคล้องกับข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติหรือไม่ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายข้อ และในการศึกษาทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์นั้นข้อมูลส่วนใหญ่ก็มักจะไม่เป็นไปตามเงื่อนไขเบื้องต้นทางสถิติโดยเฉพาะข้อกำหนดที่ว่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน และการกำหนดว่าการวัดค่าตัวแปรจะต้องไม่มีความคลาดเคลื่อนในการวัด แต่การวิเคราะห์ด้วย SEM สามารถผ่อนปรนเงื่อนไขดังกล่าวลงได้ ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลสะดวกขึ้น สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีลักษณะหลากหลายมากขึ้น ทำให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องมากกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเดิม

ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของ SEM เหนือการวิเคราะห์แบบอื่นๆ ก็คือ การที่ SEM สามารถวิเคราะห์แบบจำลองสมมติฐานที่ประกอบด้วยตัวแปรแฝงที่มีตัวแปรสังเกตได้หลายตัว ทั้งนี้เนื่องจาก SEM สามารถวิเคราะห์ตัวแปรได้พร้อมกันหลายตัวแปรในคราวเดียวกัน จึงช่วยให้สามารถหาความสัมพันธ์ทั้งทางตรงและทางอ้อมระหว่างตัวแปรต่างๆ ในแบบจำลองได้ ขณะที่การวิเคราะห์แบบเดิมไม่สามารถทำได้เนื่องจากต้องทำการวิเคราะห์

ทีละขั้นตอนในกรณีที่ต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลายตัว [1][2][3][4]

5. บทสรุป

จากที่กล่าวมาข้างต้น ในมุมมองหนึ่ง SEM อาจเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้นักวิจัยสามารถหาคำตอบจากการวิเคราะห์ข้อมูลได้หลากหลายมากขึ้น วิเคราะห์ข้อมูลได้สะดวกขึ้น และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ได้ลึกซึ้งขึ้น ขณะเดียวกัน SEM ก็เหมือนวิธีการทางสถิติแบบอื่นๆ ที่ต้องอาศัยความรู้ของผู้วิจัยในการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองสมมติฐานที่ต้องการตามทฤษฎี และการตัดสินใจของผู้วิจัยโดยอ้างอิงกับทฤษฎีและหลักของเหตุและผลเป็นสำคัญ จึงจะได้ผลลัพธ์การวิจัยที่น่าเชื่อถือและถูกต้อง ทั้งนี้ผู้วิจัยต้องระลึกไว้เสมอว่าการที่แบบจำลองสอดคล้องกับข้อมูลนั้นมีได้หมายความว่าแบบจำลองสมมติฐานที่เรากำหนดนั้นถูกต้องเสมอไป ในกรณีนี้ SEM บอกได้เพียงว่าแบบจำลองนั้นไม่ผิด แต่ไม่ได้หมายความว่าแบบจำลองนั้นเป็นแบบจำลองที่ถูก [1] บทความนี้อาจมีประโยชน์บ้างสำหรับผู้สนใจการนำ SEM ไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัย และอาจทำให้เกิดมุมมองใหม่ในการศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง ตลอดจนใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2543. โมเดลลิสม์: สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [2] Ben-Akiva, M. et al., 1999. *Integration of Choice and Latent Variable Models*. Massachusetts Institute of Technology.
- [3] Golob, T.F., 2003. Review Structural equation modeling for travel behavior research. *Transportation Research B* 37, 1-25.
- [4] Gujarati, D.N., 1995. *Basic Econometrics*. McGraw-Hill, Inc.
- [5] Joreskog, K.G. and Sorbom, D., 1989. *LISREL 7: User's Reference Guide*. Chicago: Scientific Software, Inc.
- [6] Joreskog, K.G. et al., 2000. *LISREL 8: New Statistical Features*. Lincolnwood, IL. : Scientific Software International.
- [7] Kline, B.R., 1998. *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*. The Guilford Press, New York.