



## การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ตัวแบบสมการโครงสร้าง

มนตรี พิริยะกุล\*

ภาควิชาสถิติ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง

\* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: mpiriyakul@yahoo.com

วันที่รับบทความ: 5 กรกฎาคม 2564; วันที่ทบทวนบทความ: 22 สิงหาคม 2564; วันที่ตอบรับบทความ: 12 ตุลาคม 2564

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 20 ธันวาคม 2564

**บทคัดย่อ:** ขนาดตัวอย่างที่ใช้เพื่อทำการวิจัยโดยวิธีการวิเคราะห์ตัวแบบสมการโครงสร้างเป็นปัญหาที่นักวิจัยจำนวนมากไม่แน่ใจว่าควรกำหนดไว้เท่าไรจึงจะถูกต้องและ/หรือเหมาะสม ควรเน้นที่การใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่คือมีจำนวนมากเพื่อความมั่นใจในผลการวิเคราะห์/วิจัย หรือว่าควรน้อยลงได้ตามเหตุผลอื่นๆ การศึกษาโดยการสำรวจเอกสารพบว่าวิธีกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ตัวแบบสมการโครงสร้างมีได้หลายวิธีหลากหลายแตกต่างกันไปตามการพัฒนาสูตรด้วยกฎเกณฑ์ทางสถิติที่ผิดแผก รวมถึงกฎอย่างง่าย ทำให้ได้รับขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมแตกต่างกันไป มีทั้งขนาดตัวอย่างที่ใหญ่มากและขนาดตัวอย่างที่เล็กมาก จากผลการเปรียบเทียบวิธีกำหนดขนาดตัวอย่างจำนวน 11 วิธีสามารถสรุปได้ว่าขนาดตัวอย่างที่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ตัวแบบสมการโครงสร้างคือควรมีประมาณ 200 แต่อาจเล็กกว่านี้หรือใหญ่กว่านี้ได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของตัวแบบสมการโครงสร้างว่าซับซ้อนมากน้อยเพียงใดและประชากรมีขนาดเล็กหรือใหญ่

**คำสำคัญ:** จำนวนตัวชี้วัดต่อปัจจัย ( $\frac{f}{p}$ ); ขนาดตัวอย่าง; กฎกำหนดขนาดตัวอย่างอย่างง่าย



## Sample size Determination for Structural Equation Modeling (SEM)

Montree Piriyaikul \*

Department of Statistic, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University

\* Corresponding author, E-mail: mpiriyakul@yahoo.com

Received: 5 July 2021; Revised 22 August 2021; Accepted: 12 October 2021

Online Published: 20 December 2021

**Abstract:** Sample size was the problem that always raised to question of what size is correct or suitable for most researchers of structural equation analysis (SEM). Whether more subjects for high confidence in the accuracy of analysis/research or lesser subjects according to some contexts is plausible? Literature reviews show that sample size for SEM could be determined in a variety of ways depending upon different statistical formulas and rules including rules of thumbs. From a comparative study of sample size determination among 11 available formulas and rules, several plausible sizes are found to be numbers that range from large to small. In conclusion, a sufficient sample size for SEM is 200 but more or less than 200 is possible subject to complications of the SEM model itself and population size constrained.

**Keywords:** number of indicators ( $p$ ) per factor  $\left(\frac{f}{p}\right)$ ; sample size; rule of thumb



## 1. บทนำ

ในการวิจัยโดยใช้วิธีวิทยาศาสตร์การวิเคราะห์ตัวแบบสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling, [SEM]) นักวิจัยจะพบปัญหาตลอดมาว่าควรกำหนดขนาดตัวอย่างเท่าไรจึงจะถือว่าเป็นขนาดที่เหมาะสมไม่มากเกินไป (More is never too much.) ตามทฤษฎีการทดสอบจนเป็นภาระหนัก หรือไม่น้อยเกินไป (More is ever too much.) จนได้รับการโต้แย้งว่าน่าจะไม่มีพอที่จะมีผลให้ค่าประมาณมีความถูกต้อง (Accuracy) และน่าเชื่อถือ (Reliable)

ตัวแบบสมการโครงสร้างคือวิธีวิทยาศาสตร์ที่นำเสนอ ประเมินค่า และทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงและตัวแปรการวัด (ตัวชี้วัด) ที่เชื่อมโยงกันเป็นเครือข่าย

กฎการกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับตัวแบบสมการโครงสร้างในระยะเวลาที่ผ่านมามีอยู่หลายประการ กฎที่นิยมใช้กันมากเรียกว่ากฎการกำหนดขนาดตัวอย่างอย่างง่าย (Rule of Thumb) ซึ่งดัดแปลงมาจากแนวทางที่ใช้มานานในเรื่องการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) คือ  $\frac{n}{p}$  ควรมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 20 โดยที่  $n$  คือขนาดตัวอย่าง  $p$  คือจำนวนตัวแปร กฎนี้นักวิจัยเองก็ไม่มั่นใจว่าถูกต้องหรือไม่ เพียงใด? มีการศึกษาใดที่ยืนยันความเหมาะสมหรือไม่? เป็นปัจจุบันหรือไม่? กฎการกำหนดขนาดตัวอย่างอย่างง่ายคือ

1. กำหนดให้กลุ่มตัวอย่าง ( $n$ ) มีขนาดใหญ่มาก ๆ เข้าไว้ ยิ่งมากยิ่งขึ้นดี

2. อัตราส่วนจำนวนข้อถามขั้นต่ำ โดยทั่วไปจะกำหนดให้ตัวแปรแฝงหนึ่งๆมีข้อถามอย่างมาก 3 ข้อ [1] หรือ 2 ข้อถาม [2] ซึ่งเมื่อย้อนคุณกลับกับจำนวน

ตัวแปรแฝง (Latent Variable, LV) จะได้ตัวอย่างเท่ากับจำนวนตัวแปรแฝงคูณด้วย 2 หรือจำนวนตัวแปรแฝงคูณด้วย 3 ซึ่งยอมรับได้ยากเพราะตัวอย่างจะมีขนาดเล็กเกินไปและขัดแย้งกับข้อ 1.

3. กำหนดให้  $n = 100, 200$  [3]

4. กำหนดให้  $\frac{n}{p} \geq 10$  โดยที่  $p$  คือจำนวนตัวชี้วัด (Indicator, Manifest Variable) ดังนั้นขนาดตัวอย่างขั้นต่ำคือ  $n \geq 10p$  [4]

5. กำหนดให้  $\frac{n}{q} \geq 5, 10$  โดยที่  $q$  คือจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณ (คือจำนวนสัมประสิทธิ์เส้นทาง:  $\beta$ ) จำนวนน้ำหนักปัจจัย (Loading:  $\lambda$ ) และจำนวนส่วนเหลือ ( $\delta$ ) รวมกัน) ขนาดตัวอย่างขั้นต่ำคือ  $n \geq 5q$  หรือ  $n \geq 10q$  [5, 2]

ขนาดตัวอย่างตามกฎอย่างง่ายอาจมีผลกระทบหรือเกี่ยวพันไปถึงคำถามว่าขนาดตัวอย่างที่พอดีคือเท่าไร ขนาดตัวอย่างอาจสูงเกินไป (Over Sample Size) หรือต่ำเกินไป (Under Sample Size) ขนาดตัวอย่างที่ต่ำเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ตัวแบบสมการโครงสร้างในเรื่องความถูกต้อง (Accuracy) และความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของผลการศึกษาและของค่าสถิติเกี่ยวกับความสอดคล้องกับข้อมูลของตัวแบบ (Model Fit)

บทความนี้มุ่งนำเสนอวิธีกำหนดขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิจัยที่วิเคราะห์ด้วยตัวแบบสมการโครงสร้าง โดยจะศึกษาจากวิธีกำหนดขนาดตัวอย่างที่มีวิธีกำหนดหลายวิธีที่แตกต่างกันเพราะมีวิธีพัฒนาสูตรที่ยืดหยุ่นที่ตัดสินใจต่างกัน แล้วสรุปเป็นแนวทางกลางให้ถือปฏิบัติได้



## 2. วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง

การวิจัยเพื่อหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมมีมานานแล้วโดยวิธีศึกษาเปรียบเทียบด้วยการกำหนดสถิติตัดสินใจแตกต่างกันไป เช่นตัดสินใจด้วยสัดส่วนการไม่ลู่เข้า (Non-convergence: NC) หรือตัดสินใจด้วยสัดส่วนส่วนการลู่เข้า (Convergence) คำตอบที่ไม่เหมาะสม (Improper Solution: IS) การทดสอบความกลมกลืนด้วยไคกำลังสอง (Chi-square Fit) ความเอนเอียง (Biasness) กำลังการทดสอบ (Power of Test) หรือตัดสินใจด้วยเกณฑ์ผสมระหว่าง NC กับ IS หรือตัดสินใจด้วยเกณฑ์ผสมระหว่างความเอนเอียงกับกำลังการทดสอบ หรือตัดสินใจด้วยกำลังการทดสอบเพียงอย่างเดียว ต่อไปนี้จะแสดงการกำหนดขนาดตัวอย่างรวม 4 แนวทางดังนี้

### 2.1 การกำหนดขนาดตัวอย่างให้สอดคล้องกับคำตอบที่ไม่เหมาะสมและการไม่ลู่เข้า

Marsh *et al.* [6] ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยการจำลองแบบรวมรวมตัวอย่างทั้งสิ้น 30,000 ตัวอย่าง โดยแปรค่าขนาดตัวอย่างจาก 50 ถึง 1,000 แปรค่าจำนวนตัวซ้ำต่อ 1 ปัจจัย (Indicator to Construct,  $\frac{f}{p}$ ) จาก 2 ถึง 12 โดยที่  $p$  คือจำนวนตัวซ้ำทั้งหมด  $f$  คือจำนวนตัวแปรแฝงทั้งหมด แล้วนับความถี่และหาค่าร้อยละของตัวอย่างที่มีปัญหาการไม่ลู่เข้าและปัญหาคำตอบไม่เหมาะสม

การไม่ลู่เข้าคือสถานการณ์ที่โปรแกรมทางสถิติไม่สามารถประมาณค่าตัวแบบให้ได้คำตอบในรอบติดกันต่างกันน้อยกว่าทศนิยมหลักที่ 3 หรือไม่สามารประมาณค่าตัวแบบได้ภายในจำนวนการวนซ้ำ (Iteration) ที่กำหนดให้คือ 250 รอบ [7] หรือไม่สามารถ

ประมาณค่าตัวแบบได้ภายในจำนวนการวนซ้ำกำหนดให้คือไม่เกิน 3 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์ [8]

คำตอบที่ไม่เหมาะสมคือสถานการณ์ที่ตัวแบบที่ประมาณค่าได้แล้วมีความผันแปรของส่วนเหลือ (Residual Variance) หรือค่าความผันแปรของข้อมูล (Variance) เป็นปริมาณลบ (เรียกว่า Heywood Case) หรือน้ำหนักปัจจัยมีค่ามากกว่า 1 หรือเป็นปริมาณลบ หรือความผันแปรของส่วนเหลือมีค่าใหญ่มาก

**หมายเหตุ:** เหตุการณ์นี้ถ้าพบในทางปฏิบัติอาจแก้ปัญหาได้ 3 วิธีคือตัดหน่วยวิเคราะห์ทิ้ง หรือตัดตัวซ้ำทิ้ง หรือปรับปรุงตัวแบบ

ผลการศึกษาของ Marsh *et al.* [6] ปรากฏดังตาราง 1 ซึ่งแสดงสัดส่วนของคำตอบที่เหมาะสม (proper solution) คืออัตราการไม่เกิดคำตอบที่ไม่เหมาะสมและสัดส่วนของการไม่ลู่เข้าจำแนกตามขนาดตัวอย่างและจำนวนตัวซ้ำต่อ 1 ปัจจัยคือ

$$\frac{\text{ยอดรวมจำนวนตัวซ้ำ (p)}}{\text{ยอดรวมจำนวนตัวแปรแฝง (f)}}$$

โดยทดลองให้มีจำนวนจากน้อยไปหามากคือ 2, 3, 4, 6, 12 ตัว ขนาดตัวอย่างกำหนดให้มีจากขนาดเล็กไปหาขนาดใหญ่คือ 50, 100, 200, 400 และ 1,000 พบว่า ขนาดตัวอย่าง  $n = 50$  เป็นขนาดที่เพียงพอถ้ามีตัวซ้ำ 4 ตัวขึ้นไป โดยที่ถ้ามีตัวซ้ำมากกว่า 4 ตัวก็จะนับเป็นขนาดตัวอย่างที่ดียิ่งขึ้น สังเกตว่าสัดส่วนของคำตอบที่เหมาะสมมีค่ามากขึ้นจนถึงร้อยละ 86.5 และมีสัดส่วนของการไม่ลู่เข้าเพียงร้อยละ 2.2 เมื่อมีตัวซ้ำ 4 ตัว และเมื่อกำหนดให้มีตัวซ้ำมากกว่า 4 ตัวสัดส่วนของคำตอบที่เหมาะสมนี้จะใกล้ร้อยละ 100 และสัดส่วนของการไม่ลู่เข้าจะเข้าใกล้ 0 และสำหรับ



## บทความวิชาการ

ตัวอย่างที่ใหญ่กว่า 50 คือ 100, 200, 400, 1,000 และกำหนดให้มีตัวชี้วัดตั้งแต่ 4 ตัวขึ้นไปจะได้ขนาดตัวอย่างที่ถือได้ว่าเป็นขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม แต่ถ้าจะลดจำนวนตัวชี้วัดลงโดยกำหนดให้มีตัวชี้วัดเพียง 3 ตัวและกำหนดขนาดตัวอย่างไว้ 100 หรือ 200 หน่วยก็นับว่าเพียงพอ

ขอให้สังเกตได้ว่าเมื่อมีตัวชี้วัดมากขึ้นสัดส่วนของคำตอบที่เหมาะสมจะสูงขึ้นขณะที่สัดส่วนของการไม่ลู่เข้าจะลดลง ขนาดตัวอย่างที่มากกว่าจึงเหมาะสมกว่า แต่ถ้านักวิจัยประสงค์จะกำหนดให้มีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 หรือ 200 ก็นับว่าเป็นจำนวนที่มากเพียงพอแล้ว อนึ่ง จากตารางที่ 1 จะพบว่าจำนวนตัวชี้วัดต่อ 1 ปัจจัย ( $\frac{p}{f}$ ) และขนาดตัวอย่างจะชดเชยกันได้คือถ้ามีจำนวนตัวชี้วัดต่อตัว 1 ปัจจัย ( $\frac{p}{f}$ ) มากขึ้นก็สามารถลดขนาดตัวอย่างลงได้ กลับกันถ้ามี

จำนวนตัวชี้วัดต่อตัว 1 ปัจจัย ( $\frac{p}{f}$ ) น้อยก็ควรเพิ่มขนาดตัวอย่างขึ้น แต่ไม่แนะนำให้กำหนดให้มีจำนวนตัวชี้วัดต่อตัว 1 ปัจจัย ( $\frac{p}{f}$ ) น้อยๆ ถ้าเป็นไปได้ควรเลือกให้สูงทั้ง 2 กรณีคือกำหนดให้มีขนาดตัวอย่างมากและมีจำนวนตัวชี้วัดต่อตัว 1 ปัจจัยมากจะเหมาะสมกว่า [6]

นักวิจัยอาจมีคำถามว่าควรกำหนดจำนวนตัวชี้วัดต่อ 1 ปัจจัยเท่าไร ซึ่งก็คือคำถามว่าควรมีค่าถามรวมกันกี่ข้อ ให้นักวิจัยเลือกดูจากตาราง 1 ต่อไปนี้ ผู้เขียนให้ความคิดไว้ว่าการมีจำนวนข้อถามมากและไม่มีคำถามซ้ำในตัวแปรแฝงเดียวกันและไม่ซ้ำซ้อนกับคำถามในตัวแปรแฝงอื่น (นี่คือต้นทางของการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) นักวิจัยจะถามก็ข้อก็ได้จนกว่าจะสามารถใช้วัดผลตัวแปรแฝงได้ครบถ้วน

**ตารางที่ 1** ร้อยละของคำตอบที่เหมาะสมและอัตราการไม่ลู่เข้าจำแนกตามขนาดตัวอย่างและจำนวนตัวชี้วัดต่อ 1 ปัจจัย  
หมายเหตุ: ข้อมูลดัดแปลงจากงานวิจัยของ H.W. Marsh, *et.al.* [6]

จำนวนตัวชี้วัดต่อ 1 ปัจจัย	ชนิดของผลการศึกษา	ขนาดตัวอย่าง				
		50	100	200	400	1,000
2	Proper solution	13.6	32.8	55.6	82.4	93.0
	Non-convergence	56.6	33.1	12.6	2.4	-
3	Proper solution	54.8	85.4	97.8	100.0	99.0
	Non-convergence	10.8	0.9	-	-	-
4	Proper solution	86.5	99.1	99.6	100.0	100.0
	Non-convergence	2.2	-	-	-	-
6	Proper solution	99.6	100.0	100.0	100.0	100.0
	Non-convergence	0.1	-	-	-	-
12	Proper solution	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Non-convergence	-	-	-	-	-



เช่นมีข้อถาม 15 ข้อใน New Ecological Paradigm Scale (NEP) มีข้อถาม 20 ข้อใน Short form Minnesota Satisfaction Questionnaire (MSQ) ซึ่งหากนักวิจัยเห็นว่ามีความซ้ำซ้อนมากเกินไปในแต่ละตัวแปรแฝงก็มีทางออกคือจัดตัวชี้วัดเป็นกลุ่มๆ (Parcel) แล้วใช้ค่าเฉลี่ยตัวชี้วัดหรือใช้ค่านำหนักปัจจัย (Factor Score) ของแต่ละกลุ่มเป็นตัวแทนกลุ่ม ซึ่งจะเป็นการลดตัวชี้วัดไปในขณะเดียวกัน แนวความคิดนี้ก็ถือการออกแบบการวิจัยเป็นตัวแบบสมการโครงสร้าง 2 ระดับ (Second Order SEM) หรือเป็นตัวแบบสมการโครงสร้าง 3 ระดับ (Third Order SEM) นั่นเอง ซึ่งกรณีทั้งสองนี้ก็มีวิธีวิเคราะห์ของตนเองอยู่ [9]

## 2.2 การกำหนดขนาดตัวอย่างให้สอดคล้องกับการสุ่มเข้า กำลังการทดสอบ และระดับนัยสำคัญของการทดสอบความกลมกลืนด้วยไคกำลังสอง

Koran [10] ทำการศึกษาด้วยวิธีจำลองแบบเพื่อเปรียบเทียบวิธีกำหนดขนาดตัวอย่าง 7 วิธีโดยใช้การสุ่มเข้า กำลังการทดสอบ และระดับนัยสำคัญของการทดสอบความกลมกลืนด้วยไคกำลังสอง โดยการกำหนดให้มีสัดส่วนของการสุ่มเข้าเท่ากับร้อยละ 99 กำหนดระดับวิกฤติ ( $\alpha$ ) ของตัวสถิติไคกำลังสองไว้ที่ 0.05 และกำหนดระดับกำลังการทดสอบไว้ที่ร้อยละ 88 สูตรกำหนดขนาดตัวอย่างทั้ง 7 สูตร คือ

1.  $n = 8.2p$
2.  $n = 10p$
3.  $n = 2.7q$
4.  $n = 10q$
5.  $W1 = 6.3 * \left(\frac{p}{f}\right)^2 - 7.4 \left(\frac{p}{f}\right) + 665.9$

จาก Westland [11]

$$6. W2 = 50 * \left(\frac{p}{f}\right)^2 - 405 \left(\frac{p}{f}\right) + 1,100$$

จาก Westland [11]

$$7. n = \alpha - \frac{\beta}{\alpha - \gamma + \left(\frac{p}{f}\delta\right)^{\epsilon}}$$

โดยนิยาม  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  และ  $\delta$  ดังนี้

$$\alpha = \frac{(f-9.25)^2}{4*0.18} + 990$$

$$\beta = 10^{[-1.06 + 36.717 * \frac{1}{f} + 6.491a - 27.202(\frac{a}{f})]}$$

$$\gamma = 398 + 375a + 2a * (f-4.5)^2$$

$$\delta = 2.783 + 10.507 \left(\frac{1}{a * f}\right)$$

โดยที่  $a$  = จำนวน Loading และ  $f$  = จำนวนตัวแปรแฝง การทดลองดำเนินการโดยแปรค่านำหนักปัจจัย เป็น 2 ค่าคือ 0.4 กับ 0.8 เพื่อแสดงค่าน้อยกับค่ามาก จำนวนชี้วัดต่อ 1 ปัจจัย (ตัวแปรแฝง) คือ  $\left(\frac{p}{f}\right)$  เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12 และจำนวนปัจจัยเท่ากับ 3, 6, 12, 16 ทำให้ได้จำนวนพารามิเตอร์ ( $q$ ) เท่ากับ 21, 27, 33, 39, 45, 75 ตัว

ผลการจำลองแบบปรากฏดังตารางที่ 2 ต่อไปนี้ การเปรียบเทียบระหว่าง 7 วิธีจะตัดสินด้วยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณ (Standard Error of Estimate: SEE) ผลการเปรียบเทียบพบว่าวิธีที่ 7 มี SEE ต่ำที่สุด วิธีที่ให้ SEE ต่ำอันดับรองลงมาอีก 4 อันดับคือวิธีที่กำหนดให้  $n = 2.7q$  วิธี  $n = 8.2p$  และวิธี  $n = 10p$  ซึ่งเป็นวิธีการของกฎอย่างง่าย (Rule of Thumb) ทั้ง 3 วิธี ส่วนวิธี Westland วิธีที่ 1 [11] คือ

$$W1 = 6.3 * \left(\frac{p}{f}\right)^2 - 7.4 \left(\frac{p}{f}\right) + 665.9$$

ให้ค่า SEE ไม่สูงมาก วิธีที่เหลืออีก 2 วิธีคือวิธี  $n = 10q$  และวิธี Westland วิธีที่ 2 คือ

$$W2 = 50 * \left(\frac{p}{f}\right)^2 - 405 \left(\frac{p}{f}\right) + 1,100$$



## บทความวิชาการ

ให้ค่า SEE สูงมากเกินไป ขอให้สังเกตว่าวิธี  $n = 10q$

ให้ค่า SEE สูงมากแบบก้าวกระโดด

ผลการศึกษาของ Koran [10] สรุปกว้างๆ ได้ว่า

ขนาดตัวอย่างขั้นต่ำจะมากขึ้นถ้ามีจำนวนปัจจัยมาก

ขึ้น นักวิจัยสามารถเลือกใช้วิธีกำหนดขนาดตัวอย่าง

ได้หลายวิธีและหลายองค์ประกอบจากตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ขนาดตัวอย่างจำแนกตามสูตรการกำหนดขนาดตัวอย่างและจำนวนปัจจัย คำนำนักปัจจัย จำนวนตัวชี้วัดต่อ 1 ปัจจัย จำนวนข้อถาม (ตัวชี้วัด) และจำนวนพารามิเตอร์ในตัวแบบ

หมายเหตุ: ข้อมูลดัดแปลงจากงานวิจัยของ J. Koran [10]

f	a	p/f	p	q	C						
					ที่ 1	ที่ 2	ที่ 3	ที่ 4	ที่ 5	ที่ 6	ที่ 7
3	0.4	3	9	21	754	58	74	90	491	200	210
3	0.4	4	12	27	563	74	98	120	458	100	270
3	0.4	5	15	33	388	91	123	150	437	100	330
3	0.4	6	18	39	293	107	147	180	429	200	390
3	0.4	12	36	75	250	205	294	360	647	2900	750
3	0.8	2	6	15	379	41	49	60	537	400	150
3	0.8	3	9	21	169	58	74	90	491	200	210
3	0.8	4	12	27	110	74	98	120	458	100	270
3	0.8	5	15	33	103	91	123	150	437	100	330
3	0.8	6	18	39	102	107	147	180	429	200	390
3	0.8	7	21	45	102	123	172	210	434	400	450
3	0.8	12	36	75	250	205	294	360	647	2900	750
6	0.4	3	18	51	999	140	147	180	491	200	510
6	0.4	4	24	63	953	173	196	240	458	100	630
6	0.4	5	30	75	565	205	245	300	437	100	750
6	0.4	6	36	87	255	238	294	360	429	200	870
6	0.4	7	42	99	250	271	343	420	434	400	990
6	0.4	12	72	159	1002	435	588	720	647	2900	1590
6	0.8	2	12	39	665	107	98	120	537	400	390
6	0.8	3	18	51	161	140	147	180	491	200	510
6	0.8	4	24	63	102	173	196	240	458	100	630
6	0.8	5	30	75	102	205	245	300	437	100	750



บทความวิชาการ

## ตารางที่ 2 (ต่อ)

f	a	p/f	p	q	C	2.7q	8.2p	10p	W2	W1	10q
					ที่ 1	ที่ 2	ที่ 3	ที่ 4	ที่ 5	ที่ 6	ที่ 7
6	0.8	6	36	87	102	238	294	360	429	200	870
6	0.8	7	42	99	139	271	343	420	434	400	990
6	0.8	12	72	159	1004	435	588	720	647	2900	1590
12	0.4	3	36	138	986	377	294	360	491	200	1380
12	0.4	4	48	162	428	443	392	480	458	100	1620
12	0.4	5	60	186	294	508	490	600	437	100	1860
12	0.4	6	72	210	350	574	588	720	429	200	2100
12	0.4	7	84	234	977	639	686	840	434	400	2340
12	0.4	12	144	354	1001	967	1176	1440	647	2900	3540
12	0.8	2	24	114	540	312	196	240	537	400	1140
12	0.8	3	36	138	191	377	294	360	491	200	1380
12	0.8	4	48	162	189	443	392	480	458	100	1620
12	0.8	5	60	186	192	508	490	600	437	100	1860
12	0.8	6	72	210	592	574	588	720	429	200	2100
12	0.8	7	84	234	969	639	686	840	434	400	2340
12	0.8	12	144	354	1001	967	1176	1440	647	2900	3540
16	0.4	2	32	184	1053	503	262	320	537	400	1840
16	0.4	3	48	216	1006	590	392	480	491	200	2160
16	0.4	4	64	248	356	678	523	640	458	100	2480
16	0.4	5	80	280	355	765	654	800	437	100	2800
16	0.4	6	96	312	999	852	784	960	429	200	3120
16	0.4	7	112	344	1053	940	915	1120	434	400	3440
16	0.8	2	32	184	534	503	262	320	537	400	1840
16	0.8	3	48	216	310	590	392	480	491	200	2160
16	0.8	4	64	248	310	678	523	640	458	100	2480
16	0.8	5	80	280	348	765	654	800	437	100	2800





## ตารางที่ 2 (ต่อ)

f	a	p/f	p	q	C	2.7q	8.2p	10p	W2	W1	10q
					ที่ 1	ที่ 2	ที่ 3	ที่ 4	ที่ 5	ที่ 6	ที่ 7
16	0.8	6	96	312	932	852	784	960	429	200	3120
16	0.8	7	112	344	1046	940	915	1120	434	400	3440
<b>SEE</b>					<b>200.5</b>	<b>308.7</b>	<b>314.5</b>	<b>327.1</b>	<b>333.3</b>	<b>877.3</b>	<b>1320.9</b>

### 2.3 การกำหนดขนาดตัวอย่างให้สอดคล้องกับความเอนเอียงและกำลังการทดสอบ

Wolf *et al.* [12] ทำการศึกษาวิธีกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยการจำลองแบบโดยความเอนเอียงและกำลังการทดสอบเป็นเกณฑ์ตัดสินใจ

Bias ( $\beta_i$ ) =  $\sum_{j=1}^{n_r} \frac{\beta_{ij} - \beta_i}{n_r}$  คือค่าเฉลี่ยจากจำนวนการวนซ้ำ  $n_r$  รอบของอัตราความเอนเอียงของค่าประมาณสัมประสิทธิ์เส้นทาง

Power of test  $W = \text{Prob}(\frac{|\hat{\beta}|}{\sigma_\beta} > t_{.05})$  คือโอกาสที่จะปฏิเสธสมมุติฐานหลักที่ไม่เป็นจริง [13] Wolf *et al.* [12] กำหนดให้มีกำลังการทดสอบไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ณ ระดับ  $\alpha = 0.05$

การทดลองกำหนดให้น้ำหนักปัจจัยแปรค่าไป 3 ค่า คือ 0.50, 0.65, 0.80 จำนวนตัวชี้วัดมี 3 ระดับคือ 4, 6, 8 ตัว จำนวนปัจจัยเท่ากับ 1, 2, 3 และอัตราการสูญหายของข้อมูล (Missing Data) เท่ากับร้อยละ 2, 5, 10, 20 ผลการศึกษาปรากฏดังรูปที่ 1

Wolf *et al.* [12] พบว่าเมื่อกำหนดให้มีจำนวนตัวชี้วัดมากขึ้นจะใช้ขนาดตัวอย่างน้อยลงดังรูปที่ 1 A, B และ C ยกเว้นกรณีมีข้อมูลสูญหายมากกว่าจะต้องมีขนาดตัวอย่างที่ใหญ่กว่า (รูปที่ 1 E model A สำหรับกรณี CFA ส่วนรูปที่ 1 E model B สำหรับกรณี SEM)

มีข้อสรุปได้ว่าขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100, 150, 200 มากพอสำหรับกรณีที่มีตัวชี้วัด 3-8 ตัวต่อตัวแปรแฝง 1 ตัวและน้ำหนักปัจจัยสูงกว่า 0.50 (เกณฑ์คือน้ำหนักปัจจัยต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.707 แต่น้ำหนักปัจจัยอาจต่ำกว่านี้ได้แต่ไม่ต่ำกว่า 0.50 และต้องมีผลให้ AVE มีค่าไม่ต่ำกว่า 0.50) และเป็นกรอบการวิจัยขนาดเล็กมีตัวแปรแฝง 2, 3 ตัว

### 2.4 การกำหนดขนาดตัวอย่างให้สอดคล้องกับกำลังการทดสอบ

Kock และ Hayada [13] ทำการศึกษาโดยการพัฒนาสูตรกำหนดขนาดตัวอย่างให้สอดคล้องกับกำลังการทดสอบ และปรับสูตรให้สามารถใช้ได้ง่าย สามารถคำนวณได้ด้วยเครื่องคำนวณหรือด้วยโปรแกรมเอกเซล ซึ่งผู้เขียนจะแสดงตารางให้เห็นต่อไป

กำลังการทดสอบนิยามได้ดังนี้คือ

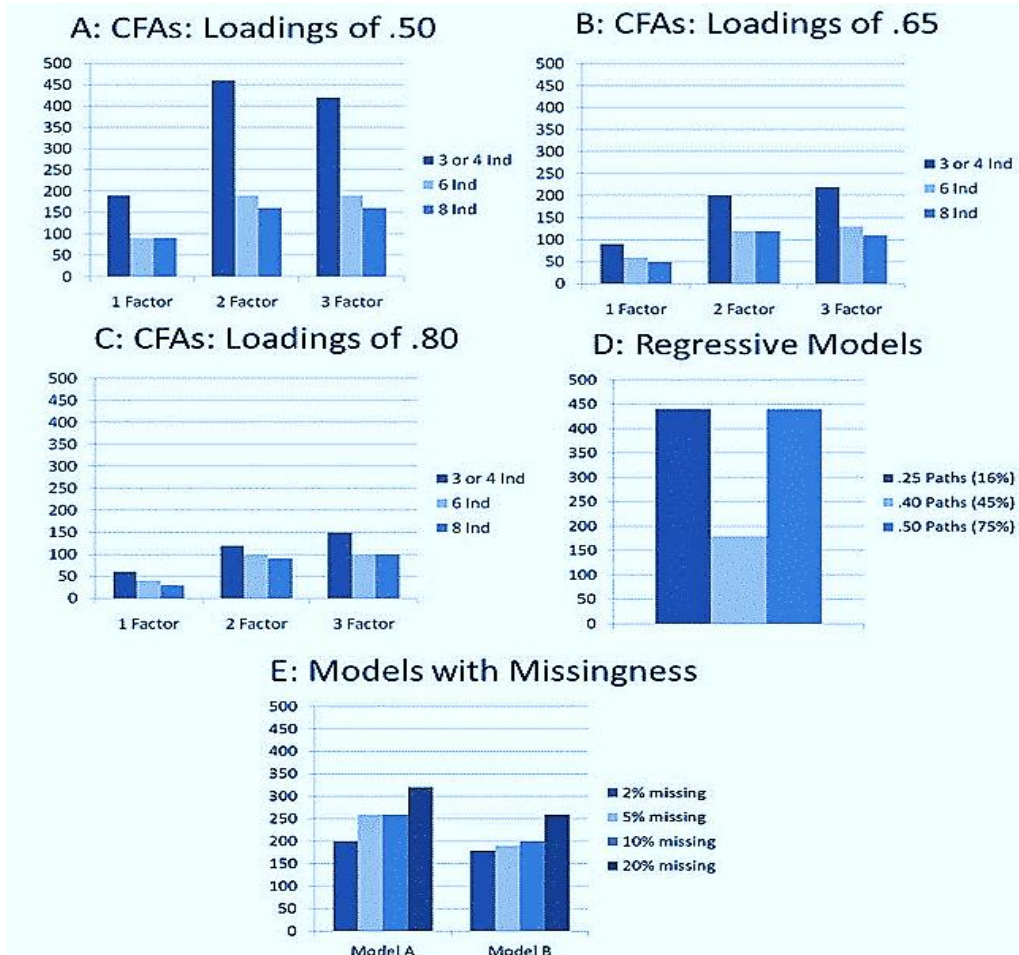
จาก  $\beta$  และ  $\sigma_\beta$  ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง และ SEE ตามลำดับ พบว่า

$$t = \frac{\beta}{\sigma_\beta} \text{ จะมีค่าสูงถ้า } \beta \text{ มีค่าสูงและ/หรือ } \sigma_\beta$$

มีค่าต่ำและมีผลให้  $\text{Pr}(\frac{\beta}{\sigma_\beta} > t_{.05})$  มีค่าสูงไปด้วย

$$\text{โดยเรียก } W = \text{Pr}(\frac{|\hat{\beta}|}{\sigma_\beta} > t_{.05}) = \text{Pr}(\frac{|\beta|}{\sigma_\beta} - t_{.05} > 0)$$

เมื่อ  $\beta \neq 0$  ว่ากำลังการทดสอบ



รูปที่ 1 ขนาดตัวอย่างจำแนกตามขนาดของ Loading จำนวนตัวชี้วัดต่อ 1 ปัจจัย และชนิดตัวแบบ [12]

กำหนดให้  $W = 0.80$  ดังนั้น

$$\Phi\left(\frac{|\beta|}{\sigma_\beta} - t_{.05}\right) > 0.80 \text{ หรือ } \left(\frac{|\beta|}{\sigma_\beta} - t_{.05}\right) > Z_{0.80}$$

ถ้าตัวอย่างมีขนาดใหญ่สามารถปรับเป็น

$$\left(\frac{|\beta|}{\sigma_\beta} - z_{.95}\right) > Z_{0.80}$$

ดังนั้น

$$\frac{|\beta|}{\sigma_\beta} > Z_{0.80} + z_{.95} \quad (1)$$

แต่ SEE ของสัมประสิทธิ์การถดถอยปรับมาตรฐาน (standardized Regression Coefficient) มีค่าประมาณ

$$\frac{1}{\sqrt{n}} \quad [14] \text{ (นี่คือที่มาของชื่อว่า Inverse Square Root)}$$

ดังนั้นสมการ (1) สามารถเสนอได้เป็น

$$\frac{|\beta|}{\frac{1}{\sqrt{n}}} > Z_{0.80} + z_{.95} \text{ โดยที่ } Z_{0.80} = 0.842, z_{.95} = 1.645$$

$$\frac{|\beta|}{\sigma_\beta} > Z_{0.80} + z_{.95} \quad (2)$$



$$\text{ดังนั้น} \quad n = \frac{2.487^2}{|\beta|_{\min}^2} \quad (2)$$

สมการ (2) เป็นสมการสำหรับกำหนดขนาดตัวอย่างที่มีผลให้กำลังการทดสอบมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 มีระดับความคลาดเคลื่อน  $\alpha$  ไม่เกินร้อยละ 5 เรียกวิธีนี้ว่าวิธีส่วนกลับของรากที่สอง (Inverse Square Root)

จากสมการ (1) สามารถประมาณค่า SEE ของสัมประสิทธิ์การถดถอยปรับมาตรฐานได้เป็น

$$s = \frac{1}{\sqrt{n}} e^{-\left(\frac{e^{|\beta|}}{\sqrt{n}}\right)} \quad [13]$$

ดังนั้นเมื่อแทนที่  $\sigma_\beta$  ในสมการ (1) ด้วย s สมการ (1) จึงเปลี่ยนรูปเป็น

$$|\beta|_{\min} \sqrt{n} e^{\left(\frac{e^{|\beta|}}{\sqrt{n}}\right)} > 2.487 \quad (3)$$

จัดรูปสมการ (3) ใหม่ได้เป็น

$$\ln \sqrt{n} + \frac{e^{|\beta|_{\min}}}{\sqrt{n}} > \ln \left( \frac{2.487}{|\beta|_{\min}} \right) \quad (4)$$

สมการ (4) เรียกว่า Gamma-Exponential Method การกำหนดขนาดตัวอย่างตามวิธีนี้สามารถคำนวณได้ด้วยโปรแกรมเอกเซลโดยให้กำหนดค่า  $|\beta|_{\min}$  และเงื่อนไข  $\ln \left( \frac{2.487}{|\beta|_{\min}} \right)$  แล้วแปรค่าของ n ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งพบค่า n ที่ตรงกับเงื่อนไข สำหรับกำหนดขนาดตัวอย่างทั้ง 2 สูตร ปรากฏดังตารางต่อไป

จากตารางที่ 3 จะสังเกตเห็นว่าขนาดตัวอย่างจะลดลงตามค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางที่สูงขึ้น จำนวนและค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางสามารถมีได้มากเท่าจำนวนเส้นทางในภาพเส้นทางซึ่งทราบได้จากการทบทวนวรรณกรรม

ตารางที่ 3 ขนาดตัวอย่างตามสูตร Inverse Square Root Method [สมการ (2)]

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปรับมาตรฐาน	n
0.05	2474
0.10	619
0.15	275
0.20	155
0.25	99
0.30	69
0.35	50
0.40	39
0.45	31
0.50	25
0.55	20
0.60	17
0.65	15
0.70	13
0.75	11
0.80	10

ตารางที่ 4 คำนวณได้จากสมการ (4) โดยผู้เขียนแสดงไว้สำหรับค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเพียง 5 ค่า ค่าเหล่านี้เป็นเพียงตัวอย่างที่ผู้เขียนกำหนดจากการคาดหมายว่าค่าของสัมประสิทธิ์เส้นทางที่เป็นไปได้ที่สุด หากนักวิจัยพบว่าสัมประสิทธิ์เส้นทางแตกต่างไปจากค่าตามตารางนี้ก็ขอให้ใช้ค่านั้นคำนวณหาขนาดตัวอย่าง



ตารางที่ 4 ขนาดตัวอย่างตามสูตร Gamma-Exponential method [สมการ (4)]

beta	เงื่อนไข	beta	เงื่อนไข	beta	เงื่อนไข	beta	เงื่อนไข	beta	เงื่อนไข
0.1	3.213662	0.15	2.808197	0.2	2.520515	0.25	2.297372	0.3	2.11505
n	LH	n	LH	n	LH	n	LH	n	LH
1	1.105171	1	1.161834	1	1.221403	1	1.284025	1	1.349859
2	1.128047	2	1.168114	2	1.210236	2	1.254517	2	1.301068
3	1.187377	3	1.220091	3	1.254483	3	1.290639	3	1.328647
4	1.245733	4	1.274064	4	1.303849	4	1.335164	4	1.368077
5	1.298966	5	1.324307	5	1.350947	5	1.378953	5	1.408394
41	2.029385	41	2.038234	41	2.047537	41	2.057317	41	2.067599
42	2.039366	42	2.04811	42	2.057301	42	2.066964	42	2.077123
43	2.049137	43	2.057778	43	2.066862	43	2.076412	43	2.086452
44	2.058706	44	2.067248	44	2.076228	44	2.085669	44	2.095594
45	2.068084	45	2.076527	45	2.085407	45	2.094742	45	2.104556
46	2.077269	46	2.085624	46	2.094407	46	2.103644	46	2.113347
47	2.086284	47	2.094545	47	2.103234	47	2.112368	47	2.121971
47	2.086284	47	2.094545	47	2.103234	47	2.112368		
72	2.268579	72	2.275257	72	2.282277	72	2.289657		
74	2.280506	74	2.287093	74	2.294017	74	2.301297		
124	2.509388	124	2.514477	124	2.519826				
125	2.513006	125	2.518074	125	2.523402				
126	2.516597	126	2.521645						
236	2.803856	236	2.807545						
237	2.805819	237	2.809499						
238	2.807773								
559	3.209818								
564	3.214063								



## บทความวิชาการ

ตารางที่ 4 ผู้เขียนย่อตารางเอกเซลเหลือเพียงให้พอดี 1 หน้า คำว่าเงื่อนไขหมายถึงด้านขวาของอสมการ (4) คือ  $\ln\left(\frac{2.487}{|\beta|_{\min}}\right)$  และอักษรย่อ LH (Left Hand Side) หมายถึงด้านซ้ายมือของอสมการ (4) คือ  $\ln\sqrt{n} + \frac{e^{|\beta|_{\min}}}{\sqrt{n}}$  จากนั้นให้แปรค่า  $n$  ไปจนกระทั่งพบว่าผลการคำนวณคือขนาดตัวอย่างที่ปรากฏใน LH มีค่ามากกว่าค่าของเงื่อนไข

สูตรทั้ง 2 ข้างต้นให้คำตอบต่างกัน สูตรตามวิธีส่วนกลับของรากที่สองคือ  $n = \frac{2.487^2}{|\beta|_{\min}^2}$  คำนวณได้ง่ายกว่า ขอให้สังเกตด้วยว่าขนาดตัวอย่างจากทั้ง 2 สูตร จะลดลงลงเมื่อค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง (จากผลการทบทวนวรรณกรรม) มีค่าสูง เหตุที่ต้องใช้  $|\beta|_{\min}$  เพราะต้องการให้ได้ขนาดตัวอย่างใหญ่ครอบคลุมขนาดตัวอย่างที่สอดคล้องกับ  $\beta$  ที่มีขนาดใหญ่กว่า

ผลจากการทบทวนวรรณกรรมอาจพบว่าค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางของเส้นทางหนึ่ง ๆ มีหลายค่าแตกต่างกันไปตามผลการศึกษาเชิงประจักษ์ซึ่งขึ้นอยู่กับบริบทของการวิจัยนั้น ๆ ให้บันทึกค่าเหล่านี้เอาไว้ภาพประกอบการวิจัยมีหลายเส้นทาง จึงอาจมีจำนวนสัมประสิทธิ์เส้นทางเป็นจำนวนมากหลายชุดตามความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างคู่ตัวแปร ในแต่ละชุดคือกลุ่มสัมประสิทธิ์เส้นทางของแต่ละเส้นทาง ให้เลือกเอาค่าต่ำสุดมาใช้คำนวณขนาดตัวอย่างตามสูตร

$$n = \frac{2.487^2}{|\beta|_{\min}^2} \quad \text{หรือ}$$

$$\ln\sqrt{n} + \frac{e^{|\beta|_{\min}}}{\sqrt{n}} > \ln\left(\frac{2.487}{|\beta|_{\min}}\right)$$

จึงจะมีผลให้ได้ขนาดตัวอย่างที่ใหญ่ที่สุด ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้เกิดปัญหาจากการใช้ตัวอย่างน้อยเกินไป ขอให้สังเกตจากตาราง 3 ว่าถ้าสัมประสิทธิ์เส้นทางมีค่าประมาณ 0.35 และที่สูงกว่านี้ขนาดตัวอย่างจะเล็กมากจนอาจไม่เหมาะสมในด้านความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลการวิจัย

### 3. บทสรุป

สูตรสำหรับกำหนดขนาดตัวอย่างเพื่อการวิจัยด้วยตัวแบบสมการโครงสร้างเป็นสิ่งที่นักวิจัยทุกคนถือว่าเป็นเรื่องยุ่งยากและมักเป็นปัญหาต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มออกแบบการวิจัยสืบเนื่องไปจนถึงการประเมินผลงานวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ เพราะจะได้รับคำถามเสมอว่าขนาดเท่านี้พอเพียงให้ผลการวิเคราะห์ตัวแบบถูกต้อง (Accurate) แม่นยำ (Precise) และมีความน่าเชื่อถือ (Reliable) หรือไม่เพราะไม่มั่นใจในความเหมาะสมของขนาดตัวอย่างที่ใช้ ด้วยเหตุดังกล่าวนักวิจัยจำนวนมากจึงใช้วิธีกำหนดขนาดตัวอย่างให้มีขนาดใหญ่มาก โดยสุ่มตัวอย่างเพื่อเอาไว้โดยเชื่อว่าน่าจะเหมาะสมในเรื่องความถูกต้องและความเชื่อถือได้ของผลการวิจัย ที่จริงแล้วการใช้ขนาดตัวอย่างที่ใหญ่มากไม่จำเป็นต้องมีผลให้งานวิจัยมีความถูกต้องและมีความเชื่อถือได้สูงกว่าการใช้ตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่า ผลการศึกษาในปัจจุบันหรือใกล้ปัจจุบันพบว่าขนาดตัวอย่างที่ใช้เพื่อวิเคราะห์ตัวแบบสมการโครงสร้างขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างคือ ค่าของน้ำหนักปัจจัย จำนวนปัจจัย จำนวนตัวชี้วัดต่อ 1 ปัจจัย ( $\frac{p}{f}$ ) ค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง (จากวรรณกรรม) อัตราข้อมูลสูญหาย และจำนวนพารามิเตอร์ ด้วยเหตุนี้ขนาดตัวอย่างสำหรับการวิจัยด้วย SEM จึงแปรไปได้



นักวิจัยสามารถเลือกใช้สูตรต่าง ๆ ได้ตามความเหมาะสม เช่น ขนาดประชากรที่อาจมีจำนวนสมาชิกไม่มาก หรือองค์ประกอบของตัวแบบที่อาจมีตัวแปรแฝงมากมีตัวชี้วัดมากหรือกลับกัน

ผลสรุปโดยรวมคือขนาดตัวอย่างขึ้นอยู่กับจำนวนปัจจัย (คือตัวแปรแฝง) ถ้ามีปัจจัยมากคือเป็นตัวแบบที่มีขนาดใหญ่ขนาดตัวอย่างก็จะมีขนาดใหญ่ และขึ้นอยู่กับจำนวนตัวชี้วัดต่อ 1 ปัจจัย (Indicator to Construct,  $\frac{f}{p}$ ) และค่าน้ำหนักปัจจัย ถ้าจำนวนตัวชี้วัดต่อ 1 ปัจจัย ( $\frac{f}{p}$ ) มาก และน้ำหนักปัจจัยมีค่าสูงจะใช้ตัวอย่างขนาดเล็ก ซึ่งกรณีนี้  $n = 50$  ก็เพียงพอ และถ้าประชากรมีได้มีขนาดเล็กการกำหนดให้  $n = 200$  ถือได้ว่าเป็นขนาดที่เพียงพอเพราะจะไม่มีปัญหาการไม่ลู่อเข้าและปัญหาคำตอบที่ไม่เหมาะสม [6, 7]

นักวิจัยอาจกำหนดขนาดตัวอย่างโดยเลือกจากตาราง 1-4 เฉพาะตาราง 4 ผู้เขียนคำนวณไว้เพียงบางระดับของค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางที่เห็นว่าเป็นค่าต่ำ นักวิจัยสามารถคำนวณได้เองจากสมการ (4)

#### 4. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. W. Anderson, H. Rubin, Statistical inference in factor analysis, The Third Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Proceedings, 1956, 111-150.
- [2] K.A. Bollen, Structural equations with latent variables, John Wiley & Sons, NY, USA, 1989.
- [3] A. Boomsma, Non-convergence, improper solutions, and starting values in lisrel maximum likelihood estimation, Psychometrika, 1985, 50(2), 229-242.
- [4] J.C. Nunnally, Psychometric theory, McGraw-Hill, NY, USA, 1967.
- [5] P. Bentler, EQS structural program manual, CA. BMPD statistical software, LA, USA, 1989.
- [6] H.W. Marsh, K.T. Hau, J.R. Balla, and D. Grayson, Is more ever too much? The number of indicators per factor in confirmatory factor analysis, Multivariate Behavioral Research, 1998, 33, 181-220.
- [7] A. Boomsma and J.J. Hoogland, The robustness of LISREL modeling revisited, Structural equation modeling: Present and future: A festschrift in honor of Karl Jöreskog, Scientific Software International Inc, Lincolnwood, IL, USA, 2001, 1-25.
- [8] K.G. Joreskog and D. Sorbom, Lisrel7-A guide to program and applications, 2<sup>nd</sup> ed., SPSS, IL, USA, 1988.
- [9] M. Piriyakal, Analytical techniques for Second Order SEM, Journal of Modern Management Science, 6(1), 97-111.(in Thai)
- [10] J. Koran, Preliminary proactive sample size determination for confirmatory factor analysis models, Measurement and Evaluation in Counseling and Development, 2016, 49(4), 296-308.



- [11] J.C. Westland, Lower bounds on sample size in structural equation modeling, *Electronic Commerce Research and Applications*, 2010, 9(6), 476-487.
- [12] E.J. Wolf, K.M. Harrington, S.L. Clark, and M.W. Miller, Sample size requirements for structural equation models: An evaluation of power, bias, and solution propriety, *Educational and Psychological Measurement*, 2013, 76(6), 913-934.
- [13] N. Koch and P. Hadaya, Minimum sample size estimation in PLS-SEM: The inverse square root and gamma-exponential methods, *Information Systems Journal*, 2018, 28(1), 227-261.
- [14] P.S. Petraitis, A.E. Dunham and P.H. Niewiarowski, Inferring multiple causality: The limitations of path analysis, *Functional Ecology*, 1996, 10(4), 421-431.