

SEM

การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง
Structural Equation Modeling

ยุทธ ไทยวรรณ

การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling: SEM)

ยุทธ ไทวรรณ

คำนำ

การจัดพิมพ์หนังสือการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเล่มนี้ เป็นหนังสือ EBook หนังสือการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างด้วยเอโมส เพื่อให้หนังสือมีเนื้อหาที่ละเอียดสมบูรณ์ มีคำอธิบายประกอบโมเดล มีตัวอย่าง การวิเคราะห์แบบขั้นตอนต่อขั้นตอนให้การวิเคราะห์มีความชัดเจน กระชับ และง่ายต่อการสร้างความเข้าใจมากยิ่งขึ้นกว่าเดิม อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ผู้ศึกษามีความรู้ในเนื้อหาการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างมากยิ่งขึ้นควรศึกษาเพิ่มเติมจากหนังสือเล่มอื่น ๆ ในลักษณะเดียวกันนี้ประกอบและหากผู้ศึกษามีข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะประการหนึ่งประการใด ผู้เขียนยินดีน้อมรับเพื่อนำมาปรับปรุงในการจัดพิมพ์ครั้งต่อไป

ขอขอบคุณบริษัท Thaisoftup Co. Ltd. ตัวแทน IBM Singapore ในประเทศไทย ที่อนุญาตให้ใช้ Software ประกอบการเขียนเอกสาร ตำรา

ยุทธ ไกยวรรณ

มกราคม 2569

May 15, 2023

TO : Assoc. Prof. Dr. Yuth Kaiyawan

Muban Chombueng Rajabhat University

RE : IBM SPSS Statistics Premium Authorized user license V.28

Thank you for your support to purchase the legal licensed SPSS program. We are happy if you will do the documents. or publication To support the teaching and learning of this program to be more effective.

Sincerely Yours,



(Sukunya Korsanan)

Country Manager

SIFT Analytics Group Thailand

สารบัญ

หน้า

คำนำ

สารบัญ

สารบัญภาพ

สารบัญตาราง

คำอธิบายศัพท์

บทที่ 1 ความเข้าใจพื้นฐานการวิเคราะห์สมการโครงสร้าง	1
1.1 ความเข้าใจเบื้องต้นในโมเดลสมการโครงสร้าง	2
1.1.1 กำหนดโครงสร้างของโมเดล (Model Specification)	2
1.1.2 ลักษณะของเส้นบนโมเดล	4
1.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ SEM	5
1.3 ส่วนประกอบของ SEM	16
1.4 หน้าต่างโปรแกรม	17
1.4.1 หน้าต่างและไอคอน	17
1.4.2 การบันทึกผลการวิเคราะห์	19
1.4.3 การเปิดเพิ่มข้อมูล	20
1.4.4 ปรับหน้าต่าง Amos แนวนอน	21
1.5 การนำเข้าข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์	21
1.6 ขนาดของตัวอย่างในการวิเคราะห์ SEM	22
1.7 ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการวิเคราะห์ SEM	26
บทที่ 2 หลักการวิเคราะห์การถดถอย	29
2.1 การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นการวิเคราะห์การถดถอย	29
2.2 การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย	37
2.3 การทดสอบความเหมาะสมของสมการถดถอยอย่างง่าย	39
2.3.1 วัตถุประสงค์การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย	41

	หน้า
2.3.2 การทดสอบข้อตกลงของค่าความคลาดเคลื่อน (ϵ)	41
2.3.3 การพิจารณาใช้ค่า Adjusted R^2	46
2.4 เงื่อนไขการวิเคราะห์การถดถอย	47
2.5 การสร้างสมการถดถอยพหุ	47
2.6 การตรวจสอบความเป็นอิสระจากกันของตัวแปรทำนาย	48
2.7 วิธีการนำตัวแปรเข้าสมการถดถอย	52
2.8 การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (Multiple Regression Analysis: MRA)	55
2.9 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอยพหุ	57
2.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอยด้วย SPSS	58
2.11 การทดสอบนัยสำคัญของการวิเคราะห์ MRA	69
2.12 กำหนดขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์การถดถอย	70
บทที่ 3 การวิเคราะห์โมเดลสมการ โครงสร้าง	73
3.1 การตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานการวิเคราะห์ SEM	73
3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ SEM	84
บทที่ 4 การวิเคราะห์องค์ประกอบ	125
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA)	125
4.1.1 กรอบของประโยชน์การวิเคราะห์ Factor แบบ EFA	127
4.1.2 ชนิดของการวิเคราะห์องค์ประกอบ	127
4.1.3 ความหมายของคำต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ Factor	128
4.1.4 การหาค่าต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ Factor	132
4.1.5 ข้อตกลงเบื้องต้นการวิเคราะห์ Factor	133
4.1.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ Factor	134
4.1.7 เกณฑ์การกำหนดองค์ประกอบ	142
4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA)	153
4.2.1 การวิเคราะห์ CFA อันดับแรก (The First Order Confirmatory Factor Analysis)	153

	หน้า
4.2.2 การวิเคราะห์ CFA อันดับ 2 (Second Order Confirmation Factor Analysis)	172
4.2.3 เปรียบเทียบโมเดลการวิเคราะห์ EFA และ CFA	179
บทที่ 5 การวิเคราะห์ความเท่ากันครั้งเดียว	181
5.1 การวิเคราะห์ Full Model	181
5.1.1 การวิเคราะห์แบบไม่กำหนดเงื่อนไข	181
5.1.2 การวิเคราะห์เมื่อกำหนด Constraints ใน Regression Weight เท่ากัน	189
5.1.3 การวิเคราะห์เมื่อกำหนด Constraints ใน Variance และ Covariance เท่ากัน	191
5.2 การวิเคราะห์ Partial Model ใน CFA พร้อมกันครั้งเดียวหลายกลุ่ม (Test Multiple Group in Single Analysis)	194
5.2.1 วิเคราะห์แบบไม่มีเงื่อนไขหรือไม่กำหนด Constraint	194
5.2.2 วิเคราะห์แบบกำหนด Constraint ใน Regression Weight เท่ากัน	199
บทที่ 6 การวิเคราะห์อิทธิพลเส้นทาง	203
6.1 ความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างตัวแปร	203
6.2 ความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลของตัวแปรในโมเดล	205
6.3 สัมประสิทธิ์อิทธิพล (Path Coefficient : P)	206
6.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์เส้นทางโมเดล (Path Analysis) ด้วยการประมาณค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางด้วยการวิเคราะห์ถดถอย กรณีไม่มีตัวแปรแฝงใน SEM	208
6.5 การวิเคราะห์เส้นทางโมเดลด้วย SEM	219
6.6 การวิเคราะห์เส้นทางอิทธิพลกรณีมีตัวแปรแฝงในโมเดล	232
6.7 ข้อตกลงการวิเคราะห์โมเดลอิทธิพลเส้นทาง	236
บทที่ 7 การเตรียมข้อมูลการวิเคราะห์ SEM	237
7.1 การหาความเที่ยงตรง (CR) และความแปรปรวนเฉลี่ย (AVE)	239
7.1.1 การหาความเที่ยงตรงขององค์ประกอบ (Construct Reliability: CR)	239

	หน้า
7.1.2 การคำนวณหาค่าความแปรปรวนเฉลี่ยของตัวแปรแฝงที่ถูกสกัดได้ (Average Variance Extracted: AVE)	240
7.2 การตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล (Measurement of Model Fit)	241
7.3 ตัวอย่างงานวิจัย	263
7.4 สรุป	285
ตารางค่าวิกฤติของไค-สแควร์	287
บรรณานุกรม	289
ประวัติผู้เขียน	297

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 โมเดลการวัดตัวแปรแฝงภายนอก	2
1.2 โมเดลการวัดตัวแปรแฝงภายใน	3
1.3 โมเดลโครงสร้าง	3
1.4 ลักษณะของ Formative Model	4
1.5 ลักษณะของโมเดลแบบ Reflective Model	4
1.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ SEM	5
1.7 โมเดลการวิจัย	7
1.8 เมทริกซ์พารามิเตอร์ของโมเดล	8
1.9 โมเดลบังคับให้ค่า λ_i ค่าหนึ่งมีค่าเป็น 1.00	9
1.10 โมเดลที่มีลักษณะเป็น Just Identification	10
1.11 โมเดลที่เป็น Over Identification	11
1.12 สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ SEM	15
1.13 หน้าต่างเอโมส	17
1.14 ไอคอนและหน้าจอเอโมส	20
2.1 ลักษณะ e_i ของตัวแปร $\hat{y}$ จากการสุ่ม	30
2.2 กราฟ P-P Plot of Regression Standardized Residual	31
2.3 แสดง e_i ในแต่ละ x_i เป็นอิสระจากกัน	32
2.4 ลักษณะการเกิด Auto Correlation	33
2.5 ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่	36
2.6 ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่คงที่มีแนวโน้มกว้างขึ้น	36
2.7 ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่คงที่มีแนวโน้มแคบลง	37
2.8 ความสัมพันธ์ของตัวแปร x กับ y บนเส้นสัมพันธ์ความถดถอย	39
2.9 Simple Regression Analysis	41
2.10 สัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวอย่างที่ 2.2	45

ภาพที่	หน้า
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร y กับชุดตัวแปร x	48
2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดตัวแปรทำนาย	49
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม (Multiple Regression Analysis)	57
3.1 กรอบแนวคิดการวิจัยเรื่องการพัฒนาโมเดลประสิทธิภาพการศึกษา	85
3.2 โมเดลรูปแบบอิทธิพลจากข้อมูลประกอบทฤษฎี	112
3.3 โมเดลที่วางลงใน Microsoft Word ที่ยังไม่ตัดเส้นความสัมพันธ์	118
4.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรกับตัวแปรใหม่ (ปัจจัย)	125
4.2 โมเดลการวิเคราะห์ Factor แบบ EFA	126
4.3 ความร่วมกัน (h^2) ขององค์ประกอบในตัวแปรหนึ่ง	129
4.4 ไอเกนขององค์ประกอบ	131
4.5 ส่วนประกอบขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบ	131
4.6 การหมุนแกนองค์ประกอบ	140
6.1 ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยหรือสัมประสิทธิ์เส้นทางบนโมเดลรูปแบบคะแนนดิบ	213
6.2 ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยหรือสัมประสิทธิ์เส้นทางบนโมเดลรูปแบบคะแนนมาตรฐาน (Z)	213
7.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง CR, AVE และตัวแปรแฝงต่อการอธิบายเหตุการณ์	241
7.2 กรอบแนวคิดการวิจัยระดับการเป็นองค์กรนวัตกรรม	264
7.3 โมเดลระดับการเป็นองค์กรนวัตกรรม	265
7.4 โมเดลการวิจัยความสามารถทางธุรกิจของผู้ประกอบการรายย่อย	268
7.5 โมเดลความสามารถทางธุรกิจของผู้ประกอบการรายย่อย	273
7.6 กรอบแนวคิดการวิจัยเรื่อง ตัวแบบกลยุทธ์การจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่มีผลต่อความผูกพันและผลการปฏิบัติงานของพนักงานธุรกิจโรงแรมในประเทศไทย	274
7.7 ตัวแบบการวิเคราะห์เส้นทางอิทธิพลของกลยุทธ์การจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่มีผลต่อความผูกพันและผลการปฏิบัติงานของพนักงานธุรกิจโรงแรมในประเทศไทย	278

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 เมทริกซ์ความแปรปรวน (Variance) และความแปรปรวนร่วม (Covariance)	8
1.2 เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของภาพที่ 1.5	10
1.3 เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของภาพที่ 1.11	11
1.4 ไอคอนหน้าจอ	17
1.5 ขนาดตัวอย่างน้อยสุดที่เป็นไปได้ในการวิเคราะห์ด้วย SEM	22
3.1 แบบประเมินความเที่ยงตรง	83
3.2 โครงสร้างของเครื่องมือวิจัย	84
3.3 สัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐานจากสมการโครงสร้าง	109
3.4 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Regression Weights) ที่เป็นค่า Standardized และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	108
4.1 น้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปร $x_1 - x_6$	132
4.2 น้ำหนักตัวแปรแต่ละองค์ประกอบ	133
4.3 การนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรายงานการวิจัย	171
4.4 ความเที่ยงขององค์ประกอบ (CR) และความแปรปรวนเฉลี่ยที่สกัดได้ (AVE)	172
6.1 ค่าอิทธิพลทางตรง (DE) ของโมเดลวิจัย	212
6.2 เมทริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเส้นทางโมเดลวิจัย	217
6.3 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลจากตัวอย่างวิจัยกับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเส้นทางโมเดลวิจัย	217
6.4 สรุปความแตกต่างของค่า r ของตัวแปรจากตัวอย่างวิจัยกับค่า r ของเส้นทางโมเดลวิจัย	218
6.5 สรุปผลต่างของความคลาดเคลื่อนของค่า r ของตัวอย่างวิจัยกับค่า r ของโมเดลวิจัย	219
7.1 สรุปดัชนีความสอดคล้องของโมเดล	262
7.2 ค่าสถิติตรวจสอบโมเดล	266

ตารางที่	หน้า
7.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในโมเดลวัดความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดองค์กรแห่งการเรียนรู้ต่อระดับการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้และระดับของการเป็นองค์กรนวัตกรรม	267
7.4 ค่าสหสัมพันธ์พหุคูณกำลังสองของการวิเคราะห์โมเดล	268
7.5 ค่าสถิติพรรณนาและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรกลยุทธ์การจัดการทรัพยากรมนุษย์	277
7.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยสัมประสิทธิ์ถดถอยของกลยุทธ์การจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่มีผลต่อความผูกพันและผลการปฏิบัติงานของพนักงานธุรกิจโรงแรมในประเทศไทย	279
7.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของตัวแปรในตัวแบบการวิเคราะห์	279
7.8 ผลการทดสอบสมมติฐาน	281
7.9 ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องของตัวแบบกลยุทธ์การจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่มีผลต่อความผูกพันและผลการปฏิบัติงานของพนักงานธุรกิจโรงแรมในประเทศไทยตามสมมติฐานกับข้อมูลเชิงประจักษ์	285

คำอธิบายศัพท์

Σ : Sample Covariance Matrix	หมายถึง	เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของโมเดลจากกลุ่มตัวอย่าง
$\Sigma(\theta)$: Computed Covariance Matrix	หมายถึง	เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของโมเดลที่สร้างขึ้น
T	หมายถึง	สถิติค่าที (T-Test) ที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน
t	หมายถึง	พารามิเตอร์ไม่ทราบค่าหรือพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบค่า
P-Value หรือ ρ	หมายถึง	ค่านัยสำคัญทางสถิติ
$K(K + 1)/2$	หมายถึง	สูตรคำนวณหาจำนวนพารามิเตอร์ที่ทราบค่าในโมเดล
K	หมายถึง	จำนวนตัวแปรสังเกตได้ (Manifest Variable)
Under Identification	หมายถึง	พารามิเตอร์ที่ทราบค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า $df < 0$
Just Identification	หมายถึง	พารามิเตอร์ที่ทราบค่าเท่ากับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า $df = 0$
Over Identification	หมายถึง	พารามิเตอร์ที่ทราบค่ามากกว่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า $df > 0$
Manifest Variable	หมายถึง	ตัวแปรสังเกตได้
Latent Variable	หมายถึง	ตัวแปรแฝง
C.R.	หมายถึง	Critical Ratio หรือสถิติค่าที (T-Test) ที่ใช้ทดสอบ
S.E.	หมายถึง	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error)
M.I.	หมายถึง	ดัชนีให้ปรับแต่งโมเดล (Modification Indices)
Residual Covariance Matrix	หมายถึง	เมทริกซ์ของความแปรปรวนของส่วนที่เหลือ หาจาก $\Sigma - \Sigma(\theta)$
h^2	หมายถึง	ค่าความร่วมกัน (Communality)
λ	หมายถึง	ค่าไอเกน (Eigen Value)
CR	หมายถึง	ค่าที่แสดงระดับการเป็นตัวแทนของตัวแปรแฝง
AVE	หมายถึง	ค่าที่อธิบายเหตุการณ์ได้ด้วยตัวแปรสังเกตได้ (Manifest Variable) ต่อตัวแปรแฝง (Latent Variable)

บทที่ 1

ความเข้าใจพื้นฐานการวิเคราะห์สมการโครงสร้าง

(Understanding the Fundamentals of SEM Analysis)

การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling: SEM) หรืออาจเรียกว่า โมเดลเชิงสาเหตุ (Causal Modeling) เป็นการวิเคราะห์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบทฤษฎี (Test the Theory) ว่าโมเดลที่สร้างขึ้นตามทฤษฎีนั้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ ดังนั้นในการวิเคราะห์ SEM สมมติฐานที่กำหนดจึงเขียนเพื่อพิสูจน์ว่า “โมเดลที่พัฒนาขึ้นมา สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ โดยเขียนเป็นสมมติฐานการทดสอบ ดังนี้

H_0 : โมเดลที่พัฒนาขึ้นมาสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

H_1 : โมเดลที่พัฒนาขึ้นมาไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

เครื่องมือเป็นแบบสังเกต (Observe) เก็บรวบรวมข้อมูลเชิงประจักษ์จากตัวอย่างเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ โดยการวิเคราะห์โมเดลโปรแกรมจะวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ระหว่างตัวแปรและปัจจัย และระหว่างปัจจัยต่อปัจจัยพร้อมกันครั้งเดียวในโมเดลตามกรอบแนวความคิดการวิจัยของผู้วิจัย การวิเคราะห์ SEM พัฒนาโดยคาร์ล จี โจเรสกอก (Karl G. Joreskog) ใน ค.ศ. 1960 (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2548: 9) และ SEM เป็นการพัฒนามาจากการวิเคราะห์ถดถอย (Multiple Regression: MR) และพัฒนามาจากการวิเคราะห์เส้นทาง (Path Analysis: PA) ทำให้การวิเคราะห์ SEM ง่ายขึ้น ถึงแม้ SEM จะมีตัวแปรตามได้มากกว่า 1 เหมือนการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ (Multivariate Analysis of Variance: MANOVA) ก็ตาม ในการวิเคราะห์ SEM จะวิเคราะห์ทุกตัวแปรพร้อมกันคราวเดียว (Simultaneous Analysis) ของโมเดลในทุกมิติ ซึ่งจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ลดลง การวิเคราะห์ลักษณะดังกล่าวจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วย AMOS (Analysis of Moment Structure) ในการวิเคราะห์ SEM ซึ่งผู้วิเคราะห์จะจัดการกับค่าคลาดเคลื่อน (Error) ได้ง่าย โดยการปรับโมเดลและการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Error Term ในโมเดลต่างเมทริกซ์ได้ โดยพิจารณาจากค่า M.I. ที่สูงที่สุด แต่ละคู่ของ e หรือดูที่ Par Change ที่มีค่าสูงสุด ทั้งนี้บางครั้งคู่ e มีค่า M.I. สูงสุด แต่การเปลี่ยนแปลงของ χ^2 มีค่าต่ำ โปรแกรมจะไม่ยอม

ให้ปรับ จึงต้องพิจารณาและปรับที่ Par Change สูงสุด และเมื่อมีการปรับโมเดลและวิเคราะห์ใหม่รอบต่อไป จะไม่คงผลลัพธ์ (Out Put) การวิเคราะห์รอบก่อนเอาไว้ ซึ่งจะไม่ทำให้สับสน นอกจากนี้ โมเดลการวิเคราะห์ยังสามารถปรับ เคลื่อนย้าย หรือปรับเล็กใหญ่ได้ ทั้งกรอบตัวแปรและตัวหนังสือชื่อตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้

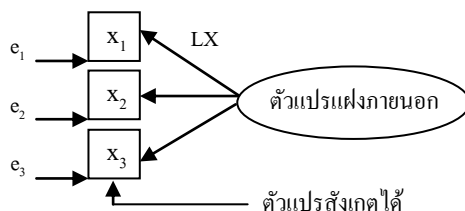
1.1 ความเข้าใจเบื้องต้นในโมเดลสมการโครงสร้าง

1.1.1 กำหนดโครงสร้างของโมเดล (Model Specification)

โครงสร้างของโมเดลเป็นการสร้างขึ้นโดยผู้วิจัย (Generated Model by Researcher) ที่ได้จากการศึกษาทฤษฎี แนวคิดของนักวิชาการ ตลอดจนงานวิจัยต่าง ๆ และนำมาสร้างเป็นโมเดลของชุดความสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องของตัวแปรแฝง เพื่อให้เกิดความเข้าใจในสถานการณ์หรือสิ่งที่ผู้วิจัยศึกษา (สุวิมล ติรกันันท์, 2553: 209) โครงสร้างของโมเดลจะประกอบด้วยโมเดลย่อยได้ 2 โมเดลคือ

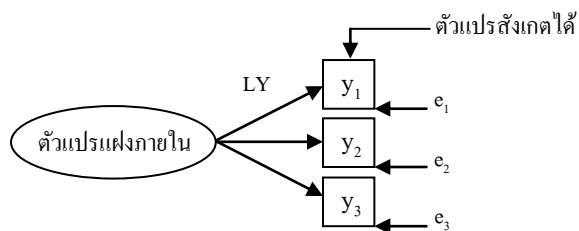
1) โมเดลการวัด (Measurement Model) เป็นโมเดลที่ระบุความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรแฝง (Latent Variable) กับตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variable) ใน Amos ตัวแปรสังเกตได้เราจะเรียกว่า Manifest ซึ่งแปลว่าสังเกตได้หรือรายการสำแดงหรือแสดงให้เห็น ทำหน้าที่เป็นตัวชี้วัด (Indicator) ของตัวแปรแฝง ซึ่งตัวแปรแฝงก็คือ ตัวแปรที่ไม่สามารถวัดค่าออกมาได้โดยตรง ทั้งนี้เพราะตัวแปรแฝงเป็นตัวแปรที่ไม่มีอยู่จริง โมเดลการวัด มีด้วยกัน 2 ชนิด ได้แก่

1.1) โมเดลการวัดสำหรับตัวแปรแฝงภายนอก หรือโมเดลการวัดสำหรับตัวแปรอิสระ หรือโมเดลองค์ประกอบของตัวแปรแฝงภายนอกกับตัวแปรสังเกตได้หรือ $\boxed{x}$ ดังนี้



ภาพที่ 1.1 โมเดลการวัดตัวแปรแฝงภายนอก

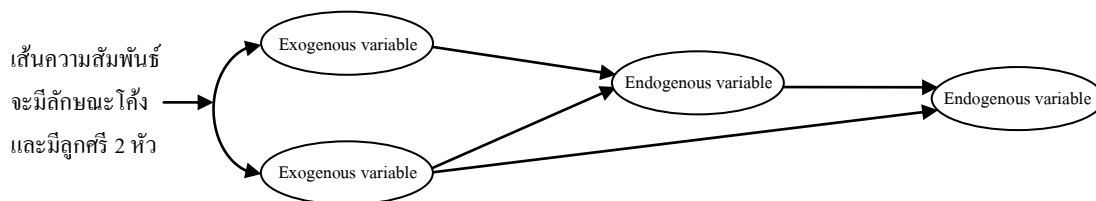
1.2) โมเดลการวัดสำหรับตัวแปรแฝงภายใน หรือโมเดลการวัดสำหรับตัวแปรตาม เป็นโมเดลองค์ประกอบของตัวแปรแฝงภายในกับตัวแปรสังเกตได้หรือ $\boxed{y}$ ดังนี้



ภาพที่ 1.2 โมเดลการวัดตัวแปรแฝงภายใน

ขั้นตอนการวิเคราะห์ใน โมเดลการวัดกระทำคล้ายกับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) การวิเคราะห์จะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของชุดตัวแปรที่สังเกตได้ของแต่ละตัวแปรแฝงเท่านั้น ส่วนในการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) ตัวแปรที่สังเกตได้ทุกตัวจะมีน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) ในทุกองค์ประกอบ

2) โมเดลโครงสร้าง (Structural Model) เป็นโมเดลที่ระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระ (Exogenous Variable) กับตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรตาม (Endogenous Variable) ในเอโมสจะเรียกตัวแปร Exogenous Variables และตัวแปร Endogenous Variables ว่า Latent Variables ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวแปรแฝงภายในและตัวแปรแฝงภายนอก การกำหนดโมเดลโครงสร้างจะต้องกำหนดจากทฤษฎีที่หนักแน่น ทั้งนี้เพราะการวิเคราะห์โมเดล SEM เป็นการวิเคราะห์ที่ยืนยันว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามหรือข้อมูลเชิงประจักษ์จะสอดคล้องกับโมเดลที่สร้างขึ้นหรือไม่ จากภาพที่ 1.3 โมเดลโครงสร้างข้างล่างคือ โมเดลที่ระบุความสัมพันธ์ระหว่าง Exogenous Variable กับ Exogenous Variable ส่วน Exogenous Variable กับ Exogenous Variable และ Exogenous กับ Endogenous ไม่มีเส้นความสัมพันธ์ แต่จะมีเส้นอิทธิพลต่อกันแทน เส้นอิทธิพลจะมีลักษณะลูกศรหัวเดียว ลูกศร หัวเข้าหาตัวแปรแสดงถึงตัวแปรที่ได้รับอิทธิพล ดังนี้



ภาพที่ 1.3 โมเดลโครงสร้าง

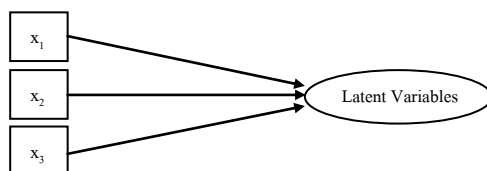
โมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) เป็นโมเดลที่ประกอบด้วยโมเดลการวัด (Measurement Model) และ โมเดล โครงสร้าง (Structure Model) พร้อมกันในคราวเดียว

1.1.2 ลักษณะของเส้นบนโมเดล

ลักษณะของเส้นบนโมเดลสมการโครงสร้างของตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variable) กับตัวแปรแฝง (Latent Variable) จะมีลักษณะ ดังนี้

- (1) รูปแบบหัวลูกศรจากชุดตัวแปรสังเกตได้เข้าหาตัวแปรแฝง

Observed Variables

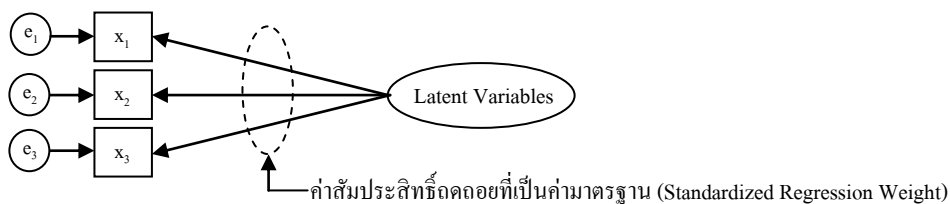


ภาพที่ 1.4 ลักษณะของ Formative Model

รูปแบบลักษณะนี้หัวลูกศรจากชุดตัวแปรสังเกตได้จะพุ่งเข้าหาตัวแปรแฝง ลักษณะแบบนี้เป็นแบบ Formative Model

- (2) รูปแบบหัวลูกศรพุ่งเข้าหาตัวแปรสังเกตได้ลักษณะเช่นนี้เป็นรูปแบบ Reflective Model ดังนี้

Observed Variables

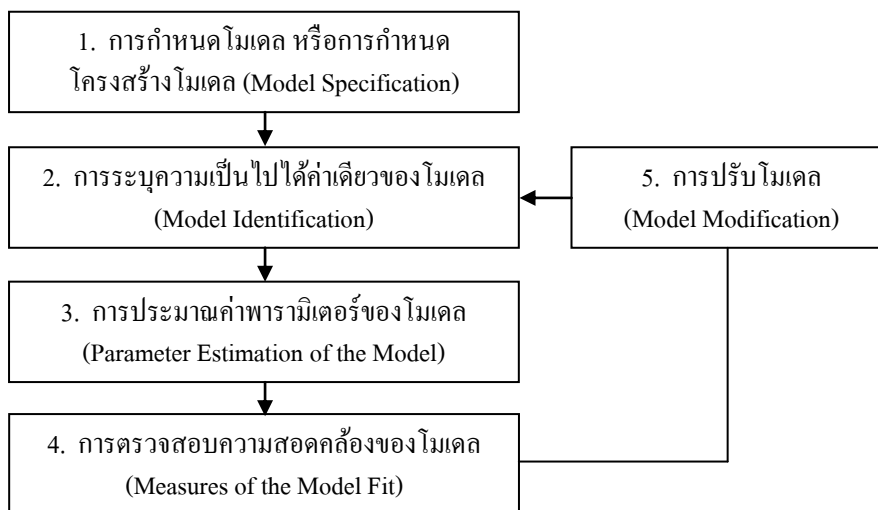


ภาพที่ 1.5 ลักษณะของโมเดลแบบ Reflective Model

1.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ SEM

การวิเคราะห์ SEM มีขั้นตอนสำคัญ 5 ขั้นตอน ดังนี้ (Schumacker and Lomax, 2010: 43-45)

ขั้นตอนของการวิเคราะห์ SEM มี 5 ขั้นตอน



ภาพที่ 1.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ SEM

ภาพที่ 1.6 รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

1) ขั้นตอนการกำหนดโมเดล หรือการกำหนดโครงสร้างโมเดล (Model Specification)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการสร้างโมเดลด้วยผู้วิจัยเอง (Generated Model by Researcher) จากการศึกษาทฤษฎี แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียดชัดเจนและหนักแน่น แล้วนำแนวคิดทฤษฎีที่ค้นพบนั้นมาวาดเป็นโมเดลการวิจัยของผู้วิจัย โมเดลวิจัยหรือโมเดลเชิงทฤษฎี (Hypothesis Model) ที่ประกอบด้วยตัวแปรแฝง และตัวแปรสังเกตได้ที่เป็นโมเดลการวัด (Measurement Model) หรืออาจมีเฉพาะตัวแปรแฝงในโมเดลโครงสร้าง (Structural Model) ซึ่งในโมเดลลักษณะนี้ผู้วิเคราะห์ไปกำหนดตัวแปรสังเกตได้ที่หลัง เมื่อวิเคราะห์ EFA ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเรียบร้อยแล้ว

ในการกำหนดตัวแปรสังเกตได้ในชุดตัวแปรแฝง ควรกำหนดให้มีตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป แต่จะดีขึ้นเมื่อกำหนด 3 ตัวแปร และดีที่สุดเมื่อกำหนด 4 ตัวแปรขึ้นไป ทั้งนี้จะช่วยเพิ่ม

ความแม่นยำและเสถียรภาพของโมเดล ซึ่งก็คือจะช่วยให้การวิเคราะห์หองค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis) มีความแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น (Anderson & Rubin, 1956; Bollen, 1989) ส่วน Boomsma (1985) แนะนำว่าไม่ควรต่ำกว่า 3 ตัวแปรสังเกตต่อตัวแปรแฝง ทั้งนี้ หากกำหนด 2 ตัวแปร โมเดลอาจมีโอกาเป็น Under Identification และอธิบายตัวแปรแฝงได้ ไม่ครบสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในตัวแปรแฝงได้

2) ขั้นตอนการระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (Model Identification)

การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดลการวิเคราะห์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าการคำนวณ จะเริ่มต้นคำนวณจากเมทริกซ์ความแปรปรวน (Variance) และความแปรปรวนร่วม (Covariance) ในการคำนวณสิ่งที่ผู้วิเคราะห์ต้องการก็คือ ค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าเดียวของโมเดล (Model Identification) โดยวิเคราะห์เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ยังไม่ทราบค่าในโมเดลการวิจัย (ยุทธ ไกยวรรณ, 2555: 122) แต่การวิเคราะห์โปรแกรมจะวิเคราะห์เมื่อค่าที่จะเกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ ต้องมีคำตอบเดียวหรือมีค่าเดียวเท่านั้น หากมีคำตอบที่คาดว่าจะเป็นไปได้หลายคำตอบ โปรแกรมจะไม่วิเคราะห์

เพื่อให้เกิดความเข้าใจเรื่องการระบุความเป็นไปได้ค่าเดียว ผู้เขียนเสนอแนวทางอธิบายเทียบเคียงกัน ดังนี้

ถ้าสมการหนึ่งเป็นดังนี้ $20 = a + b(y)$

ถ้ากำหนดให้ y มีค่าเท่ากับ 4 คำตอบที่ได้ที่เป็นค่าของ a และ b มีหลายคำตอบ เช่น

- 1) คำตอบแรกที่เป็นไปได้ $a = 8$ และ $b = 3$
- 2) คำตอบที่สองที่เป็นไปได้ $a = 4$ และ $b = 4$
- 3) คำตอบที่สามที่เป็นไปได้ $a = 28$ และ $b = -2$

จากกรณีสมการตัวอย่าง ถ้ากำหนดค่าใดค่าหนึ่งให้กับ y การหาคำตอบ a และ b จะมีหลายค่า แต่ถ้ามีการกำหนดค่า a เฉพาะเจาะจงลงไปเป็น 2 เท่าของ b จะทำให้การแก้สมการเพื่อหาค่า b ได้เพียงค่าเดียวหรือคำตอบเดียวเท่านั้น ดังนี้

$$20 = a + b(y)$$

เมื่อ กำหนดให้ a เป็น 2 เท่าของ b

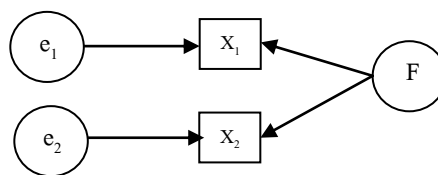
เช่น a กำหนดให้เป็น 4 ซึ่ง 2 เท่าของ b ดังนั้น b จะมีค่าเป็น 2 จะได้

$20 = 4 + 2(8)$ หรือกำหนดให้ a มีค่าเท่ากับ b เมื่อ a เป็น 4 และ b ก็เป็น 4, b ก็เป็น 4, สมการที่ได้คือ

$20 = 4 + 4(4)$ ในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) สิ่งที่น่ากังวลคือการที่ค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าเดียวในโครงสร้างโมเดลที่สร้างขึ้น เพื่อแก้สมการทั้งหมดในคราวเดียวกัน ซึ่งการวิเคราะห์จะต้องใช้ข้อมูลมากพอ Lindeman, Merenda and Gold (1980: 163) แนะนำง่าย ๆ ว่าข้อมูลที่รวบรวมมาวิเคราะห์ควรมี 20 เท่าของตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variable) ทั้งนี้ถ้าใช้น้อยจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (Model Identification) จึงเป็นการตรวจสอบว่ามีข้อมูลมากพอ ที่จะวิเคราะห์เพื่อการประมาณพารามิเตอร์ของโมเดลให้ถูกต้อง และมีค่าเดียวหรือมีคำตอบเดียวได้หรือไม่ ข้อมูลที่ตรวจสอบนี้คือค่าความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของตัวแปรที่สังเกตได้ (Manifest Variable) ที่อยู่ในรูปเมทริกซ์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม หากจำนวนพารามิเตอร์ที่ทราบค่า (Number of Known Parameters; S) เมื่อกำหนดให้ K คือ ตัวแปรสังเกตได้ ตัวแปรทราบค่าหาได้จาก $K(K+1)/2$ ถ้าพารามิเตอร์ที่ทราบค่านี้น้อยกว่าจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบค่า (Number of Parameter Estimation; t) โปรแกรมจะไม่มี การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimate Parameter) ของโมเดล

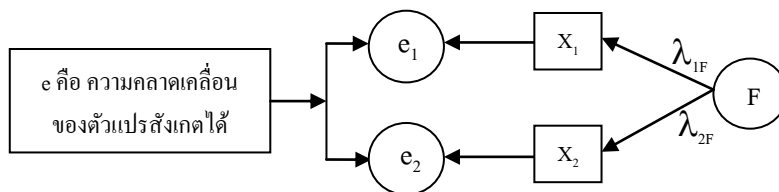
การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดลการวัด (Measurement Model Identification) มี 3 ลักษณะ ได้แก่

(1) โมเดลที่มีลักษณะเป็น Under Identification



ภาพที่ 1.7 โมเดลการวิจัย

ภาพที่ 1.7 ลักษณะโมเดลการวิจัยจะพบว่า มีพารามิเตอร์ 2 อย่าง ได้แก่ (1) พารามิเตอร์ที่ทราบค่าแล้ว $K(K+1)/2$ หรือโมเมนต์ (Moment) และ (2) พารามิเตอร์ที่ยังไม่ทราบค่าและต้องการประมาณค่า (t) ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 1.8 เมทริกซ์พารามิเตอร์ของโมเดล

ภาพที่ 1.8 พารามิเตอร์ที่ทราบค่าในโมเดลพิจารณาจากความแปรปรวน (Variance) และความแปรปรวนร่วม (Covariance) ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 เมทริกซ์ความแปรปรวน (Variance) และความแปรปรวนร่วม (Covariance)

ตัวแปรสังเกตได้	X_1	X_2	
X_1	$S_{X_1}^2$	$S_{X_1X_2}$	ความแปรปรวนร่วมของ x_1 และ x_2 อยู่นอกเส้นแนวทแยง
X_2		$S_{X_2}^2$	
			ความแปรปรวนของ X_2
			Variance อยู่เส้นแนวทแยง

ตารางที่ 1.7 พิจารณาจากภาพ 1.2 จะเห็นว่าพารามิเตอร์ที่ทราบค่ามี 3 ค่า หรือ 3 โมเมนต์ ได้แก่ $S_{X_1}^2$, $S_{X_1X_2}$ และ $S_{X_2}^2$ ที่เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวน (Variance) จะอยู่ในเส้นแนวทแยง (Diagonal) ซึ่งก็คือ $S_{X_1}^2$ และ $S_{X_2}^2$ และเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance) จะอยู่นอกเส้นแนวทแยง (Outside the Diagonal Line) ซึ่งก็คือ $S_{X_1X_2}$ ส่วนพารามิเตอร์ไม่ทราบค่า (t) มีค่า 4 ค่า ได้แก่ e_1 , e_2 , λ_{1F} และ λ_{2F}

(1) พารามิเตอร์ที่ทราบค่าคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$\begin{aligned}
 S \text{ หรือ } K(K+1)/2 &= 2(2+1)/2 \\
 &= 2(3)/2 \\
 &= 3 \text{ โมเมนต์}
 \end{aligned}$$

เมื่อ K คือ ตัวแปรสังเกตได้ (Manifest Variable)

(2) พารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่าคือ e_1 , e_2 , λ_{1F} และ λ_{2F} จากโมเดลการวิจัยของภาพที่ 1.8 จะพบว่า พารามิเตอร์ที่ทราบค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณ (S) หรือ $K(K+1)/2 <$

พารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่า (t) หรือ $K(K+1)/2 < t$ ลักษณะโมเดลจะเป็น Under Identification (พารามิเตอร์ที่ทราบค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า) โปรแกรมจะรายงาน df เป็นลบ (-) และไม่มีการประมาณค่าพารามิเตอร์

$$df = S - t$$

หรือ $df = K(K+1)/2 - t$ เมื่อ t คือ จำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบค่า

$$df = 2(2+1)/2 - 4$$

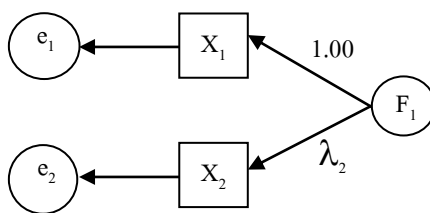
$$df = 3 - 4$$

$$df = -1$$

นั่นคือ $df < 0$ ค่า df จึงมีค่าเป็นลบ (-) โปรแกรมไม่มีการประมาณค่า

เมื่อโมเดลมีลักษณะเป็น Under Identification (พารามิเตอร์ที่ทราบค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า) โปรแกรมจะไม่ประมาณค่าพารามิเตอร์ (Pedhazur, 1997: 615-616) และโปรแกรมจะเตือนว่าเป็น Unidentified เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ศิริชัย กาญจนวาสี, ทวีวัฒน์ ปิตยานนท์ และ ดิเรก ศรีสุโข (2551: 99) แนะนำว่า จะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์บางตัวบนชุดของตัวแปร Latent ให้มีค่าคงที่

ภาพที่ 1.8 ถ้าผู้วิจัยบังคับ (Constraint) ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่เป็นค่ามาตรฐาน (Standardized Regression Weight) หรือ λ_1 ให้มีค่าเป็น 1.00 โดยปกติทั่วไปนิยมกำหนดเท่ากับ 1.00 ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 1.9 โมเดลบังคับให้ค่า λ_1 ค่าหนึ่งมีค่าเป็น 1.00

ภาพที่ 1.9 ลักษณะของโมเดลจะเป็นดังนี้

$$K(K+1)/2 = 2(2+1)/2 - t \text{ เมื่อ } t \text{ คือ จำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบค่า}$$

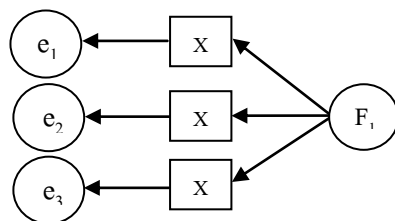
$$= 6/2 - 3$$

$$df = 3 - 3$$

$$df = 0$$

ภาพที่ 1.9 การบังคับให้ค่าหนึ่งเป็น 1.00 ทำให้โมเดลมีลักษณะเป็น Just Identification ซึ่ง df มีค่าเป็น 0 (Perfect Fit) นั่นคือ จำนวนเมตริกซ์ทราบค่าและจำนวนเมตริกซ์ไม่ทราบค่ามีเท่ากัน กรณีเช่นนี้ โปรแกรมจะไม่มีกรคำนวณค่าไคสแควร์ (χ^2) ค่าไคสแควร์หารด้วยองศาอิสระ (χ^2/df) และไม่มีกรแสดงค่านัยสำคัญทางสถิติ (P) ที่ใช้ทดสอบโมเดล

(2) โมเดลที่มีลักษณะ Just Identification



ภาพที่ 1.10 โมเดลที่มีลักษณะเป็น Just Identification

ภาพที่ 1.10 เมตริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม ดังนี้

ตารางที่ 1.2 เมตริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของภาพที่ 1.5

ตัวแปรสังเกตได้	x_1	x_2	x_3
x_1	$S_{x_1}^2$	$S_{x_1 x_2}$	$S_{x_1 x_3}$
x_2	-	$S_{x_2}^2$	$S_{x_2 x_3}$
x_3	-	-	$S_{x_3}^2$

Variance อยู่เส้นแนวทแยง

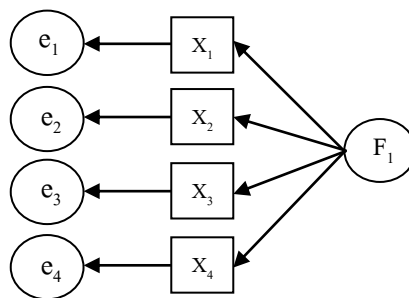
ภาพที่ 1.10 และตารางที่ 1.2 พารามิเตอร์ที่ทราบค่า ($K(K+1)/2$) เท่ากับ 6 ค่า หรือ 6 โมเมนต์ และพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า (t) เท่ากับ 6 ค่า หรือพารามิเตอร์ที่ทราบค่าเท่ากับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า จะทำให้โมเดลมีลักษณะเป็น Just Identification และค่า df จะมีค่าเป็น 0 โดยที่ค่า df คำนวณจาก

$$df = K(K+1)/2 - t$$

$$= 3(3+1)/2 - 6$$

$$df = 0$$

(3) โมเดลที่มีลักษณะเป็น Over Identification



ภาพที่ 1.11 โมเดลที่เป็น Over Identification

ภาพที่ 1.11 เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม ดังนี้

ตารางที่ 1.3 เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของภาพที่ 1.11

	x_1	x_2	x_3	x_4
x_1	$S_{x_1}^2$	$S_{x_1 x_2}$	$S_{x_1 x_3}$	$S_{x_1 x_4}$
x_2	-	$S_{x_2}^2$	$S_{x_2 x_3}$	$S_{x_2 x_4}$
x_3	-	-	$S_{x_3}^2$	$S_{x_3 x_4}$
x_4	-	-	-	$S_{x_4}^2$

Variance อยู่เส้นแนวทแยง

ภาพที่ 1.11 และตารางที่ 1.3 ค่า df มีค่าดังนี้

$$df = K(K+1)/2 - t$$

$$= 4(4+1)/2 - 8$$

$$= 10 - 8$$

$$df = 2$$

ในโมเดลการวิจัย ถ้า $K(K+1)/2 =$ จำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่า (t) โมเดลจะเป็น Just Identification โปรแกรมจะรายงานค่า df เป็นศูนย์ (0) ถือว่าเป็น Perfect Fit ไม่มีการรายงานค่าไคสแควร์ (χ^2) ไม่มีค่าไคสแควร์หารด้วยองศาอิสระ (χ^2/df) และไม่รายงานค่านัยสำคัญทางสถิติที่ใช้ทดสอบ (P-Value)

แต่ถ้าโมเดลการวิจัยเป็น $K(K+1)/2 >$ จำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่า (t) โมเดลจะเป็น Over Identification โปรแกรมจะรายงานว่า df เป็นบวก (+) และรายงานค่า SE และ Critical Ratio (T-Value) ดังนั้น ในการวิเคราะห์ SEM จะต้องบังคับให้โมเดลมีลักษณะเป็น Over Identification จึงจะวิเคราะห์ SEM ได้

3) ขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดล (Parameter Estimation of the Model)

ในขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดล เมื่อโมเดลมีลักษณะเป็น Over Identification โปรแกรมจะประมาณค่าพารามิเตอร์ทุกค่าในโมเดล แล้วนำค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นคำนวณเป็นค่าความแปรปรวน (Variance) และค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance) ของตัวแปรสังเกตได้ (Manifest Variables) ในโมเดลแล้วแสดงในรูปเมทริกซ์ที่ได้จากผลลัพธ์การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เรียกเมทริกซ์นี้ว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม จากการประมาณตามโมเดล (Computed Covariance Matrix: $\Sigma(\theta)$ อ่านว่า Sigma Theta) เมทริกซ์นี้บางทีเรียกว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของโมเดลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งเมทริกซ์นี้นำไปลบ (-) ออกจากเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมที่ได้จากตัวแปรสังเกตได้ (Manifest Variables) ของกลุ่มตัวอย่างงานวิจัยเรียกเมทริกซ์นี้ว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้จากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ (Empirical Samples Covariance Matrix: Σ) ค่าที่ได้เรียกว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของส่วนที่เหลือ (Residual Covariance Matrix) ทดสอบความสอดคล้อง (Conformity) หรือความกลมกลืนกันของโมเดลด้วยค่า χ^2 ตามวิธี Likelihood Ratio หรือ Likelihood Ratio Chi-Square (CMIN) ถ้า $\Sigma - \Sigma(\theta) = 0$ แสดงว่า โมเดลวิจัยที่ผู้วิจัยมาทดสอบสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์จากกลุ่มตัวอย่างอย่างสมบูรณ์

โดยสมมติฐานที่ทดสอบ χ^2 -Test คือ

$$H_0 : \Sigma = \Sigma(\Theta)$$

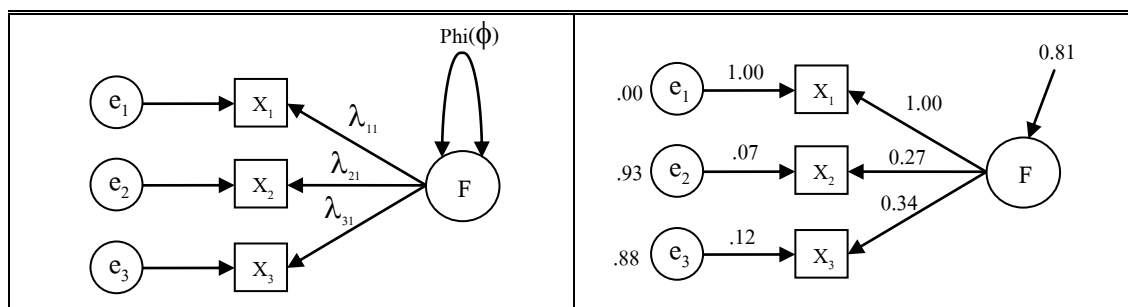
$$H_1 : \Sigma \neq \Sigma(\Theta)$$

หรือ H_0 : โมเดลที่พัฒนาขึ้นมาสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

H_1 : โมเดลที่พัฒนาขึ้นมาไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในโมเดลจากโปรแกรมเอโมส เมื่อโมเดลมีลักษณะเป็น Over Identification โปรแกรมจะนำค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมาคำนวณเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของโปรแกรม ดังนี้



หมายเหตุ ค่า F หรือค่า Phi (ϕ) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างตัวแปรของโมเดล

ค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้กับตัวแปรแฝงใน SEM เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย (Regression Coefficient) หรือค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) ซึ่งจะแสดงถึงระดับความสัมพันธ์ต่อตัวแปรแฝงของตัวแปรสังเกตได้ หากมีค่าสัมประสิทธิ์สูงจะบ่งชี้ว่าตัวแปรสังเกตได้เป็นตัวแทนหรือสะท้อนตัวแปรแฝงได้

การคำนวณความแปรปรวน (Variance)	การคำนวณความแปรปรวนร่วม (Covariance)
$\text{Var}(x_1) = (\lambda_{11})^2 * (F) + e_1$	$\text{Cov}(x_1, x_2) = \lambda_{11} * \lambda_{21} * \text{Phi}$
$\text{Var}(x_2) = (\lambda_{21})^2 * (F) + e_2$	$\text{Cov}(x_2, x_3) = \lambda_{21} * \lambda_{31} * \text{Phi}$
$\text{Var}(x_3) = (\lambda_{31})^2 * (F) + e_3$	$\text{Cov}(x_1, x_3) = \lambda_{11} * \lambda_{31} * \text{Phi}$

โปรแกรมคำนวณค่าพารามิเตอร์ในโมเดล ดังนี้

คำนวณความแปรปรวน (Variance) ดังนี้

$$\text{Var}(x_1) = (1)^2 * 0.81 + 0.00 = 0.81$$

$$\text{Var}(x_2) = (0.27)^2 * 0.81 + 0.93 = 0.98$$

$$\text{Var}(x_3) = (0.34)^2 * 0.81 + 0.88 = 0.97$$

คำนวณความแปรปรวนร่วม (Covariance) ดังนี้

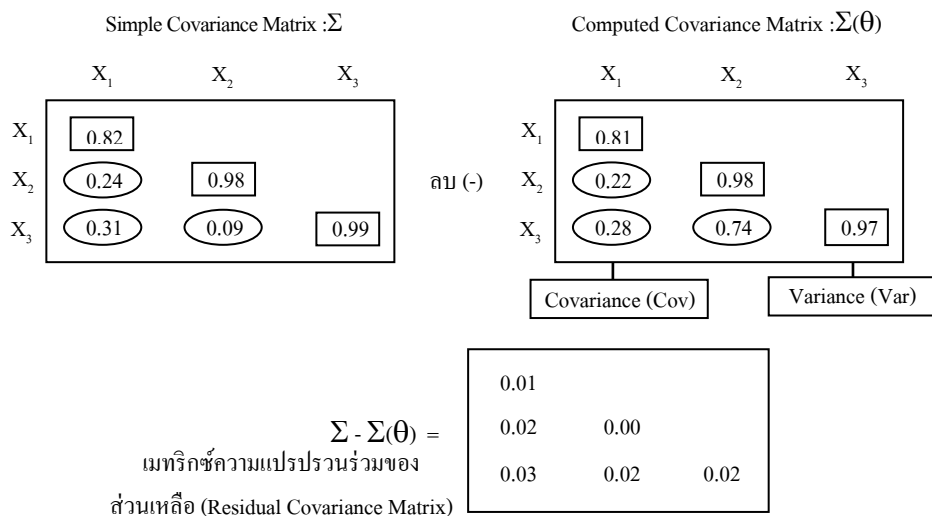
$$\text{Cov}(x_1, x_2) = 1 * 0.27 * 0.81 = 0.219$$

$$\text{Cov}(x_2, x_3) = 0.27 * 0.34 * 0.81 = 0.074$$

$$\text{Cov}(x_1, x_3) = 1 * 0.34 * 0.81 = 0.275$$

เมื่อ Sample Covariance Matrix (Σ) ลบ (-) Computed Covariance Matrix ($\Sigma(\theta)$)

หรือนำ $\Sigma(\theta)$ ไปลบออกจาก (Σ) จะได้ $\Sigma - \Sigma(\theta)$ ดังนี้



4) ขั้นตอนการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล (Measures of the Model Fit)

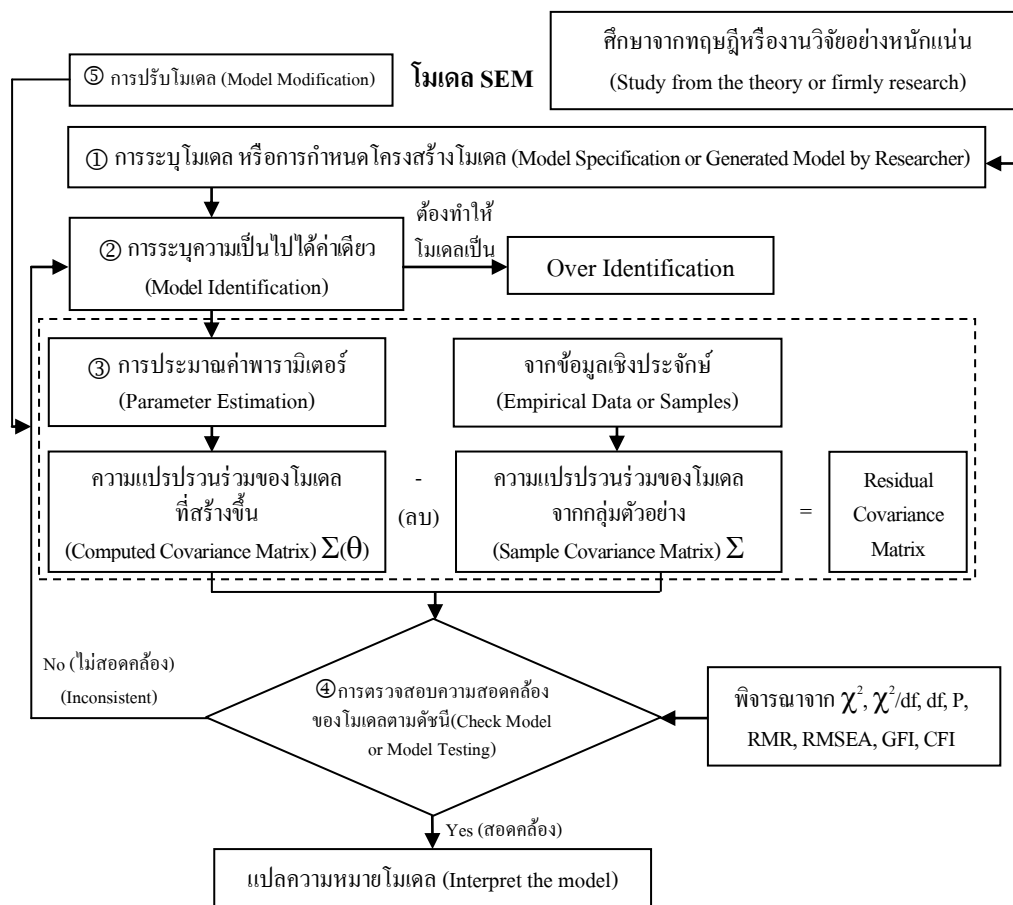
โมเดลที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาตามทฤษฎีหรืองานวิจัยนั้นจะสอดคล้องกับข้อมูลที่รวบรวมมาจากกลุ่มตัวอย่าง (Samples) หรือไม่นั้น จะต้องตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล ถ้าหากมีความสอดคล้อง เรียกว่า Model Fit ซึ่งการตรวจสอบก็คือ การตรวจสอบ Σ กับ $\Sigma(\theta)$ โดยพิจารณาจากดัชนีการตรวจสอบซึ่งมีหลายดัชนี ได้แก่ χ^2 , χ^2/df , P, RMR, RMSEA, GFI, CFI

5) การปรับโมเดล (Model Modification)

ถ้าหากโมเดลยังไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ก็ให้ปรับโมเดล ซึ่งการปรับโมเดล การวิเคราะห์ปรับที่โมเดล Σ การปรับทำได้โดยลากเส้นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามคำแนะนำของโปรแกรม โดยดูที่ M.I. (Modification Indices) โดยพิจารณาจากค่าคลาดเคลื่อน ๑ ที่มีค่าความสัมพันธ์กันมากที่สุดให้ปรับก่อน โดยปรับทีละคู่ตามคำแนะนำของโปรแกรมจนหมดทุกคู่แล้วพิจารณาโมเดล

การวิเคราะห์ SEM ค่าที่ได้เรียกว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของส่วนเหลือ (Residual Covariance Matrix) $\Sigma - \Sigma(\theta) = \text{Residual Covariance Matrix}$

ขั้นตอนการวิเคราะห์สรุปเป็นกรอบเอาไว้ ดังนี้



ภาพที่ 1.12 สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ SEM

5.1) การพิจารณาค่าส่วนเหลือ (Residual)

ในการพิจารณาค่าส่วนเหลือ (Residual) หรือบางที่เรียกว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของส่วนเหลือ (Residual Covariance Matrix) ที่ได้จาก $\Sigma - \Sigma(\theta)$ เมื่อพบวาค่าส่วนเหลือ (Residual) ไม่เท่ากับ 0 แสดงว่า โมเดลเกิดความคลาดเคลื่อน หรือโมเดลการวิจัยที่ผู้วิจัยคาดขึ้นมาจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ไม่ตรงกับข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ผู้วิจัยเก็บรวบรวมมาจากกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งการพิจารณาตรวจสอบโมเดลด้วยวิธีนี้ถือว่าเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด

5.2) ผลการตรวจสอบโมเดล

หาก $\Sigma - \Sigma(\theta)$ มีค่าเป็น + แสดงว่า โมเดลที่สร้างขึ้นมาทำนายความแปรปรวนร่วมได้ต่ำกว่าความแปรปรวนร่วมของข้อมูลเชิงประจักษ์ และหาก $\Sigma - \Sigma(\theta)$ มีค่าเป็น - แสดงว่า โมเดลที่สร้างขึ้นมาทำนายความแปรปรวนร่วมได้สูงกว่าค่าความแปรปรวนร่วมของข้อมูลเชิงประจักษ์

การพิจารณาค่าส่วนเหลือ (Residual) ใน SEM พิจารณาจากความสอดคล้องของโมเดลที่สร้างขึ้นมากับโมเดลของกลุ่มตัวอย่างค่าส่วนเหลือที่ควรมีค่าใกล้เคียง 0 และมีการแจกแจงแบบปกติ และหากมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากนี้จะพิจารณาจากดัชนีความสอดคล้องของโมเดลอื่น ๆ ประกอบ

1.3 ส่วนประกอบของ SEM

1) โมเดลการวัด (Measurement Model)

เป็นการระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variables) กับตัวแปรแฝง (Latent Variable)

2) โมเดลโครงสร้าง (Structural Model)

เป็นการระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรอิสระ (Exogenous Variables) กับตัวแปรแฝงที่เป็นตัวแปรตาม (Endogenous Variables)

3) ดัชนีการตรวจสอบโมเดล (Measurement of Model Fit)

เป็นการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล โดยพิจารณาจากค่าดัชนีต่าง ๆ ได้แก่

χ^2 , χ^2/df , P, RMR, RMSEA