

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน CONFIRMATORY FACTOR ANALYSIS

เสรี ชัดแจ้ง

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (*confirmatory factor analysis: CFA*) เป็นส่วนหนึ่งของโมเดลสมการโครงสร้าง (*structural equation modeling: SEM*) แนวคิดในการนำ *CFA* มาใช้วิเคราะห์คุณภาพของเครื่องมือวัดทางจิตวิทยา ได้แก่ การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง การประมาณค่าความเที่ยง และการตรวจสอบความไม่แปรเปลี่ยนของโครงสร้างองค์ประกอบเมื่อนำไปใช้ต่างกลุ่ม โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ *CFA* เช่น *LISREL*, *EQS* และ *AMOS* เป็นต้น ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ควรวัดเป็นค่าต่อเนื่องและมีจำนวนมากพอ มีข้อตกลงเบื้องต้นคือข้อมูลทุกตัวควรมีการแจกแจงแบบปกติ เทอมความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันได้ กลุ่มตัวอย่างควรมีการแจกแจงแบบเชิงเส้นกำกับ และตัวแปรสังเกตได้ต้องไม่มีความสัมพันธ์กันสูง ขั้นตอนการวิเคราะห์ *CFA* ประกอบด้วย การกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดล การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล การประมาณค่าพารามิเตอร์ และการประเมินความสอดคล้องของโมเดล ดัชนีที่ใช้ประเมินความสอดคล้องของโมเดล ได้แก่ ค่าสถิติ *chi-square*, *relative chi-square*, *nested chi-square*, *GFI*, *AGFI*, *CFI*, *Standardized RMR*, และ *RMSEA* วิธีการ *CFA* แม้มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับนักพัฒนาแบบทดสอบในการตรวจสอบเพื่อยืนยันองค์ประกอบตามทฤษฎีของเครื่องมือวัดทางจิตวิทยา แต่ *CFA* ก็มีความเสี่ยงที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ II

ความนำ

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อแนะนำการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในหัวข้อต่าง ๆ 7 เรื่อง ได้แก่ แนวคิดในการนำการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันไปใช้วิเคราะห์เครื่องมือวัดทางจิตวิทยา คำศัพท์ที่ใช้ในโปรแกรมลิสเรล ลักษณะข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ข้อมูล หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมลิสเรลและ แนวทางการนำวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันไปใช้ด้านการวัดทางจิต โดยเน้นให้ผู้อ่านเข้าใจผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันด้วยโปรแกรมลิสเรลที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (confirmatory factor analysis: CFA) เป็นส่วนหนึ่งของ เรืองโมเดลสมการโครงสร้าง (structural equation modeling: SEM) ซึ่งกำลังเข้ามาแทนที่การวิเคราะห์ องค์ประกอบเชิงสำรวจ (exploratory factor analysis: EFA) ดังคำกล่าวของเฮิร์ชเบอร์เกอร์ (Hershberger, 2003) ที่ว่า “ วันของวิธี EFA ซึ่งเคยเป็นวิธีการหลักของนักวัดทางจิตได้ผ่านไปแล้ว อาจกล่าวได้ว่าขณะนี้วิธี EFA กำลังเข้าสู่ช่วงปลายของอายุ ในขณะที่ SEM กำลังเริ่มเข้าสู่วัยผู้ใหญ่ และยังมีการพัฒนาต่อไปอีก” เนื่องจากวิธี CFA สามารถนำไปใช้ตรวจสอบโครงสร้างองค์ประกอบ ของเครื่องมือวัดทางจิตวิทยาได้ละเอียดกว่าวิธี EFA จึงมีการนำวิธี CFA ไปใช้พัฒนาเครื่องมือวัดทาง จิตวิทยากันอย่างกว้างขวางหลายแง่มุม

ปัจจุบันมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้วิเคราะห์ CFA ได้หลายโปรแกรม เช่น LISREL EQS AMOS เป็นต้น ซึ่งในจำนวนนี้โปรแกรมลิสเรล (LISREL) สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ หลากหลายรูปแบบ เพียงแต่ผู้ใช้ต้องมีความรู้ความเข้าใจเรื่องการใช้โปรแกรมพอสมควร จึงจะ สามารถใช้โปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากโปรแกรมใช้สัญลักษณ์ภาษากรีกและส่วนใหญ่ เตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ในรูปเมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรประกอบกับตัวแปรส่วนมาก ใช้สัญลักษณ์ภาษากรีก ดังนั้น ผู้เขียนจึงได้อธิบายสัญลักษณ์ภาษากรีกบางคำที่ใช้ในบทความและ ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมลิสเรล

แนวคิดในการนำ CFA ไปใช้วิเคราะห์เครื่องมือวัดทางจิตวิทยา

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันช่วยให้สามารถศึกษาเรื่องการพัฒนาเครื่องมือวัดทาง จิตวิทยาได้อย่างน้อย 3 ประเด็นดังนี้

1.วิธี CFA สนับสนุนการใช้ทฤษฎีเป็นแนวทางในการศึกษาความตรงเชิงโครงสร้าง (construct validity) (คุณสมบัติของเครื่องมือที่ให้ผลการวัดสอดคล้องกับคุณลักษณะที่มุ่งวัดในทาง

ทฤษฎี) ผู้วิจัยสามารถตรวจสอบว่าคำถามแต่ละข้อในเครื่องมือใช้วัดได้ตรงตามองค์ประกอบของทฤษฎีที่คาดหวังไว้หรือไม่ ผู้วิจัยอาจกำหนดให้คำถามแต่ละข้อวัดได้มากกว่าหนึ่งองค์ประกอบ แล้วใช้สถิติวัดความสอดคล้องของโมเดลตรวจสอบว่า โมเดลองค์ประกอบที่กำหนดไว้สอดคล้องกับข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้หรือไม่ หรืออาจกล่าวได้ว่าข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้เป็นไปตามองค์ประกอบของโมเดลที่กำหนดไว้หรือไม่ คล้าย ๆ กับวิธีการตรวจสอบความตรงเชิงลู่เข้า (convergent validity) และความตรงเชิงจำแนก (divergent validity) แบบดั้งเดิม ซึ่งผู้วิจัยต้องสร้างข้อคำถามในแบบทดสอบตามคุณลักษณะของทฤษฎี แล้วตรวจสอบว่าข้อคำถามวัดตามทฤษฎีที่คาดหวังไว้หรือไม่ คุณลักษณะใดในทฤษฎีควรสัมพันธ์กันสูง และคุณลักษณะใดควรสัมพันธ์กันต่ำ เมื่อใช้วิธีวัดต่างชนิดกัน ในวิธี CFA มีสถิติวัดความสอดคล้องของโมเดลสำหรับเสนอแนะว่า โมเดลองค์ประกอบสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ ในความเป็นจริงแล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างข้อคำถามกับองค์ประกอบตามทฤษฎีก็คือความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงประจักษ์ (ความแปรปรวนร่วมของข้อคำถาม) นั่นเอง นอกจากนี้ สถิติวัดความสอดคล้องของโมเดลและค่าสถิติอื่น ๆ ยังช่วยเสนอแนะว่า ข้อคำถามที่สร้างขึ้นวัดองค์ประกอบที่กำหนดไว้หรือไม่ องค์ประกอบต่างๆ ของทฤษฎีสัมพันธ์กันหรือไม่ มีขนาดความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใด

2. วิธี CFA ใช้ในการประมาณค่าความเที่ยง (reliability) ของเครื่องมือวัดทางจิต เช่น ความเที่ยงแบบความคงที่ภายใน ความเที่ยงแบบสอบซ้ำ เป็นต้น การใช้วิธี CFA ประมาณค่าความเที่ยงแบบความคงที่ภายในแตกต่างไปจากวิธีการประมาณค่าความเที่ยงแบบดั้งเดิม ดังเช่น วิธีการของคูเดอร์-ริชาร์ดสันหรือวิธีการของครอนบาค กล่าวคือ วิธี CFA จัดความคลาดเคลื่อนในการวัด (measurement error) ออกจากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้ผลการประมาณค่าความเที่ยงของเครื่องมือถูกต้องมากขึ้น ส่วนการใช้วิธี CFA ประมาณค่าความเที่ยงแบบสอบซ้ำเป็นการตรวจสอบความคงที่ของค่าน้ำหนักองค์ประกอบและค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด เมื่อเก็บข้อมูลต่างเวลากันหรือเป็นช่วงเวลา

3. วิธี CFA ใช้เปรียบเทียบโครงสร้างองค์ประกอบของเครื่องมือระหว่างกลุ่มประชากรตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไปพร้อมๆ กันได้ เป็นการตรวจสอบว่าโครงสร้างองค์ประกอบของเครื่องมือคงที่หรือไม่ เมื่อนำไปใช้กับกลุ่มประชากรที่แตกต่างกัน เพื่อยืนยันว่าโครงสร้างองค์ประกอบหรือคุณลักษณะที่วัดในแต่ละกลุ่มประชากรเป็นองค์ประกอบเดียวกันหรือไม่ (Bollen, 1989) เช่น ถ้าต้องการรู้ว่าการวัดกลุ่มประชากรต่างประเทศ จะทำให้โครงสร้างองค์ประกอบของเครื่องมือแตกต่างกันหรือไม่ ผู้วิจัยสามารถใช้วิธี CFA ตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงหรือความไม่แปรเปลี่ยน (invariance) ของโครงสร้างองค์ประกอบระหว่างกลุ่มประชากรต่างประเทศ ในกรณีที่ตัวแปรทุกตัวในโมเดลและโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในโมเดลทั้งสองเป็นแบบเดียวกัน กล่าวคือเมทริกซ์

พารามิเตอร์ของโมเดลทั้งสองเหมือนกัน มีขนาดเท่ากันและสถานะของพารามิเตอร์ในเมทริกซ์ (กำหนดหรืออิสระ) เหมือนกัน โดยไม่จำเป็นต้องมีค่าพารามิเตอร์เท่ากัน (Bollen, 1989) แสดงว่า โครงสร้างองค์ประกอบของเครื่องมือในกลุ่มประชากรทั้งสองเหมือนกัน เครื่องมือนั้นเหมาะที่จะนำไปใช้กับกลุ่มประชากรทั้งสอง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการสร้างปกติวิสัยของแบบทดสอบหรือแบบวัดมาตรฐาน

คำศัพท์ที่ใช้ในโปรแกรมลิสเรล

ก่อนที่จะกล่าวถึงลักษณะข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์และข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ จำเป็นต้องกล่าวถึงคำศัพท์บางคำที่ใช้ในวิธี CFA คำศัพท์เหล่านี้เป็นคำที่ใช้อยู่แล้วในโมเดลสมการโครงสร้าง แต่ในที่นี้ต้องการเน้นความหมายในบริบทของวิธี CFA

1. ตัวแปรแฝง (latent variables)

วิธี CFA นิยมเรียกองค์ประกอบ (factors) เป็นตัวแปรวัดค่าโดยตรงไม่ได้ (unmeasured variables) หรือตัวแปรแฝง (latent variables) เพราะว่าผู้วิจัยไม่สามารถวัดหรือสังเกตค่าได้โดยตรง ในความเป็นจริงแล้ว ตัวแปรแฝงก็คือปริมาณของภาวะสันนิษฐานทางทฤษฎีที่ผู้วิจัยคาดการณ์ว่าเป็นสาเหตุของข้อคำถามหรือกลุ่มข้อคำถามที่มีค่าแน่นอน (certain value) (DeVellis, 1991) ในโปรแกรมลิสเรลตัวแปรแฝงเขียนแทนด้วยตัวอักษรกรีกพิมพ์เล็ก ξ (xi) ในรูปวงกลมหรือวงรี ดังแผนภาพ 1 และตัวอักษรกรีกที่ใช้ในโปรแกรมลิสเรลแสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 ตัวอักษรกรีกที่ใช้ในโปรแกรมลิสเรล

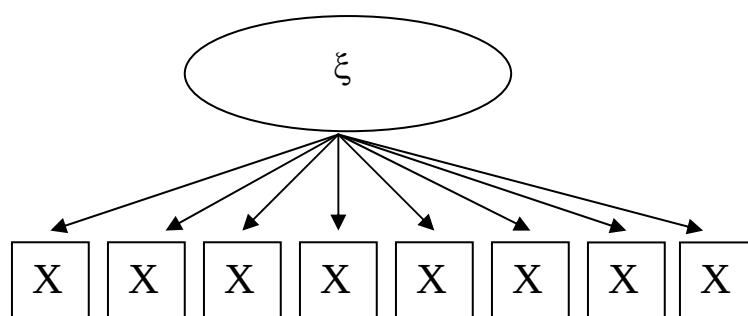
ตัวแปร/พารามิเตอร์	ตัวอักษรกรีก	คำอ่าน
ตัวแปรแฝงหรือองค์ประกอบ	ξ	xi (ซาย)
เศษเหลือหรือความคลาดเคลื่อนในการวัด	δ	delta (เดลต้า)
สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ	ϕ	phi (ฟี)
น้ำหนักองค์ประกอบ	λ	lambda (แลมด้า)

2. ตัวแปรสังเกตได้ (observed variables)

วิธี CFA ใช้คำว่า ตัวแปรสังเกตได้ (observed variables) เมื่อกล่าวถึงข้อคำถามในเครื่องมือ เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถวัดหรือสังเกตอิทธิพลของตัวแปรแฝง (องค์ประกอบ) ได้โดยตรง ต้องวัด

หรือสังเกตอิทธิพลของตัวแปรแฝงจากพฤติกรรมการแสดงออกของบุคคล เช่น คะแนนที่ได้จากแบบวัดหรือแบบสอบถาม เป็นต้น ในวิธี CFA นิยมเรียกตัวแปรสังเกตได้ว่า ตัวบ่งชี้ (indicators) เพราะสามารถชี้บ่งถึงความมีอยู่จริงของตัวแปรแฝงได้

การกำหนดตัวแปรสังเกตได้ในแผนภาพคือ เขียนแทนด้วยตัวอักษรโรมันพิมพ์ใหญ่ (X) ลงในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังในแผนภาพ 1 เมื่อผู้วิจัยกล่าวถึงตัวแปรสังเกตได้ 8 ตัว ตัวแปรสังเกตได้ทั้ง 8 ตัวเป็นตัวบ่งชี้ของตัวแปรแฝง (ξ) แสดงว่า ในทางทฤษฎีตัวแปรสังเกตได้เหล่านี้มีน้ำหนักบนองค์ประกอบ (ξ) เมื่อพิจารณาจากแผนภาพ 1 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงกับตัวแปรสังเกตได้แทนด้วยรูปหัวลูกศรชี้ตรงไปยังตัวแปรสังเกตได้ แสดงว่า ตัวแปรแฝงเป็นสาเหตุของตัวแปรสังเกตได้

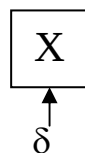


แผนภาพ 1 ตัวแปรแฝง (ξ) 1 ตัว กับตัวแปรสังเกตได้ 8 ตัว

3. เศษเหลือ (residuals)

ทฤษฎีการสอบแบบดั้งเดิม (classical test theory) กล่าวถึงคะแนนสังเกตได้ (observed score) ซึ่งเป็นคะแนนที่ได้จากข้อสอบหรือข้อคำถามที่ใช้แทนคะแนนจริง (true score) หรือปริมาณของตัวแปรแฝงรวมกับความคลาดเคลื่อนในการวัด ในการวิเคราะห์สมการถดถอย คะแนนเศษเหลือ (residual score) ก็คือ ความคลาดเคลื่อนในการวัดซึ่งใช้แทนสิ่งที่ทำให้ผลการวัดไม่ถูกต้อง

วิธี CFA ใช้คำว่า เศษเหลือ เมื่อกล่าวถึงคะแนนเศษเหลือหรือความคลาดเคลื่อนในการวัด ในแผนผัง CFA เขียนแทนเศษเหลือด้วยตัวอักษรกรีกพิมพ์เล็ก δ (delta) ตามหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบเศษเหลือ หมายถึง องค์ประกอบเฉพาะ (unique factors) (Long, 1983) เพราะในกระบวนการวัดผู้วิจัยทำให้เศษเหลือเป็นค่าเดียวและไม่สัมพันธ์กับตัวแปรแฝง ในแผนภาพ 2 แสดงเศษเหลือของตัวแปร สังเกตได้ จะสังเกตว่า มีรูปหัวลูกศรจากเศษเหลือชี้ตรงไปยังตัวแปรสังเกตได้ (X_i) แสดงว่า เศษเหลือมีอิทธิพลต่อตัวแปรสังเกตได้



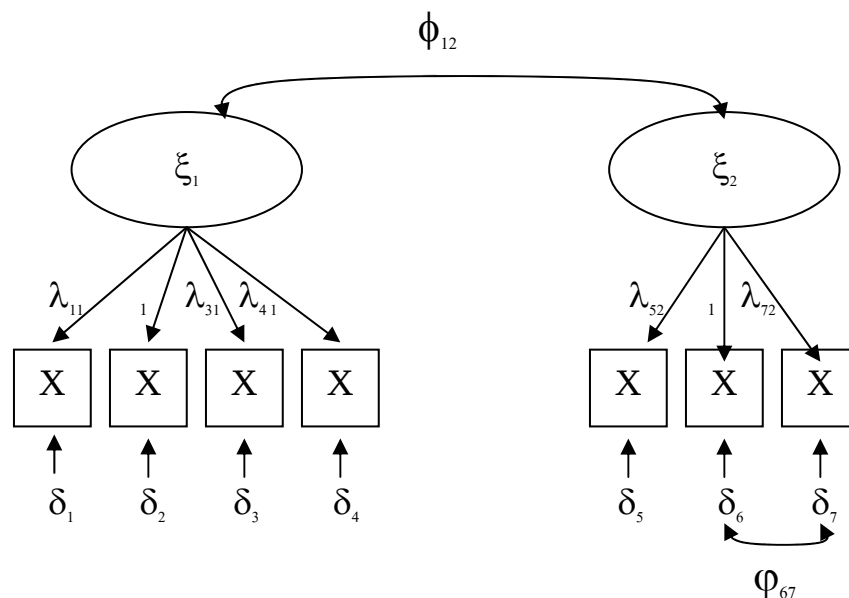
แผนภาพ 2 ตัวแปรสังเกตได้ 1 ตัว กับเศษเหลือ 1 ตัว

วิธี CFA สามารถประมาณค่าเศษเหลือได้ ซึ่งผู้วิจัยตีความหมายเป็นการชี้บ่งความเที่ยง (reliability) ของตัวแปรสังเกตได้หรือข้อคำถาม

4. พารามิเตอร์ (parameters)

วิธี CFA สามารถประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์หรือตัวแปรต่างๆ ในโมเดล และค่าเศษเหลือได้ทุกค่า ผู้วิจัยอาจคาดการณ์ว่า ตามทฤษฎีแล้วตัวแปรแฝง (องค์ประกอบ) สัมพันธ์กัน หรือความคลาดเคลื่อนในการวัดสัมพันธ์กันได้ นอกจากนี้ยังอาจตั้งสมมติฐานว่าตัวแปรสังเกตได้ตัวใดเป็นตัวบ่งชี้ขององค์ประกอบใด ก็ได้

ความสัมพันธ์เหล่านี้จะเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างเชิงเส้นตรง (เส้นทาง) ในโมเดล องค์ประกอบโปรแกรมลิสเรลใช้ตัวอักษรกรีกจำแนกประเภทของพารามิเตอร์ตามเส้นทางในโมเดล เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝง (องค์ประกอบ) 2 ตัว แทนด้วยพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ϕ (phi) (เขียนแทนด้วยเส้นโค้งรูปลูกศร 2 หัว) ความสัมพันธ์ระหว่างเศษเหลือ (ความคลาดเคลื่อนในการวัด) แทนด้วยพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ψ (theta: อ่านว่า เซต้า) (เขียนแทนด้วยเส้นโค้งรูปลูกศร 2 หัว) และน้ำหนักองค์ประกอบ แทนด้วยตัวอักษรกรีกพิมพ์เล็ก λ (lambda) ในแผนภาพ 3 แสดงโมเดล 2 องค์ประกอบ (ξ_1 และ ξ_2) กับตัวแปรสังเกตได้ 7 ตัว (X_1 ถึง X_7) และเศษเหลือ 7 ตัว (δ_1 ถึง δ_7) ตัวแปรแฝง 2 ตัว สัมพันธ์กัน (ϕ_{12}) และเศษเหลือตัวที่ 6 กับตัวที่ 7 สัมพันธ์กัน (ψ_{67})



แผนภาพ 3 โมเดล 2 องค์ประกอบที่สัมพันธ์กัน ความความเคลื่อนในการวัดของคำถามข้อที่ 6 กับข้อที่ 7 สัมพันธ์กัน และตัวแปร X_2 กับตัวแปร X_6 เป็นตัวบ่งชี้อ้างอิง

พารามิเตอร์จำแนกเป็น 2 สถานะ (mode) ได้แก่ กำหนด (fixed) กับ อิสระ (free) พารามิเตอร์กำหนดไม่ต้องประมาณค่า ผู้วิจัยกำหนดให้เป็นค่าเฉพาะค่าใดค่าหนึ่ง อาจกำหนดให้พารามิเตอร์มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน เช่น ผู้วิจัยกำหนดให้พารามิเตอร์ λ (ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ) เท่ากับ 0 ในกรณีที่พารามิเตอร์ตัวนั้นแทนความสัมพันธ์ระหว่างข้อคำถามกับองค์ประกอบและคำถามข้อนั้นไม่มีค่าน้ำหนักบนองค์ประกอบ ในแผนภาพ 3 ไม่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบ λ_{51} เพราะไม่มีทฤษฎีบอกว่า X_5 เป็นตัวบ่งชี้ของตัวแปรแฝง ξ_1 ผู้วิจัยไม่ต้องแสดงพารามิเตอร์ λ_{51} ในแผนภาพ

ในทางปฏิบัติ ผู้วิจัยจะกำหนดให้ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (λ) ของตัวแปรสังเกตได้ที่เป็นตัวบ่งชี้ของตัวแปรแฝงตัวหนึ่งมีค่าเท่ากับ 1.00 จึงทำให้ตัวแปรสังเกตได้ (ตัวบ่งชี้) ตัวนั้นมีฐานะเป็นตัวแปรอ้างอิง (reference variable) เพราะว่าตัวแปรสังเกตได้กับตัวแปรแฝงมีมาตราเดียวกัน (same scale) ดังนั้น ถ้าข้อคำถามของตัวแปรอ้างอิงมีช่วงคะแนนอยู่ระหว่าง 1-5 คะแนน ตัวแปรแฝงจะมีช่วงคะแนนอยู่ระหว่าง 1-5 คะแนนด้วย เมื่อพิจารณาจากแผนภาพ 3 จะเห็นว่า X_2 และ X_6 เป็นตัวแปรอ้างอิงของตัวแปรแฝง ξ_1 กับ ξ_2 ตามลำดับ

โปรแกรมลิสเรลประมาณค่าพารามิเตอร์อิสระในโมเดลองค์ประกอบทุกตัว โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมของตัวบ่งชี้และทดสอบนัยสำคัญทางสถิติค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น

ลักษณะข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันต้องการข้อมูลที่มีลักษณะ ดังนี้

1. ข้อมูลควรวัดเป็นค่าต่อเนื่อง (continuous) และมีลักษณะการแจกแจงเป็นแบบปกติ แต่ในเรื่องนี้โปรแกรมลิสเรล 8.50 มีวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์และการสร้างมาตรฐานให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกประเภท (categorical data) ได้ รวมทั้งมีวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์แบบพิเศษที่มีความแกร่ง (robustness) ต่อการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องลักษณะการแจกแจงข้อมูลเป็นแบบปกติ

2. ควรใช้ข้อมูลจำนวนมาก วิธี CFA ต้องการข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ เนื่องจากผู้วิจัยส่วนมากใช้วิธีการประมาณค่าความเป็นไปได้สูงสุด (maximum likelihood: ML) โดยปกติวิธี ML มีข้อเสนอแนะว่า ควรใช้กลุ่มตัวอย่างอย่างต่ำ 100-200 หน่วยตัวอย่าง หรือกรณีที่ผู้วิจัยต้องการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องมือระหว่างกลุ่มตัวอย่างต่างกลุ่ม กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มควรมี 100-200 หน่วยตัวอย่าง แฟนและแวง (Fan & Wang, 1998) ได้ศึกษาขนาดกลุ่มตัวอย่างในโมเดล 3 องค์ประกอบโดยใช้สถานการณ์จำลอง พบว่า การใช้กลุ่มตัวอย่างขนาด 100-200 หน่วยตัวอย่างอาจได้คำตอบไม่เหมาะสมหรือได้ค่าสถิติที่เป็นไปไม่ได้ เช่น ค่าความแปรปรวนติดลบ เป็นต้น แต่ถ้าใช้กลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 500 หน่วยตัวอย่างขึ้นไป กลับไม่พบค่าที่ไม่เหมาะสม

ในเรื่องขนาดกลุ่มตัวอย่างยังไม่มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัว โบลเลน (Bollen, 1989) ได้เสนอแนะไว้กว้าง ๆ ว่า การประมาณค่าพารามิเตอร์อิสระ 1 ตัว ต้องใช้หลายหน่วยตัวอย่าง ลินเดแมน มีเรนดา และโกลด์ (Lindeman, Merenda, & Gold, 1980) เสนอแนะหลักทั่ว ๆ ไปว่า อัตราส่วนระหว่างจำนวนหน่วยตัวอย่างกับจำนวนพารามิเตอร์หรือตัวแปรควรเป็น 20 : 1 ฮูและเบนท์เลอร์ (Hu & Bentler, 1999) เสนอหลักปฏิบัติในเรื่องนี้ว่า ควรมีจำนวนหน่วยตัวอย่างมากกว่า 15 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์อิสระ ถ้าลักษณะการแจกแจงข้อมูลเป็นแบบปกติพหุนามและความตรง/ความเที่ยงของเครื่องมืออยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนเวสต์และคณะ (West et al., 1995) แนะนำว่า ผู้วิจัยควรตรวจสอบความเบ้และความโด่งของตัวแปรสังเกตได้แต่ละตัว ถ้ามีค่าความเบ้มากกว่า 2.00 และมีค่าความโด่งมากกว่า 7.00 แสดงว่าลักษณะการแจกแจงข้อมูลไม่เป็นแบบปกติ ควรใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้น แต่ในกรณีที่ผู้วิจัยใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่มาก (มากกว่า 1,000 คน) ไม่ต้องห่วงเรื่องลักษณะการแจกแจงข้อมูลไม่เป็นแบบปกติ (Amemiya & Anderson, 1990 cited in Hu & Bentler, 1999)

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังต้องพิจารณาว่า ถ้าโมเดลองค์ประกอบที่ศึกษามีความซับซ้อน (ประมาณค่าพารามิเตอร์หลายตัว) ก็ต้องใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้น

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน มีข้อตกลงเบื้องต้นใหญ่ ๆ 2 ประการดังต่อไปนี้

1. ข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ

วิธี CFA มีข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติทั่ว ๆ ไป 3 ประการดังนี้

1.1 ข้อมูลควรมีลักษณะการแจกแจงเป็นแบบปกติ (normal distributions) มีความเป็นเอกพันธ์ของการกระจาย (homoscedasticity) และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่เป็นแบบเส้นตรง (linear relationships) เนื่องจากการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเป็นการแก้สมการถดถอยหลาย ๆ สมการ นั่นเอง

1.2 โมเดล CFA มีเทอมความคลาดเคลื่อน (error terms) ที่เรียกว่า เศษเหลือ ข้อตกลงเบื้องต้นทั่ว ๆ ไปในเรื่องเทอมความคลาดเคลื่อนมีว่า 1) ต้องไม่สัมพันธ์กับตัวแปรแฝงใด ๆ ในโมเดล 2) เป็นอิสระจากเทอมความคลาดเคลื่อนตัวอื่น ๆ 3) มีลักษณะการแจกแจงเป็นแบบปกติ (Fox, 1984) แต่ปัจจุบันเรื่องข้อมูลมีลักษณะแจกแจงเป็นแบบปกติพหุนาม (multivariate normal) ฝ่าฝืนได้ กรณีที่ใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (Chou & Bentler, 1995) และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลกรณีเทอมความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันได้

1.3 กลุ่มตัวอย่างควรมีการแจกแจงแบบเชิงเส้นกำกับ (asymptotic) กลุ่มตัวอย่างยังมีขนาดใหญ่ยังเข้าใกล้ค่าอนันต์ (Bollen, 1989) กล่าวคือ ค่าสถิติไค-สแควร์มีแนวโน้มที่จะมีค่าสูง ทำให้ค่าสถิติไค-สแควร์มีโอกาสให้ค่านัยสำคัญ ($p \leq .05$) (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542) ซึ่งชี้ว่าโมเดลองค์ประกอบกับข้อมูลเชิงประจักษ์ไม่สอดคล้องกัน ส่วนกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (น้อยกว่า 100 หน่วยตัวอย่าง) มีความน่าจะเป็นที่จะปฏิเสธโมเดลที่ถูกต้อง (true model) มากขึ้น (West et al., 1995) หรืออาจกล่าวได้ว่า การใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กมีความเสี่ยงในการเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ II (type II error) เพิ่มขึ้น

การฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นเหล่านี้อาจทำให้โมเดลองค์ประกอบไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์และอาจทำให้ดัชนีวัดความสอดคล้องให้ค่าไม่คืนัก รวมทั้งผู้วิจัยอาจสรุปโครงสร้างองค์ประกอบไม่ถูกต้อง ทั้ง ๆ ที่ในความเป็นจริงแล้ว โครงสร้างองค์ประกอบนั้นถูกต้อง

2. ข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์

ในบทความนี้จะกล่าวถึงวิธีการประมาณค่าความเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood: ML) เท่านั้น เนื่องจากผู้ใช้วิธี CFA ประมาณค่าพารามิเตอร์แบบนี้มากที่สุด (Chou & Bentler, 1995) เพราะเป็นวิธีที่มีความแข็งแกร่งต่อการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นมากกว่าวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์แบบอื่นๆ (Bollen, 1989; West et al., 1995) วิธี ML มีข้อตกลงเบื้องต้นดังนี้

2.1 ไม่มีข้อคำถามเดียว ๆ หรือข้อคำถามกลุ่มใด อธิบายข้อคำถามอื่นในกลุ่มข้อมูลได้อย่างสมบูรณ์ (Bollen, 1989)

2.2 คะแนนจากข้อคำถามต้องมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติพหุนาม (West et al., 1995)

ข้อตกลงเบื้องต้นข้อแรกแสดงให้เห็นว่า ข้อคำถามในเครื่องมือต้องไม่ซ้ำซ้อนกัน (มีความสัมพันธ์กันสูง) วิธี ML ไม่มีความแข็งแกร่งต่อการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องนี้ ดังนั้น ผู้วิจัยไม่ควรใช้ข้อคำถามที่มีความสัมพันธ์กันตั้งแต่ 0.90 ขึ้นไปประมาณค่าพารามิเตอร์ (Aroian & Norris, 2001)

ส่วนข้อตกลงเบื้องต้นข้อสองเป็นเรื่องที่ปฏิบัติยาก แต่วิธี ML มีความแข็งแกร่งต่อการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องนี้ (Chou & Bentler, 1995) เว้นแต่กรณีใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กและโมเดลมีความซับซ้อน ดังนั้น ผู้วิจัยควรใช้กลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 100-200 หน่วยตัวอย่างขึ้นไป หรือ ในกรณีตรวจสอบเครื่องมือที่มีตั้งแต่ 3 องค์ประกอบขึ้นไป ควรใช้กลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 500 หน่วยตัวอย่างขึ้นไป (Aroian & Norris, 2001)

หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

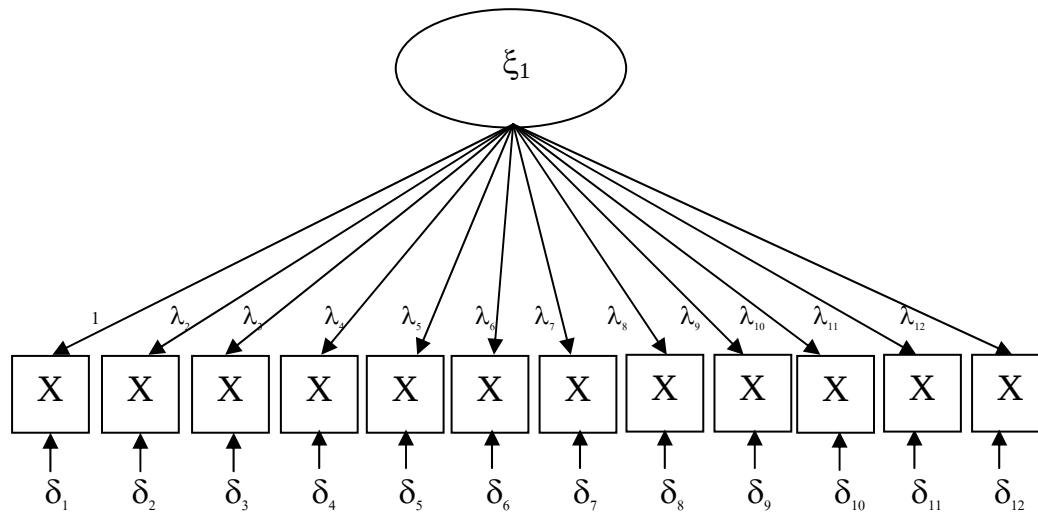
วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันมี 5 ขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดล (Model Specification)

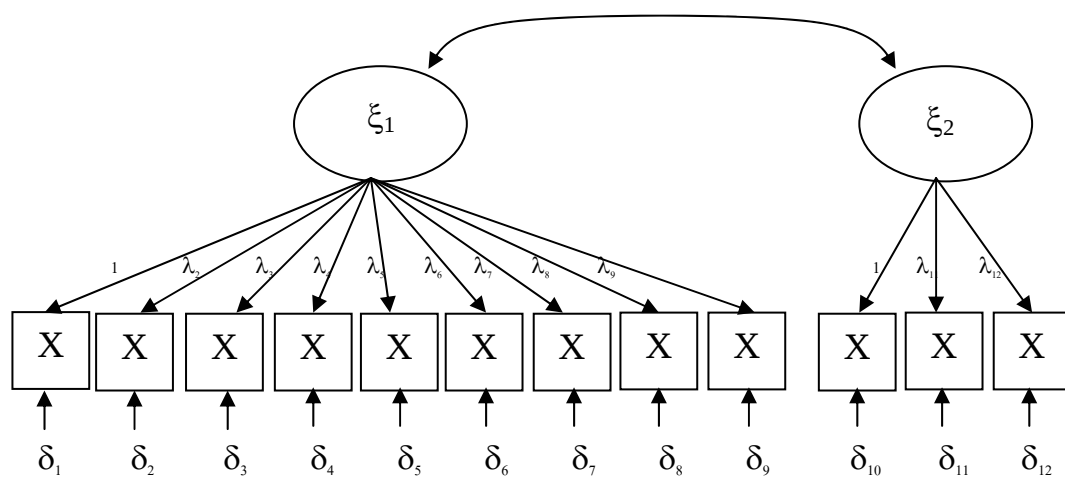
เป็นการกำหนดความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ ในโมเดลองค์ประกอบ ซึ่งเป็นประเด็นที่สำคัญในแผนผังโมเดลองค์ประกอบแสดงด้วยเส้นทางระหว่างตัวแปร ซึ่งใช้แทนสิ่งที่ผู้วิจัยคาดการณ์ไว้ ในทางปฏิบัติผู้วิจัยอาจต้องการศึกษาโมเดลองค์ประกอบหลายโมเดลที่แตกต่างกันไปตามหลักฐานที่นำมาสนับสนุน มุลเลอร์ (Mueller, 1996) ได้เสนอแนะว่า ผู้วิจัยควรสร้างโมเดลทางเลือก (alternative models) ไว้หลาย ๆ โมเดล ก่อนลงมือวิเคราะห์ข้อมูล ดีกว่าวิเคราะห์จากโมเดลเดียว

อโรเรียนและคณะ (Aroian et al., 1997 cited in Aroian & Norris, 2001) ได้ศึกษาโครงสร้างของมาตรวัดความสามารถในการกลับคืนสู่สภาพเดิม (resilience scale) โดยวิเคราะห์โมเดลแบบหนึ่ง

องค์ประกอบกับแบบสององค์ประกอบ การกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลทั้งสองเป็นดังแผนภาพ 5 และ 6



แผนภาพ 5 โมเดล 1 องค์ประกอบของมาตรวัดความสามารถในการกลับคืนสู่สภาพเดิม



แผนภาพ 6 โมเดล 2 องค์ประกอบของมาตรวัดความสามารถในการกลับคืนสู่สภาพเดิม

โมเดลในแผนภาพ 5 มีตัวแปรแฝง (องค์ประกอบ) 1 ตัว ตัวแปรสังเกตได้ 12 ตัว (X_1 ถึง X_{12}) และ เศษเหลือ 12 ตัว (δ_1 ถึง δ_{12}) ส่วนโมเดลในแผนภาพ 6 มีตัวแปรแฝง (องค์ประกอบ) 2 ตัว องค์ประกอบหนึ่งมีตัวแปรสังเกตได้ 9 ตัว (X_1 ถึง X_9) และเศษเหลือ 9 ตัว (δ_1 ถึง δ_9) องค์ประกอบสองมีตัวแปรสังเกตได้ 3 ตัว (X_{10} ถึง X_{12}) และเศษเหลือ 3 ตัว (δ_{10} ถึง δ_{12})

วิธี CFA สามารถใช้สำรวจองค์ประกอบของโมเดลได้ ในกรณีตัวอย่างผู้วิจัยกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลจากผลการตรวจสอบของลอง (Long, 1983) ซึ่งศึกษาประเด็นที่ยังไม่ชัดเจน (gray area) ระหว่างวิธี EFA กับวิธี CFA ผู้วิจัยใช้วิธี CFA สำรวจโครงสร้างองค์ประกอบของมาตรวัด การใช้วิธี CFA สำรวจองค์ประกอบของโมเดล ผู้วิจัยควรใช้ข้อมูลชุดหนึ่งพัฒนาโมเดลองค์ประกอบ และใช้ข้อมูลอีกชุดหนึ่งตรวจสอบเพื่อยืนยันองค์ประกอบ (Leamer, 1978 cited in Aroian & Norris, 2001)

การกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลที่แสดงในแผนภาพ 5 และ 6 เป็นไปตามข้อค้นพบของแวกนिल्ดและยัง (Wagnild & Young, 1993 cited in Aroian & Norris, 2001) ซึ่งใช้วิธี EFA ตรวจสอบโครงสร้างองค์ประกอบของมาตรวัดความสามารถในการกลับคืนสู่สภาพเดิม ดังนั้นภาษาอังกฤษพบว่า องค์ประกอบของมาตรวัดฉบับภาษาอังกฤษเท่ากับจำนวนองค์ประกอบของมาตรวัดฉบับภาษารัสเซีย จากมุมมองนี้แสดงให้เห็นว่าวิธี CFA เหมาะกับการใช้ยืนยันโครงสร้างองค์ประกอบมากกว่าสำรวจโครงสร้างองค์ประกอบ

2. การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (Model Identification)

เป็นการระบุว่าโมเดลองค์ประกอบนั้นสามารถนำมาประมาณค่าพารามิเตอร์ได้เป็นค่าเดียวหรือไม่ (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542) ในวิธี CFA ผู้วิจัยต้องการทดสอบโมเดลระบุเกินพอดี (overidentified model) ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ที่ทราบค่า (ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของข้อคำถาม) มากกว่าจำนวนพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า (เช่น น้ำหนักองค์ประกอบ ความคลาดเคลื่อนในการวัด เป็นต้น) ส่วนกรณีจำนวนพารามิเตอร์ที่ทราบค่าน้อยกว่าจำนวนพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าเรียกว่า โมเดลระบุไม่พอดี (underidentified model) แต่ถ้าจำนวนพารามิเตอร์ที่ทราบค่าเท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าเรียกว่าโมเดลระบุพอดี (just identified model) โปรแกรมลิสเรลไม่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ในโมเดลระบุไม่พอดี และให้ค่าประมาณพารามิเตอร์ในโมเดลระบุพอดีได้ไม่ดี วิธี CFA สามารถทดสอบโมเดลองค์ประกอบได้เฉพาะกับโมเดลระบุเกินพอดีเท่านั้น

หลักทั่วไปในการกำหนดความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล ผู้วิจัยควรมีตัวแปรสังเกตได้อย่างน้อย 3 ตัวต่อตัวแปรแฝง 1 ตัว ที่เรียกว่า กฎสามตัวบ่งชี้ (three indicator rule) แล้วกำหนดให้ตัวบ่งชี้ 1 ตัวเป็นตัวแปรอ้างอิงหรือการทำให้ตัวแปรแฝงเป็นค่ามาตรฐาน โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรอ้างอิงเท่ากับ 1.00 การใช้ตัวบ่งชี้หลายตัววัดตัวแปรแฝงหนึ่งตัว ทำให้สามารถวัด

ลักษณะของตัวแปรแฝงได้หลายแง่มุม โมเดลที่มีข้อคำถามหลายข้อต่อตัวแปรแฝงหนึ่งตัว ทำให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลถูกต้องมากขึ้น ค่าพารามิเตอร์แม่นยำขึ้นและค่าความเที่ยงของตัวแปรสังเกตได้เพิ่มขึ้น (Marsh et al., 1998) ดังนั้น โมเดลที่มีจำนวนตัวแปรสังเกตได้มากกว่ามีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ได้ดีกว่าโมเดลที่มีจำนวนตัวแปรสังเกตได้น้อยกว่า (Kenny & McCoach, 2003) โมเดลองค์ประกอบในแผนภาพ 5 และ 6 มีตัวแปรสังเกตได้ตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไปต่อตัวแปรแฝง 1 ตัว จึงเป็นโมเดลระบุเกินพอดี

การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดลก่อนข้างซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับค่าสถิติหลายตัว ในบางครั้งโมเดลในแผนผังเป็นโมเดลระบุเกินพอดี แต่ระหว่างการประมาณค่าพารามิเตอร์ อาจพบว่าเป็นโมเดลระบุไม่พอดี ก็ได้ เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวบ่งชี้มีค่าสูงและลักษณะการแจกแจงของตัวแปรสังเกตได้ไม่เป็นแบบปกติ ในกรณีเช่นนี้ผู้วิจัยต้องกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลให้เหมาะสม (อาจกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนในการวัดสัมพันธ์กัน) หรือตัดตัวแปรสังเกตได้บางตัวออกจากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้สนใจอ่านรายละเอียดได้จากงลักษณะ วิรัชชัย (2542) และโบลิน (Bollen, 1989)

3. การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimating the Parameter)

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดลเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างโดยการเก็บสมการโครงสร้างเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ซึ่งเป็นตัวไม่ทราบค่าในสมการ (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542) เป็นการดำเนินการโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ การประมาณค่าพารามิเตอร์ได้จากการใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง(ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้หรือข้อคำถาม) ประมาณค่าพารามิเตอร์ของประชากร เช่น ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (λ) ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ (ϕ) ค่าเศษเหลือ (δ) เป็นต้น

กระบวนการประมาณค่าพารามิเตอร์มีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง 2 เรื่องดังนี้

3.1 เรื่องความลำเอียง หรือค่าที่ประมาณได้เท่ากับค่าพารามิเตอร์จริง ๆ หรือไม่ ผู้วิจัยพิจารณาจากค่าสถิติทดสอบนัยสำคัญของค่าพารามิเตอร์ ค่าสถิติทดสอบนัยสำคัญเหล่านี้ชี้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้มีโอกาสผิดพลาดเท่าใด

3.2 เรื่องประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ วิธีที่ใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์มีประสิทธิภาพมากที่สุดแล้วหรือยัง (Long, 1983) หรืออาจกล่าวว่า โมเดลองค์ประกอบนี้สอดคล้องกับข้อมูลดีแล้วหรือยัง มีโมเดลทางเลือกอื่นที่สอดคล้องกับข้อมูลมากกว่าหรือไม่ ผู้วิจัยพิจารณาจากค่าสถิติวัดความสอดคล้องของโมเดล

4. การประเมินความสอดคล้องของโมเดล (Evaluating the Data-Model Fit)

ผู้วิจัยประเมินความสอดคล้องของโมเดลองค์ประกอบ โดยการพิจารณาค่าสถิติต่าง ๆ ในผลการวิเคราะห์ข้อมูล ค่าสถิติเหล่านี้ใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ หรือแนะนำว่าโมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูลอย่างไร ซึ่งในกรณีโมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูลต้องปฏิเสธโมเดลองค์ประกอบตามสมมติฐาน หรืออาจใช้ค่าสถิติที่ให้มากับการวิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลหรือปรับโมเดลใหม่

ขั้นแรกในการประเมินความสอดคล้องของโมเดล ผู้วิจัยต้องตรวจสอบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้สมเหตุสมผลหรือไม่ เป็นไปตามทฤษฎีที่คาดหวังไว้หรือไม่ แต่ถ้าพบกรณีต่อไปนี้อาจเกิดจากกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลองค์ประกอบไม่ถูกต้อง

4.1 ค่าพารามิเตอร์มีค่ากลับกัน (เช่น ค่าน้ำหนักองค์ประกอบเป็นบวก ทั้ง ๆ ที่ในตามทฤษฎีต้องมีค่าเป็นลบ เป็นต้น)

4.2 ค่าพารามิเตอร์น้อยเกินไป มากเกินไป หรือไม่เหมาะสม (เช่น ค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบมีค่าติดลบ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบมีค่ามากกว่า 1.00 เป็นต้น)

4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูปคะแนนมาตรฐานมากกว่าปกติ (มีค่าเกินกว่า 2.00)

4.4 ค่าประมาณความเที่ยงของตัวแปรสังเกตได้เป็นลบ หรือใกล้ ๆ 0 หรือ มากกว่า 1.00

ผู้วิจัยต้องตรวจสอบค่าสถิติวัดความสอดคล้องของโมเดลหลายตัว เพราะโมเดลองค์ประกอบที่มีค่าพารามิเตอร์สมเหตุสมผล อาจสอดคล้องกับข้อมูลไม่ดี ก็ได้ (Mueller, 1996) ปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนว่าค่าสถิติตัวใดดีที่สุด โปรแกรมลิซเรลกำหนดค่าสถิติเหล่านี้ให้โดยอัตโนมัติ ผู้วิจัยพิจารณาเลือกใช้ค่าสถิติเอง

ในยุคแรก ๆ วารสารวิชาการรายงานค่าสถิติวัดความสอดคล้อง ได้แก่ ค่าสถิติไค-สแควร์ (chi-square goodness of fit statistic) ค่าสถิติไค-สแควร์ใช้ทดสอบสมมติฐานทางสถิติว่าฟังก์ชันความกลมกลืนมีค่าเป็นศูนย์หรือโมเดลองค์ประกอบตามทฤษฎีที่เป็นสมมติฐานวิจัยสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542) ค่าสถิติไค-สแควร์ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) เป็นสิ่งชี้ว่าโมเดลองค์ประกอบสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เพราะว่าผู้วิจัยต้องการยืนยันสมมติฐานศูนย์ (null hypothesis)

ค่าสถิติไค-สแควร์ขึ้นอยู่กับขนาดกลุ่มตัวอย่างและการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องการแจกแจงปกติพหุนาม ในกรณีที่ใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (มากกว่า 500 หน่วยตัวอย่างขึ้นไป) สถิติไค-สแควร์อาจเสนอแนะว่า ให้ปฏิเสธโมเดลองค์ประกอบที่มีความเป็นไปได้ในทางทฤษฎี (plausible model) เนื่องจากเมื่อกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ ความแตกต่างระหว่างโมเดลองค์ประกอบกับโมเดลข้อมูลเชิง

ประจักษ์มีเพียงเล็กน้อย ก็ทำให้ค่าสถิติไค-สแควร์มีนัยสำคัญทางสถิติ (Wang et al., 1995) จึงไม่ควรใช้สถิติไค-สแควร์เพียงค่าเดียวในการสรุปความสอดคล้องระหว่างโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (Bollen & Long, 1993)

ค่าไค-สแควร์สัมพัทธ์ (relative chi-square) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสถิติไค-สแควร์กับจำนวนองศาอิสระ (χ^2/df) โดยหลักทั่วไป ถ้าค่าไค-สแควร์สัมพัทธ์น้อยกว่า 3.00 ถือว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (Mueller, 1996)

ค่าไค-สแควร์สอดแทรก (nested chi-square) หรือการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าสถิติไค-สแควร์ ซึ่งใช้สำหรับเปรียบเทียบโมเดลคู่แข่ง (competing models) ว่าโมเดลใดสอดคล้องกับข้อมูลมากกว่ากัน การคำนวณใช้วิธีนำค่าสถิติไค-สแควร์และองศาอิสระของโมเดลหนึ่งตั้งลบด้วยค่าสถิติไค-สแควร์และองศาอิสระของอีกโมเดลหนึ่ง ถ้าค่าไค-สแควร์สอดแทรกมีนัยสำคัญทางสถิติ โมเดลที่มีค่าไค-สแควร์น้อยกว่าสอดคล้องกับข้อมูลมากกว่าโมเดลที่มีค่าไค-สแควร์มากกว่า ตาราง 2 แสดงค่าไค-สแควร์สอดแทรกที่ใช้เปรียบเทียบโมเดล 2 โมเดลของแผนภาพ 5 และ 6 ค่าไค-สแควร์สอดแทรกมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า โมเดล 2 องค์กรประกอบสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่าโมเดล 1 องค์กรประกอบ (Aroian, et al., 1997 cited in Aroian & Norris, 2001)

ตาราง 2 การคำนวณค่าสถิติไค-สแควร์สอดแทรกที่ใช้เปรียบเทียบโมเดล 2 โมเดล

	ค่าสถิติไค-สแควร์	df
โมเดล 1 องค์กรประกอบ	223.48	54
โมเดล 2 องค์กรประกอบ	167.50	53
ค่าไค-สแควร์สอดแทรก	55.98***	1

*** มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ $p < .001$

ค่าสถิติวัดระดับความกลมกลืนตัวอื่นๆ ที่ใช้กันมาก ได้แก่ ดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (goodness of fit index: GFI) ดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้แล้ว (adjusted goodness of fit index: AGFI) และดัชนีวัดระดับความกลมกลืนเปรียบเทียบ (comparative fit index: CFI) ดัชนีทั้งสามมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.00 ไดอแมนโทพอร์ลอสและสิกัวว (Diamantopoulos & Siguaw, 2000) เสนอแนะว่า ถ้าดัชนี GFI และดัชนี AGFI มีค่ามากกว่า 0.90 แสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ฮูและเบนท์เลอร์ (Hu & Bentler, 1999) เสนอแนะว่า ถ้าดัชนี CFI มีค่ามากกว่า 0.95 แสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ นอกจากนี้ยังมีค่าบอกความคลาดเคลื่อนของโมเดล

เช่น ค่ารากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของเศษเหลือในรูปคะแนนมาตรฐาน (standardized root mean square residual: standardized RMR) ค่า Standardized RMR อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.00 ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.08 แสดงว่า โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ดี (Hu & Bentler, 1999) และค่ารากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนโดยประมาณ (root mean square error of approximation: RMSEA) ค่า RMSEA อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.00 ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.06 แสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ดี (Hu & Bentler, 1999)

โดยหลักการทั่วไป การตรวจสอบความตรงของโมเดลองค์ประกอบที่เป็นสมมติฐานวิจัย หรือการประเมินผลความถูกต้องของโมเดลองค์ประกอบหรือการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างโมเดลองค์ประกอบกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ผู้วิจัยพิจารณาจากค่าสถิติไค-สแควร์ ค่าไค-สแควร์สัมพัทธ์ และดัชนี GFI, AGFI, CFI, Standardized RMR, RMSEA ดังนี้ (เสรี ชัดเข้ม และสุชาดา กรเพชรปณี, 2546)

1. ค่าสถิติไค-สแควร์ไม่มีนัยสำคัญ ($p > .05$) ดัชนี GFI และดัชนี AGFI มีค่ามากกว่า 0.90 ดัชนี CFI มีค่ามากกว่า 0.95 ค่า Standardized RMR มีค่าต่ำกว่า 0.08 และค่า RMSEA มีค่าต่ำกว่า 0.06 แสดงว่าโมเดลองค์ประกอบสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

2. ค่าสถิติไค-สแควร์มีนัยสำคัญ ($p \leq .05$) แต่ค่าไค-สแควร์สัมพัทธ์น้อยกว่า 3.00 ดัชนี GFI และดัชนี AGFI มีค่ามากกว่า 0.90 ดัชนี CFI มีค่ามากกว่า 0.95 ค่า Standardized RMR มีค่าต่ำกว่า 0.08 และค่า RMSEA มีค่าต่ำกว่า 0.06 ถือว่าโมเดลองค์ประกอบสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

แม้ว่าผู้วิจัยยอมรับค่าสถิติวัดความสอดคล้องของโมเดลแล้ว ก็ยังไม่สามารถสรุปยืนยันได้ว่าโมเดลองค์ประกอบตามสมมติฐานถูกต้องหรือไม่ ถ้าข้อมูลชุดนั้นยังสอดคล้องกับโมเดลทางเลือกอื่น ๆ อีก หรืออาจกล่าวได้ว่า ในกรณีที่ข้อมูลไม่สอดคล้องกับโมเดล ผู้วิจัยสามารถปฏิเสธโมเดลองค์ประกอบตามสมมติฐานได้ แต่ไม่สามารถยืนยันได้ว่าโมเดลตามสมมติฐานเป็นโมเดลที่ถูกต้องเพียงโมเดลเดียว (Mueller, 1996) เนื่องจากผู้วิจัยยังสามารถกำหนดโมเดลองค์ประกอบอื่น ๆ จากข้อมูลชุดนี้ได้

5. การดัดแปรโมเดล (Model Modification)

ในกรณีที่ค่าสถิติวัดความสอดคล้องของโมเดลชี้ว่าโมเดลองค์ประกอบไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าการกำหนดความสัมพันธ์ (เส้นทาง) ต่าง ๆ ในโมเดลไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง เช่น ผู้วิจัยมีสมมติฐานว่า คำถามบางข้อมีน้ำหนักบนองค์ประกอบ 1 ตัว แต่คำถามข้อนั้นควรมีน้ำหนักบนองค์ประกอบมากกว่า 1 ตัว หรือตามทฤษฎีแล้วองค์ประกอบต่างๆ สัมพันธ์กัน แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้วไม่สัมพันธ์กัน ผู้วิจัยสามารถปรับพารามิเตอร์ในโมเดลสมมติฐานแล้ว

ทดสอบผลการปรับโมเดลได้ โปรแกรมให้ค่าดัชนีดัดแปรโมเดล (modification indices: MI) คำนี MI จะเสนอแนะว่า ควรเพิ่มหรือตัดพารามิเตอร์ตัวใดออกจากโมเดลเพื่อให้โมเดลสอดคล้องกับข้อมูล ส่วน การตัดสินใจปรับพารามิเตอร์ตัวใดขึ้นอยู่กับดุลยพินิจ ผู้วิจัยต้องปรับพารามิเตอร์อย่างมีความหมายในเชิงเนื้อหาและสามารถตีความหมายค่าพารามิเตอร์นั้น ๆ ได้ชัดเจน (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542)

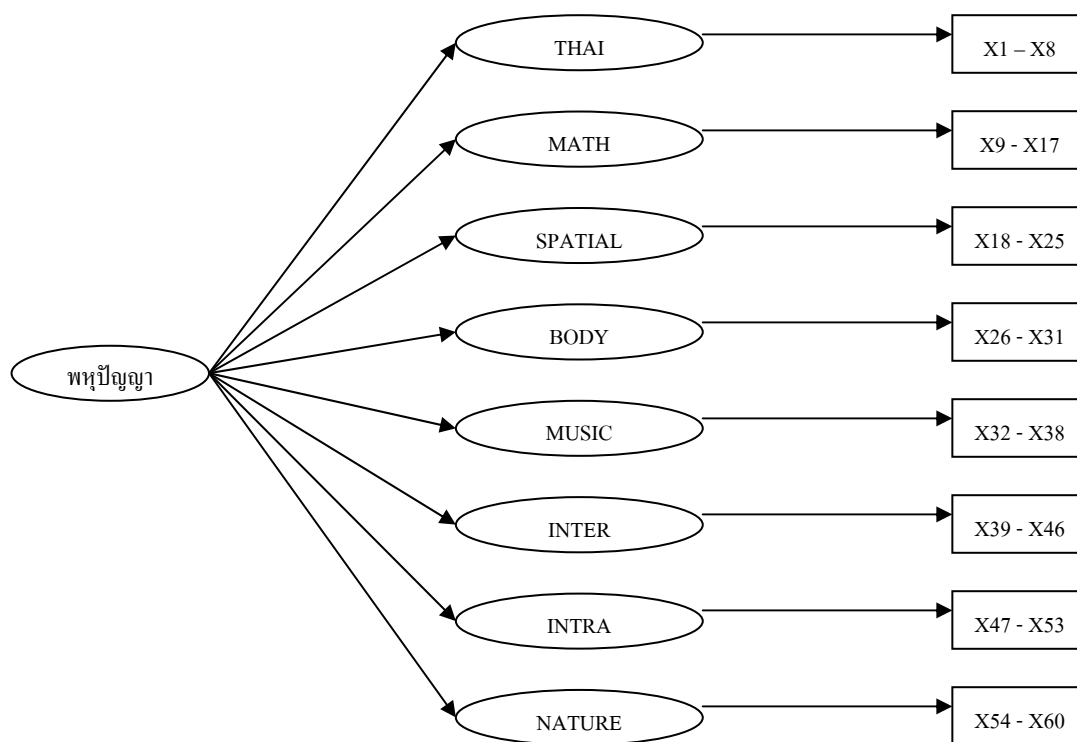
นอกจากนี้ผู้วิจัยควรพิจารณาค่าเศษเหลือของตัวแปรสังเกตได้แต่ละค่าด้วย เศษเหลือที่อยู่ในรูปคะแนนมาตรฐานที่มีค่ามาก (เกินกว่า 2.00) เศษเหลือมีค่ามากอาจชี้ว่ามีปัญหาเกี่ยวกับการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้กับตัวแปรแฝง

หลังจากปรับโมเดลแล้ว โมเดลองค์ประกอบที่ปรับใหม่ต้องสมเหตุสมผลและเป็นไปตามทฤษฎีที่คาดการณ์ไว้ ผู้วิจัยต้องวิเคราะห์โมเดลที่ปรับใหม่ด้วยข้อมูลชุดเดิม หรืออาจกล่าวได้ว่า โมเดลที่ปรับใหม่ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับข้อมูลมากกว่าโมเดลเดิมเสมอไป เพราะว่าโมเดลที่ปรับใหม่ดีกว่าอยู่แล้ว ปัญหาหนึ่งในการปรับโมเดลหลัง ๆ อีก คือ การตรวจสอบโมเดลองค์ประกอบกับกลุ่มตัวอย่างใหม่ ดังนั้น ถ้าผู้วิจัยมีข้อมูลมากพอ อาจแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด ใช้ชุดหนึ่งสำหรับพัฒนาโมเดล ส่วนอีกชุดหนึ่งสำหรับตรวจสอบโมเดล เช่น งานวิจัยของอโรเรียนและคณะ (Aroian et al., 1998 cited in Aroian & Norris, 2001) ศึกษาโครงสร้างของโมเดลองค์ประกอบของมาตรวัดความต้องการอพยพเข้าสู่สหรัฐอเมริกา ใช้กลุ่มตัวอย่างสำหรับพัฒนาข้อมูลจำเพาะของโมเดลจำนวน 792 คน และใช้กลุ่มตัวอย่างสำหรับตรวจสอบเพื่อยืนยันโมเดลที่พัฒนาแล้วจำนวน 857 คน

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมลิซเรล

อัญชลี ศรีกลชาญ (2546) ได้ทำวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบวัดพหุปัญญาสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นตามทฤษฎีพหุปัญญาของการ์ดเนอร์ (Gardner's theory of multiple intelligences) ที่กล่าวว่า “พหุปัญญา” มีคุณลักษณะเป็นพหุมิติ (multidimensional) ประกอบด้วย 8 องค์ประกอบ (ตัวแปรแฝง) ดังนี้ 1) ภาษา (linguistic) 2) ตรรกะและคณิตศาสตร์ (logical-mathematical) 3) มิติ (spatial) 4) ร่างกายและการเคลื่อนไหว (bodily-kinesthetic) 5) ดนตรี (musical) 6) มนุษยสัมพันธ์ (interpersonal) 7) การเข้าใจตนเอง (intrapersonal) และ 8) ธรรมชาติ (nature) ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลจากนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น สังกัดกรมสามัญศึกษา จังหวัดชลบุรี ปีการศึกษา 2545 จำนวน 800 คน

โมเดลองค์ประกอบตามทฤษฎีพหุปัญญาประกอบด้วยตัวแปรแฝง 8 ตัวและตัวบ่งชี้ (ข้อคำถาม) 60 ข้อ แสดงดังแผนภาพ 7 ดังนี้



แผนภาพ 7 โมเดลองค์ประกอบของแบบวัดพหุปัญญาตามทฤษฎีพหุปัญญาของการ์ดเนอร์

ผู้เขียนใช้ข้อมูลของอัญชลี ศรีกลชาญ (2546) วิเคราะห์ CFA ด้วยโปรแกรมลิสเรล 8.50 เพื่อแสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลและตีความหมายผลการวิเคราะห์บางส่วน ดังแผนภาพ 8-11

CONFIRMATORY FACTOR ANALYSIS

Number of Iterations = 30

LISREL Estimates (Maximum Likelihood)

LAMBDA-X						
	THAI	MATH	SPATIAL	BODY	MUSIC	INTER
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
X1	0.49	--	--	--	--	--
	(0.04)					
	13.26					
X2	0.37	--	--	--	--	--
	(0.04)					
	9.62					
X3	0.35	--	--	--	--	--
	(0.04)					
	8.98					
X4	0.41	--	--	--	--	--
	(0.04)					
	9.87					
X5	0.33	--	--	--	--	--
	(0.04)					
	8.61					
X6	0.47	--	--	--	--	--
	(0.04)					
	12.00					
X7	0.43	--	--	--	--	--
	(0.04)					
	10.98					
X8	0.62	--	--	--	--	--
	(0.04)					
	16.61					

แผนภาพ 8 LISREL estimates (maximum likelihood)

PHI

	THAI	MATH	SPATIAL	BODY	MUSIC	INTER	INTRA	NATURE
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
THAI	1.00							
MATH	1.17	1.00						
	(0.13)							
	8.88							
SPATIAL	0.87	1.24	1.00					
	(0.07)	(0.18)						
	11.92	6.92						
BODY	0.69	1.02	0.85	1.00				
	(0.06)	(0.15)	(0.09)					
	12.41	6.82	8.99					
MUSIC	0.55	1.02	0.85	0.68	1.00			
	(0.04)	(0.12)	(0.08)	(0.06)				
	12.54	8.53	11.24	11.96				
INTER	0.78	1.23	1.22	0.95	0.97	1.00		
	(0.05)	(0.15)	(0.11)	(0.07)	(0.05)			
	14.33	8.08	11.56	12.93	18.00			
INTRA	0.90	1.42	1.19	0.83	1.03	1.30	1.00	
	(0.06)	(0.19)	(0.12)	(0.08)	(0.07)	(0.10)		
	13.93	7.36	10.24	10.24	15.23	13.31		
NATURE	0.85	1.05	1.08	0.78	0.60	0.92	1.06	1.00
	(0.05)	(0.14)	(0.09)	(0.06)	(0.05)	(0.06)	(0.08)	
	18.49	7.32	11.68	12.55	11.66	14.24	13.98	

แผนภาพ 9 Phi

Standardized Residuals

	X1	X2	X3	X4	X5	X6
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
X1	-1.03					
X2	-0.37	-0.57				
X3	0.98	1.13	1.40			
X4	0.59	2.27	1.00	-0.17		
X5	1.66	1.18	1.47	0.09	1.90	
X6	-1.73	-1.16	-0.66	-0.22	-0.26	1.94
X7	0.51	1.54	1.11	0.61	2.18	-0.20
X8	-1.00	-1.50	-1.37	1.28	-0.74	1.47

Modification Indices for THETA-DELTA

	X1	X2	X3	X4	X5	X6
	-----	-----	-----	-----	-----	-----
X1	--					
X2	0.01	--				
X3	0.59	0.70	--			
X4	0.21	2.11	0.06	--		
X5	1.02	0.10	--	1.53	--	
X6	2.22	1.14	0.00	--	0.36	--
X7	0.52	0.85	0.16	--	2.53	0.57
X8	0.39	1.05	0.79	--	0.50	--

แผนภาพ 10 Standardized residuals/ Modification indices for theta-delta

Completely Standardized Solution

LAMBDA-X

	THAI	MATH	SPATIAL	BODY	MUSIC	INTER
X1	0.49	--	--	--	--	--
X2	0.37	--	--	--	--	--
X3	0.35	--	--	--	--	--
X4	0.41	--	--	--	--	--
X5	0.33	--	--	--	--	--
X6	0.47	--	--	--	--	--
X7	0.43	--	--	--	--	--
X8	0.62	--	--	--	--	--

แผนภาพ 11 Factor loading for items from the multiple intelligence test

แผนภาพ 8 แสดงค่าน้ำหนักองค์ประกอบในรูปคะแนนดิบ (nonstandardized factor loadings) ผลการวิเคราะห์ส่วนนี้มีชื่อเรียกว่า “LAMBDA-X” เพราะว่า λ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เชื่อมโยงระหว่างตัวแปรสังเกตได้ (X) กับตัวแปรแฝง (ξ) แต่ละแถวในแผนภาพ 8 ประกอบด้วยชื่อตัวแปรสังเกตได้ เช่น แถวที่ 1 บันทึกแรกเป็นค่าน้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปร X_1 (ข้อที่ 1) เท่ากับ 0.49 ได้ตัวแปร X_1 ลงมาเป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่า เท่ากับ 0.04 และได้ลงมาอีกเป็นค่าสถิติ (t-value) มีค่าเท่ากับ 13.26 ซึ่งใช้แสดงว่าค่าน้ำหนักองค์ประกอบของบรรทัดแรกมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยหลักปฏิบัติทั่วไป ถ้าค่าสถิติที่มากกว่า 2.00 แสดงว่าค่าประมาณพารามิเตอร์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังนั้นค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (λ_1) ของคำถามข้อนี้มีนัยสำคัญทางสถิติ เหมือน ๆ กับทุก ๆ ข้อที่แสดงในแผนภาพนี้ สังเกตว่าไม่มีค่าพารามิเตอร์ใด ๆ ได้ตัวแปรแฝง MATH ถึงตัวแปรแฝง INTER แสดงว่า โปรแกรมไม่ได้ประมาณค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ เนื่องจากผู้วิจัยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0

ในแผนภาพ 9 แสดงว่ามีการประมาณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ (สหสัมพันธ์นี้อยู่ในเมทริกซ์ที่ชื่อว่า Φ (ϕ) เพราะว่า ϕ เป็นพารามิเตอร์ที่แทนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงด้วยกัน สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ THAI กับตัวเองมีค่าเท่ากับ 1.00 ซึ่งสอดคล้องกับโมเดลองค์ประกอบตามสมมติฐานในแผนภาพ 7 โปรแกรมลิสเรลประมาณค่า ϕ ของตัวแปรแฝงทุกคู่ ค่าสหสัมพันธ์ ϕ อยู่ในบรรทัดแรก บรรทัดต่อมาเป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการประมาณค่า

และค่าสถิติที่ตามลำดับ ค่าสหสัมพันธ์ส่วนใหญ่มีค่าสูงและมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นบางค่า เช่น สหสัมพันธ์ระหว่าง THAI กับ MATH มีค่ามากเกินไป 1.00 (1.17) และมีนัยสำคัญทางสถิติ (ค่าสถิติ = 8.88; $p < .05$) เป็นต้น ทั้งนี้อาจเกิดจากผู้วิจัยกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลไม่เหมาะสมนัก

ดัชนีวัดความสอดคล้องของโมเดล (ไม่ได้แสดงไว้) ค่าสถิติไค-สแควร์ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2 = 1340.34$, $df = 1479$, $p = 1.00$) แต่ค่าสถิติไค-สแควร์ขึ้นอยู่กับขนาดกลุ่มตัวอย่าง (กลุ่มตัวอย่าง 800 คน) ผู้วิจัยจึงควรพิจารณาค่าสถิติตัวอื่น ๆ ประกอบ เช่น ค่าไค-สแควร์สัมพัทธ์ = 0.906 ($1340.34 / 1479$) ต่ำกว่าเกณฑ์ 3.00 ดัชนี GFI = 0.95 และดัชนี AGFI = 0.93 สูงกว่าเกณฑ์ 0.90 , ดัชนี CFI = 1.00 สูงกว่าเกณฑ์ 0.95, ค่า Standardized RMR = 0.03 ต่ำกว่าเกณฑ์ 0.08 , ค่า RMSEA = 0.0 ต่ำกว่าเกณฑ์ 0.06 แสดงว่าโมเดลองค์ประกอบตามสมมติฐานสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

แผนภาพ 10 แสดงค่าเศษเหลือในรูปคะแนนมาตรฐาน (standardized residuals) และดัชนีคัดแปรโมเดล (modification indices) ซึ่งช่วยเสนอแนะว่าควรปรับโมเดลองค์ประกอบตามสมมติฐานอย่างไร สังเกตว่าค่าเศษเหลือในรูปคะแนนมาตรฐานระหว่างตัวแปร X_2 กับตัวแปร X_4 มีค่าใหญ่ (2.27) ค่าเศษเหลือตัวนี้มีค่ามากกว่าค่าเศษเหลือของตัวแปรสังเกตได้ตัวอื่นๆ ในกรณีที่เศษเหลือมีค่ามากและเป็นบวกเช่นนี้ เป็นสิ่งที่ชี้ว่าความคลาดเคลื่อนในการวัดของตัวแปรคู่นี้สัมพันธ์กัน แต่ผู้วิจัยต้องพิจารณาดัชนีคัดแปรโมเดลสำหรับเมทริกซ์ theta-delta ประกอบด้วย ซึ่งอยู่ส่วนท้ายของแผนภาพ 10 ดัชนีคัดแปรโมเดลระหว่างตัวแปร X_2 กับตัวแปร X_4 มีค่ามาก (2.11) ค่าที่มากแสดงว่า ถ้ากำหนดให้ความคลาดเคลื่อนในการวัดของตัวแปรทั้งสองสัมพันธ์กัน โมเดลที่ปรับแล้วจะสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากขึ้น (โมเดลสมมติฐานคาดการณ์ว่าความคลาดเคลื่อนในการวัดของตัวแปร 2 ตัวนี้ไม่สัมพันธ์กัน) ผู้วิจัยต้องพิจารณาว่ามีทฤษฎีสนับสนุนหรือไม่ว่า ความคลาดเคลื่อนในการวัดของคำถาม 2 ข้อนี้สัมพันธ์กัน ถ้ามีก็ควรปรับโมเดลตามโปรแกรมเสนอแนะ แล้ววิเคราะห์ข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง

ผลการวิเคราะห์ในแผนภาพ 11 ให้ค่าน้ำหนักองค์ประกอบในรูปคะแนนมาตรฐาน (standardized lambda-X parameters) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้กับตัวแปรแฝง ในแผนภาพแสดงค่าน้ำหนักองค์ประกอบในรูปคะแนนมาตรฐานสำหรับองค์ประกอบ THAI สังเกตว่าผลการวิเคราะห์ส่วนนี้แสดงด้วย Lambda-X เพราะว่า λ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เชื่อมโยงระหว่างตัวแปรสังเกตได้ (X) กับตัวแปรแฝง

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ในแผนภาพ 11 ชี้ว่าคำถามทุกข้อมีค่าน้ำหนักบนองค์ประกอบ THAI ในระดับที่ยอมรับได้ (มากกว่า 0.30) ดัชนีคัดแปรโมเดลสำหรับ Lambda-X (ไม่ได้แสดงไว้) เสนอแนะว่า ควรกำหนดให้ตัวแปรสังเกตได้ X_1 เป็นตัวบ่งชี้ของตัวแปรแฝง INTRA แทนตัวแปรแฝง THAI จะทำให้โมเดลองค์ประกอบสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ดีขึ้น แต่เมื่อพิจารณา

หลักฐานทางทฤษฎีแล้ว เห็นว่าไม่ควรปรับโมเดลตามข้อเสนอแนะของโปรแกรม การปรับโมเดลต้องมีหลักฐานทางทฤษฎีสนับสนุนทุกครั้ง มิฉะนั้นจะทำให้ข้อค้นพบเชื่อถือได้น้อย

แนวทางการนำวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันไปใช้ด้านการวัดทางจิต

ผู้เขียนขอเสนอเรื่องการวัดทางจิตบางประเด็นที่สามารถใช้วิธี CFA ศึกษาได้ดังนี้

1. ความคงที่ภายใน (Internal Consistency)

ผลการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนแล้ว ให้สารสนเทศเกี่ยวกับความคงที่ภายในของการวัด ในวิธี CFA ผู้วิจัยตีความหมายค่า R^2 ของตัวแปรสังเกตได้ เป็นค่าประมาณความเที่ยงของข้อคำถาม (Mueller, 1996) ค่า R^2 เป็นสัดส่วนความแปรปรวนในตัวแปรแฝงที่ทำนายด้วยตัวแปรสังเกตได้ที่เป็นตัวบ่งชี้ (Bollen, 1989) ในแผนภาพ 12 แสดงค่า R^2 ของตัวแปรสังเกตได้แต่ละตัว จะเห็นว่าค่าประมาณความเที่ยงของตัวแปรสังเกตได้ส่วนใหญ่มีค่าต่ำ ($R^2 = 0.11$ ถึง 0.24) สอดคล้องกับค่าน้ำหนักองค์ประกอบในรูปคะแนนมาตรฐานส่วนใหญ่ที่มีค่าไม่สูงนัก ($\lambda = 0.33$ ถึง 0.62) (แผนภาพ 11)

Squared Multiple Correlations for X - Variables

X1	X2	X3	X4	X5	X6
0.24	0.14	0.12	0.17	0.11	0.22

แผนภาพ 12 squared multiple correlation (R^2) for X-variables

2. ความเที่ยงแบบสอบซ้ำ (Test-Retest Reliability)

กรณีผู้วิจัยเก็บข้อมูลจากการสอบซ้ำกับกลุ่มตัวอย่างเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง ผู้วิจัยสามารถใช้วิธี CFA ประมาณค่าความเที่ยงแบบทดสอบซ้ำได้ วิธีนี้มีจุดเน้นเรื่องความไม่แปรเปลี่ยนของการวัดในแต่ละครั้ง วิธีการประมาณค่าความเที่ยงแบบทดสอบซ้ำแบบดั้งเดิม ผู้วิจัยต้องทดสอบกับผู้สอบกลุ่มเดิมตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไป แล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ระหว่างคะแนนที่ได้ในแต่ละครั้ง วิธีคำนวณแบบเดิมมีข้อดกของเบื้องต้นว่า ความคลาดเคลื่อนในการวัดของการสอบซ้ำแต่ละครั้งมีค่าแบบสุ่มอย่างแท้จริง (truly random) แต่ในทางปฏิบัติเป็นไปได้ที่เทอมความคลาดเคลื่อนของผู้ตอบแต่ละคนเป็นค่าเดียวและมีค่าคงที่ เพราะว่าการสอบซ้ำแต่ละครั้งวัดตัวแปรสังเกตได้ตัวเดียวกันของผู้สอบคนเดียว (Strommel, et al., 1992) เทอมความคลาดเคลื่อนของ

ผู้สอบแต่ละคนมีลักษณะเฉพาะตัว ทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างผู้สอบกับตัวแปรสังเกตได้ หรือ อาจกล่าวได้ว่า เทอมความคลาดเคลื่อนกับตัวแปรสังเกตได้มีความสัมพันธ์กัน (autocorrelation)

ในวิธี CFA ความคลาดเคลื่อนในการวัดไม่เป็นแบบสุ่ม ผู้วิจัยสามารถกำหนดและประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดแบบสัมพันธ์กันได้ โดยพิจารณาความคงที่ของความคลาดเคลื่อนในการวัดและโครงสร้างองค์ประกอบ (น้ำหนักองค์ประกอบ สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ) ของการสอบซ้ำแต่ละครั้ง

วิธีประมาณค่าความเที่ยงแบบสอบซ้ำมีประโยชน์ต่อนักวัดทางจิตมาก ในกรณีต้องการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรสอดแทรกที่มีต่อความเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างองค์ประกอบ ซึ่งเกิดจากความไม่คงเส้นคงวาของผลการวัด การศึกษาเรื่องแบบทดสอบไม่แปรเปลี่ยนไปตามแต่ละช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลเป็นประโยชน์ในการวัดการเปลี่ยนแปลงที่แท้จริง (real change)

3. ความคงที่ของโครงสร้างองค์ประกอบในกลุ่มย่อยของประชากร

การศึกษาแบบทดสอบไม่แปรเปลี่ยนไปตามกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม เป็นเรื่องที่สำคัญ ในกรณีที่ผู้วิจัยสนใจจะใช้แบบทดสอบประเมินอิทธิพลของตัวแปรสอดแทรกที่มีอยู่ในกลุ่มประชากรต่างกันหรือต้องการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่วัดด้วยแบบทดสอบเดียวกันหรือวิธีวัดเดียวกัน

ก่อนมีวิธี CFA ผู้วิจัยไม่สามารถศึกษาความไม่แปรเปลี่ยนของการวัดในกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มในคราวเดียวกันได้ เนื่องจากวิธี EFA ไม่สามารถกำหนดค่าน้ำหนักองค์ประกอบในกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม เพื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มตัวอย่างได้

วิธี CFA ใช้แนวคิดเรื่องโมเดลสอดแทรก (nested model) (การทดสอบสมมติฐานของโมเดลในแต่ละขั้นสอดแทรกอยู่ในสมมติฐานที่มีมาก่อน) สำหรับทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความไม่แปรเปลี่ยนของการวัด อาจกล่าวได้ว่า โมเดลที่กำหนดอาจสอดแทรกอยู่ในโมเดลจำกัด (restricted model) ถ้าโมเดลที่กำหนดเป็นกรณีเฉพาะของโมเดลที่สอง การวัดความไม่แปรเปลี่ยนระหว่างกลุ่มตัวอย่างมีเงื่อนไขที่เข้มงวด 3 ประการดังนี้ 1) ตัวแปรแฝงแต่ละตัวของกลุ่มประชากรที่นำมาเปรียบเทียบกับกันต้องวัดด้วยตัวแปรสังเกตได้ตัวเดียวกัน 2) ค่าน้ำหนักองค์ประกอบในรูปคะแนนดิบต้องเหมือนกัน 3) ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงต้องเหมือนกัน (Schaie & Hertzog, 1985) จากเงื่อนไขเหล่านี้สามารถกำหนดเป็นโมเดลสอดแทรกได้สามโมเดล กล่าวคือ โมเดล 3 สอดแทรกอยู่ในโมเดล 2 และโมเดล 2 สอดแทรกอยู่ในโมเดล 1 แล้วใช้ค่าไค-สแควร์สอดแทรกประเมินโมเดลคู่แข่งทั้ง 3 ว่าโมเดลใดสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่ากัน

4. ความตรงเชิงผู้เข้าและความตรงเชิงจำแนก

วิธี CFA เหมาะกับการนำไปวิเคราะห์วิธีหลากหลายวิธี (multitrait-multimethod approach: MTMM) เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของแบบทดสอบ วิธีนี้สามารถบอกได้ทั้งเรื่องความตรงเชิงผู้เข้า (ผลการวัดคุณลักษณะเดียวกันด้วยวิธีวัดเดียวกันหรือต่างกัน ควรมีความสัมพันธ์กันสูงและสอดคล้องกัน) และความตรงเชิงจำแนก (ผลการวัดคุณลักษณะต่างกันด้วยวิธีวัดเดียวกันหรือต่างกัน ควรมีความสัมพันธ์กันต่ำ)

วิธีหลากหลายวิธี เป็นการขยายวิธีการวัดความตรงเชิงผู้เข้าและความตรงเชิงจำแนกแบบเดิมออกไป ทำให้การศึกษาเรื่องความตรงเชิงโครงสร้างละเอียดมากขึ้น โดยผู้วิจัยต้องวัดโครงสร้างหลายคุณลักษณะและในขณะเดียวกันก็ใช้การวัดหลายวิธี เช่น สัมภาษณ์ สังเกต และมาตรประมาณค่า เป็นต้น ทำให้ความแปรปรวนระหว่างวิธีวัดกับความแปรปรวนระหว่างคุณลักษณะสามารถแยกออกจากกันได้ ผู้วิจัยจึงสามารถตั้งสมมติฐานเรื่องคะแนนจากการวัดคุณลักษณะเดียวกันสัมพันธ์กันอย่างไร และคะแนนจากการวัดคุณลักษณะต่างกัน ไม่สัมพันธ์กันอย่างไร

การใช้วิธี CFA ตรวจสอบความตรงเชิงผู้เข้าและความตรงเชิงจำแนกให้สารสนเทศได้มากกว่าวิธี EFA และสามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดได้ รวมทั้งมีดัชนีวัดความสอดคล้องทดสอบความสอดคล้องระหว่างสมมติฐานที่มาจากทฤษฎีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ส่วนวิธีการแบบเดิมใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความตรง (สหสัมพันธ์เพียร์สัน) ประมาณค่าความตรงเชิงผู้เข้า โดยมีข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องการวัดเกณฑ์ (การเปรียบเทียบการวัดคุณลักษณะเดียวกัน โดยใช้วิธีวัดต่างกัน) โดยไม่มีความคลาดเคลื่อนในการวัด ในทางปฏิบัติแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ความตรงก็คือการเปรียบเทียบฟังก์ชันของความคลาดเคลื่อนในการวัดคุณลักษณะกับความคลาดเคลื่อนในการวัดเกณฑ์ วิธี CFA ประมาณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดคุณลักษณะกับความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดเกณฑ์ได้พร้อม ๆ กัน

สรุป

วิธี CFA ช่วยให้ผู้วิจัยมีเครื่องมือทางสถิติสำหรับตรวจสอบโครงสร้างของโมเดลองค์ประกอบตามสมมติฐานได้แม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับนักพัฒนาแบบทดสอบนำไปใช้ตรวจสอบองค์ประกอบของแบบทดสอบเพื่อยืนยันองค์ประกอบตามทฤษฎี ส่วนผู้วิจัยที่คุ้นเคยกับวิธี EFA มาก่อนคงมีทางเลือกเพิ่มขึ้นในการนำวิธี CFA ไปใช้พัฒนางานวิจัยให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น แต่ผู้วิจัยพึงระลึกไว้เสมอว่าวิธีการ CFA มีความเสี่ยงที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ II ได้เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2542). โมเดลลิสเรล: สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เสรี ชัดเข้ม. (2538). โมเดลและการสร้างโมเดล. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*, 9(2), 50-69.
- เสรี ชัดเข้ม และ สุชาดา กรเพชรปานิ. (2546). โมเดลสมการโครงสร้าง. *วารสารวิจัยและวัดผลการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา*, 1(1), 1-24.
- อัญชลี ศรีกลชาญ (2546). *การพัฒนาแบบวัดพหุปัญญาสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดทางการศึกษา, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- Aroian, K. J., & Norris, A.E. (2001). Confirmatory factor analysis. In B.H. Munro. *Statistical methods for health care research (4 th.ed.)*. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins.
- Bollen, K.A. (1989). *Structural equations with latent variables*. New York: John Wiley & Sons.
- Bollen, K.A. & Long, J.S. (1993). Introduction. In K.A. Bollen & J.S. Long. *Testing structural equation models*, (pp. 1-9). Thousand Oaks. CA: SAGE Publications, Inc.
- Chou, C-P. & Bentler, P.M. (1995). Estimated and tests in structural equation modeling. In R.H. Hoyle. *Structural equation modeling: Concepts, issues, and applications* (pp. 37-55). Thousand Oaks. CA: SAGE Publications, Inc.
- DeVellis, B. (1991). *Scale development*. Newbury Park, CA: SAGE Publications, Inc.
- Diamantopoulos, A. & Siguaw, J.A. (2000). *Introduction to LISREL: A guide for the uninitiated*. London: SAGE Publications, Inc.
- Fan, X., & Wang, L.(1998). Effects of potential confounding factors on fit indices and parameter estimates for true and misspecified models. *Educational and Psychological Measurement*, 58(5), 701-735.
- Fox, J. (1984). *Linear statistical models and related methods with applications to social research*. New York: John Wiley & Sons.
- Hershberger, S.L. (2003). The growth of structural equation modeling: 1994-2001. *Structural Equation Modeling*, 10(1), 35-46.
- Hu, L-T. & Bentler, P.M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling*, 6(1), 1-55.
- Kenny, D.A. & McCoach, D.B. (2003). Effect of the number of variables on measures of fit in structural equation modeling. *Structural Equation Modeling*, 10(3), 333-351.
- Lindeman, R.H., Merenda, P.F. & Gold, R. Z. (1980). *Introduction to bivariate and multivariate analysis*. Glenview, IL: Scott, Foresman and company.

- Long, J.S. (1983). Confirmatory factor analysis. *A preface to LISREL*. Beverly Hills, CA: SAGE Publications, Inc.
- Marsh, H.W., Hau, K.T., Balla, J.R., & Grayson, D.(1998). Is more over too much? The number of indicators per factors in confirmatory factor analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 33, 181-222.
- Mueller, R.O. (1996). Confirmatory factor analysis. In *Basic principles of structural equation modeling: An introduction to LISREL and EQS*. (pp. 62-128). New York: Springer-Verlag.
- Schaie, K.W. & Hertzog, C. (1985). Measurement in the psychology of adulthood and aging. In J.E. Birren & K.W. Schaie (Eds.). *Handbook in psychology of aging* (2 nd ed., pp. 61-92). New York: Van Nostrand Reinhold.
- Strommel, M., Wang, S., Given, C.W., & Given, B.(1992). Confirmatory factor analysis (CFA) as a method to assess measurement equivalence. *Research in nursing and health*. 15(5), 399-405.
- Wang, L., Fan, X., & Willson, V.L. (1996). Effects of nonnormal data on parameter estimates and fits indices for a model with latent and manifest variables: An empirical study. *Structural Equation Modeling*, 3(3), 228-247.
- West, S.G., Finch, J.F., & Curan, P.J. (1995). Structural equation models with non-normal variables: Problems and remedies. In R.H. Hoyle. *Structural equation modeling: Concepts, issues, and applications* (pp. 56-75). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc.