

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์*

จุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์องค์ประกอบมี 2 ประการคือ

1. เพื่อสำรวจหรือค้นหาตัวแปรแฝงที่ซ่อนอยู่ภายใต้ตัวแปรที่สังเกตหรือวัดได้เรียกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory factor analysis)

2. เพื่อพิสูจน์ ตรวจสอบหรือยืนยันทฤษฎีที่ผู้เฝ้าค้นพบเรียกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor analysis)

บทความฉบับก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจไปแล้ว ในบทความนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

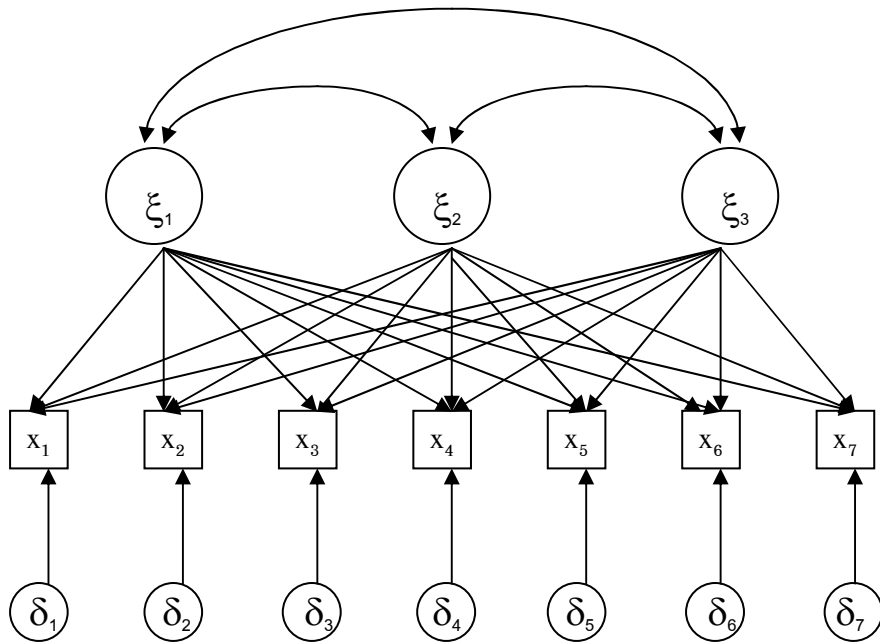
เนื่องจากข้อจำกัดของรูปแบบองค์ประกอบเชิงสำรวจมีมากมาย จึงได้มีผู้พัฒนาต่อมาเป็นรูปแบบองค์ประกอบเชิงยืนยัน ในรูปแบบองค์ประกอบเชิงยืนยัน มีข้อตกลงเบื้องต้นที่เปลี่ยนแปลงไปคือ

- 1) อาจมีคู่ของ common factors ที่สัมพันธ์กัน
- 2) ตัวแปรที่สังเกตได้จะต้องเป็นผลโดยตรงจาก common factors
- 3) ตัวแปรที่สังเกตได้จะต้องเป็นผลโดยตรงจาก unique factors
- 4) คู่ของ unique factors สามารถสัมพันธ์กันได้

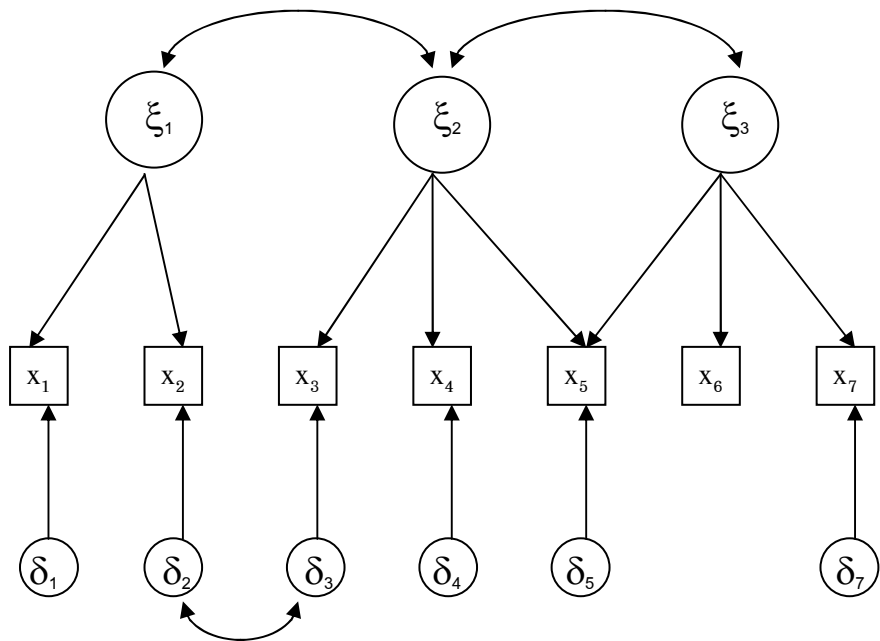
ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ผู้วิจัยมักเริ่มต้นที่สมมติฐานในการวิเคราะห์เป็นการศึกษาตัวแปรที่ถูกนำไปสัมพันธ์กับองค์ประกอบและองค์ประกอบก็ถูกสัมพันธ์กันเอง สมมติฐานที่ตั้งจะต้องอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎี

ความชัดเจนระหว่างรูปแบบองค์ประกอบเชิงยืนยันและเชิงสำรวจ สามารถเห็นได้โดยเปรียบเทียบรูปแบบเชิงสำรวจในภาพประกอบ 1 กับรูปแบบเชิงยืนยันในภาพประกอบ 2 ในรูปแบบเชิงยืนยัน common factors ξ_1 และ ξ_2 ถูกสมมติว่าไม่สัมพันธ์กัน ในรูปแบบเชิงสำรวจ common factors ทั้งหมดจำเป็นต้องสมมติให้สัมพันธ์กันทุกตัว ในรูปแบบองค์ประกอบเชิงยืนยัน ตัวแปรที่สังเกตได้เป็นผลโดยตรงจาก common factors บางตัว (เช่น x_1 ไม่มีผลโดยตรงจาก ξ_2 และ ξ_3) ในรูปแบบเชิงสำรวจ ตัวแปรที่สังเกตได้ทั้งหมดเป็นผลโดยตรงจาก common factors ทั้งหมด ในตัวอย่างรูปแบบองค์ประกอบเชิงยืนยันมี unique factors 2 ตัวที่ถูกสมมติให้สัมพันธ์ (δ_2 และ δ_3 สัมพันธ์กันโดยมีเส้นโค้งเชื่อมกัน) และมีตัวแปรที่สังเกตได้ 1 ตัวที่ไม่มีความคลาดเคลื่อน (x_6 ไม่มี unique factors) ซึ่งในรูปแบบเชิงสำรวจนั้น unique factors ทุกตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน และ unique factors มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่สังเกตได้แต่ละตัว

* เว็บไซต์เตอร์วัดผลจุดคอม <http://www.watpon.com/>



ภาพประกอบ 1 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ



ภาพประกอบ 2 โมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันยังเสนอวิธีที่ทำให้ผู้วิจัยดำเนินการต่อไปสำหรับประเมินความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง

กระบวนการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

ในขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ต้องเริ่มต้นที่เมตริกสหสัมพันธ์หรือเมตริกความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วม หรือเมตริกอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกัน ผู้วิจัยกำหนดจุดประสงค์ในการทดสอบโมเดล ซึ่งจะต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีหรือข้อมูลที่มีอยู่ สมมติฐานจะต้องตั้งให้เหมาะสมกับข้อมูล โมเดลจะต้องกำหนดระดับของความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของตัวแปรแต่ละตัวกับองค์ประกอบ

ความแตกต่างของพารามิเตอร์คงที่และอิสระ เช่น สัมประสิทธิ์น้ำหนักองค์ประกอบ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวัด เป็นต้น ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะกำหนดขึ้นตามความคาดหวังในทฤษฎีที่ผู้วิจัยค้นคว้ามา Gillaspay (1996) ได้ให้คำจำกัดความของพารามิเตอร์คงที่และพารามิเตอร์อิสระไว้ว่า “การคงที่ของพารามิเตอร์จะเกี่ยวข้องกับการตั้งค่าพารามิเตอร์ตามทฤษฎีที่ได้คาดหวังไว้ ดังนั้นการคงที่ของพารามิเตอร์ ผู้วิจัยจะต้องไม่ยอมให้พารามิเตอร์นั้นแปรเปลี่ยนไปขณะที่ทำการวิเคราะห์ และการเป็นอิสระของพารามิเตอร์จะเกี่ยวข้องกับการที่ผู้วิจัยยอมให้พารามิเตอร์ถูกประมาณค่าในขณะที่กำลังทำการวิเคราะห์”

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสามารถกระทำได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่หลากหลายเช่น LISREL8, LISREL for Windows, Amos เป็นต้น

การทดสอบโมเดลจะถูกทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในเรื่องของความสมบูรณ์ในการวิเคราะห์นั้น ผลลัพธ์ที่ได้จะต้องแสดงค่าสถิติที่แตกต่างกันหลายค่า สำหรับใช้ในการทดสอบความสอดคล้องของโมเดลหรืออธิบายความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปร ค่าสถิติจะถูกนำเสนอในรูปของ “fit statistics” ซึ่งค่า fit statistics ทั้งหมดจะถูกประมวลและแสดงออกมาในคราวเดียวกัน

สถิติเหล่านี้จะใช้ในการประเมินความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สังเกตได้กับตัวแปรแฝง

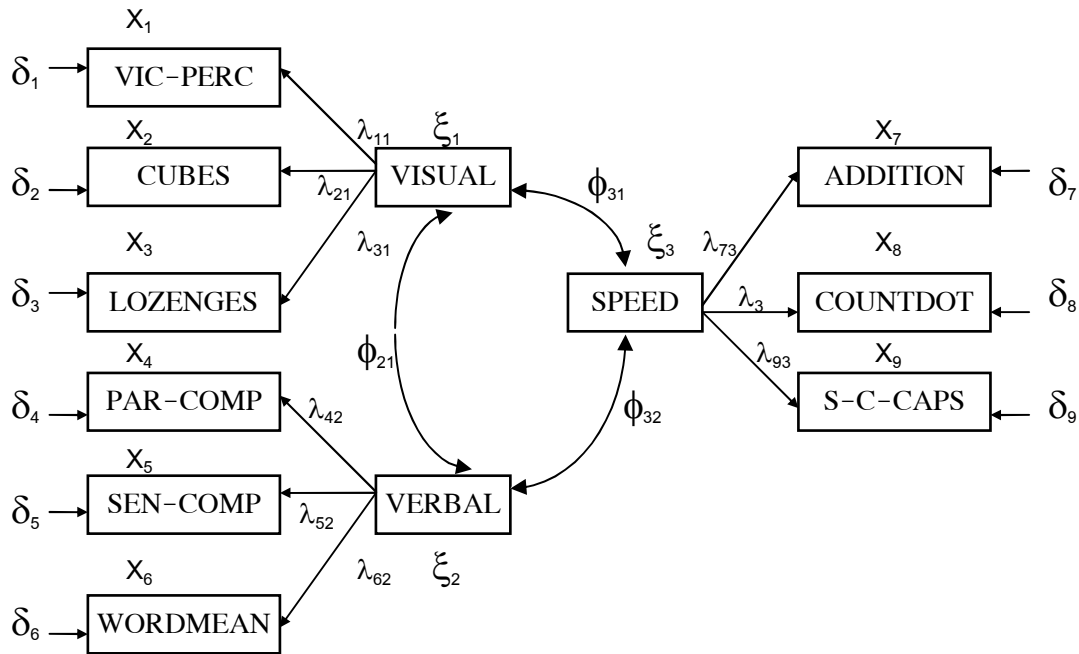
Fit Statistics

การทดสอบ Fit Statistics ที่ใช้ในการทดสอบโมเดล จะมีอยู่หลายตัว เช่น ไคสแควร์, GFI (The goodness of fit index), AGFI (Adjusted Goodness of fit Index), RMR (Root mean squared Residual) เป็นต้น รายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป

ตัวอย่างการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

ฮอลซิงเจอร์ และสวินฟอร์ด (Holzinger and Swinford) ได้รวบรวมข้อมูลกับเด็กนักเรียนระดับ 8 ในโรงเรียน Grant-White School ในนครชิคาโก จำนวน 145 คน มีแบบทดสอบ 9 ฉบับที่นำมาใช้ในการทดสอบว่าสามารถวัดองค์ประกอบพื้นฐานทั้ง 3 ด้านคือ ด้านการรับรู้ (Visual Perception : P) ความสามารถทางภาษา (Verbal Ability : V) และความว่องไวในการคิด (Speed : S)

โดยแบบทดสอบ 3 ฉบับแรกวัด P อีก 3 ฉบับถัดมาวัด V และ 3 ฉบับสุดท้ายวัด S ผลการสอบถูกนำมาคำนวณหาความสัมพันธ์ได้ในตาราง 1 และวาดโมเดลได้ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 โมเดลตามทฤษฎีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสำหรับแบบทดสอบทั้ง 9 ฉบับ

ตาราง 1 เมตริกสหสัมพันธ์ของแบบทดสอบทั้ง 9 ฉบับ

VIS-PERC	1.000								
CUBES	0.318	1.000							
LOZENGES	0.436	0.419	1.000						
PAR-COMP	0.335	0.234	0.323	1.000					
SEN-COMP	0.304	0.157	0.283	0.722	1.000				
WORDMEAN	0.326	0.195	0.350	0.714	0.685	1.000			
ADDITION	0.116	0.057	0.056	0.203	0.246	0.170	1.000		
COUNTDOT	0.314	0.145	0.229	0.095	0.181	0.113	0.585	1.000	
S-C-CAPS	0.489	0.239	0.361	0.309	0.345	0.280	0.408	0.512	1.000

การเขียนคำสั่งเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันด้วยโปรแกรม LISREL

NINE PSYCHOLOGICAL VARIABLES-A CONFIRMATORY FACTOR ANALYSIS	1
DA NI=9 NO=145 MA=KM	2
LA	3

VIS-PERC CUBES LOZENGES PAR-COMN SEN-COMP WORDMEAN ADDITION COUNTDOT S-C-CAPS	
KM	6
1.000	
0.318 1.000	
0.436 0.419 1.00	
0.335 0.234 0.323 1.000	
0.304 0.157 0.283 0.722 1.000	
0.326 0.195 0.350 0.714 0.685 1.000	
0.116 0.057 0.056 0.203 0.240 0.170 1.000	
0.314 0.145 0.229 0.095 0.181 0.113 0.585 1.000	
0.489 0.239 0.361 0.309 0.345 0.280 0.408 0.512 1.000	
MO NX=9 NK=3 PH=ST TD=DI,FR	16
PA LX	17
3(1 0 0) 3(0 1 0) 3(0 0 1)	
LK	19
VISUAL VERBAL SPEED	
OU SE TV MI	21

บรรทัด 1 เป็นส่วนของหัวเรื่อง (Title) สำหรับเขียนข้อความอธิบายรายละเอียดของโปรแกรม

ในส่วนนี้จะใช้ที่บรรทัดก็ได้ แต่ถัดจากหัวเรื่องแล้วจะต้องเป็น DA เท่านั้น

บรรทัด 2 DA สำหรับใส่ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูล

NI คือจำนวนตัวแปรที่สังเกตได้ทั้งหมด 9 ตัวแปร

NO คือจำนวนข้อมูล 145 คน

MA คือลักษณะของข้อมูลเป็นเมตริกสหสัมพันธ์ (MA=KM)

บรรทัด 3-5 LA กำหนดชื่อของตัวแปรที่สังเกตได้ทั้ง 9 ตัว

บรรทัด 6-15 KM เป็นการบอกให้โปรแกรมรู้ว่าต่อไปนี้เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปของเมตริกสหสัมพันธ์

บรรทัด 16 MO ใช้กำหนดจำนวนของตัวแปรที่สังเกตได้ จำนวนตัวแปรแฝง และลักษณะโครงสร้างของโมเดล

NX คือจำนวนตัวแปรที่สังเกตได้ มี 9 ตัว

NK คือจำนวนตัวแปรแฝงมี 3 ตัว

ลักษณะของโครงสร้างโมเดล จากภาพประกอบ 3 สามารถสร้างเมตริกได้ 3 เมตริกดังนี้

$$LX = \begin{bmatrix} * & 0 & 0 \\ * & 0 & 0 \\ * & 0 & 0 \\ 0 & * & 0 \\ 0 & * & 0 \\ 0 & * & 0 \\ 0 & 0 & * \\ 0 & 0 & * \\ 0 & 0 & * \end{bmatrix} \quad PH = \begin{bmatrix} 1 & * & * \\ * & 1 & * \\ * & * & 1 \end{bmatrix}$$

$$TD = \begin{bmatrix} * & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & * & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & * & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & * & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & * & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & * & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & * & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & * & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & * \end{bmatrix}$$

ลักษณะของเมตริกซ์คือ PH = ST, TD = DI, FR

บรรทัด 17 กำหนดลักษณะของเมตริก LX ให้มีลักษณะเป็น Patter คือ 3 ตัวแปรแรกเป็นพารามิเตอร์อิสระ อยู่ในสดมภ์ 1 อีก 3 ตัวแปรถัดมาเป็นพารามิเตอร์อิสระ อยู่ในสดมภ์ 2 และ 3 ตัวแปรสุดท้าย เป็นพารามิเตอร์อิสระ อยู่ในสดมภ์ 3 (1 แทนพารามิเตอร์อิสระ และ 0 แทนพารามิเตอร์กำหนด)

บรรทัด 19 LK สำหรับตั้งชื่อตัวแปรแฝง

บรรทัด 21 OU สำหรับกำหนดผลลัพธ์ที่ต้องการให้โปรแกรมแสดง

SE แสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

TV แสดงค่าสถิติ t-test ในการทดสอบค่าพารามิเตอร์

MI ข้อเสนอแนะถ้าโมเดลตามทฤษฎีที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์

สำหรับรายละเอียดต่าง ๆ ของผลลัพธ์ที่ได้ มีดังนี้

1. จำนวนตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ = 9
จำนวนของตัวแปรที่สังเกตได้ (X) = 9
จำนวนของตัวแปรแฝง (KSI) = 3
จำนวนกลุ่มตัวอย่าง = 145 คน
2. แสดงเมตริกความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรทั้ง 9 ตัว
3. ลำดับของพหามิเตอร์ที่โปรแกรมจะประมวลผล
4. แสดงค่าของ Lambda-X ในที่นี้คือค่าน้ำหนักองค์ประกอบ ในแต่ละตัวแปรโปรแกรมจะคำนวณให้ 3 ค่าคือ 1) ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ 2) ค่าในวงเล็บคือค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และ 3) ค่าใต้วงเล็บคือค่า t-value สำหรับทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าน้ำหนักองค์ประกอบ ถ้าค่า t-value มีค่ามากกว่า 1.96 ถือว่าน้ำหนักองค์ประกอบนั้นแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05
5. แสดงค่าของ PHI ในที่นี้คือความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝง (องค์ประกอบ) กับค่าในวงเล็บคือความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่าใต้วงเล็บคือค่า t-value สำหรับทดสอบความมีนัยสำคัญ
6. แสดงค่า THETA-DELTA ในที่นี้คือค่าความแปรปรวนของตัวแปรภายนอกที่ส่งผลต่อตัวแปรที่สังเกตได้ กับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า t-value สำหรับทดสอบความมีนัยสำคัญ
7. ค่ากำลังสองสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หาคูณ หรือก็คือค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย
8. เป็นการทดสอบความสอดคล้องของโมเดล แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

8.1 ดัชนีทดสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์

โปรแกรม LISREL จะแสดงดัชนีวัดความสอดคล้องมากมาย ผู้วิจัยจะต้องประเมินค่าเหล่านี้ว่าโมเดลกลมกลืนกับข้อมูลหรือไม่ ดัชนีในกลุ่มนี้มีดังนี้

Chi-square

ถ้าโมเดลนั้นถูกต้องและตัวอย่างมีขนาดใหญ่พอ การวัด χ^2 จะถูกใช้ในการทดสอบทางสถิติ เป็นการทดสอบโมเดลโดยมี degree of freedom ของ χ^2 ดังนี้

$$df = \frac{1}{2}(p + q)(p + q + 1) - t \quad (2.1)$$

เมื่อ $p + q$ คือจำนวนของตัวแปรสังเกตที่ถูกระบุ และ t คือจำนวนของพหามิเตอร์ที่ถูกประมาณค่าอย่างอิสระ ค่า p-value จะถูกรายงานโดยโปรแกรมเป็นระดับความน่าจะเป็น นั่นคือ ความน่าจะเป็นของค่า χ^2 มีมากจนไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าโมเดลนั้นสอดคล้องกับข้อมูล

ในการใช้ χ^2 เป็นสถิติทดสอบความสอดคล้องหรือความไม่สอดคล้องนั้นจะดูที่ค่า χ^2 ถ้าหากมีค่ามากจนมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือรูปแบบไม่สอดคล้อง (bad fit) และถ้าหากมีค่าน้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่ารูปแบบสอดคล้อง (good fit) ค่า df เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการตัดสินค่า χ^2 ว่ามีค่ามากหรือน้อย ค่า χ^2 จึงอ่อนไหวต่อขนาดของกลุ่มตัวอย่างและอ่อนไหวมากเมื่อมีตัวแปรที่สังเกตได้หลายตัว ขนาดของตัวอย่างที่ใหญ่และตัวแปรสังเกตได้หลายตัว จะเพิ่มค่า χ^2 ให้มีค่ามากขึ้น เหตุอันหนึ่งที่ใช้การวัด χ^2 ในการเปรียบเทียบโมเดลนั้นคือถ้า χ^2 มีค่าสูงจนมีนัยสำคัญทางสถิติก็อาจจะตรวจสอบความสอดคล้องและประเมินโมเดลโดยใช้ส่วนเหลือมาตรฐานและดัชนีการปรับโมเดล ซึ่งจะ

แนะนำวิธีการในการปรับแก้โมเดลที่จะช่วยให้ค่าพารามิเตอร์ของโมเดลสูงขึ้น โดยปกติโมเดลที่ปรับใหม่จะให้ค่า χ^2 ที่ลดต่ำลง

Goodness-of fit indices

มีสมการว่า

$$GFI = 1 - \frac{(s - \hat{\sigma})'W^{-1}(s - \hat{\sigma})}{s'W^{-1}s} \quad (2.2)$$

AGFI เป็นดัชนีปรับแก้ GFI มีสมการดังนี้

$$AGFI = 1 - \frac{(p-q)(p+q+1)}{2d}(1-GFI) \quad (2.3)$$

เมื่อ d คือ degree of freedom ของโมเดล สมการทั้งสองนี้มีความระหว่างศูนย์และหนึ่ง แม้ว่าในทางทฤษฎีเป็นไปได้ว่าอาจมีค่าติดลบ ถ้าหากดัชนี GFI และ AGFI มีค่ามากกว่า 0.9 แปลได้ว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูล ซึ่งดัชนี GFI จะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่าง

Root Mean Squared Residual

RMR มีสมการว่า

$$RMR = \left[\frac{2 \sum_{i=1}^{p+q} \sum_{j=1}^i (s_{ij} - \hat{\sigma}_{ij})^2 / (p+q)(p+q+1)}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

RMR มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 ถ้าหากมีค่าต่ำกว่า 0.05 แปลได้ว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูล

8.2 ดัชนีเปรียบเทียบโมเดล (Comparative Fit)

เป็นดัชนีที่ใช้เปรียบเทียบโมเดลพื้นฐาน (baseline) กับโมเดลตามทฤษฎีหรือโมเดลตามสมมติฐาน ซึ่งโมเดลพื้นฐานจะถูกเรียกว่า “null” หรือ “independence” เป็นโมเดลที่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหมดคือไม่มีเส้นทางเชื่อมโยงระหว่างตัวแปร หรือโมเดลที่เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมมีค่าเป็น 0

Bentler และ Bonett (1980) ได้เสนอ normmed fit index (NFI) มีสมการคือ

$$NFI = \frac{\chi_{null}^2 - \chi_{model}^2}{\chi_{null}^2}$$

NFI มีพิสัยอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าหากมีค่าเกิน 0.9 บ่งชี้ว่าโมเดลตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลมากกว่าโมเดลพื้นฐาน (null model) ซึ่งดัชนี NFI จะบ่งชี้เป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่สอดคล้อง ถ้าค่า NFI มีค่า 0.9 หมายความว่าโมเดลตามสมมติฐานสอดคล้องกับข้อมูลมากกว่าโมเดลพื้นฐานถึง 90% แต่ NFI มีข้อเสียคือถ้ากลุ่มตัวอย่างมีน้อยค่าที่ได้จะต่ำกว่าความเป็นจริง

ดัชนีอีกตัวคือ The nonnormed fit index (NNFI) ใช้เหมือนกับ NFI แต่มีการปรับแก้จำนวนของ degree of freedom ในโมเดล มีสมการคือ

$$NNFI = \frac{(\chi_{null}^2 - df_{null}) / (\chi_{model}^2 df_{model})}{(\chi_{null}^2 - df_{model})}$$

แม้ว่าการปรับแก้จำนวน degree of freedom จะแก้ปัญหาการประมาณค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริง แต่ค่าของ NNFI ที่โดยปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 นั้นอาจจะเป็นไปได้ว่าจะมีค่าต่ำกว่า 0 และมีค่าเกิน 1 ค่าของ NNFI ถ้าหากมีค่าเกินกว่า 0.9 แปลได้ว่าโมเดลตามสมมติฐานสอดคล้องกับข้อมูล

Bollen (1989) เสนอ incremental fit index (IFI) มีพิสัยระหว่าง 0 ถึง 1 ค่ายิ่งสูงยิ่งบ่งบอกถึงความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล มีสมการคือ

$$IFI = \frac{\chi_{\text{null}}^2 - \chi_{\text{model}}^2}{\chi_{\text{null}}^2 - df_{\text{model}}}$$

Bentler (1990) ได้เสนอ comparative fit index (CFI) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของ noncentral χ^2 distribution) ดัชนี CFI มีพิสัยอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากมีค่าสูงถึง 0.9 แปลได้ว่าโมเดลตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูล มีสมการคือ

$$CFI = 1 - \left[\frac{\chi_{\text{model}}^2 - df_{\text{model}}}{\chi_{\text{null}}^2 - df_{\text{null}}} \right]$$

Marsh และเพื่อน (1988) ได้เสนอ relative fit index (RFI) นิยามได้ว่า

$$RFI = \frac{(\chi_{\text{null}}^2 - \chi_{\text{model}}^2) - [df_{\text{null}} - (df_{\text{model}} / n)]}{\chi_{\text{null}}^2 - (df_{\text{null}} / n)}$$

RFI มีพิสัยอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้ามีค่าสูงถึง 0.9 แปลได้ว่าโมเดลตามทฤษฎีมีความสอดคล้องกับข้อมูล

ท้ายที่สุด Cudeck และ Browne (1983) ได้เสนอแนะว่าให้ใช้วิธี Cross-Validation เป็นดัชนีสำหรับเปรียบเทียบโมเดล โดยปกติ Cross-Validation จะต้องใช้กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Calibration sample และกลุ่ม Validation sample จากนั้นนำทั้งสองกลุ่มมาประเมินโดยดูความไม่สอดคล้องระหว่างเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของทั้งสองกลุ่ม โดยใช้ The expected value of the cross-validation index (ECVI) ถ้าหากมีความสอดคล้องกันมากหรือค่าดัชนี ECVI มีค่าน้อย แสดงว่าโมเดลมีความเหมาะสมกับข้อมูลคือมี Cross-Validate ต่อกลุ่มอื่น ๆ

8.3 ดัชนีแสดงความประหยัด (Parsimonious Fit)

ดัชนีแสดงความประหยัดเป็นการแสดงความเหมาะสมของต้นทุน (cost-benefit) ดังเช่น James และเพื่อน (1982) ได้เสนอ The parsimonious normed fit index (PNFI) ซึ่งเป็นดัชนีที่ปรับแก้จาก NFI ดัชนี PNFI คำนวณได้จาก

$$PNFI = \frac{df_{\text{model}}}{df_{\text{null}}} \times NFI$$

ทำนองเดียวกับ The parsimonious goodness-of-fit index (PGFI) ที่ปรับแก้จาก GFI คำนวณได้จาก

$$PGFI = 1 - \left(\frac{P}{N} \right) \times GFI$$

เมื่อ P คือ จำนวนของพารามิเตอร์ที่ถูกประมาณค่าในโมเดล และ

N คือ จำนวนชุดข้อมูล

ทั้ง PNFI และ PGFI จะมีพิสัยอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าค่ายิ่งสูงบ่งบอกถึงความประหยัต์มาก ค่าสูงในที่นี้ไม่มีเกณฑ์กำหนดว่าเท่าไร แต่โดยทั่วไปจะยึดที่ 0.9 เป็นจุดที่บ่งบอกถึงความประหยัต์ของโมเดล

นอกจากนี้ยังมีดัชนีอื่น ๆ ที่โปรแกรม LISREL แสดงผลออกมาคือ

- non-centrality parameter (NCP) เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความเที่ยงตรงของโมเดล ถ้า NCP มีค่าน้อยแสดงว่าโมเดลมีความเที่ยงตรง
- population discrepancy function (FO) เป็นการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการที่โมเดลนั้นใช้ไม่ได้กับกลุ่มประชากร ถ้ามีค่ามากจนกระทั่งปฏิเสธสมมติฐานแสดงว่ารูปแบบตามทฤษฎีไม่สอดคล้องกับข้อมูล
- rootmean square error off approximation (RMSEA) เป็นสูตรที่พัฒนามาจากปัญหาที่ว่าเมื่อเพิ่มพารามิเตอร์อิสระทำให้ค่าสถิติมีค่าลดลงเพราะค่าสถิตินี้ขึ้นอยู่กับ df ถ้า RMSEA มีค่ามากจนกระทั่งปฏิเสธสมมติฐานแสดงว่ารูปแบบตามทฤษฎีไม่สอดคล้องกับข้อมูล
- CN เป็นขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่จะทำให้ค่าไคสแควร์ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

9. การวิเคราะห์ส่วนเหลือเหลือหรือความคลาดเคลื่อน (Fitted Residuals Matrix)

โปรแกรมแสดงส่วนเหลือมาตรฐานในรูปของแผนภาพ 2 ชนิดคือ Stem and leaf plot และ Q-plot โมเดลที่มีลักษณะที่ดีจะมี Stem and leaf plot เป็นลักษณะสมมาตร และมีการกระจุกตัวอยู่ตรงกลางแถว ๆ ศูนย์ และจะมีอยู่น้อยบริเวณหาง ถ้าหากมีค่ากระจายไปทางบวกหรือลบมากอาจจะเป็นไปได้ว่ามีการประมาณค่าสูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงก็ได้ ส่วน Q-plot โมเดลที่ดีจะมีลักษณะของจุดที่อยู่แน่นในบริเวณของเส้น 45 องศา ถ้าเบี่ยงเบนไปจากนี้จะบ่งชี้ถึงความคลาดเคลื่อนเฉพาะ (specification errors) ในโมเดล บ่งชี้ถึงความไม่เป็นโค้งปกติของตัวแปร (nonnormality) หรือความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างตัวแปร (nonlinear) ถ้ามีค่าสุดโต่ง (outlier) ใน Q-plot บ่งชี้ถึงการเกิด specification error ค่าส่วนเหลือมาตรฐานที่มีค่ามากกว่า 2.58 เป็นตัวบ่งชี้ว่าโมเดลนั้นไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

10. ดัชนีการปรับโมเดล (Model Modification Index) จะเป็นการวัดที่สัมพันธ์กับ

พารามิเตอร์คงที่และพารามิเตอร์อิสระของโมเดล ดัชนีการปรับโมเดลจะเป็นการทำนายค่าที่ลดลงของ χ^2 ถ้าพารามิเตอร์กำหนดหรือคงที่ตัวหนึ่งถูกทำให้เป็นอิสระ เมื่อดำเนินการแก้ไขพารามิเตอร์แล้วประมาณค่าใหม่จะมีผลให้โมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลมากขึ้น ดังนั้นดัชนีการปรับโมเดลจะเท่ากับผลต่างของค่าไคสแควร์ระหว่าง 2 โมเดล คือโมเดลแรกจะมีพารามิเตอร์ตัวหนึ่งเป็นพารามิเตอร์กำหนดหรือคงที่กับอีกโมเดลหนึ่งที่มีพารามิเตอร์ตัวนั้นเป็นพารามิเตอร์อิสระ

ดังนั้นดัชนีการปรับโมเดลที่มีค่ามากแสดงว่าพารามิเตอร์นั้นมีส่วนช่วยให้โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเมื่อถูกกำหนดให้เป็นอิสระ

ดัชนีการปรับโมเดลจะเกี่ยวข้องกับค่าคาดหวังของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ (expected parameter change : EPC) ซึ่งจะบ่งบอกถึงความเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ที่คาดหวังว่าจะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางบวกหรือลบเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ตัวหนึ่งให้เป็นอิสระ

เมื่อดำเนินการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันแล้วผลปรากฏว่า ไม่มีความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูล ผู้วิจัยสามารถหาวิธีการเพื่อแก้ไขโมเดลได้ โดยอาจปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่เป็น

พารามิเตอร์อิสระให้เป็นพารามิเตอร์คงที่ หรือปรับแก้ค่าพารามิเตอร์คงที่ให้เป็นพารามิเตอร์อิสระ โปรแกรมคอมพิวเตอร์มีประโยชน์มากในการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ได้ตลอดเวลา

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างนี้ ปรากฏว่า โมเดลตามทฤษฎีไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เนื่องจากการทดสอบ χ^2 มีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2 = 52.62$, $df = 24$, $p = 0.00$) นอกจากนี้ ค่าสถิติตัวอื่น ๆ เช่น $GFI = 0.93$, $AGFI = 0.87$ และ $RMR = 0.075$ ยังบ่งบอกถึงโมเดลตามทฤษฎีไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และผลของดัชนีการปรับโมเดลปรากฏว่า โปรแกรมกำหนดให้ปรับเปลี่ยนที่เมตริก $TD(8,7)$ จึงทำการปรับเมตริก TD ดังนี้

$$TD = \begin{bmatrix} * & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & * & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & * & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & * & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & * & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & * & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & * & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & * & * & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & * \end{bmatrix}$$

และเขียนคำสั่งเพื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LISREL ใหม่ได้ดังนี้

```
NINE PSYCHOLOGICAL VARIABLES-A CONFIRMATORY FACTOR ANALYSIS
DA NI=9 NO=145 MA=KM
LA
VIS-PERC CUBES LOZENGES PAR-COMP SEN-COMP WORDMEAN
ADDITION COUNTDOT S-C-CAPS
KM
1.000
0.318 1.000
0.436 0.419 1.000
0.335 0.234 0.323 1.000
0.304 0.157 0.283 0.722 1.000
0.326 0.195 0.350 0.714 0.685 1.000
0.116 0.057 0.056 0.203 0.246 0.170 1.000
0.314 0.145 0.229 0.095 0.181 0.113 0.585 1.000
0.489 0.239 0.361 0.309 0.345 0.280 0.408 0.512 1.000
MO NX=9 NK=3 PH=ST TD=FU,FI
```

FR TD(1,1) TD(2,2) TD(3,3) TD(4,4) TD(5,5) TD(6,6) TD(7,7) TD(8,8) TD(9,9)
 FR TD(8,7)
 LK
 VISUAL VERBAL SPEED
 PA LX
 3(1 0 0) 3(0 1 0) 3(0 0 1)
 OU SE TV MI

เมื่อวิเคราะห์ใหม่ปรากฏว่าการทดสอบ χ^2 มีค่าต่ำจนไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าสถิติตัวอื่น ๆ อย่าง GFI, AGFI, และ RMR ก็มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แสดงว่าโมเดลตามทฤษฎีสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

การนำผลลัพธ์ที่ได้มานำเสนอในตาราง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เราจะใช้ค่าของ Lambda-X เป็นค่าน้ำหนักองค์ประกอบ

ผลลัพธ์ค่า Lambda-X ที่ได้จากการวิเคราะห์

	LAMBDA-X		
	VISUAL	VERBAL	SPEED
	-----	-----	-----
VIS-PERC	.71	--	--
	(.09)		
	8.08		
CUBES	.49	--	--
	(.09)		
	5.37		
LOZENGES	.65	--	--
	(.09)		
	7.44		
PAR-COMP	--	.87	--
		(.07)	
		12.36	
SEN-COMP	--	.83	--
		(.07)	
		11.63	

WORDMEAN	--	.82 (.07)	--
		11.50	
ADDITION	--	--	.42 (.09) 4.56
COUNTDOT	--	--	.53 (.09) 5.56
S-C-CAPS	--	--	.97 (.12) 8.29

นำค่า Lambda-X มาเสนอในตารางได้ดังนี้

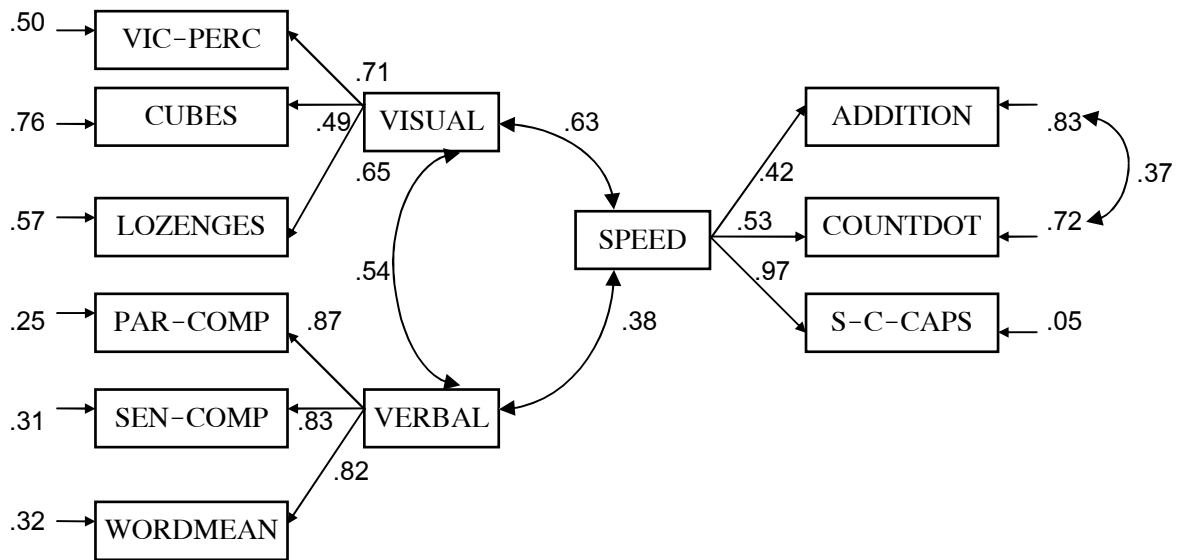
ตาราง 2 ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ และสัมประสิทธิ์การทำนายของตัวแปรสังเกต

ตัวแปรสังเกต	VISUAL PERCEPTION		VERBAL ABILITY		SPEED		R ²
	สัมประสิทธิ์		สัมประสิทธิ์		สัมประสิทธิ์		
	น้ำหนัก	องค์ประกอบ	น้ำหนัก	องค์ประกอบ	น้ำหนัก	องค์ประกอบ	
1. VIS-PERC	.71**	.09	-	-	-	-	.50
2. CUBES	.49**	.09	-	-	-	-	.24
3. LOZENGES	.65**	.09	-	-	-	-	.43
4. PAR-COMP	-	-	.87**	.07	-	-	.75
5. SEN-COMP	-	-	.83**	.07	-	-	.69
6. WORDMEAN	-	-	.82**	.07	-	-	.68
7. ADDITION	-	-	-	-	.42**	.09	.17
8. COUNTDOT	-	-	-	-	.53**	.09	.28
9. S-C-CAPS	-	-	-	-	.97**	.12	.95

$$\chi^2 = 28.78, df = 23, p = 0.19, GFI = 0.96, AGFI = 0.92, RMR = 0.044$$

** p < .01

จากตารางข้างต้น ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของตัวแปรที่สังเกตได้ 9 ตัวแปร เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักองค์ประกอบพบว่า ตัวแปรที่สังเกตได้ตัวที่ 1 ถึง 3 มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบ Visual Perception ตัวแปรที่สังเกตได้ตัวที่ 4 ถึง 6 มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบ Verbal Ability และตัวแปรที่สังเกตได้ตัวที่ 7 ถึง 9 มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบ Speed และผลการทดสอบโมเดลได้ค่า $\chi^2 = 28.78$, $df = 23$, $p = 0.19$, $GFI = 0.96$, $AGFI = 0.92$ และ $RMR = 0.044$ สรุปได้ว่าโมเดลตามทฤษฎีมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์



ภาพประกอบ 5 โมเดลตามทฤษฎีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสำหรับแบบทดสอบทั้ง 9 ฉบับ

สรุป

ขอสรุปด้วยตารางเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจกับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของ Stevens (1996) ดังนี้

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ	การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน
1. อยู่บนพื้นฐานของจุดอ่อนในการค้นคว้าเอกสาร	1. อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีที่มีผู้วิจัยไว้แล้ว
2. ใช้ตัดสินเกี่ยวกับจำนวนขององค์ประกอบ	2. จำนวนขององค์ประกอบถูกกำหนดไว้แล้ว
3. ใช้ตัดสินเกี่ยวกับความสัมพันธ์หรือความสัมพันธ์ขององค์ประกอบ	3. องค์ประกอบถูกกำหนดให้สัมพันธ์กันหรือไม่สัมพันธ์กัน
4. ตัวแปรจะถูกบรรจุอย่างอิสระในทุกองค์ประกอบ	4. ตัวแปรถูกกำหนดให้สัมพันธ์ในองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่ง



หมายเหตุ : บทความนี้ปรับปรุงจาก

นัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์. "การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน," ใน วารสารการวัดผลการศึกษา.

สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

20(59) : กันยายน - ธันวาคม, 2541. หน้า 27 - 42

บรรณานุกรม

นงลักษณ์ วิรัชชัย. ความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้น (LISREL) : สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทาง

สังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ส.วาสนา ประवालพฤกษ์. การวิเคราะห์องค์ประกอบ. กรุงเทพฯ : ภาควิชาการวัดผลและวิจัยการศึกษา

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ม.ป.ป.

Friendly Micheal. Planning a Factor Analytic study.

URL <http://www.yorku.ca/dept/psych/lab/psy6140/fa/facplan.htm/>

Joreskog Karl G. and Sorbom Dag. LISREL 7 : A Guide to the Program and Applications.

Illinois : SPSS Inc., 1989.

Lewis-Beck Michael S. Factor Analysis & Related Techniques. Singapore : SAGE

Publications, Inc., 1989.

Multivariate Statistics : Factor Analysis.

URL <http://trochim.human.cornell.edu/turotial/flynn/factor.htm/>

Stapleton Connie D. Basic Concepts and Procedure of Confirmatory Factor Analysis.

URL <http://ericae.net/ft//tamu/Cfa.HTM/>

Stapleton Connie D. Basic Concepts in Exploratory Factor Analysis (EFA) as a Tool to

Evaluate Score Validity : A Right-Brained Approach.

URL <http://ericae.net/ft//tamu/Efa.htm/>

What is factor analysis?.

URL <http://as60016.pc.nus.sg/swk/courses/pl3201/factor/intro.htm>