

# แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างและ การศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง

---

## Structural Equation Modeling and Travel Behavior Study

ผศ.ดร. สุรเมศวร์ ปิริยะวัฒน์  
สาขาวิศวกรรมขนส่งและการจราจร  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยบูรพา

กันยายน 2553

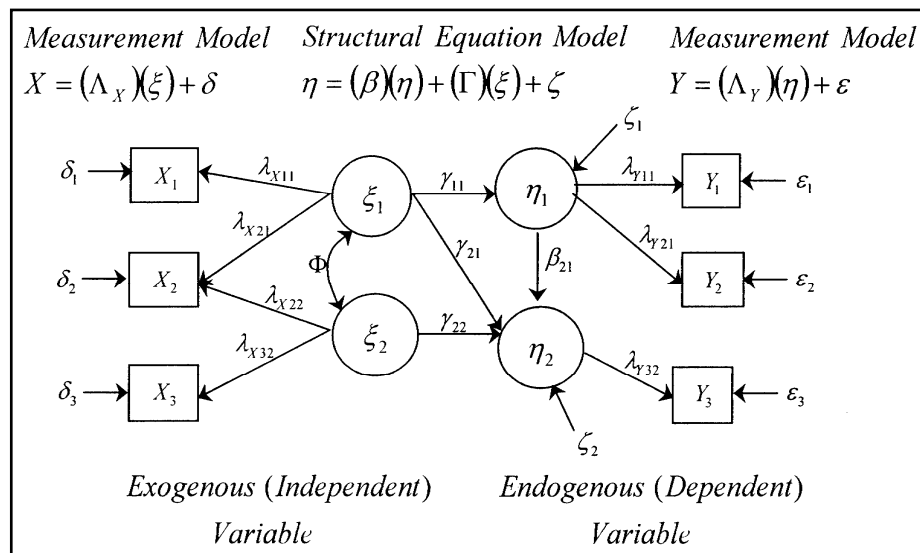
## แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างและการศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง Structural Equation Modeling and Travel Behavior Study

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการบรรยายเรื่อง “แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างและการศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง (Structural Equation Modeling and Travel Behavior Study)” โดยเนื้อหาหลักของเอกสารนี้ได้นำมาจากหนังสือ “โมเดลลิสม์: สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย” พิมพ์ครั้งที่ 3 โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2542 แต่งโดย ศาสตราจารย์ ดร. นงลักษณ์ วิรัชชัย ภาควิชาวิจัยการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เนื้อหาที่น่าสนใจ ประกอบด้วยรายละเอียดโดยย่อเกี่ยวกับแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างตามหัวข้อดังนี้

- องค์ประกอบของแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง
- ประเภทของแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง
- วิธีการเขียนคำสั่งในโปรแกรมลิสม์
- การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

### 1. องค์ประกอบของแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง

แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างมีองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญดังต่อไปนี้ (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542)



รูปที่ 1 องค์ประกอบของแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง  
ที่มา นงลักษณ์ วิรัชชัย (2542)

จากรูปที่ 1 แสดงตัวอย่างของแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างที่มีองค์ประกอบเต็มรูปแบบ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรภายนอก (Exogenous variables) และตัวแปรภายใน (Endogenous variable) ทั้งตัวแปรภายนอกและตัวแปรภายในจะประกอบด้วยตัวแปรแฝง (Latent variable) และตัวแปรสังเกตได้ (Observed

variable) โดยตัวแปรแฝงจะไม่สามารถวัดค่าได้ในตัวมันเอง แต่จะวัดค่าได้จากตัวแปรสังเกตได้ที่เป็นองค์ประกอบของแต่ละตัวแปรแฝงนั้นๆ (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542)

ในแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างเต็มรูปแบบจะประกอบด้วยแบบจำลองย่อยที่สำคัญ 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองการวัด (Measurement model) และแบบจำลองสมการโครงสร้าง (Structural model) แบบจำลองการวัด คือแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงและตัวแปรสังเกตได้หรือตัวแปรวัดค่าได้ แบบจำลองการวัดจะมีทั้งแบบจำลองการวัดสำหรับตัวแปรภายนอก (Exogenous measurement model) และแบบจำลองการวัดสำหรับตัวแปรภายใน (Endogenous measurement model) สำหรับแบบจำลองสมการโครงสร้าง คือแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงภายนอกและตัวแปรแฝงภายใน จากรูปที่ 2.8 สามารถเขียนความสัมพันธ์ของแบบจำลองในรูปของสมการเมทริกซ์ได้ดังต่อไปนี้ (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542)

#### แบบจำลองการวัดสำหรับตัวแปรภายนอก

$$X = \Lambda_X \xi + \delta$$

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{X11} & 0 \\ \lambda_{X21} & \lambda_{X22} \\ 0 & \lambda_{X32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \end{bmatrix}$$

$$X_1 = \lambda_{X11}\xi_1 + \delta_1$$

$$X_2 = \lambda_{X21}\xi_1 + \lambda_{X22}\xi_2 + \delta_2$$

$$X_3 = \lambda_{X32}\xi_2 + \delta_3$$

#### แบบจำลองการวัดสำหรับตัวแปรภายใน

$$Y = \Lambda_Y \eta + \varepsilon$$

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

$$Y_1 = \lambda_{Y11}\eta_1 + \varepsilon_1$$

$$Y_2 = \lambda_{Y21}\eta_1 + \varepsilon_2$$

$$Y_3 = \lambda_{Y32}\eta_2 + \varepsilon_3$$

#### แบบจำลองสมการโครงสร้าง

$$\eta = \beta\eta + \Gamma\xi + \zeta$$

$$\begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \beta_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_{11} & 0 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \end{bmatrix}$$

$$\eta_1 = \gamma_{11}\xi_1 + \zeta_1$$

$$\eta_2 = \beta_{21}\eta_1 + \gamma_{21}\xi_1 + \gamma_{22}\xi_2 + \zeta_2$$

โดยที่

$$X = \text{Eks} = \text{เวกเตอร์ตัวแปรภายนอกสังเกตได้ } X \text{ ขนาด } NX \times 1$$

$$Y = \text{Wi} = \text{เวกเตอร์ตัวแปรภายในสังเกตได้ } Y \text{ ขนาด } NY \times 1$$

$\xi$	=	$X_i$	=	เวกเตอร์ตัวแปรภายนอกแฝง $K$ ขนาด $NK \times 1$
$\eta$	=	Eta	=	เวกเตอร์ตัวแปรภายในแฝง $E$ ขนาด $NE \times 1$
$\delta$	=	Delta	=	เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน $d$ ในการวัดตัวแปร $X$ ขนาด $NX \times 1$
$\varepsilon$	=	Epsilon	=	เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน $e$ ในการวัดตัวแปร $Y$ ขนาด $NY \times 1$
$\zeta$	=	Zeta	=	เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน $z$ ของตัวแปร $\eta$ ขนาด $NE \times 1$
$\Lambda_X$	=	Lambda-X	=	$LX$ = เมทริกซ์สัมประสิทธิ์การถดถอยของ $X$ บน $\xi$ ขนาด $NX \times NK$
$\Lambda_Y$	=	Lambda-Y	=	$LY$ = เมทริกซ์สัมประสิทธิ์การถดถอยของ $Y$ บน $\eta$ ขนาด $NY \times NE$
$\Gamma$	=	Gamma	=	$GA$ = เมทริกซ์อิทธิพลเชิงสาเหตุจาก $\xi$ ไป $\eta$ ขนาด $NE \times NK$
$\beta$	=	Beta	=	$BE$ = เมทริกซ์อิทธิพลเชิงสาเหตุระหว่าง $\eta$ ขนาด $NE \times NE$
$\Phi$	=	Phi	=	$PH$ = เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรภายนอกแฝง $\xi$ ขนาด $NK \times NK$
$\Psi$	=	Psi	=	$PS$ = เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อน $\zeta$ ขนาด $NE \times NE$
$\Theta_\delta$	=	Theta-delta	=	$TD$ = เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อน $\delta$ ขนาด $NX \times NX$
$\Theta_\varepsilon$	=	Theta-epsilon	=	$TE$ = เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อน $\varepsilon$ ขนาด $NY \times NY$

## 2. ประเภทของแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง

Joreskog และ Sorbom (1989) ได้แบ่งแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างออกเป็นแบบจำลองย่อยได้ 3 กลุ่ม (อ้างอิงใน นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542) ได้แก่

### 2.1 โมเดลย่อย I โมเดลการวัดและโมเดลสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Measurement model and Confirmatory factor analysis model)

แบบจำลองกลุ่มนี้ประกอบด้วยตัวแปรภายนอกแฝง และตัวแปรภายนอกสังเกตได้ แต่ไม่มีตัวแปรภายใน เขียนในรูปสมการได้ดังต่อไปนี้

$$X = \Lambda_X \xi + \delta$$

หรือเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$[X] = [LX] [K] + [d]$$

จากลักษณะสมการในโมเดล ผู้อ่านจะเห็นได้ว่าโมเดลย่อยกลุ่มนี้ไม่มีตัวแปรภายในทั้งตัวแปรภายในแฝง และตัวแปรภายในสังเกตได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูล เมทริกซ์พารามิเตอร์  $LY, PS, TE, GA, BE$  จึงมีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมด การกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลกำหนดรูปแบบและสถานะของเมทริกซ์  $LX, TD$  และ  $PH$

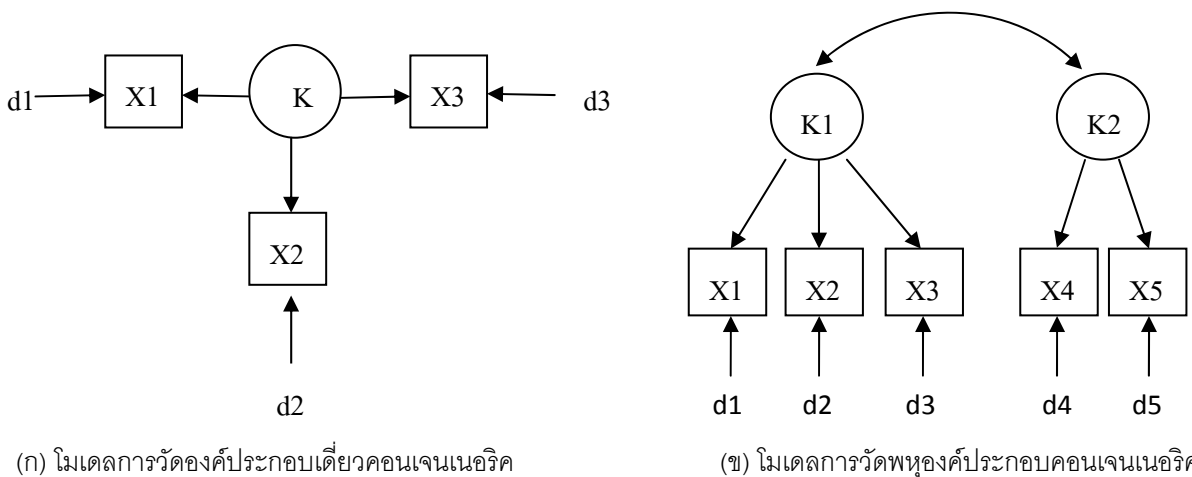
เท่านั้น แบบจำลองกลุ่มนี้แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่ (1) Congeneric measurement models (2) Confirmatory factor analysis models และ (3) Multitrait-multimethod models

### 2.1.1 โมเดลการวัดคอนเจนเนอริค (Congeneric measurement models)

ตามหลักการวัดผลการศึกษาเมื่อมีตัวแปรสังเกตได้  $X_1$   $X_2$   $X_3$  มีค่าคะแนนจริงเป็น  $T_1$   $T_2$   $T_3$  ตามลำดับ จะแบ่งลักษณะของตัวแปรสังเกตได้เป็น 3 แบบ ตามคุณสมบัติของคะแนนจริง (True score) กล่าวคือ ถ้าสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนจริงแต่ละคู่เป็นค่าสหสัมพันธ์สมบูรณ์ คือ มีค่าเท่ากับ 1.00 เรียกว่า *ตัวแปรคอนเจนเนอริค* คือ ตัวแปรที่มีคะแนนจริงร่วมกัน ถ้าความแปรปรวนของคะแนนจริงทุกตัวเท่ากัน และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเท่ากันด้วยเรียกว่าเป็น *ตัวแปรคู่ขนาน (Parallel measures)* และถ้าค่าความแปรปรวนของคะแนนจริงทุกตัวเท่ากัน แต่ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากัน เรียกว่าเป็น *ตัวแปรเทียบเท่าทาว (Tau equivalent measures)* จากนิยามจึงตัวแปรคอนเจนเนอริคข้างต้น นำมาเขียนเป็นโมเดลการวิจัยจะได้ลักษณะเป็นโมเดลลิสเรลที่เป็นโมเดลย่อย 1 ดังรูปที่ 2 (ก) และ (ข) ตามภาพ (ก) เป็นโมเดลลิสเรลการวัดองค์ประกอบเดียวคอนเจนเนอริค (One factor congeneric measurement model)

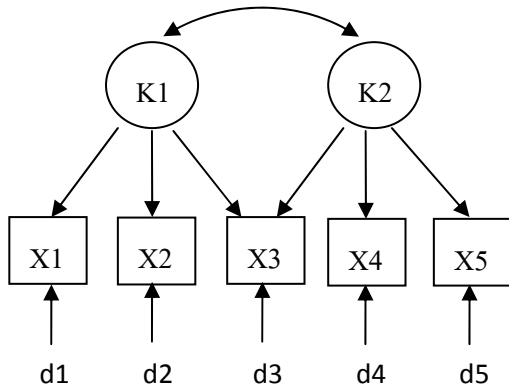
### 2.1.2 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor analysis models)

การวิเคราะห์องค์ประกอบเป็นวิธีการทางสถิติ ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้จากชุดหนึ่งว่าเกิดจากตัวแปรแฝงหรือคุณลักษณะคุณลักษณะแฝงที่เป็นองค์ประกอบร่วมอย่างไร การวิเคราะห์องค์ประกอบทำได้ 2 แบบคือ การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory factor analysis) และการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจนั้นนักวิจัยไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงและตัวแปรสังเกตได้ ทราบแต่เพียงองค์ประกอบร่วมที่คาดว่าจะมีและเชื่อว่าอิทธิพลต่อความแปรสังเกตได้ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้ ส่วนในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันนั้นนักวิจัยต้องมี

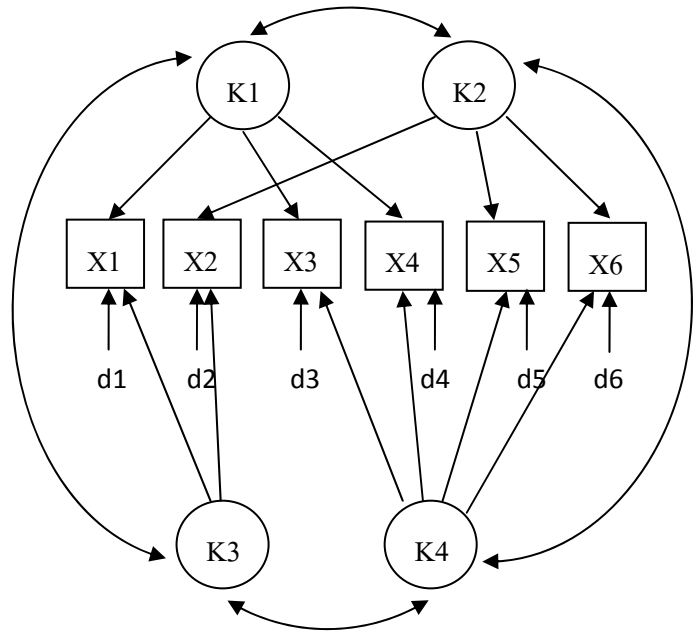


รูปที่ 2 โมเดลย่อย 1 ในโปรแกรมลิสเรล

ที่มา นางลักษณะ วิรัชชัย (2542)



(ค) โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน



(ง) โมเดลหลากหลายลักษณะหลายวิธี

รูปที่ 2 โมเดลย่อย I ในโปรแกรม LISREL (ต่อ)

ที่มา นางลักษณวีร์ รัชชัย (2542)

สมมติฐานวิจัยแน่นอนว่าเมืองค์ประกอบใดส่งอิทธิพลไปยังตัวแปรสังเกตได้ กล่าวอีกอย่างหนึ่งคือนักวิจัยทราบโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และกำหนดเป็นโมเดลการวิจัยไว้ดังตัวอย่างโมเดล LISREL ในภาพที่ 2 (ค) การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน คือการตรวจสอบว่าข้อมูลเชิงประจักษ์สอดคล้องกับโมเดลการวิจัย วิธีการวิเคราะห์นี้เป็นประโยชน์มากในการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct validity)

### 2.1.3 โมเดลหลากหลายลักษณะหลายวิธี (Multitrait-multimethod models)

โมเดลหลากหลายลักษณะหลายวิธีเป็นประโยชน์ต่อการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างเพราะเป็นโมเดลที่ใช้ในวิธีการหาความตรงด้วยวิธีหลากหลายวิธีซึ่ง Campbell และ Fiske (อ้างใน Kerlinger, 1973 : 46) ปรับปรุงวิธีการรวมกลุ่ม-การจำแนกกลุ่ม (Convergence and discriminability) วิธีการนี้กำหนดตัวแปรแฝงหรือองค์ประกอบที่ต้องการวัดหลายตัว และวิธีการวัดหลายวิธีตามภาพที่ 2 (ง) เมืองค์ประกอบ K1, K2 และวิธีการวัด K3, K4 หลักการตรวจสอบความตรงพิจารณาจาก เมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝง ซึ่งในโปรแกรม LISREL พิจารณาจากเมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วม PH และเมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้

### 2.2 โมเดลย่อย II โมเดลความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงสาเหตุ (Causal structural models)

แบบจำลองกลุ่มนี้ประกอบด้วยแบบจำลองความสัมพันธ์ทั้งแบบที่มีและไม่มีทิศทางเคลื่อนในการวัด แบบจำลองที่ไม่มีทิศทางเคลื่อนในการวัดจะประกอบขึ้นด้วยตัวแปรสังเกตได้ทั้งหมด โดยไม่มีตัวแปรแฝง เขียนรูปสมการได้ดังต่อไปนี้

$$Y = \beta Y + \Gamma X + \zeta$$

หรือเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$[Y] = [BE][Y] + [GA][X] + [z]$$

จากลักษณะสมการโมเดลผู้อ่านจะเห็นได้ว่าโมเดลกลุ่มนี้ไม่มีตัวแปรแฝงทั้งที่เป็น ตัวแปรภายในและตัวแปรภายนอก ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูล เมทริกซ์พารามิเตอร์ LY LX TD และ TE จึงมีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมด การกำหนดชื่อข้อมูลจำเพาะของโมเดลกำหนดรูปแบบและสถานะของเมทริกซ์ GA BE PH และ PH เท่านั้น

โมเดลความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงสาเหตุ ที่มีคลาดเคลื่อนในการวัดจะมีตัวแปรครบทุกประเภทได้ตามโมเดลใหญ่ในโปรแกรมลิสเรล เมื่อเขียนในรูปสมการจะประกอบด้วยสมการการวัดสองสมการ และสมการโมเดลโครงสร้างหนึ่งสมการ ดังนี้

$$[X] = [LX][K] + [d]$$

$$[Y] = [LY][E] + [e]$$

$$[E] = [BE][E] + [GA][K] + [z]$$

แบบจำลองกลุ่มนี้ยังแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่ (1) Regression models and ANOVA models (2) Path analysis และ (3) Multiple indicators and Multiple causes models หรือ MIMIC models

### 2.2.1 โมเดลการถดถอยและโมเดลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Regression models and ANOVA models)

โมเดลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นกรณีหนึ่งของโมเดลการถดถอย นักวิจัยแปลง(Transform) ตัวแปรต้นในการวิเคราะห์การถดถอยให้เป็นตัวแปรดัมมี่ (Dummy variables) แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย จะได้ผลการวิเคราะห์เหมือนกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทุกประการ โมเดลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและโมเดลการถดถอย เมื่อเขียนในรูปโมเดลลิสเรลจึงมีลักษณะโมเดลแบบเดียวกัน ดังนั้นผู้เขียนจึงเสนอแต่โมเดลการถดถอย ลักษณะของโมเดลการถดถอยยังแบ่งได้ตามจำนวนตัวแปรตาม ถ้ามีตัวแปรตามตัวเดียวเป็นโมเดลการถดถอยพหุคูณ ถ้ามีตัวแปรตามหลายตัวแปรเป็นโมเดลการถดถอยพหุคูณ สำหรับตัวแปรพหุนาม (Multivariate multiple regression models) ตามลักษณะโมเดลย่อยในรูปที่ 3 (ก) คือ โมเดลการถดถอยพหุคูณ มีตัวแปรตัวเดียวได้รับอิทธิพลจากตัวแปรต้น 4 ตัวแปร โมเดลย่อย (ง) คือ โมเดลการถดถอยพหุคูณสำหรับตัวแปรพหุนาม มีตัวแปร 2 ตัว แต่ละตัวได้รับอิทธิพลจาก ตัวแปรต้น 2 ตัวแปร โมเดลย่อยทั้งสอง โมเดลนี้ไม่มีความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปรต้น ส่วนโมเดลย่อย (ข) (ค) และ (จ) เป็นโมเดลการถดถอยที่มีความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปร กล่าวคือ โมเดล (ข) และ (ค) เป็นโมเดลการถดถอยพหุคูณมีตัวแปรตามตัวเดียว โมเดลแรกมีความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปรต้นและโมเดลหลังมีความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม ส่วนโมเดลย่อย (จ) เป็นโมเดลการถดถอยพหุคูณ

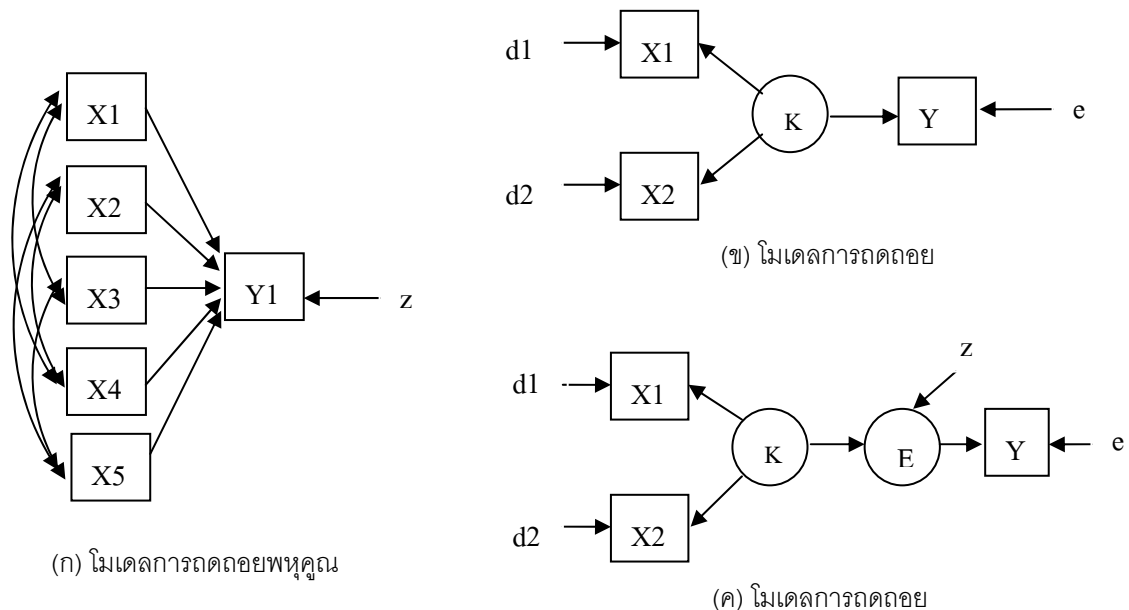
### 2.2.2 โมเดลสำหรับการวิเคราะห์อิทธิพล (Path analysis)

การวิเคราะห์อิทธิพลด้วยโปรแกรมลิสเรลนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่า โมเดลมีตัวแปรแฝงหรือตัวแปรสังเกตได้ วิเคราะห์ได้ทั้งความสัมพันธ์ทางเดียวและความสัมพันธ์ย้อนกลับโมเดลย่อยในรูปที่ 3 (ฉ) แสดงโมเดล

ลิสเรลสำหรับอิทธิพลแบบไม่มีความคลาดเคลื่อนในการวัด และเป็นโมเดลความสัมพันธ์ทางเดียว ตัวแปรในโมเดลเป็นตัวแปรที่สังเกตได้ไม่มีตัวแปรแฝง การกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลจึงกำหนดรูปแบบและสถานะของเมทริกซ์พารามิเตอร์ GA BE PH PS เท่านั้น ส่วนเมทริกซ์ LX LY TE และ TD จะเป็นศูนย์ทั้งหมด ในกรณีที่มีความคลาดเคลื่อนในการวัด ตัวแปรในโมเดลมีทั้งตัวแปรแฝงและตัวแปรสังเกตได้ลักษณะของโมเดลตรงกับโมเดลใหญ่ในโปรแกรมลิสเรล

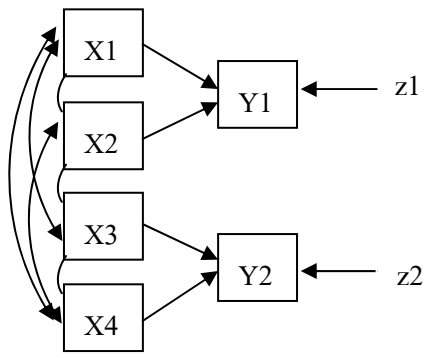
### 2.2.3 โมเดลมิมิค (Multiple indicators and Multiple causes models or MIMIC models)

โมเดลมิมิค หมายถึง โมเดลลิสเรลที่มีตัวแปรแฝงเพียงตัวแปรเดียว โดยที่ตัวแปรแฝงนั้นได้รับอิทธิพลจากตัวแปรภายนอกสังเกตได้หลายตัวแปร และส่งอิทธิพลไปยังตัวแปรภายในสังเกตได้หลายตัวแปร กล่าวอีกอย่างหนึ่งคือ เป็นโมเดลลิสเรลของคุณลักษณะแฝงที่มีหลายสาเหตุและวัดได้จากตัวบ่งชี้หลายตัว ดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) ในที่นี้มีตัวบ่งชี้ 3 ตัวแปร และมีตัวแปรสาเหตุ 3 ตัวแปรตามลักษณะโมเดลจะเห็นว่า การวัดตัวแปรภายนอกสังเกตได้ต้องมีข้อตกลงข้างต้นว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนในการวัดและในการวิเคราะห์ข้อมูลจะกำหนดข้อมูลจำเพาะ เฉพาะรูปแบบและสถานะของเมทริกซ์ PH BE GA PS LY และ TE เท่านั้น ส่วนเมทริกซ์ TD และ LX มีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมด โมเดลมิมิคนี้เป็นประโยชน์มากในการตรวจสอบความเป็นเอกมิติ (Unidimensionality) ในการวิจัยสาขาในการวัดผลการศึกษา

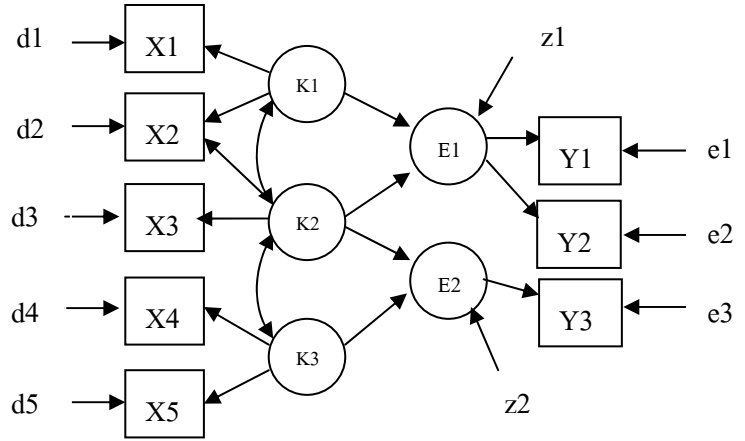


รูปที่ 3 โมเดลย่อย II ในโปรแกรมลิสเรล  
ที่มา นางลักษณวีร์รัชชัย (2542)

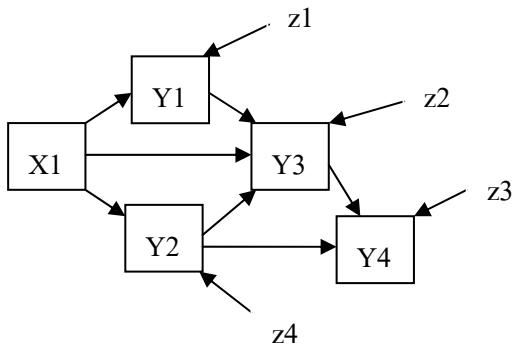




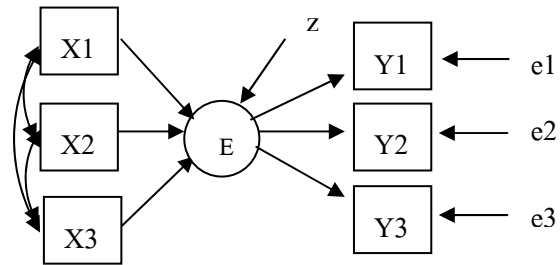
(ง) โมเดลการถดถอยพหุคูณตัวแปรพหุนาม



(จ) โมเดลลิสเรล



(ฉ) โมเดลการวิเคราะห์หีทธิพิล



(ช) โมเดลมิมิค

รูปที่ 3 โมเดลย่อย II ในโปรแกรมลิสเรล (ต่อ)  
ที่มา นงลักษณ์ วิรัชชัย (2542)

**2.3 โมเดลย่อย III โมเดลไม่มีตัวแปรภายนอกสังเกตได้ (Non-observable exogenous variable models)**

แบบจำลองกลุ่มนี้ประกอบด้วยตัวแปรภายนอกแฝง ตัวแปรภายในแฝง และตัวแปรภายในสังเกตได้ เป็นองค์ประกอบ หรือในบางกรณีอาจไม่มีตัวแปรภายนอกแฝงก็ได้ เขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ดังนี้

$$Y = \Lambda_y \eta + \varepsilon$$

$$\eta = \beta \eta + \Gamma \zeta + \zeta$$

หรือเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$[Y] = [\Lambda Y][E] + [e]$$

$$[E] = [BE][E] + [GA][K] + [z]$$

จากโมเดลสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่าสมการเมทริกซ์ LX และ TD เป็นศูนย์ การกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลและกำหนดรูปแบบและสถานะของเมทริกซ์ LY BE PS TE GA และ PH เท่านั้น ในกรณีที่ไม่ได้

ย่อยไม่มีตัวแปรภายนอกแฝงด้วยแล้ว เมทริกซ์ GA และ PH จะมีค่าเป็นศูนย์ด้วยและนักวิจัยเพียงแต่ประมาณค่าพารามิเตอร์จากสี่เมทริกซ์ คือ LY BE PS และ TE เป็นต้น แบบจำลองกลุ่มนี้ยังแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่ (1) Second order factor analysis (2) Two-wave models และ (3) Simplex model

### 2.3.1 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบในอันดับที่สอง (Second order factor analysis)

ในการวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์โดยทั่วไป เมื่อนักวิจัยต้องการศึกษาตัวแปรแฝงจากชุดของตัวแปรสังเกตได้นักวิจัยนิยมใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ หรือการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเท่านั้น การวิเคราะห์องค์ประกอบยังมีอีกวิธีหนึ่ง คือการวิเคราะห์องค์ประกอบอันดับที่สอง

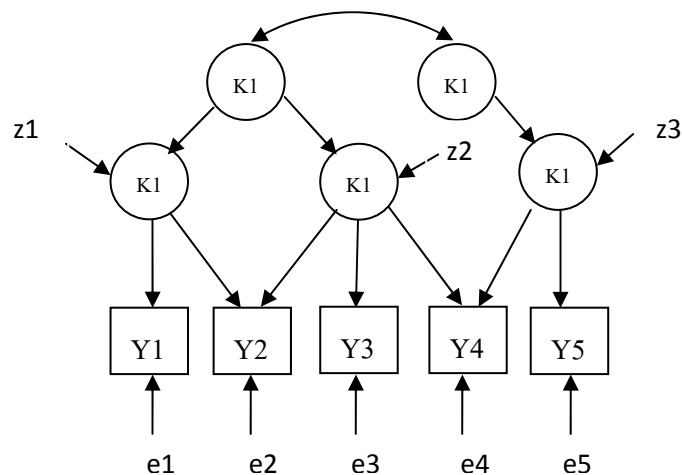
โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบอันดับที่สอง แสดงไว้ในภาพที่ 4 (ก) ตามภาพจะเห็นว่าองค์ประกอบอันดับที่สอง (K1 และ K2) แสดงออกหรือมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบอันดับแรก (E1 E2 และ E3) ซึ่งมีอิทธิพลต่อตัวแปรสังเกตได้ทั้ง 5 ตัว ตามโมเดลนี้นักวิจัยต้องกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลโดยกำหนดรูปแบบและสถานะของเมทริกซ์พารามิเตอร์ รวม 6 เมทริกซ์ คือ LY BE PS TE GA และ PH

### 2.3.2 โมเดลสองคลื่น (Two-wave models)

ลักษณะเด่นของโปรแกรมลิสมัลที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลระยะยาว (Longitudinal data) หรือข้อมูลอนุกรมเวลา (Time series data) ซึ่งมีการใช้วิจัยวัดตัวแปรเดียวกันจากหน่วยตัวอย่างเดิมซ้ำๆ กันหลายครั้ง การวิเคราะห์ข้อมูลระยะยาวก็คือ การประเมินความเปลี่ยนแปลงหรือความเจริญเติบโตของคุณลักษณะที่นักวิจัยศึกษา และการวิเคราะห์ว่าความเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากตัวแปรสาเหตุอะไร ถ้ามีการเก็บข้อมูลระยะยาวโดยมีการเก็บข้อมูลสองครั้ง ลักษณะโมเดลการวิจัยจะมีลักษณะเป็นโมเดลสองคลื่น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4 (ข)

### 2.3.3 โมเดลซิมเพล็กซ์ (Simplex models)

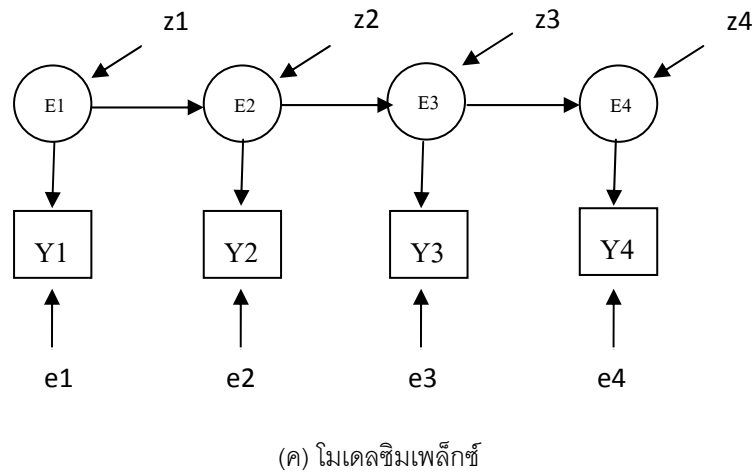
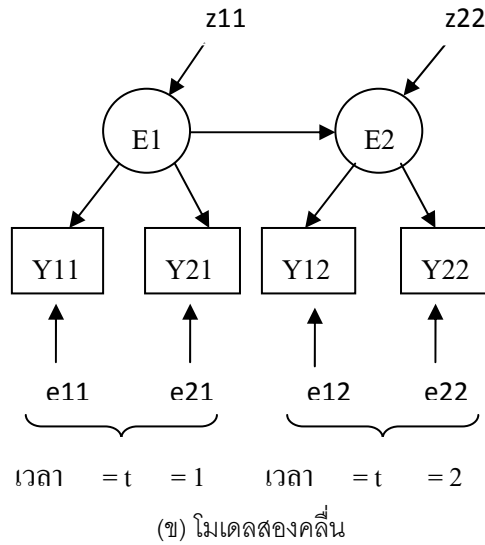
โมเดลซิมเพล็กซ์มีรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในโมเดลดังแสดงไว้ในรูปที่ 4 (ค) โปรแกรมลิสมัลสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งโมเดลซิมเพล็กซ์สมบูรณ์ (Perfect simplex models) ซึ่งไม่มีความคลาดเคลื่อนในการวัด



(ก) โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบอันดับที่สอง

รูปที่ 4 โมเดลย่อย III ในโปรแกรมลิสมัล

ที่มา นางลักษณ วัชรชัย (2542)



รูปที่ 4 โมเดลย่อย III ในโปรแกรมลิสเรล (ต่อ)  
ที่มา นางลักษณ วิรัชชัย (2542)

นอกจากนี้ Kline (1998) ได้จัดประเภทของ SEM ออกเป็นหมวดหมู่กว้างๆ ได้แก่ Path analysis, Confirmatory factor analysis และ Hybrid model แต่รูปแบบและองค์ประกอบของแบบจำลองแต่ละประเภทพบว่ามีความลักษณะที่เหมือนกันกับของ Joreskog และ Sorbom (1989)

### 3. วิธีการเขียนคำสั่งในโปรแกรมลิสเรล

โปรแกรมลิสเรลตั้งแต่เวอร์ชันที่ 8 จึงสามารถเขียนคำสั่งได้ 2 แบบ คือ ภาษาลิสเรล และภาษาซิมพลิส ถ้านักวิจัยสั่งด้วยภาษาลิสเรล จะได้ผลการวิเคราะห์ในแบบภาษาลิสเรล คือได้ค่าพารามิเตอร์และค่าสถิติในรูปแบบเมทริกซ์ (นางลักษณ วิรัชชัย, 2542) ในเอกสารนี้จะนำเสนอเฉพาะการเขียนคำสั่งด้วยภาษาลิสเรล โดยในหนังสือ “โมเดลลิสเรล: สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย” พิมพ์ครั้งที่ 3 โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2542 แต่งโดย ศาสตราจารย์ ดร. นางลักษณ วิรัชชัย ภาควิชาวิจัยการศึกษาคณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แนะนำการเขียนคำสั่งด้วยภาษาลิสเรลไว้ ดังนี้

## การเขียนคำสั่งในโปรแกรมลิสเรลด้วยภาษาลิสเรล

ลักษณะของคำสั่งแบ่งเป็น 5 ส่วน คือ

1. คำสั่งเกี่ยวกับชื่อเรื่อง (Title)
2. ข้อมูล (Data)
3. การสร้างโมเดล (Model construction)
4. ผลการวิเคราะห์ (Output)
5. การสร้างภาพแสดงเส้นทางอิทธิพล (Path diagram)

### 1. ชื่อเรื่อง (Title)

นักวิจัยอาจจะใส่ชื่องานการวิเคราะห์ หรือชื่อปัญหาวิจัยไว้ในส่วนที่เป็นชื่อเรื่องได้โดยไม่จำกัดความยาว มีข้อกำหนดเพียงแต่ว่าข้อความที่จะใส่ในบรรทัดแรก ต้องไม่เริ่มต้นด้วยตัวอักษร DA และคอลัมน์สุดท้ายของแต่ละบรรทัดต้องเว้นว่าง ข้อความส่วนนี้จะถูกพิมพ์ออกในตอนต้นของการวิเคราะห์แต่ละส่วน

### 2. ข้อมูล (Data)

คำสั่งในส่วนของคุณข้อมูลเป็นการกำหนดรายละเอียดของคุณข้อมูลและลักษณะของเมทริกซ์ที่จะใช้โปรแกรมลิสเรลวิเคราะห์ รูปแบบของคำสั่งในส่วนนี้เริ่มต้นด้วยคำว่า DA ไปด้วยสัญลักษณ์บอกลักษณะของคุณข้อมูล ซึ่งอาจเขียนได้หลายแบบ รูปแบบทั้งหมดของคำสั่งเกี่ยวกับข้อมูลมีดังต่อไปนี้ (คำสั่งส่วนที่อยู่ในเครื่องหมาย < > นั้น นักวิจัยเลือกใช้เพียงตัวเดียว ส่วนที่เป็น ตัวพิมพ์เล็ก คือ ส่วนที่นักวิจัยต้องเติมรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูล)

DA NG = n NI = k NO = N MA = < MM, AM, CM, KM, OM, PM >

LA

<fixed format or \*>

<labels>

<CM, KM, MM, OM, PM, RA>

<fixed format or \*>

<data matrix or records>

<ME, SD>

<fixed format or \*>

<data>

SE

โดยที่

NG = จำนวนกลุ่ม (default = 1)

NI = จำนวนตัวแปรสังเกตได้ นับรวมทั้งตัวแปรภายนอกและภายใน

NO = จำนวนหน่วยตัวอย่าง หรือขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (default = 0 เมื่อเป็นคะแนนดิบ)

MA = ประเภทของเมทริกซ์ที่จะใช้โปรแกรมลิสเรลวิเคราะห์ (default = CM) มี 6 แบบ

MM = เมทริกซ์โมเมนต์รอบจุดศูนย์

AM = เมทริกซ์โมเมนต์แต่งเติม (Augmented moment matrix)

CM = เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วม

KM = เมทริกซ์สหสัมพันธ์

OM = เมทริกซ์สหสัมพันธ์ของคะแนนเหมาะสมที่สุด (Optimal scores)

PM = เมทริกซ์สหสัมพันธ์โพลีคอคลิก

RA = ข้อมูลที่เป็นคะแนนดิบ

LA = ชื่อตัวแปรสังเกตได้ ชื่อของตัวแปรไม่มีการเว้นวรรค ถ้าจะมีการเว้นวรรค ต้องใส่ใน

เครื่องหมายคำพูดเดี่ยว และชื่อตัวแปรควรมีความยาวไม่เกิน 8 ตัวอักษร ถ้านักวิจัยไม่ใส่ชื่อตัวแปร โปรแกรมลิสเรลจะกำหนดค่าให้เป็น Y1, Y2, ...

<CM, KM, MM, OM, PM,> เลือกเพียงตัวเดียว

คือ ประเภทของเมทริกซ์ที่เป็นข้อมูลที่จะวิเคราะห์ ผู้อ่านควรแยกความแตกต่างระหว่างเมทริกซ์ข้อมูล และเมทริกซ์ที่จะให้โปรแกรมลิสเรลวิเคราะห์

ME = ค่าเฉลี่ยของตัวแปร

SD = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร

\* = ส่วนที่ละไว้โดยไม่ต้องกำหนด (default)

ในกรณีนี้นักวิจัยเตรียมเมทริกซ์สหสัมพันธ์ไว้เรียงตามตัวแปรแบบหนึ่ง แต่ในการวิเคราะห์ต้องการ สลับที่ตัวแปร นักวิจัยไม่จำเป็นต้องพิมพ์เมทริกซ์ใหม่ เพียงแต่ใช้คำสั่งให้โปรแกรมลิสเรลจัดลำดับตัวแปรใหม่ โดยใช้คำสั่ง SE ถ้าตัวแปรที่ต้องการจัดลำดับมีจำนวนน้อยกว่าตัวแปรในเมทริกซ์ นักวิจัยต้องใส่เครื่องหมาย / ตามหลังด้วย เช่น ในเมทริกซ์สหสัมพันธ์มีตัวแปรภายนอกสังเกตได้ 3 ตัว ตัวแปรภายในสังเกตได้ 5 ตัว เรียงลำดับจาก X1 X2 X3 Y1 Y2 Y3 Y4 Y5 โปรแกรมลิสเรลจะรับเมทริกซ์เรียงจากตัวแปรภายในสังเกตได้ ไปหาตัวแปรสังเกตภายนอกสังเกตได้จึงต้องเรียงลำดับตัวแปรทั้ง 8 ตัวใหม่ ดังนี้

SE

4 5 6 7 8 1 2 3

ถ้าต้องการวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะตัวแปร Y1, Y2, X2, X3 ใช้คำสั่ง

SE

4 5 2 3 /

### 3. การสร้างโมเดล (Model construction)

คำสั่งในส่วนนี้เป็นากำหนดข้อมูลเฉพาะของโมเดล และใส่เข้าคอมพิวเตอร์โดยบอกรูปแบบของ เมทริกซ์ (Matrix form = mf) และสถานะของเมทริกซ์ (Matrix mode = mm) ของ เมทริกซ์ทั้งแปดพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดข้อมูลเฉพาะของโมเดลไว้ ดังที่ได้กล่าวแล้วในตอนต้นจากนั้นเป็นการกำหนดสถานะของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่นักวิจัยต้องการเปลี่ยนแปลงจากที่ได้กำหนดไว้ในเมทริกซ์รวมทั้งหมด รูปแบบของคำสั่งมีดังนี้

MO NY = p NX = q NE = m NK = n  
 LX = <mf,mm> LY = <mf,mm> GA = <mf,mm> BE = <mf,mm> PH = <mf,mm> C  
 PS = <mf,mm> TD = <mf,mm> TE = <mf,mm>  
 LE  
 <fixed format or \*>  
 <labels>  
 LK  
 <fixed format or \*>  
 <labels>  
 <FI, FR> LX(i,j) LY(i,j) GA(i,j) BE(i,j) PH(i,j) PS(i,j) TD(i,j) TE(i,j)  
 <VA, ST> value LX(i,j) LY(i,j) GA(i,j) BE(i,j) PH(i,j) PS(i,j) TD(i,j) TE(i,j)  
 PATH DIAGRAM

โดยที่

NY = จำนวนตัวแปรภายในสังเกตได้ (Y) (default = 0)

NX = จำนวนตัวแปรภายนอกสังเกตได้ (X) (default = 0)

NE = จำนวนตัวแปรภายในแฝง (E) (default = 0)

NK = จำนวนตัวแปรภายนอกแฝง (K) (default = 0)

LX, LY, GA, BE, PH, PS, TD, TE คือ เมทริกซ์พารามิเตอร์ทั้ง 8 เมทริกซ์

LE = ชื่อตัวแปรภายในแฝง (E)

LK = ชื่อตัวแปรภายนอกแฝง (K)

FI = กำหนดสถานะให้เป็นพารามิเตอร์กำหนด

FR = กำหนดสถานะให้เป็นพารามิเตอร์อิสระ

VA = กำหนดสถานะให้เป็นพารามิเตอร์เมทริกซ์

ST = การกำหนดค่าตั้งต้น (Starting values) ของพารามิเตอร์ในเมทริกซ์

PATH / DIAGRAM = คำสั่งให้สร้างภาพโมเดลแสดงอิทธิพลเป็นคำสั่งยกเว้นต้องเขียนเต็มค่าและมีใช้โปรแกรม  
 ลิสเรล 8

#### 4. ผลการวิเคราะห์ (Output)

คำสั่งในส่วนนี้ เป็นการกำหนดลักษณะของผลการวิเคราะห์ที่นักวิจัยต้องการคำสั่งแยกออกเป็น 4  
 กลุ่ม วิธีการเขียนคำสั่งต้องนำคำสั่งในแต่ละกลุ่มมาเขียนรวมกัน โดยเขียนตามหลังคำว่า OU รายละเอียดของ  
 คำสั่งทั้ง 4 กลุ่มมีดังนี้

##### 4.1 คำสั่งกำหนดวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์

OU ME = <IV, TS, UL, GL, ML, WL, DW>

ME = วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ (default = ML) ซึ่งทำได้ 7 แบบ คือ

- IV = วิธีตัวแปรอิสระหมุนเวียน (IV)  
 TS = วิธีกำลังสองน้อยที่สุดสองขั้นตอน (TSLS)  
 UL = วิธีกำลังสองน้อยที่สุดไม่ถ่วงน้ำหนัก (ULS)  
 GL = วิธีกำลังสองน้อยที่สุดวางในทั่วไป (GLS)  
 ML = วิธีโลคัลลิคสูงสุด (ML)  
 WL = วิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนักทั่วไป (MLS)  
 DW = วิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนักแนวทแยง (DWLS)

#### 4.2 คำสั่งกำหนดให้พิมพ์แสดงผลการวิเคราะห์

OU SE TV PC RS EF MR MI FS SS SC AL <TO, WP> ND = d

- SE = แสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  
 TV = แสดงค่าสถิติที  
 PC = แสดงเมทริกซ์สหสัมพันธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์  
 RS = แสดงผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนในรูปคะแนนดิบ และคะแนนมาตรฐาน, คิว-พล็อต, เมทริกซ์สหสัมพันธ์  
 EF = แสดงอิทธิพลรวม (total effects) และอิทธิพลทางอ้อม (indirect effects)  
 MR = ผลการวิเคราะห์เบ็ดเตล็ด  
 MI = แสดงดัชนีตัดแปรโมเดล  
 FS = แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยและคะแนนองค์ประกอบ  
 SS = แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปคะแนนมาตรฐานเฉพาะตัวแปรแฝง  
 SC = แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปคะแนนมาตรฐานทุกตัวแปร  
 AL = ให้พิมพ์ผลการวิเคราะห์ทั้งหมด  
 TO = ให้พิมพ์บรรทัดละ 8 คอลัมน์ เป็น default  
 WP = ให้พิมพ์บรรทัดละ 132 คอลัมน์  
 ND = แสดงผลการวิเคราะห์ มีตำแหน่งทศนิยม 0-8 ตำแหน่ง (default = 2)

#### 4.3 คำสั่งกำหนดให้โปรแกรมลิสรอบันทึกผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นพารามิเตอร์ทั้ง 8 เมทริกซ์ลงในไฟล์

OU LY = <filename> LX = <filename>--- TE = <filename>

#### 4.4 คำสั่งกำหนดให้โปรแกรมใช้เวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล

OU TM = t IT = n AD = <m, OFF> EP = <epsilon>

- TM = เวลาสูงสุดเป็นวินาทีในการวิเคราะห์ข้อมูล (default = 172,800 วินาที)  
 IT = จำนวนครั้งในการคำนวณทวนซ้ำ (iteration) ค่า default คือ 3 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์อิสระ

AD = การตรวจสอบการยอมรับผลการวิเคราะห์ โปรแกรมลิสเรลจะคำนวณวนซ้ำเพียง 10 ครั้ง ถ้า  
 กลไกตรวจสอบการยอมรับได้ พบว่าค่าประมาณพารามิเตอร์ยังไม่ลู่เข้าหากัน (Converge) ใน 10 ครั้ง โปรแกรม  
 จะหยุดทำงาน ถ้าต้องการให้คำนวณวนซ้ำมากกว่านั้น ต้องใช้คำสั่ง

AD = OFF

EP = เกณฑ์ในการตรวจสอบการลู่เข้าหากัน (default = 0.000001)

การเขียนคำสั่งที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ถ้าเนื้อที่ในแต่ละบรรทัดไม่พอ จะต้องขึ้นบรรทัดใหม่จะต้องพิมพ์  
 ตัวอักษร C ให้โปรแกรมลิสเรลรู้ว่ายังมีข้อความต่อเนื่อง การพิมพ์คำสั่งจะต้องใช้โปรแกรมที่ให้อักษรแอสกี  
 (ASCII) โดยไม่มีกรกดปุ่มแท็บ (TAB) ตัวอย่างการเขียนคำสั่ง แสดงดังด้านล่างนี้

```

PATH ANALYSIS FOR ACHIEVEMENT MODEL
DA NI = 11 NO = 364 MA = CM
LA
'Y1' 'Y2' 'Y3' 'Y4' 'Y5' 'Y6' 'X1' 'X2' 'X3' 'X4' 'X5'
KM
1.00
0.72 1.00
0.35 0.42 1.00
0.40 0.45 0.78 1.00
0.32 0.38 0.56 0.59 1.00
0.29 0.34 0.42 0.44 0.75 1.00
0.27 0.35 0.30 0.25 0.16 0.21 1.00
0.21 0.30 0.29 0.21 0.15 0.08 0.38 1.00
0.23 0.22 0.06 0.08 0.17 0.16 0.30 0.27 1.00
0.18 0.23 0.04 0.01 0.15 0.14 0.14 0.19 0.47 1.00
0.15 0.17 0.09 0.07 0.13 0.15 0.10 0.17 0.35 0.30 1.00
SD
3.65 3.30 1.45 1.68 2.45 2.37 2.59 2.38 2.75 2.69 2.98
MO NY = 6 NX = 5 NE = 3 NK = 2 C
LX = FU,FI LY = FU,FI BE = SD,FI GA = FU,FR PH = SY,FR PS = SY,FR C
TE = DI,FR TD = DI,FR
FR LY(2,1) LY(4,2) LY(6,3) LX(2,1) LX(3,1) LX(4,2) LX(5,2)
ST 1 LY(1,1) LY(3,2) LY(5,3) LX(1,1) LX(3,2)
FR BE(2,1) BE(3,1) BE(3,2)
FI PS(2,1) PS(3,1) PS(3,2) GA(1,2)
ST O PS(2,1) PS(3,1) PS(3,2) GA(1,2)

```



LE

'SUPPORT' 'ASPIRATN' 'ACHIEVEM'

LK

'SES' 'EXPECTN'

OU SE TV EF SS MI RS FS

### 5. การสร้างภาพแสดงเส้นทางอิทธิพล (Path diagram)

คำสั่งในส่วนนี้เป็นส่วนที่เพิ่มขึ้นมาใหม่ในโปรแกรมลิขสิทธิ์ 8 จัดว่าเป็นคำสั่งที่เกี่ยวกับผลการวิเคราะห์ข้อมูล คำสั่งในส่วนนี้ทำให้โปรแกรมลิขสิทธิ์ทำงานในลักษณะที่มีการโต้ตอบกับผู้ใช้โปรแกรมได้ด้วย นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติพิเศษอีก 3 ประการ ประการแรก โปรแกรมสามารถวางแผนภาพแสดงอิทธิพลของโมเดลการวิจัยให้ผู้ใช้โปรแกรมพิมพ์ออกมาได้ ประการที่สอง ผู้ใช้โปรแกรมอาจตัดคำสั่งว่าด้วย การสร้างโมเดลออกทั้งหมดแล้วจึงสร้างโมเดลโดยการโต้ตอบกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลากเส้นแสดงเส้นทางอิทธิพลโดยไม่ต้องพะวงกับลักษณะข้อมูลจำเพาะของเมทริกซ์พารามิเตอร์ ประการที่สาม ผู้ใช้โปรแกรมสามารถตรวจสอบความตรงของโมเดลที่ได้ทันที และใช้ประโยชน์จากดัชนีตัดแปรโมเดล ปรับโมเดลให้ได้โมเดลที่ดีที่สุดในการโต้ตอบกับเครื่องได้เลยโดยไม่ต้องใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับโมเดลแต่ละโมเดลที่ปรับแก้ วิธีการเขียนคำสั่งมีรูปแบบ ดังนี้

PATH DIAGRAM TV = <value> MI = <value>

คำสั่งนี้ต้องใช้ตัวอักษรเต็ม ไม่ใช่ตัวย่อ และต้องพิมพ์ลงในบรรทัดก่อนบรรทัดที่ตั้งต้นด้วยคำว่า OU หรือคำสั่งเกี่ยวกับผลการวิเคราะห์ ค่าระดับนัยสำคัญของค่าสถิติ t ที่เป็น default คือ 0.05 และค่าระดับนัยสำคัญของค่าดัชนีตัดแปรโมเดล ที่เป็น default คือ 0.05 ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างอื่นให้ระบุในคำสั่งข้างต้น

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมลิขสิทธิ์ 8 ที่มีคำสั่ง PATH DIAGRAM และเครื่องคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว บนจอภาพจะมีภาพแสดงอิทธิพล (Path diagram) พร้อมทั้งค่าประมาณของพารามิเตอร์และเมื่อผู้ใช้กดปุ่มอักษรย่อต่างๆ จะได้ภาพแสดงอิทธิพลแตกต่างกัน รวม 7 ภาพ ดังนี้

T – ให้ภาพแสดงอิทธิพล พร้อมกับค่าสถิติ t (t-values)

E – ให้ภาพแสดงอิทธิพล พร้อมกับค่าประมาณพารามิเตอร์ (Parameter estimates)

B – ให้ภาพแสดงอิทธิพลระหว่างตัวแปรในโมเดล (Basic model)

S – ให้ภาพแสดงอิทธิพลของโมเดลสมการโครงสร้างและหน่วยตัวแปรแฝง

X – ให้ภาพแสดงอิทธิพลของโมเดลการวัดที่เป็นตัวแปรภายนอก

Y – ให้ภาพแสดงอิทธิพลของโมเดลการวัดที่เป็นตัวแปรภายใน

R – ให้ภาพแสดงอิทธิพลของโมเดลรวมทั้งความคลาดเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน ในขณะที่ดูภาพแสดงอิทธิพล ผู้ใช้อาจสั่งให้เครื่องทำงานต่อไปนี้ได้โดยกดปุ่ม

P – พิมพ์ภาพที่อยู่บนจอภาพออกทางเครื่องพิมพ์

Z – ดึงภาพขยายให้ใหญ่ขึ้น

F1 – ขอความช่วยเหลือ

Q – เลิกดูภาพ

S – บันทึกภาพไว้ในไฟล์ ควรใส่ชื่อสกุล .PDM

โดยปกติในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมลิขสิทธิ์ผลการวิเคราะห์ที่ได้มาควรจะต้องมีการตรวจสอบระดับความกลมกลืนของโมเดลตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ผู้ใช้ทำได้โดยกดปุ่ม F จอภาพจะแสดงดัชนีที่ใช้ในการวัดระดับความกลมกลืนทั้งหมด และถ้าต้องการกลับมาดูภาพใหม่ ทำได้โดยกดปุ่ม Esc เมื่อดัชนีวัดระดับความกลมกลืนแสดงว่าโมเดลยังไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ นักวิจัย จะปรับโมเดลโดยการทำงานดังต่อไปนี้

1) กดปุ่ม M จอภาพแสดงแผนภาพอิทธิพลพร้อมดัชนีตัดแปรเพื่อให้ทราบว่าควรจะต้องลดหรือเพิ่มเส้นแสดงอิทธิพลเส้นใด

2) กดปุ่ม E จอภาพแสดงแผนภาพอิทธิพลพร้อมค่าประมาณพารามิเตอร์

3) เติมหรือลบเส้นแสดงอิทธิพลโดยใช้ปุ่มเครื่องหมายลูกศรจนเครื่องหมายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนจอภาพไปอยู่ที่ตำแหน่งตัวแปรที่ต้องการให้เป็นสาเหตุแล้วกดปุ่ม ENTER จากนั้นเลื่อนเครื่องหมายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนจอภาพไปตำแหน่งตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่ต้องการให้เป็นผล แล้วกดปุ่ม ENTER ถ้าในจอภาพมีเส้นแสดงอิทธิพลระหว่างตัวแปรทั้งสองอยู่ก่อน การทำงานดังกล่าวมีผลทำให้เส้นอิทธิพลนั้นถูกลบออก ถ้าเดิมยังไม่มีเส้นแสดงอิทธิพล การทำงานดังกล่าวเป็นการเติมเส้นแสดงอิทธิพล เมื่อเติมหรือลบเรียบร้อยแล้วควรตรวจสอบว่าเส้นอิทธิพลดังกล่าวได้ถูกเปลี่ยนแปลงแล้วโดยกดปุ่ม M และ T

4) กดปุ่ม F3 เพื่อให้เครื่องวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าประมาณพารามิเตอร์จากโมเดลที่ปรับใหม่

5) ตรวจสอบคุณภาพแสดงอิทธิพลที่ได้ใหม่ โดยกดปุ่ม T, E, B, S, X, Y, R และตรวจสอบระดับความกลมกลืนของโมเดล และรายละเอียดโดยกดปุ่ม F ถ้าการปรับโมเดลต่อให้กดปุ่ม M และดำเนินการใหม่ตั้งแต่ข้อ ก) อนึ่งในขณะที่จอแสดงแผนภาพอิทธิพลพร้อมดัชนีตัดแปรนั้น ถ้ากดปุ่ม A จอภาพจะแสดงภาพที่มีดัชนีตัดแปรทุกค่า สลับกับดัชนีตัดแปรที่มีค่าสูงสุดให้เห็น

#### 4. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์นั้น ส่วนใหญ่จะเป็นการตรวจสอบเพื่อการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งแบ่งการทดสอบเป็น 3 ขั้นตอน (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542; Kline, 1998) ได้แก่

**ขั้นตอนที่หนึ่ง** การตรวจสอบผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่ มีขนาดและเครื่องหมายสมเหตุสมผล และเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยหรือไม่ รวมทั้งการตรวจสอบสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R-square) เพื่อตรวจสอบความตรงของแบบจำลอง

**ขั้นตอนที่สอง** เป็นการตรวจสอบความกลมกลืนโดยรวมของแบบจำลอง (Overall fit) เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นตามสมมติฐานงานวิจัยนั้น มีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากน้อยเพียงใด ค่าสถิติที่ใช้ตรวจสอบเรียกว่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืน ได้แก่ ค่าสถิติไค-สแควร์ (Chi-square,

$\chi^2$ ) ค่า  $\chi^2 / df$  Goodness of fit index (GFI) Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) Root mean square residual (RMR) Root mean square error of approximation (RMSEA) และ Q-plot

**ขั้นตอนที่สาม** เป็นการประเมินระดับความกลมกลืนในรายละเอียด ขั้นตอนนี้จะดำเนินการภายหลังจากการตรวจสอบความกลมกลืนโดยรวมทั้งหมดของแบบจำลองเสร็จสิ้นแล้ว และให้ผลว่าแบบจำลองตามสมมติฐานการวิจัยสอดคล้องกับข้อมูลที่วิเคราะห์ วิธีการที่ใช้คือ การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (Residual analysis) และ Model modification index

สำหรับคำอธิบายของค่าสถิติที่ใช้สำหรับตรวจสอบแบบจำลอง SEM โดยทั่วไป ประกอบด้วย

1. ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและสหสัมพันธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ (Standard errors and correlations of estimations) ถ้าค่าประมาณที่ได้ไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีขนาดใหญ่ และแบบจำลองยังไม่ได้

2. สหสัมพันธ์พหุคูณและสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (Multiple correlations and coefficients of determination) ค่าสถิตินี้ควรมีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 และค่าที่สูงหมายความว่าแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์มีความตรง

3. ค่าสถิติไคสแควร์ (Chi-square statistics) เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานทางสถิติที่ว่าฟังก์ชันความกลมกลืนมีค่าเป็นศูนย์ ถ้าไคสแควร์มีค่าสูงมาก แสดงว่าฟังก์ชันความกลมกลืนมีค่าแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งหมายความว่า แบบจำลองไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ ถ้าค่าไคสแควร์ต่ำมาก ยิ่งมีค่าใกล้ศูนย์มากเท่าไร แสดงว่าแบบจำลองมีความกลมกลืนกับข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ ถ้าค่าไคสแควร์มีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าองศาอิสระ จำเป็นต้องปรับแบบจำลองแล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลใหม่ ค่าไคสแควร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งใหม่จะมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งหลังนี้มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่วิเคราะห์มากขึ้น โดยทั่วไปแบบจำลองสมมติฐานที่มีความกลมกลืนกับข้อมูล ค่าไคสแควร์ควรมีค่าใกล้เคียงกับค่าองศาอิสระ (Golob, 2003; Saris และ Stronkhorst, 1984)

4. ค่าสัดส่วน  $\chi^2 / df$  เนื่องจากเมื่อจำนวนตัวอย่างมาก ผลการวิเคราะห์ SEM จะให้ค่าไคสแควร์ที่สูงกว่ากรณีการวิเคราะห์ที่มีจำนวนตัวอย่างน้อยกว่า เพื่อแก้ไขความไวของค่าไคสแควร์ซึ่งเป็นผลมาจากจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ จึงมีผู้เสนอให้ใช้ค่าสัดส่วนระหว่างค่าไคสแควร์ และค่าองศาอิสระ ( $\chi^2 / df$ ) มาใช้ประกอบการพิจารณาแบบจำลองควบคู่ไปกับค่าไคสแควร์ โดยทั่วไปค่าสัดส่วน  $\chi^2 / df$  ที่น้อยกว่า 3 ถืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Kline, 1998)

5. ดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (Goodness of fit index, GFI) ค่าดัชนีจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 และเป็นค่าที่ไม่เกี่ยวข้องกับขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ดัชนี GFI ที่มีค่าเข้าใกล้ 1.00 หมายความว่าแบบจำลองมีความกลมกลืนกับข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยทั่วไป ค่า GFI ที่มากกว่า 0.90 ขึ้นไปถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ (Kline, 1998)

6. ดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้แล้ว (Adjusted goodness of fit index, AGFI) คือการนำค่าของค่าอิสระ จำนวนตัวแปร และขนาดของกลุ่มตัวอย่างมาปรับแก้ค่า GFI ค่าดัชนี AGFI จะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับดัชนี GFI

7. ดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของเศษเหลือ (Root mean square residual, RMR) เป็นค่าที่บอกขนาดของส่วนที่เหลือโดยเฉลี่ยจากการเปรียบเทียบระดับความกลมกลืนของแบบจำลองสองแบบจำลองกับข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ค่าดัชนี RMR ยิ่งเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าแบบจำลองมีความกลมกลืนกับข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยทั่วไปดัชนี RMR ที่น้อยกว่า 0.10 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Kline, 1998)

8. Q-plot เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าควอนไทล์ปกติ (Normal quantiles) ถ้าได้เส้นกราฟมีความชันมากกว่าเส้นทแยงมุมอันเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ หมายความว่าแบบจำลองดังกล่าวมีความกลมกลืนกับข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

9. ดัชนีดัดแปรแบบจำลอง (Model modification indices) เป็นค่าสถิติเฉพาะสำหรับพารามิเตอร์แต่ละตัว โดยมีค่าเท่ากับค่าโคสแควร์ที่จะลดลงเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับค่าโคสแควร์นั้นเป็นพารามิเตอร์อิสระ หรือมีการผ่อนคลายข้อกำหนดเงื่อนไขบังคับของพารามิเตอร์นั้น ค่าดัชนีดัดแปรแบบจำลองนี้เป็นประโยชน์มากสำหรับการตัดสินใจปรับแบบจำลองให้มีความกลมกลืนกับข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์มากขึ้น

10. Comparative fit index (CFI) เป็นดัชนีที่ใช้เปรียบเทียบแบบจำลองการวิจัยว่ามีความกลมกลืนสูงกว่าแบบจำลองอิสระมากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปค่า CFI ที่มากกว่า 0.94 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Hu and Bentler, 1999)

11. ดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของค่าความแตกต่างโดยประมาณ (Root mean square error of approximation, RMSEA) เป็นดัชนีที่พัฒนามาจากค่าฟังก์ชันความแตกต่างประชากร (Population discrepancy function, PDF) เนื่องจากเมื่อเพิ่มจำนวนพารามิเตอร์อิสระ ค่าสถิติดังกล่าวจะมีค่าลดลงเพราะค่าสถิตินี้มีค่าขึ้นอยู่กับองศาอิสระ โดยทั่วไปค่า RMSEA ที่น้อยกว่า 0.07 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Hu and Bentler, 1999)

### กิตติกรรมประกาศ

เนื้อหาส่วนใหญ่ในเอกสารฉบับนี้ มาจากหนังสือ “โมเดลลิสม์: สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย” พิมพ์ครั้งที่ 3 โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2542 แต่งโดย ศาสตราจารย์ ดร. นงลักษณ์ วิรัชชัย ภาควิชาวิจัยการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เรื่อง ผู้เขียนขอขอบพระคุณผู้แต่งหนังสือเล่มนี้เป็นอย่างสูง สำหรับเนื้อหาที่มีประโยชน์แก่การค้นคว้า ผู้เขียนได้นำเนื้อหาบางตอน มาใช้เป็นเนื้อหาในเอกสารฉบับนี้ ซึ่งเป็นการนำผลงานของอาจารย์มาเผยแพร่และอ้างอิงอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ จึงกราบขออนุญาตอาจารย์ เพื่อให้เป็นวิทยาทานแก่ผู้ที่สนใจในเรื่องนี้ต่อไปได้ ณ ที่นี้ด้วยครับ

**เอกสารอ้างอิง**

- นางลักษณ์ วิรัชชัย, “โมเดลลิสม์: สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย”, พิมพ์ครั้งที่ 3, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2542.
- ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์, “โมเดล LISREL เพื่อการวิจัย”, <http://www.watpon.com>, 2543.
- สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์, “การประยุกต์ใช้แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างเพื่อการตรวจสอบทัศนคติของคนในชุมชนที่มีต่อมาตรการเก็บค่าผ่านเข้าพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทระดับบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- K.G. Joreskog and D. Sorbom, “LISREL 7: User’s Reference Guide”, Scientific Software, Inc., Chicago, 1989.
- L. Hu and P.M. Bentler, “Cutoff criteria for fit indices in covariance structure analysis: conventional criteria versus new alternatives”, *Structural Equation Modeling*, Vol. 6, 1999, pp. 1–55.
- M. du Toit and S. du Toit, “Interactive LISREL: User’s Guide”, Scientific Software International, Lincolnwood, 2001.
- R.B. Kline, “Principles and practice of structural equation modeling”, Guilford Press, 1998.
- T.F. Golob, “Review Structural equation modeling for travel behavior research”, *Transportation Research Part B*, Vol. 37, 2003, pp. 1-25.

# ตัวอย่างการวิเคราะห์แบบจำลอง SEM

---

**กรณีศึกษา 1:** ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจลดการใช้รถจักรยานยนต์ของกลุ่มวัยรุ่นใน  
สถานศึกษา: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยบูรพา

**กรณีศึกษา 2:** การประยุกต์ Norm-Activation Theory และ The Theory of Planned Behavior  
เพื่อการอธิบายความตั้งใจลดการใช้รถจักรยานยนต์

**กรณีศึกษา 3:** The roles of perceived effectiveness and problem awareness in the  
acceptability of road pricing in Bangkok

(กรณีศึกษา 1-3 ดูจาก ppt file)