

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย jamovi

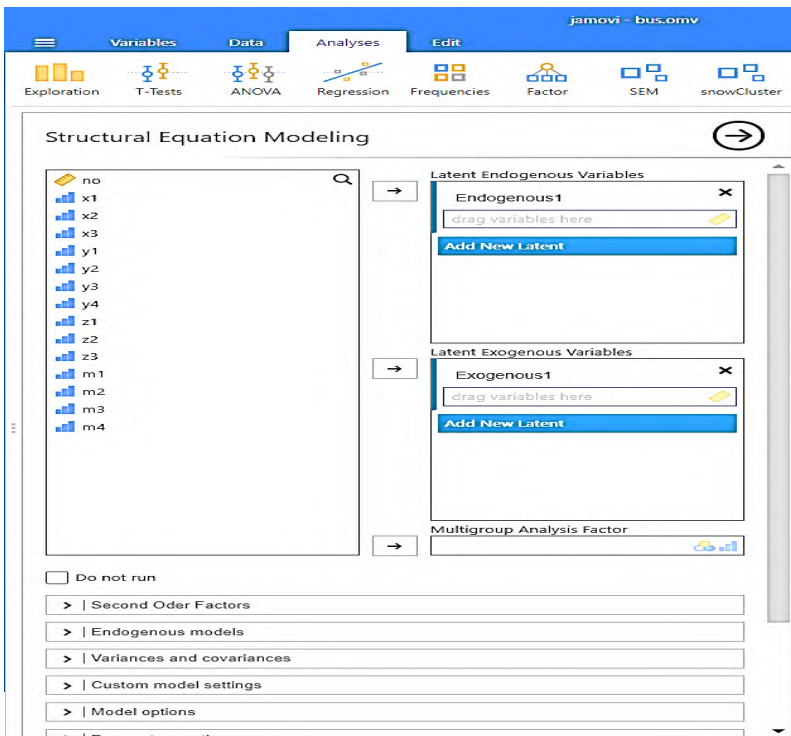
โดยเทคนิคสมการโครงสร้าง ตอนที่ 4



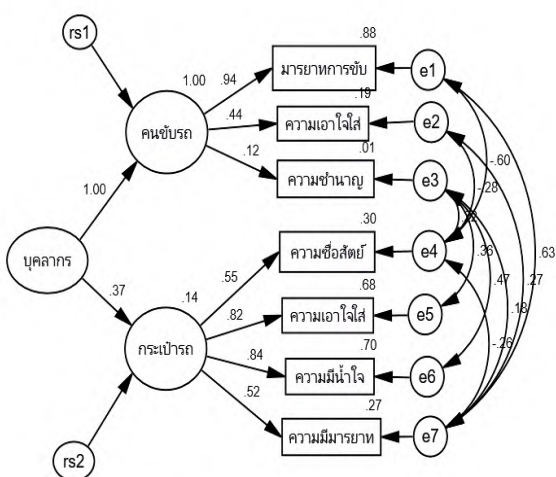
เรียนรู้ทฤษฎี



JAMOMI ช่วย วิเคราะห์



องค์ประกอบเชิงยืนยัน 2 ชั้น ความพึงพอใจด้านบุคลากร
คนขับรถ และ กระเป๋ารถเมล์



Chi-Square = .976 Prob. = .965
GFI = .999 AGFI = .997 CFI = 1.000
RMR = .009 RMSEA = .000 PCLOSE = .998

ผลลัพธ์เพื่อหาความสัมพันธ์



Structural Equation Modeling
Path Analysis Model
Confirm Factor Analysis Model

รศ. ดิเรชช พงษ์วิชัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย jamovi โดยเทคนิคสมการโครงสร้าง

Structural Equation Modeling : SEM
Path Analysis Model
Confirm Factor Analysis Model : CFA

รองศาสตราจารย์ ศิริชัย พงษ์วิชัย

คำนำ

หนังสือ “การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย jamovi เทคนิคไมโครสมการโครงสร้าง” ได้จัดทำขึ้นมาเพื่อใช้ประกอบการเรียนของนิสิตวิชา สถิติประยุกต์ขั้นสูงสำหรับการวิจัยการสื่อสาร (ADVANCED APPLIED STATISTICS FOR COMMUNICATION RESEARCH รหัสวิชา 2800716) สำหรับนิสิตปริญญาเอก ของคณะนิเทศศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ผู้เขียนทำการสอนอยู่ เนื่องจากยังไม่ตำราเรียนเป็นตำราหลักของวิชานี้ จึงได้ทำเอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชานี้โดยเน้น การใช้โปรแกรม jamovi ที่เป็นโปรแกรมประเภฟรีแวร์ที่ไม่เสียค่าลิขสิทธิ์ และสามารถใช้งานไม่ยุ่งยาก มาช่วยวิเคราะห์

หนังสือเล่มนี้เป็นหนังสือในชุด “การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยjamovi” ที่ประกอบไปด้วย 4 เล่ม คือ

เล่มที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย jamovi ทดสอบเกี่ยวกับความแตกต่าง

เล่มที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย jamovi ทดสอบเกี่ยวกับความสัมพันธ์

เล่มที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย jamovi แบบหลายตัวแปร

เล่มที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย jamovi เทคนิคสมการโครงสร้าง

สำหรับเล่มนี้ซึ่งเป็นเล่มที่ 4 ได้จัดทำมาจากการรวบรวมเอกสารที่ใช้สอนได้พัฒนาและปรับปรุงมาพอสมควร จึงได้รวบรวมมาเป็นหนังสือเล่มนี้ และคิดว่าผู้อ่านที่ไม่ใช่นักสถิติก็สามารถทำความเข้าใจได้ โดยหนังสือเล่มนี้จะมีแนวทางในการอ่านในแต่ละเรื่องที่เป็นเทคนิคของ ไมโครสมการโครงสร้าง ดังนี้

- **ส่วนแรก** จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีที่สำคัญและจำเป็นต้องรู้โดยมีกรณีศึกษาประกอบ
- **ส่วนต่อม1** จะเป็นการกล่าวถึงการนำโปรแกรมสำเร็จรูป jamovi มาช่วยในการวิเคราะห์
- **ส่วนสุดท้าย** จะเป็นการกล่าวถึงการอ่านผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม jamovi และการนำเสนอ

สุดท้ายนี้ผู้เขียนต้องขอบคุณ นิสิตปริญญาเอก ของคณะนิเทศศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน นอกจากจะช่วยอ่านและตรวจสอบแล้ว ยังเป็นแรงผลักดันที่ทำให้ผู้เขียนในฐานะผู้สอนจำเป็นต้องทำหนังสือเล่มนี้ออกมา ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าน่าจะเป็นประโยชน์ต่อ นิสิตในการทำ ดุษฎีนิพนธ์ระดับปริญญาเอก และผู้อ่านทั่วไปที่ไม่ใช่นักสถิติ และ มีความสนใจ



(รองศาสตราจารย์ ศิริชัย พงษ์วิชัย)

๑ มีนาคม ๒๕๖๔

สารบัญ ๑

1 โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling : SEM)	1-34
1.1 ลักษณะของโมเดลของ SEM	2
1.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบ SEM	3
1.2.1 สร้างแผนภาพโมเดลสมการโครงสร้าง	3
1.2.2 การกำหนดสมการแสดงความสัมพันธ์	15
1.2.3 การตรวจสอบความเข้ากันได้ค่าเดียวของโมเดล	16
1.2.4 การประมาณค่าพารามิเตอร์ในโมเดล SEM	22
1.2.5 การตรวจสอบความเหมาะสมของโมเดลที่สร้างขึ้น	25
1.2.6 การปรับปรุงเส้นทางของความสัมพันธ์	33
2 การวิเคราะห์เส้นทาง (Path Analysis)	35-80
2.1 แนวคิดของการวิเคราะห์เส้นทาง	36
2.1.1 ข้อกำหนดสำหรับการวิเคราะห์เส้นทางแบบ PAL	37
2.1.2 โมเดลของการวิเคราะห์เส้นทาง	38
2.2 วิธีการวิเคราะห์เส้นทางแบบ PAL	39
2.2.1 การสร้างโมเดลในรูปของแผนภาพเส้นทาง	39
2.2.2 การกำหนดสมการแสดงความสัมพันธ์.....	44
2.2.3 การตรวจสอบความเข้ากันได้ค่าเดียวของโมเดล	48
2.2.4 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์เส้นทาง.....	50
2.2.5 การตรวจสอบความเหมาะสมของโมเดลวิจัยที่นำมาใช้.....	50
2.2.6 การปรับปรุงเส้นทางของความสัมพันธ์.....	53
2.2.6 การนำเสนอผลการวิเคราะห์เส้นทาง.....	53
2.3 การวิเคราะห์เส้นทาง แบบ PAL ด้วยโปรแกรม JAMOV.....	54
ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์เส้นทาง ค่าใช้จ่ายในการท่องเที่ยว.....	54
ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์เส้นทาง ประสิทธิภาพการทำงาน.....	66

สารบัญ ๒

3 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

(Confirmatory Factor Analysis :CFA)

81-168

3.1 แนวคิดของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน	82
3.1.1 ข้อกำหนดสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน	83
3.1.2 คุณลักษณะของโมเดล CFA ที่เหมาะสม	84
3.2 วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน CFA.....	86
3.2.1 การสร้างโมเดลในรูปของแผนภาพเส้นทาง.....	86
3.2.2 การกำหนดสมการแสดงความสัมพันธ์	88
3.2.3 การตรวจสอบความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล	88
3.3 การวิเคราะห์ CFA ด้วยโปรแกรม JAMOV	93
3.3.1 การวิเคราะห์ CFA โมเดลย่อยที่ 1 ด้วยโปรแกรม JAMOV.....	95
3.3.2 การวิเคราะห์ CFA โมเดลย่อยที่ 2 ด้วยโปรแกรม JAMOV.....	103
3.3.3 การวิเคราะห์ CFA โมเดลย่อยที่ 3 ด้วยโปรแกรม JAMOV.....	111
3.3.4 การวิเคราะห์ CFA โมเดลย่อยที่ 4 ด้วยโปรแกรม JAMOV.....	120
3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันหลายปัจจัย (Multi-Factor CFA)	128
3.4.1 การวิเคราะห์ CFA แบบหลายปัจจัย : ตัวอย่างที่ 1	128
3.4.2 การวิเคราะห์ CFA แบบหลายปัจจัย : ตัวอย่างที่ 2.....	137
3.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันแบบหลายชั้น(Higher-Order CFA)	146
3.5.1 การวิเคราะห์ CFA แบบ 2 ชั้น : ตัวอย่างที่ 1	147
3.5.2 การวิเคราะห์ CFA แบบ 2 ชั้น : ตัวอย่างที่ 2	158
3.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันแบบหลายกลุ่ม หลายชั้น	169
3.5.1 การวิเคราะห์ CFA แบบ 2 ชั้น : ตัวอย่างที่ 1	181
3.5.2 การวิเคราะห์ CFA แบบ 2 ชั้น : ตัวอย่างที่ 2	182

สารบัญ ๓

4 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันแบบเส้นทาง	
[<u>C</u>onfirmatory <u>F</u>actor <u>A</u>nalysis with <u>P</u>ath Analysis]	169- 196
4.1 การสร้างโมเดล CFA แบบ Path Analysis ของตัวแปรแฝง.....	171
4.1.1 การกำหนดตัวชี้วัดสำหรับแต่ละตัวแปรแฝง.....	172
4.1.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในโมเดล CFA แบบมีทิศทาง.....	172
4.1.3 การกำหนดสมการแสดงความสัมพันธ์	173
4.2 การวิเคราะห์โมเดลตามขั้นตอนของ CFA	174
4.2.1 การใช้โปรแกรม JAMOV วิเคราะห์ CFA แบบมีเส้นทาง.....	177
4.3 การวิเคราะห์อิทธิพลของแต่ละตัวแปรแฝงแบบ Path Analysis.....	184
4.4 การนำเสนอ การวิเคราะห์ CFA แบบ Path Analysis.....	185
4. 4 .1 การนำเสนอแผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล.....	186
4. 4 .2 การนำเสนอ ผ่านน้ำหนักองค์ประกอบ และ อิทธิพลตัวแปรสัวเกต	187
4. 4 .3 การนำเสนอ ค่า ความเที่ยง ความตรง ของ ตัวชี้วัด.....	187
4. 4 .4 การนำเสนอผลการวิเคราะห์เส้นทางของตัวแปรแฝง.....	191
บรรณานุกรม.....	197
ภาคผนวก.....	199

โมเดลสมการโครงสร้าง

(Structural Equation Modeling : SEM)

โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling : SEM) เป็นวิธีการทางสถิติอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบ และ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปร โดยโมเดลแบบ SEM นี้อาจจะประกอบไปด้วยโมเดลย่อยๆมากกว่า 1 ชุดก็ได้ ซึ่งโมเดลเหล่านี้จะถูกนำไปสร้างในรูปของสมการหลายสมการ ด้วยเทคนิคของ SEM จะบูรณาการสมการหลายสมการเหล่านี้ไปพร้อมๆกัน แต่หลักการโดยทั่วไปของ SEM เหมาะสมที่จะใช้ยืนยัน (Confirmatory) โมเดลมากกว่าที่จะค้นหา (Exploratory) โมเดล โดยผู้วิเคราะห์จะต้องมีการทบทวนวรรณกรรมจาก ทฤษฎี แนวคิด ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วมาสร้างเป็นโมเดล แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของตัวแปรที่มีอยู่ในโมเดลที่ได้จากการเก็บรวบรวมมาได้ ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ เพื่อนำไปสู่สรุป ความเป็นไปได้ของโมเดล SEM ที่สร้างขึ้น

เทคนิคของ SEM สามารถนำไปใช้ศึกษา ชุดของข้อมูลที่มีตัวแปรจำนวนมากและมีความสัมพันธ์ในลักษณะต่อเนื่องกัน เช่น

- วัฒนธรรมองค์กรที่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการทำงาน
- ความตระหนักถึงความปลอดภัยการขับขี่ที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสวมหมวกนิรภัย
- องค์ประกอบที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสื่อสาร

วิธีการของ SEM ได้รวบรวมวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติหลากหลายวิธีแต่สามารถจำแนกตามวัตถุประสงค์หลักๆได้ 3 วัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อประมาณค่าความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปร ด้วยวิธีการของ Path Analysis
2. เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง ด้วยวิธีการ Confirmatory Factor Analysis
3. เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลกับโมเดลที่สร้างขึ้น

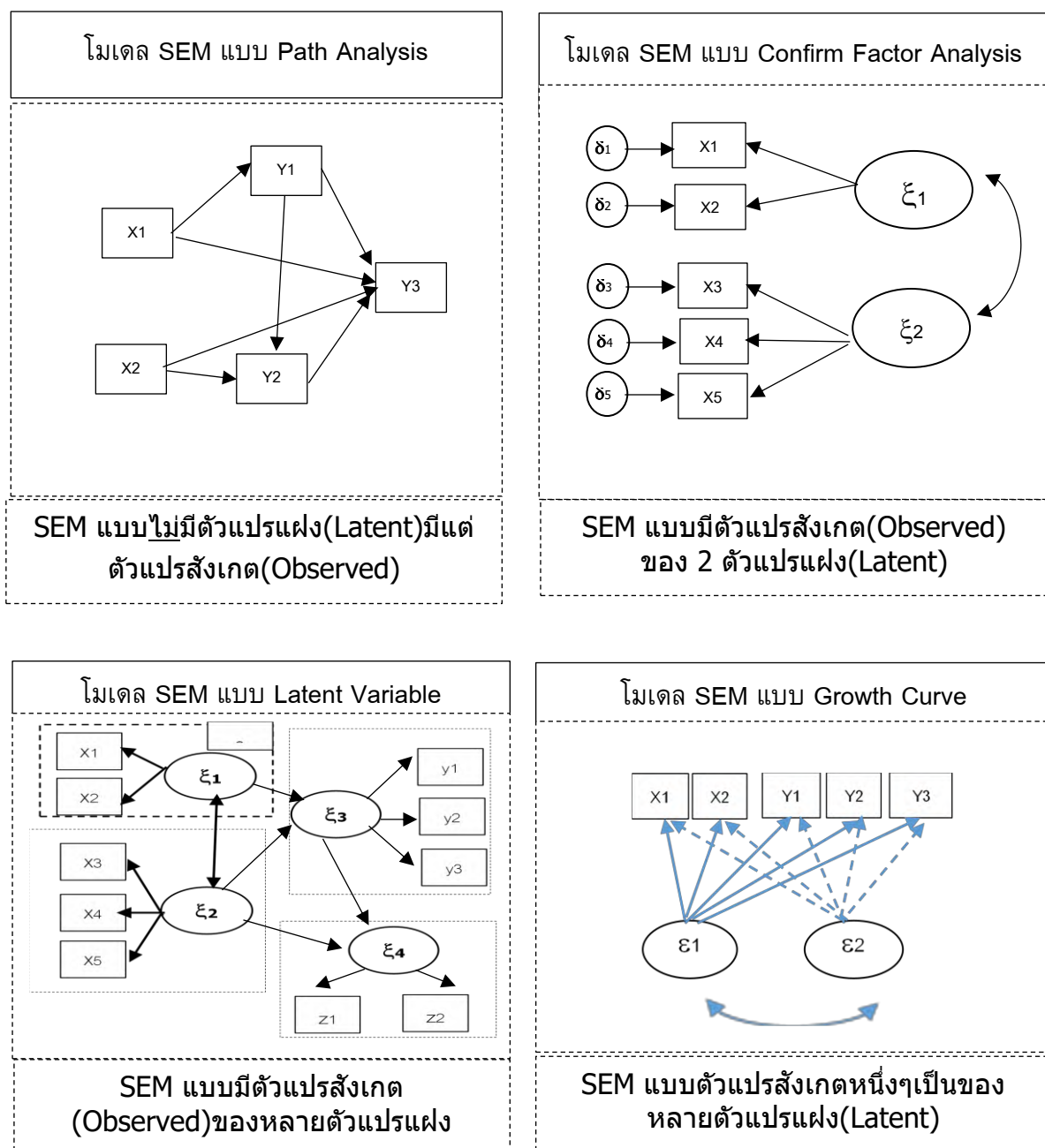
การวิเคราะห์ตามเทคนิคของ SEM สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์หลายโปรแกรม เช่น Lisrel AMOS หรือ R ในหนังสือเล่มนี้จะใช้โปรแกรม JAMOVİ ซึ่งเป็นโปรแกรมฟรีที่สามารถนำมาใช้ได้โดยไม่มีค่าลิขสิทธิ์ ซึ่งความสามารถก็ไม่แตกต่างจากโปรแกรมอื่นๆ แต่มีจุดเด่นที่เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย ในลักษณะที่เรียกว่า Interactive ที่ผู้ใช้จะเห็นผลลัพธ์ที่ได้ทันทีที่เลือกเมนูคำสั่งของโปรแกรม ผู้ใช้งานสามารถ โหลดมาใช้งานได้

1.1 ลักษณะของโมเดล SEM

เทคนิคของ SEM จะเน้นที่โมเดล ที่เป็นแผนภาพ(Diagram) ซึ่งสามารถจำแนกลักษณะของโมเดล ได้ 4 ลักษณะดังต่อไปนี้

1. โมเดลแบบ Path Analysis
2. โมเดลแบบ Confirmatory Factor Analysis
3. โมเดลแบบ Latent Variable Structural
4. โมเดลแบบ Growth Curve

ตัวอย่างโมเดลทั้ง 4 ลักษณะมีดังนี้



1.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบ SEM

เนื่องจากโมเดลของ SEM เป็นไปได้ 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ โมเดลแบบ Path Analysis และ โมเดลแบบ Confirmatory Factor Analysis : CFA หรือ โมเดลแบบ ผสมผสานกันทั้ง 2 แบบซึ่งมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ที่ต่างกันบ้าง แต่โดยทั่วไปการวิเคราะห์โมเดล SEM ทั้ง 2 แบบ มีขั้นตอนคล้ายๆกันตามลำดับต่อไปนี้

- วันที่ 1 สร้างแผนภาพโมเดลสมการโครงสร้างตามทฤษฎี
- วันที่ 2 กำหนดสมการแสดงความสัมพันธ์
- วันที่ 3 การตรวจสอบความเป็นไปได้ค่าเดิมของโมเดล (Model Identification)
- วันที่ 4 การประมาณค่าพารามิเตอร์
- วันที่ 5 ตรวจสอบความเหมาะสมของโมเดลวิจัยที่สร้างขึ้น
- วันที่ 6 ปรับปรุงเส้นทางของความสัมพันธ์
- วันที่ 7 การนำเสนอผลการวิเคราะห์เส้นทางของความสัมพันธ์

ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์โดยละเอียดแต่จะกล่าวเท่าที่จำเป็น โดยจะเน้นการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์และใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

1.2.1 การสร้างแผนภาพโมเดลสมการโครงสร้างตามทฤษฎี

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าเทคนิคของ SEM เน้นที่โมเดลในรูปของแผนภาพ(Diagram) ดังนั้นขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคของ SEM คือจะต้องสร้างแบบจำลองในรูปของแผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยอาศัย ทฤษฎี หรือ แนวคิด หรือ ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างหนักแน่นพอสมควร เพื่ออธิบายได้ ว่า ตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรใด และตัวแปรใดส่งผลไปยังตัวแปรใดเพื่อกำหนดทิศทางของความสัมพันธ์ในเชิงเหตุและผล โดยต้องคำนึงถึงลำดับความสัมพันธ์ด้วย แผนภาพที่แสดงขึ้นมาผู้สร้างจะต้องสามารถอธิบายหรือปกป้อง(Defend) ได้ว่าทำไมต้องมีเส้นเชื่อมโยงความสัมพันธ์แต่ละเส้น หรือแม้แต่มิมีเส้นเชื่อมโยงก็ต้องสามารถอธิบายได้ ด้วยวรรณกรรมที่มีอยู่เพื่อให้ผู้สร้างแผนภาพตระหนักถึงความสำคัญของการสร้างแผนภาพดังกล่าว

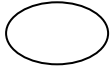
ก่อนที่จะเขียนแผนภาพมีสิ่งที่ผู้วิเคราะห์ต้องทำความเข้าใจก่อนมีดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของตัวแปรที่ใช้ในโมเดล
2. สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์ในโมเดล
3. องค์ประกอบในแผนภาพของโมเดล
4. การกำหนดโครงสร้างของโมเดล
5. ค่าสถิติต่างๆในแผนภาพของโมเดล

มีสัญลักษณ์พื้นฐานที่กำหนดไว้ในโมเดลแบบ SEM เบื้องต้นดังนี้



สำหรับกำหนดชื่อตัวแปรที่เป็น ตัวแปรสังเกตได้ (Observed var)



สำหรับกำหนดชื่อตัวแปรที่เป็น ตัวแปรแฝง (Latent var)

โดยปกติแล้วในการเขียนแผนภาพ(Diagram) ของโมเดล SEM แบบดั้งเดิมจะมีการใช้สัญลักษณ์ที่แทนตัวแปรด้วยอักษรกรีกที่แตกต่างกันตามลักษณะของตัวแปรแฝง เช่น

ξ อ่านว่า xi ไช แทน ตัวแปรแฝง ที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปรเหตุ หรือ ตัวแปรอิสระ

η อ่านว่า eta อีตา แทน ตัวแปรแฝง ที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปรผล หรือ ตัวแปรตาม

ζ อ่านว่า zeta ซีต้า แทน ตัวแปรเศษ ที่เป็นค่าที่เหลือจากการใช้ ξ มาทำนาย η และ ยังมีสัญลักษณ์อื่นๆที่ใช้อักษรกรีกแทนความหมายต่างๆในแผนภาพซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

① ลักษณะของตัวแปรที่ใช้ในแผนภาพของโมเดล SEM

ตัวแปรที่ใช้ใน Model มีชื่อเรียกที่แตกต่างกันตามลักษณะเฉพาะของตัวแปรดังต่อไปนี้

- Observed Variables : ตัวแปรสังเกตได้
- Latent Variables : ตัวแปรแฝง

1. Observed Variables : ตัวแปรสังเกตได้

เป็นตัวแปรที่ผู้วิเคราะห์สามารถเก็บข้อมูลได้ ซึ่งอาจจะได้จากการวัด การสังเกต หรือ การสำรวจจากแบบสอบถาม ตัวแปรนี้อาจจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันอีกหลายชื่อ เช่น ตัวแปรบ่งชี้(Indicator Var.) ตัวแปรวัด(Measurement Var.) ตัวแปรสังเกตได้นี้เมื่อนำมาเขียนในโมเดล SEM จะต้องเขียนอยู่ในสัญลักษณ์ สีเหลี่ยมผืนผ้า หรือ สีเหลี่ยมจัตุรัสก็ได้เช่น ต้องการสอบถามความพึงพอใจต่อตัวรถเมลล์ที่ให้บริการ ซึ่ง สอบถามใน 3 ประเด็นย่อย คือ ความปลอดภัยของตัวรถ ความสะดวกในการใช้ ความสะอาดของรถ คำถามในประเด็นย่อยเหล่านี้ถือว่าเป็นตัวแปรสังเกตได้สามารถนำเขียนในแผนภาพแบบ SEM ได้ดังต่อไปนี้

ความปลอดภัย

ความสะดวก

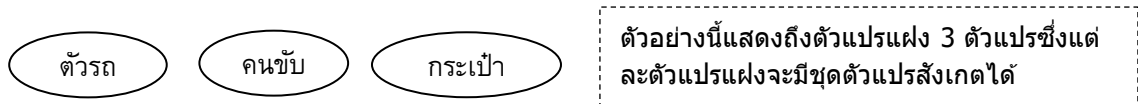
ความสะอาด

2. Latent variables : ตัวแปรแฝง

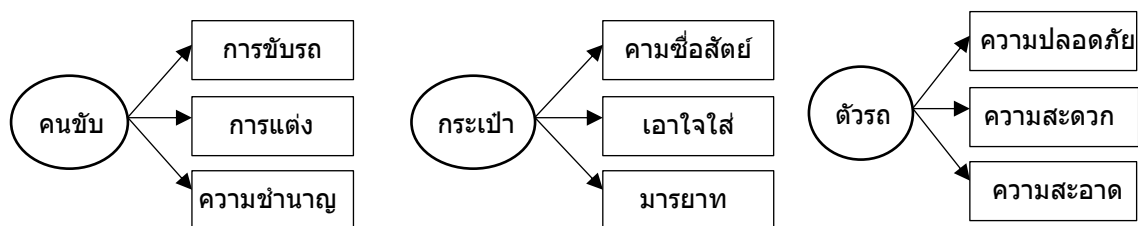
เป็นตัวแปรที่ผู้วิเคราะห์ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้โดยตรง แต่จะต้องสร้างชุดตัวแปรสังเกตได้(Observed Var.) ขึ้นมาเพื่อนำไป วัด สังเกต หรือ สอบถาม ซึ่งชุดตัวแปรสังเกตได้เหล่านั้นเปรียบเสมือนตัวบ่งชี้ค่าของตัวแปรแฝง(Latent Var.) ตัวแปรแฝงหนึ่งๆไม่ควรมีตัวแปรสังเกตได้ที่เป็นตัวบ่งชี้เพียงตัวเดียว ทั้งนี้เพราะการใช้คำถามเพียงคำถามเดียวไม่สามารถที่จะบอกลักษณะของ ตัวแปรแฝงได้ทั้งหมด

ตัวแปรแฝงนี้เมื่อนำมาเขียนในโมเดล SEM จะต้องเขียนอยู่ภายในสัญลักษณ์วงรี หรือ วงกลม เช่น สอบถามความพึงพอใจต่อตัวรถที่ให้บริการซึ่งสอบถามใน - ประเด็นย่อย คือ **ความปลอดภัยของตัวรถ** **ความสะดวกในการใช้** **ความสะดวกของรถ**

ความพึงพอใจต่อตัวรถ ที่รวมเอาคำตอบจาก 3 ประเด็นย่อยนี้ถือว่าเป็น ตัวแปรแฝง สามารถนำเขียนในแผนภาพแบบ SEM ได้ดังต่อไปนี้



เมื่อนำมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงทั้ง 3 และตัวแปรสังเกตจะเขียนในลักษณะดังนี้



ข้อสังเกต ทิศทางของลูกศร จะชี้จาก ตัวแปรแฝง ไปสู่ ตัวแปรสังเกต โดย ตัวแปรที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม คือ ตัวแปรสังเกต ของ ตัวแปรแฝงที่อยู่ในกรอบวงกลม แสดงถึง ตัวแปรสังเกตชุดนั้นเป็นตัวบ่งชี้คุณลักษณะของตัวแปรแฝงแต่ละตัวแปร

นอกจากการเรียกชื่อตัวแปรดังกล่าวคือ **ตัวแปรสังเกต(Observed Var.)** และ **ตัวแปรแฝง(Latent VAR.)** ที่ใช้ใน Model ของ SEM แล้ว ยังมีการกำหนดชื่อตัวแปรอีกหลายชื่อแต่มีตัวแปร 2 ลักษณะที่จำแนกตามตามสถานะภาพของตัวแปรดังนี้

- Exogenous Variables : ตัวแปรภายนอก
- Endogenous Variables : ตัวแปรภายใน

(1) Exogenous Variables : ตัวแปรภายนอก

คือตัวแปรที่มีสถานะเหมือนเป็น ตัวแปรเหตุ(Casual Var.) หรือตัวแปรต้นเหตุในโมเดล SEM ที่จะส่งผลไปยังตัวแปรอื่น ซึ่งตัวแปรเหตุ ก็คือตัวแปรอิสระ(Independent Var.) เมื่ออยู่ในแผนภาพของโมเดล SEM จะไม่มีลูกศรชี้เข้ามายังตัวแปรภายนอกนี้ผู้ จะมีแต่ลูกศรชี้ออกจากตัวแปรภายนอกนี้

ถ้าพิจารณาจากแผนภาพด้านบน ตัวแปร **คนขับ** **กระเป๋า** และ **ตัวรถ** ถือว่าเป็นตัวแปรภายนอกของโมเดล

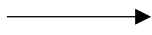
(2) Endogenous Variables : ตัวแปรภายใน

คือตัวแปรที่มีสถานะเหมือนเป็น ตัวแปรผล(Effect Var.) ในโมเดล SEM ที่จะได้รับอิทธิพลจากตัวแปรเหตุในโมเดล ซึ่งตัวแปรผล ก็คือตัวแปรตาม(Dependent Var.) นั่นเอง เมื่ออยู่ในแผนภาพของโมเดล SEM ตัวแปรภายในจะมีลูกศรชี้จากตัวแปรอื่นเข้ามา

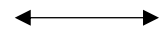
หมายเหตุ ตัวแปรหนึ่งๆอาจจะมีสถานะเป็นได้ทั้ง ตัวแปรภายนอก และ ตัวแปรภายใน

② สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์ในแผนภาพของโมเดล SEM

ในการกำหนดความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในแผนภาพของโมเดล SEM จะแสดงด้วยเส้นต่างๆในความหมายที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้



เส้นตรงที่มีปลายลูกศรด้านเดียว เป็นเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ในรูปของอิทธิพลจากตัวแปรที่อยู่ด้านปลายลูกศรที่ไม่มีหัวซึ่งเปรียบเสมือนตัวแปรเหตุ สู่ ตัวแปรที่อยู่ปลายลูกศรที่มีหัวลูกศรชี้อยู่ที่เปรียบเสมือนตัวแปรผล



เส้นตรง หรือ อาจจะใช้เส้นโค้ง ที่มีปลายลูกศรสองด้าน เป็นเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่อยู่ทั้ง 2 ด้านของหัวลูกศร โดยไม่มีการระบุว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรเหตุ และตัวแปรใดเป็นตัวแปรผล

ตัวอย่างความสัมพันธ์สำหรับ โมเดล SEM แบบต่างๆ

โมเดลแบบ Path Analysis	โมเดลนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้ 1. x_1 กับ y โดยส่งผลทางตรงกับ y และส่งผลทางอ้อมผ่าน x_3 ไป y 2. x_2 กับ y โดยส่งผลทางตรงกับ y และส่งผลทางอ้อมผ่าน x_3 ไป y 3. x_3 กับ y โดยส่งผลทางตรงกับ y เท่านั้น 4. x_1 กับ x_3 ส่งผลทางตรงกับ x_3 เท่านั้น 5. x_2 กับ x_3 ส่งผลทางตรงกับ x_3 เท่านั้น
	โมเดลนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝง 2 ตัวแปรดังต่อไปนี้ 1. ตัวแปรแฝง ξ_1 อ่านว่า xi ไซ ประกอบด้วยชุดตัวแปรสังเกต 2 ตัวแปรคือ x_1 และ x_2 2. ตัวแปรแฝง ξ_2 ประกอบด้วยชุดตัวแปรสังเกต 3 ตัวแปรคือ y_1 y_2 และ y_3 โดยตัวแปรแฝง ξ_1 และ ξ_2 มีความสัมพันธ์แบบไม่มีทิศทางต่อกัน

③ องค์ประกอบแผนภาพของโมเดล SEM

การกำหนดความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในแผนภาพของโมเดล SEM จะแสดงด้วยเส้นต่างๆในความหมายที่แตกต่างกัน โดยที่แผนภาพของโมเดล SEM หนึ่งๆอาจจะประกอบไปด้วยโมเดลย่อยๆหลายโมเดลซึ่งจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันแต่สามารถจำแนกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆดังนี้คือ

- Measurement Model : โมเดลการวัด
- Structural Model : โมเดลโครงสร้าง

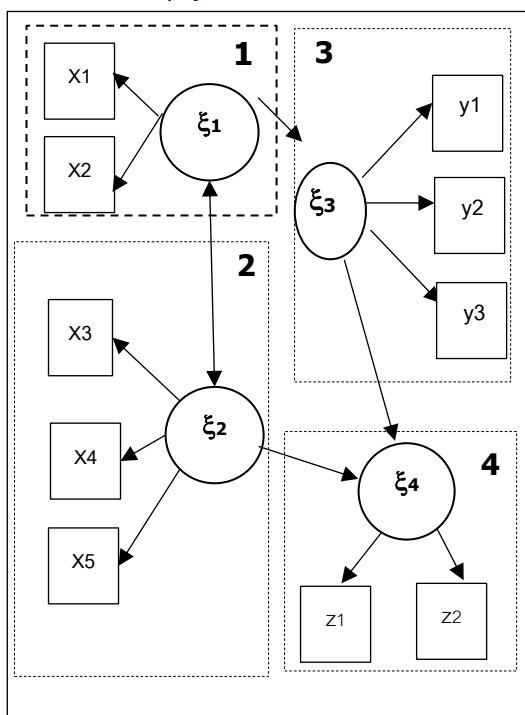
1. Measurement Model : โมเดลการวัด

เป็นโมเดลที่แสดงคุณลักษณะของ ตัวแปรแฝง โดยตัวแปรแฝงหนึ่งๆจะประกอบด้วย ตัวแปรสังเกต หลายๆตัวแปร ที่จะเป็นตัวแปรบ่งชี้ลักษณะของตัวแปรแฝง

2. Structural Model : โมเดลโครงสร้าง

เป็นโมเดลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝง ตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ซึ่งตัวแปรแฝงบางตัวแปรอาจเป็นตัวแปรเหตุ ที่เป็นตัวแปรอิสระ และตัวแปรแฝงบางตัวแปรอาจเป็นตัวแปรผล ที่เป็นตัวแปรตาม และ ตัวแปรแฝงบางตัวอาจเป็น ตัวแปรคั่นกลาง(Mediator Var.) คือ ตัวแปรตัวที่ 3 ที่เข้ามาแทรกกลางระหว่างตัวแปรต้นทาง (X) กับตัวแปรปลายทาง (Y) ทำหน้าที่สร้างความเชื่อมโยงระหว่าง X กับ Y

อาจกล่าวได้ว่า โมเดลโครงสร้าง ก็คือ โมเดลการวัด ตั้งแต่ 2 โมเดลขึ้นไปที่มีความสัมพันธ์กัน การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของแต่ละโมเดลการวัด จะต้องพัฒนามาจากวรรณกรรม(ทฤษฎี แนวคิด และ งานวิจัย) ที่น่าเชื่อถือ



โมเดลโครงสร้าง นี้แสดงถึงความสัมพันธ์ของ
โมเดลการวัด 4 โมเดล

1. ξ_1 มี 2 ตัวแปรสังเกตคือ x1 และ x2
2. ξ_2 มี 3 ตัวแปรสังเกตคือ x3 x4 และ x5
3. ξ_3 มี 3 ตัวแปรสังเกตคือ y1 y2 และ y3
4. ξ_4 มี 2 ตัวแปรสังเกตคือ z1 และ z2

โดย โมเดลที่ 1 ส่งผลไปยังโมเดลที่ 3

โมเดลที่ 2 ส่งผลไปยังโมเดลที่ 4

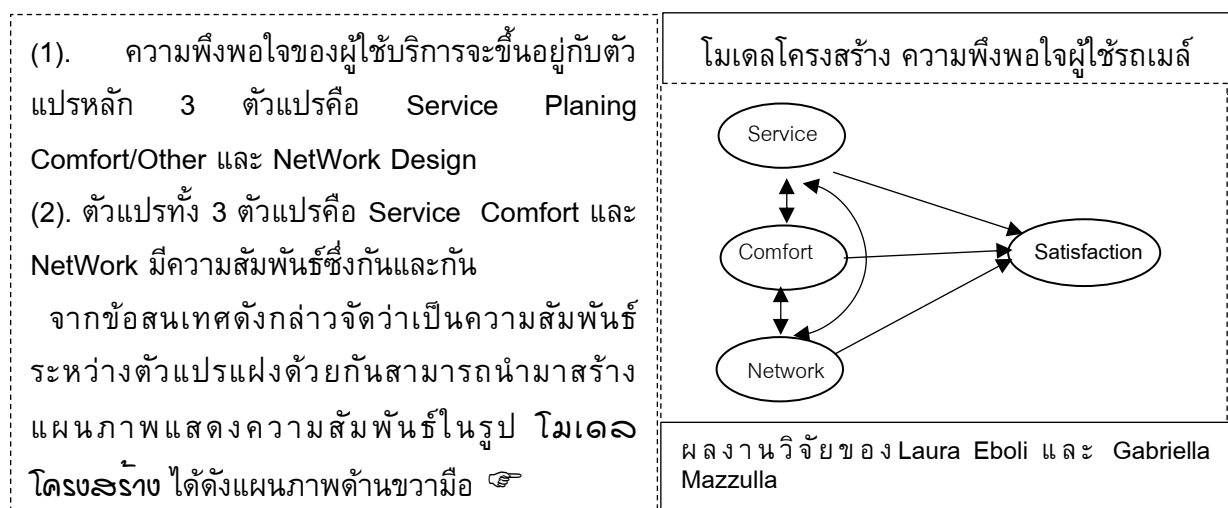
โมเดลที่ 3 ส่งผลไปยังโมเดลที่ 4

④ การกำหนดโครงสร้างของโมเดล SEM

จากตัวอย่างที่ผ่านมาจะเห็นแผนภาพแสดงการเชื่อมโยงของ โมเดลการ ในการที่จะได้มาซึ่ง แผนภาพดังกล่าว จะต้องอาศัยวรรณกรรม(ทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง) ที่สนับสนุนอย่าง หนักแน่น กับโครงสร้างของแผนภาพ เนื่องจาก โมเดล SEM จะประกอบไปด้วย โมเดลการวัด (Measurement Model) และ โมเดลโครงสร้าง(Structural Model) ดังนั้นผู้วิเคราะห์จะต้องศึกษาถึง โมเดลโครงสร้าง(Structural Model) ของเรื่องที่สนใจเพื่อดูความสัมพันธ์ของ ตัวแปรแฝง(Latent Var.) ต่างๆ โดยอาศัยวรรณกรรมต่างๆที่ทบทวนมาประกอบกับความคิดของผู้วิจัยและสังเคราะห์ออกมาเป็น กรอบเชิงทฤษฎี โดยจะต้องระบุว่าตัวแปรแฝงใดเป็นตัวแปรเหตุ หรือผล และต้องสามารถระบุทิศทางของ ความสัมพันธ์ รวมถึงสามารถให้เหตุผลในเชิงทฤษฎีที่จะ ปกป้องโมเดล ได้ทุกเส้นทางของความสัมพันธ์ หรือแม้แต่เส้นทางที่ไม่มีความสัมพันธ์ ผู้วิจัยก็ต้องสามารถระบุเหตุผลได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

หัวข้อที่ต้องการศึกษา ระดับความพึงพอใจในการใช้บริการรถเมล์ของคนกรุงเทพฯ

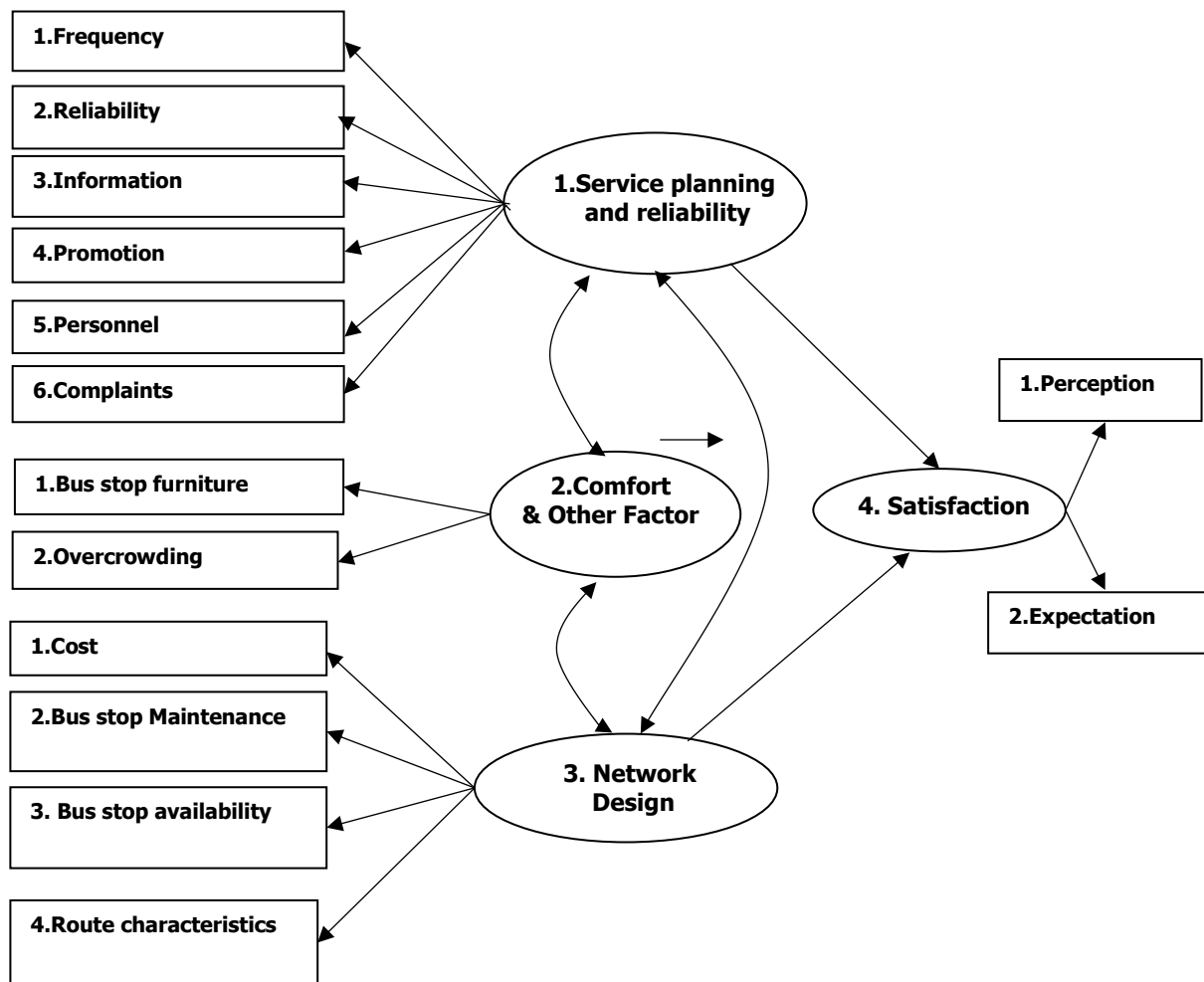
จากการทบทวนวรรณกรรมพบความสัมพันธ์ของตัวแปรดังต่อไปนี้



หลังจากได้โมเดลโครงสร้างแล้วผู้วิเคราะห์จะต้องศึกษาเพิ่มเติมว่าตัวแปรแฝงแต่ละตัวจะต้องใช้ตัวแปรสังเกตใดเป็นตัวบ่งชี้ซึ่งผลการทบทวนวรรณกรรมได้ผลตัวบ่งชี้ของตัวแปรแฝงทั้ง 4 ดังนี้

1. Service ประกอบไปด้วยตัวบ่งชี้อยู่ 6 ตัวแปรสังเกต
2. Comfort ประกอบไปด้วยตัวบ่งชี้อยู่ 2 ตัวแปรสังเกต
3. Network ประกอบไปด้วยตัวบ่งชี้อยู่ 4 ตัวแปรสังเกต
4. Satisfac ประกอบไปด้วยตัวบ่งชี้อยู่ 2 ตัวแปรสังเกต

นำตัวแปรสังเกตทั้งหมด มาสร้างเพิ่มจากตัวแปรแฝงที่มีอยู่ในแผนภาพ จะมีลักษณะเป็น โมเดล SEM ดังนี้



แผนภาพแสดงโมเดล SEM ระดับความพึงพอใจในการใช้บริการรถเมล์
(ผลงานวิจัยของ Laura Eboli และ Gabriella Mazzulla)

จากแผนภาพ เป็นโมเดลแสดงความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักที่เป็นตัวแปรแฝง 3 ตัวแปรคือ Service Planing Comfort/Other และ NetWork Design โดย ตัวแปรแฝงทั้ง 3 มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ตัวแปรแฝงทั้ง 3 ตัวแปรจะส่งผลไปยังตัวแปรแฝงที่ 4 คือ Satisfaction

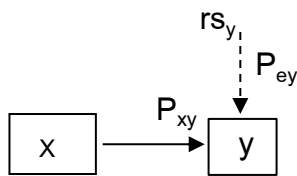
ตัวแปรแฝงทั้ง 3 คือ Service Comfort และ NetWork เป็นตัวแปรที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปรอิสระ หรือ ตัวแปรภายนอก(exogenous var.) ที่ส่งผลไปยังตัวแปรแฝงที่ 4 คือ Satisfaction ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแปรตาม หรือ ตัวแปรภายใน(endogenous var.) ตัวแปรแฝงแต่ละตัวจะมี ชุดตัวแปรสังเกตที่เป็นตัวแปรบ่งชี้คุณลักษณะของตัวแปรแฝงนั้นๆ

⑤ ค่าสถิติต่างๆในแผนภาพของโมเดล SEM

แผนภาพ(Diagram)ของโมเดล SEM ที่สมบูรณ์จะต้องแสดงค่าสถิติ ที่ระบุถึงระดับความสัมพันธ์หรือระดับอิทธิพลของตัวแปรเหตุ ที่มีต่อตัวแปรผล ตลอดจนความผิดพลาด(error) ที่อาจเกิดขึ้น โดยค่าเหล่านี้จะกำหนดไว้ในแผนภาพในตำแหน่งที่แตกต่างกันดังตัวอย่างต่อไปนี้

สำหรับโมเดล SEM แบบ Path Analysis

(1) กรณีมี 1 ตัวแปรอิสระ



ความหมายของสัญลักษณ์ที่ใช้ในโมเดล

rs_y แทน ค่า ความผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนของโมเดล

P_{yx} แทน ค่า สัมประสิทธิ์เส้นทางของตัวแปร y ที่ได้รับจากตัวแปร x

P_{ye} แทน ค่า สัมประสิทธิ์เส้นทางตัวแปร y ที่ได้รับจากความคลาดเคลื่อน e

ความหมายเพิ่มเติมของสัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภาพ

rs_y เป็นค่าความเคลื่อน หรือ ความผิดพลาด(error : e) ของโมเดล หรืออาจจะเรียกว่า ค่าเศษที่เหลือ (Residual) ซึ่งหมายถึง ค่าที่เหลือจากการใช้ตัวแปร x อธิบายตัวแปร y ใช้สำหรับอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร y ที่ตัวแปร x ในโมเดลไม่สามารถอธิบายได้ ถ้าค่านี้มีค่าสูงแสดงว่า ตัวแปรที่อยู่ในโมเดลส่งผลต่อตัวแปรตาม y น้อย ผู้วิเคราะห์ จำเป็นที่จะต้องหาตัวแปรที่ดีกว่า ที่ทำให้ e นี้มีค่าน้อยหรือถ้ามีความจำเป็นที่จะต้องใช้ตัวแปรอิสระที่มีอยู่ในโมเดลขณะนี้ ผู้วิเคราะห์ก็ต้องหาตัวแปรอิสระมาเพิ่ม เพื่อพยายามทำให้ค่า e นี้ต่ำที่สุด

P_{yx} เป็นค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง หรือ Path Coefficient โดยเป็นค่าที่แสดงระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรเหตุ กับ ตัวแปรผล ค่านี้จะนำไปคำนวณหาค่าอิทธิพลของตัวแปรเหตุ x ต่อตัวแปรผล y ค่า P_{yx} สามารถคำนวณได้จากสมการการถดถอยที่แทนแผนภาพดังกล่าวดังนี้

โมเดล ในรูปของประชากร
$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

โมเดล ในรูปของตัวอย่าง
$$y = a + bX + e$$

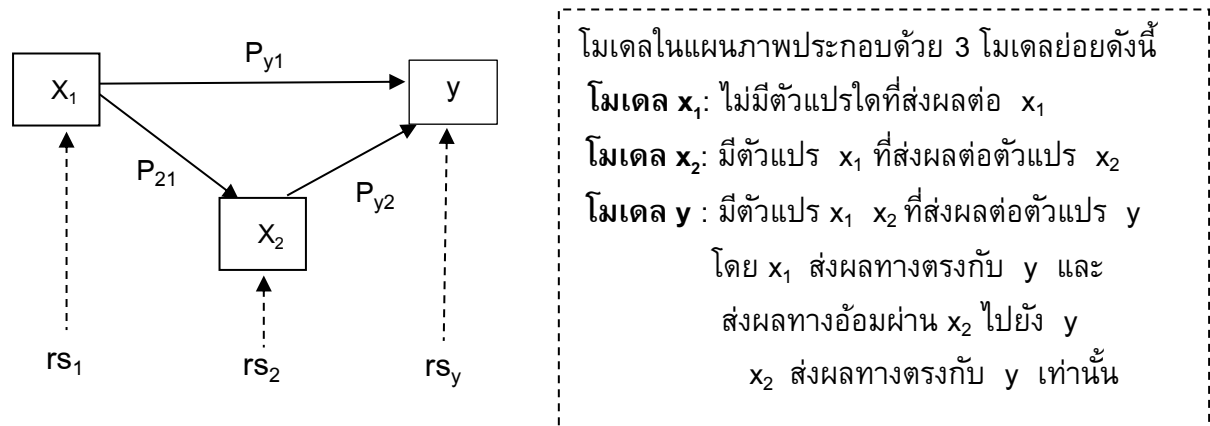
โมเดล ในรูปของค่ามาตรฐาน
$$Z_y = P_{yx}Z_x + e$$

กรณีในโมเดลมีตัวแปรเหตุ หรือตัวแปร อิสระเพียง 1 ตัว $P_{yx} = r_{yx}$ (Pearson Correlation)

P_{ey} หรือ Residual Path Coefficient เป็น ค่าที่แสดงระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เหลือที่ไม่อยู่ในสมการกับตัวแปรผล y ค่า P_{ye} ไม่สามารถหาได้โดยตรงแต่จะหาจากค่า ดังนี้

ค่า P_{ye} สามารถหาได้จาก $\sqrt{1 - R_{xy}^2}$: R_{xy}^2 คือ ค่าระดับอิทธิพลของ x ที่ส่งผลต่อ y

(2) กรณีมี ทดสอบ ตัวแปรอิสระ สำหรับโมเดลแบบ Path Analysis



ความหมายของสัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภาพ

rs_y คือ ค่า Residual ของโมเดล y เป็น ค่าเศษที่เหลือจากการใช้ตัวแปร x_1 และ x_2 มาอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร y ซึ่ง rs_y ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร y ที่เหลือ

rs_2 คือ ค่า Residual ของโมเดล x_2 เป็น ค่าเศษที่เหลือจากการใช้ตัวแปร x_1 มาอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร x_2 ซึ่ง rs_2 ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร x_2 ที่เหลือ

rs_1 คือ ค่า Residual ของโมเดล x_1 เป็น เศษที่เหลือของโมเดล x_1 ซึ่งในโมเดลนี้ไม่มี

P_{ij} คือ ค่า Path Coefficient หรือ ค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เป็นค่าที่แสดง ระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรเหตุ i กับ ตัวแปรผล j ซึ่งก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) นั้นเองโดย จะแสดงน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรอิสระที่อยู่ในโมเดล

การกำหนดสัญลักษณ์ของสัมประสิทธิ์เส้นทาง Path Coefficient จะกำหนดตัวแปรผล หรือ ตัวแปรตาม ขึ้นก่อน และ ตามด้วยตัวแปรเหตุ หรือ ตัวแปรอิสระ

จากโมเดลแผนภาพตัวอย่างจะประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง 3 ค่า ดังนี้คือ

P_{y1} = ค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง ที่แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผล y และ ตัวแปรเหตุ x_1

P_{y2} = ค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง ที่แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผล y และ ตัวแปรเหตุ x_2

P_{21} = ค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง ที่แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหตุ x_2 และตัวแปรผล x_1

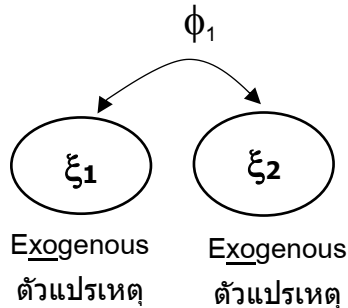
จากโมเดลจะเห็นว่า ตัวแปร x_1 ส่งผลไปยัง y มี 2 ลักษณะคือ ทางตรง(Direct) และ ทางอ้อม(Indirect)

- ทางตรง(Direct)ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ P_{y1}
- ทางอ้อม(Indirect) ผ่าน ตัวแปร x_2 ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากจากผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางที่ผ่าน(พิจารณาจากแผนภูมิด้านบน)คือ $P_{y2} * P_{21}$

สำหรับโมเดลแบบ Confirmatory Factor Analysis : CFA

สำหรับโมเดล SEM แบบ CFA ในโมเดลจะมีทั้งตัวแปรสังเกต(Observed) และ ตัวแปรแฝง(Latent) ดังนี้

(1) กรณี เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรแฝง กับ ตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระทั้งคู่



สัญลักษณ์ที่ใช้ในโมเดลแทนความหมายต่อไปนี้

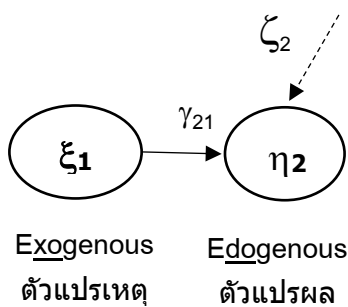
ξ_1 อ่านว่า xi ไช แทนตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระ

ϕ_1 อ่านว่า phi ไพ แทนระดับความสัมพันธ์ที่ไม่มีทิศทางระหว่างตัวแปรแฝงกับตัวแปรแฝง

เส้นโค้ง แทนความสัมพันธ์ที่ไม่มีทิศทาง ξ_1 กับ ξ_2

แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ที่ไม่มีทิศทางระหว่าง ตัวแปรแฝง ด้วยกันที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปรเหตุหรือตัวแปรภายนอก(Exogenous) ทั้ง 2 ตัวแปร

(2) กรณี เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรแฝง ที่มีทั้งเป็นตัวแปรอิสระ และ ตัวแปรตาม



สัญลักษณ์ที่ใช้ในโมเดลแทนความหมายต่อไปนี้

η_2 อ่านว่า eta อีตา:เอต้า แทน ตัวแปรแฝง ที่เป็น ตัวแปรตาม

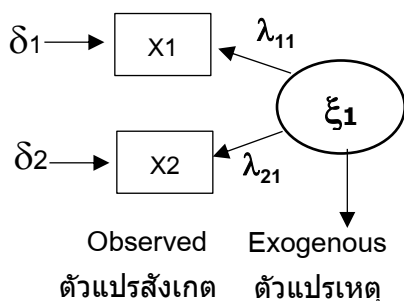
γ_{21} อ่านว่า gamma แกมมา แทน ความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปร แฝง

ξ_2 อ่านว่า zeta ซีต้า หรือ เซต้า แทนค่าความคลาดเคลื่อนจากการใช้โมเดลทำนายตัวแปร ξ_2 ด้วยตัวแปร ξ_1

เส้นลูกศร แทนสัมพันธ์ที่มีทิศทางจาก ξ_1 ไป ξ_2

แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ที่มีทิศทางระหว่าง ตัวแปรแฝง โดย ตัวแปรแฝง ξ_1 ทำหน้าที่เป็นตัวแปรเหตุ(ตัวแปรภายนอก: Exogenous) ทำนาย ตัวแปรแฝง ξ_2 ทำหน้าที่เป็นตัวแปรผล(ตัวแปรภายใน: Endogenous) โดยมีเศษที่เหลือจากการทำนายด้วยค่า ξ_2

(3) กรณี เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรสังเกต กับตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระ



สัญลักษณ์ที่ใช้ในโมเดลแทนความหมายต่อไปนี้

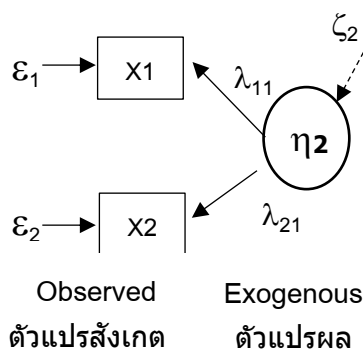
λ_{ij} อ่านว่า lamda หรือ lambda แลมด้า

แทนระดับความสัมพันธ์ของตัวชี้วัดที่เป็นตัวแปรสังเกตได้ที่ 1 สำหรับตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระที่ j

δ_i อ่านว่า delta เดลต้า แทนค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรสังเกตจาก วัด หรับตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรภายนอก(exo)

แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรแฝง กับชุดของ ตัวแปรสังเกต โดยตัวแปรสังเกต x_1 และ x_2 ทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้ลักษณะของ ตัวแปรแฝง ξ_1 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปรเหตุ (ตัวแปรภายนอก: Exogenous)

(4) กรณี เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรสังเกต กับตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรตาม



สัญลักษณ์ที่ใช้ในโมเดลแทนความหมายต่อไปนี้

λ_{ij} อ่านว่า lamda หรือ lambda แลมด้า

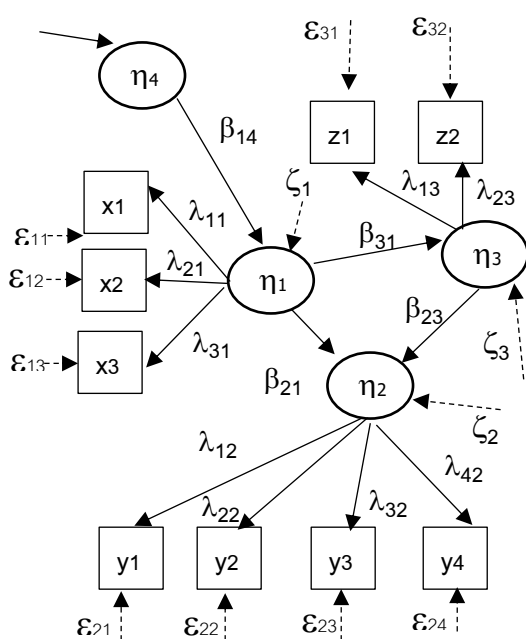
แทนระดับความสัมพันธ์ของตัวชี้วัดที่เป็นตัวแปรสังเกตได้ที่ i สำหรับตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระที่ j

ϵ_i อ่านว่า epsilon เอปซิลอน

แทนค่าความคลาดเคลื่อนของชุดตัวแปรสังเกต จาก วัด สำหรับตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรตาม(edo)

แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรแฝง กับชุด ตัวแปรสังเกต โดยตัวแปรสังเกต x_1 และ x_2 ที่เป็นตัวบ่งชี้คุณลักษณะของ η_1 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปรผล (ตัวแปรภายใน : Edo) โดยมีเศษที่เหลือ ζ_2

(5) กรณี เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรแฝง เป็นตัวแปรตามทั้งคู่



สัญลักษณ์ที่ใช้แทนความหมายต่อไปนี้

β_{ij} อ่านว่า beta เบต้า แทนระดับความสัมพันธ์เชิงเหตุผล ของตัวแปรแฝง ที่เป็นตัวแปรผลที่ i เมื่อตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรเหตุที่ j

λ_{ij} อ่านว่า lamda หรือ lambda แลมด้า

แทนระดับความสัมพันธ์ของตัวชี้วัดที่เป็นตัวแปรสังเกตได้ที่ i สำหรับตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระที่ j

ϵ_{ij} อ่านว่า epsilon เอปซิลอน แทนค่าความคลาดเคลื่อน จากการวัดของชุดตัวแปรสังเกต i เมื่อตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรตาม(edo) ที่ j

ζ_i อ่านว่า zeta ซีต้า หรือ เซต้า แทนค่าเศษที่เหลือจากการทำนาย ตัวแปร η_i ด้วยโมเดล

แผนภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่าง ตัวแปรแฝง η_i กับ ตัวแปรแฝง η_j ดังนี้

- ☑ ตัวแปรแฝง η_1 ถูกทำนาย โดย ตัวแปรแฝง η_4 ด้วย ค่าระดับความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล β_{14} ความคลาดเคลื่อนที่เป็นเศษที่เหลือ ζ_1
- ☑ ตัวแปรแฝง η_2 ถูกทำนาย โดย ตัวแปรแฝง η_1 และ η_3 ด้วย ค่าระดับความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล β_{21} และ β_{23} ความคลาดเคลื่อนที่เป็นเศษที่เหลือ ζ_2
- ☑ ตัวแปรแฝง η_3 ถูกทำนาย โดย ตัวแปรแฝง η_1 ด้วย ค่าระดับความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล β_{31} ความคลาดเคลื่อนที่เป็นเศษที่เหลือ ζ_3

สัญลักษณ์ต่างๆที่เป็นอักษรกรีก อาจจะยากต่อการจดจำ แต่จะมีประโยชน์ในการอ่านผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม LISREL ที่ช่วยในการวิเคราะห์โมเดล SEM แต่สำหรับหนังสือเล่มนี้ใช้โปรแกรม JAMOV มาช่วยในการวิเคราะห์ จึงจะใช้สัญลักษณ์ที่เป็นอักษรกรีกเท่าที่จำเป็น โดยกำหนดสัญลักษณ์ต่างๆให้ง่ายต่อการเรียนรู้ดังต่อไปนี้

Fi แทน ตัวแปรที่เป็นปัจจัยแฝงใดๆ

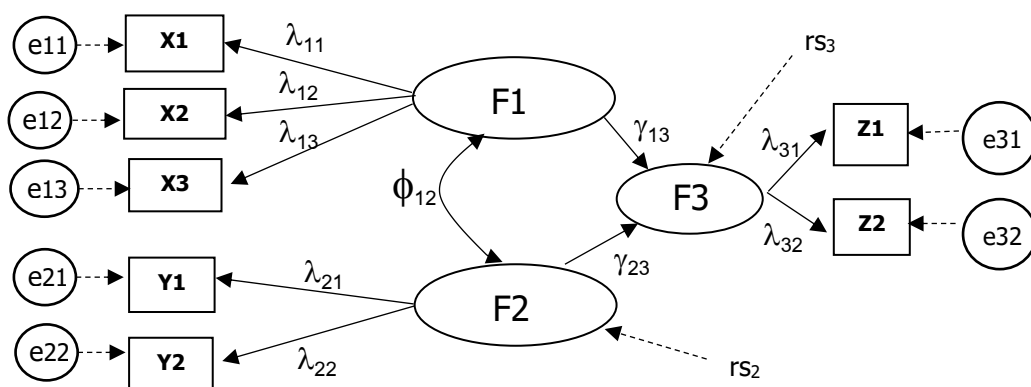
λ_{ij} อ่านว่า lamda แลมด้า แทนค่าระดับความสัมพันธ์ของตัวชี้วัดที่เป็น ตัวแปรสังเกต ตัวที่ j สำหรับ ตัวแปรแฝง ที่ i เช่น λ_{13} ของตัวแปรสังเกตที่ 3 สำหรับตัวแปรแฝงที่ 1

γ_{ij} อ่านว่า gamma แกมมา แทนค่าระดับความสัมพันธ์เชิงเหตุผล ของ ตัวแปรแฝง ที่ i ที่เป็น ตัวแปรเหตุ ส่งผลไปยัง ตัวแปรแฝง ที่ j ที่เป็น ตัวแปรผล เช่น γ_{13} แทนความสัมพันธ์ ของ ตัวแปรแฝง ที่ 1 ส่งผลไปยัง ตัวแปรแฝง ที่ 3 ที่เป็น ตัวแปรผล

e_{ij} แทนค่าความคลาดเคลื่อน(error) จากการวัดของชุด ตัวแปรสังเกต ตัวที่ j สำหรับ ตัวแปรแฝง ตัวที่ i เช่น e_{23} ในโมเดลแทน ค่าความคลาดเคลื่อน จากการวัดของชุด ตัวแปรสังเกต ตัวที่ 3 สำหรับ ตัวแปรแฝง ตัวที่ 2

rs_i แทนค่าเศษที่เหลือ(Residual) จากการใช้ ตัวแปรแฝง ใดๆที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปรเหตุมาอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ ตัวแปรแฝง ตัวที่ i ที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปรผล เช่น rs_3 ในโมเดล คือ ค่าเศษที่เหลือจากการใช้ ตัวแปรแฝง ใดๆมาอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ ตัวแปรแฝง ตัวที่ 3

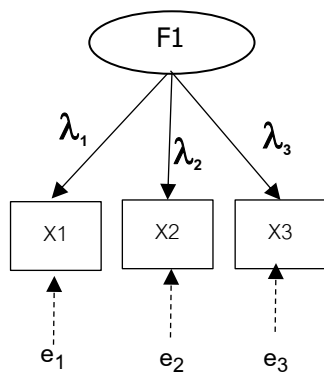
ϕ_{ij} อ่านว่า phi ไฟ แทนค่าระดับความสัมพันธ์ที่ไม่มีทิศทาง ของ 2 ตัวแปรแฝง เช่น ϕ_{12} ในโมเดล ด้านล่างแทนความสัมพันธ์ ของ ตัวแปรแฝง ที่ 1 กับ ตัวแปรแฝง ที่ 2



1.2.2 การกำหนดสมการแสดงความสัมพันธ์

เมื่อได้แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ แล้วผู้วิเคราะห์ควรสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งจะเขียนในรูปของสมการเชิงเส้นตรงในรูปแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

① สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรสังเกต กับ ตัวแปรแฝง



จากแผนภาพของความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรแฝง F1 ที่มี 3 ตัวแปรสังเกตสามารถนำมาสร้างเป็นสมการเชิงคณิตศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้

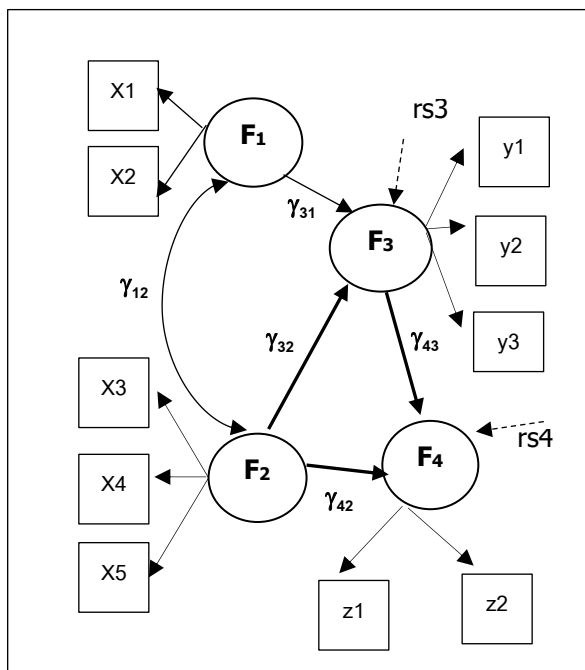
$$zx1 = \lambda_1 F1 + e1 \dots\dots\dots(1) \quad zx1 \text{ แทน ค่ามาตรฐานของ } x1$$

$$zx2 = \lambda_2 F1 + e2 \dots\dots\dots(2) \quad zx2 \text{ แทน ค่ามาตรฐานของ } x2$$

$$zx3 = \lambda_3 F1 + e3 \dots\dots\dots(3) \quad zx3 \text{ แทน ค่ามาตรฐานของ } x3$$

หมายเหตุ สมการที่สร้างขึ้นเป็นสมการในรูปค่าคะแนนมาตรฐาน(Standardize) ไม่ได้อยู่ในรูปค่าคะแนนดิบ(Unstandardize)

② สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรแฝง กับ ตัวแปรแฝง สมการโครงสร้าง



โมเดลโครงสร้าง นี้แสดงถึงความสัมพันธ์ของโมเดลการวัด 4 โมเดล สามารถกำหนดสมการซึ่งเป็นสมการโครงสร้างได้ดังต่อไปนี้

$$F3 = \gamma_{31}F1 + \gamma_{32}F2 + rs3 \dots\dots\dots(1)$$

$$F4 = \gamma_{42}F2 + \gamma_{43}F3 + rs4 \dots\dots\dots(2)$$

และยังมีสมการอื่นๆอีกที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรแฝง กับ ตัวแปรสังเกต ที่เป็นตัวแปรบ่งชี้ของตัวแปรนั้นๆ ซึ่ง ไม่ได้สร้างไว้

1.2.3 การตรวจสอบความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (Model Identification)

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์โมเดล SEM ผู้วิเคราะห์จะต้องตรวจสอบเงื่อนไขที่สำคัญประการหนึ่งของโมเดลซึ่งจะเรียกว่า การตรวจสอบความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (Model Identification) กล่าวคือ Parameter หรือค่าคงที่ใดๆ ในโมเดลที่ต้องการประมาณค่าจะมีค่าที่เป็นไปได้เพียงค่าเดียวดังตัวอย่างต่อไปนี้

พิจารณาโมเดล $x + y = 7$ ค่า x และ y ที่อาจเป็นไปได้มีได้หลายคำตอบดังนี้

$x=0 : y=7$	ที่เป็นเช่นนี้เพราะเรามีข้อมูลไม่เพียงพอ หรือ <u>น้อยไป</u> (Under) ที่จะทำให้ได้ ค่า x และ y มีคำตอบเดียว หรือ เรามีจำนวนสมการน้อยกว่าสิ่งที่เราอยากรู้ (อยากรู้ Parameter 2 ค่าแต่มีเพียงสมการเดียว)
$x=1 : y=6$	
$x=0 : y=7$	
$x=1 : y=6$	

ถ้าเรามีสมการเพิ่มอีกคือ $x - y = 3$ จะได้ $x=5 : y=2$ เพียงคำตอบเดียว ลักษณะเช่นนี้เกิดจากเรามีจำนวนสมการเท่ากับ หรือ พอดีกับ (Just) จำนวน Parameter ที่เราอยากรู้จึงถือว่าข้อมูลเพียงพอ และโมเดลที่เราสร้างขึ้น ระบุความเป็นไปได้เพียงค่าเดียวได้ หรือ โมเดลมีลักษณะเฉพาะ (Identification Model) แต่โมเดลแบบนี้จะวิเคราะห์เพื่อหาโมเดลที่เหมาะสม (Fit Model) ไม่ได้

แต่ถ้าเกิดเรามีสมการเพิ่มขึ้นอีกคือ $x * y = 10$ จะทำให้เรามีสมการถึง 3 สมการในขณะที่ Parameter ที่เราต้องการทราบค่ามีเพียง 2 ค่า คือ x และ y เท่านั้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$x + y = 7$	จะทำให้ได้ ค่า x และ y มีคำตอบเดียวเหมือนกัน แต่เป็นกรณีที่เรามีจำนวนสมการ <u>มากกว่า</u> (Over) สิ่งที่เราอยากรู้ (อยากรู้ Parameter 2 ค่าแต่มีถึง 3 สมการ)
$x - y = 3$	
$x * y = 10$	

นั่นคือถ้าโมเดล ที่เราสร้างขึ้นมีข้อมูลเพียงพอ คือเกิดลักษณะ พอดี (Just) หรือ มากกว่า (Over) จำนวน Parameter ที่เราต้องการรู้ หรือประมาณค่าเราก็สามารถหาค่า Parameter ในโมเดลนั้นได้ในทางตรงกันข้าม ถ้าเกิดลักษณะน้อยกว่า (Under) เราจะไม่สามารถหาค่า Parameter ในโมเดลนั้นได้

ในการตรวจสอบว่าโมเดลเป็นลักษณะใดใน 3 ลักษณะดังกล่าวทำได้โดยการคำนวณหาค่า Degree of Freedom หรือ DF ดังต่อไปนี้