

โมเดลสมการโครงสร้าง Structural Equation Modeling

เสรี ชัดแจ้ง *

สุชาดา กรเพชรปानी **

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อแนะนำโมเดลสมการโครงสร้างใน 5 ประเด็น ได้แก่ คำถามวิจัย คำศัพท์ที่
ใช้ในโปรแกรมลิสมเรล ลักษณะข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง ข้อตกลงเบื้องต้นของโมเดลสมการโครงสร้าง
และตัวอย่างผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างด้วยโปรแกรมลิสมเรล โดยเน้นให้ผู้อ่านรู้จักโมเดลสมการ
โครงสร้างและเข้าใจผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างที่ตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิจัยและวัดผลการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

** อาจารย์ภาควิชาวิจัยและวัดผลการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ความนำ

บทความนี้เป็นการแนะนำโมเดลสมการโครงสร้าง (structural equation modeling : SEM) หรือเรียกย่อๆ ว่า SEM ให้กับผู้ที่มีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสถิติขั้นสูงอยู่บ้าง ดังนั้น จึงมีจุดมุ่งหมายให้ผู้อ่านรู้จักกับโมเดลสมการโครงสร้างและเข้าใจผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมลิสเรลที่ตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ ส่วนผู้ที่ต้องการศึกษาโมเดลสมการโครงสร้างอย่างลึกซึ้งสามารถศึกษาจากเอกสารที่อ้างอิงไว้ท้ายเรื่อง

ปัจจุบันโมเดลสมการโครงสร้างเป็นเทคนิคทางสถิติที่ค่อนข้างใหม่สำหรับใช้ทดสอบโมเดลทางทฤษฎี (theoretical model) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างโปรแกรมแรกพัฒนาขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1975 - 1979 ในช่วงเวลาที่ผ่านมา มีการเรียกชื่อโมเดลสมการโครงสร้างต่างๆ กันไป บางตำราเรียกว่า โมเดลโครงสร้างความแปรปรวนร่วม (covariance structure modeling) เนื่องจากวิธีวิเคราะห์ข้อมูลใช้การเปรียบเทียบเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปร หรือเรียกว่า การวิเคราะห์ตัวแปรแฝง (latent variable analysis) เนื่องจากวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรแฝง (ตัวแปรวัดค่าโดยตรงไม่ได้) หรือเรียกว่า การวิเคราะห์ลิสเรล (LISREL analysis) เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างโปรแกรมแรก ชื่อว่า ลิสเรล (LISREL)

โมเดลสมการ โครงสร้างเป็นเรื่องเกี่ยวกับวิธีการวัดโครงสร้างทางทฤษฎี (theoretical constructs) ของตัวแปรที่เป็นนามธรรม ซึ่งไม่สามารถวัดหรือสังเกตค่าได้โดยตรง และยังสามารถวิเคราะห์ผลการวัดโครงสร้างทางทฤษฎีของตัวแปรพร้อมกันได้ ตัวอย่างเช่น ผู้วิจัยใช้เครื่องมือวัด 3 ชนิด ได้แก่ แบบวัดสุขภาพจิต แบบวัดสุขภาพกาย และแบบวัดการปฏิบัติตน ในการวัดสุขภาพของบุคคล ผู้วิจัยสามารถใช้โมเดลสมการโครงสร้างวิเคราะห์คำตอบจากเครื่องมือวัดทั้งสามชนิดพร้อมๆ กันได้ หรือเมื่อใช้แบบสอบถามเจตคติต่อสุขภาพหนึ่งฉบับแล้ว แทนที่จะต้องนำคำตอบของแต่ละข้อมารวมกันเป็นคะแนนรวมอย่างเช่นที่เคยปฏิบัติมาในอดีต ผู้วิจัยสามารถใช้โมเดลสมการ โครงสร้างวิเคราะห์คำตอบของแต่ละข้อพร้อมๆ กัน เสมือนหนึ่งว่าคำตอบเหล่านั้นได้มาจากแบบวัดสุขภาพของบุคคลต่างฉบับกัน

การวิเคราะห์โมเดลสมการ โครงสร้างเป็นการทดสอบโมเดล (แบบจำลองโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร) สองโมเดลพร้อมๆ กัน ได้แก่ โมเดลการวัด (measurement model) กับ โมเดลทางทฤษฎี (theoretical model) ซึ่งโมเดลทั้งสองรวมกันเรียกว่า โมเดลเต็มรูป (full model) โมเดลการวัดเป็นโมเดลที่แสดงความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้นระหว่างตัวแปรแฝงกับตัวแปรสังเกตได้ ส่วนโมเดลทางทฤษฎีเป็น โมเดลสมมติฐานที่แสดงความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้นระหว่างตัวแปรแฝง การตรวจสอบความตรงของโมเดลทางทฤษฎีพิจารณาจากค่าสถิติวัดระดับความสอดคล้องระหว่างโมเดลการวัดกับข้อมูลเชิงประจักษ์

คำถามวิจัย

หลักการของโมเดลสมการโครงสร้างช่วยให้ผู้วิจัยสามารถตอบคำถามวิจัยเดิมๆ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ถ้าผู้วิจัยไม่ใช้วิธีการคิดและเทคโนโลยีตามหลักการโมเดลสมการโครงสร้างแล้ว จะไม่สามารถตอบคำถามวิจัยใหม่ๆ มาจนถึงได้ คำถามวิจัยเหล่านี้เป็นเพียงจุดเริ่มต้นในการนำโมเดลสมการโครงสร้างไปใช้เท่านั้น ยังมีคำถามวิจัยอีกหลายเรื่องที่สามารถนำโมเดลสมการโครงสร้างไปศึกษาค้นคว้าได้

ปัจจุบันมีคำถามวิจัยเดิมอย่างน้อย 3 ชนิด ที่สามารถหาคำตอบได้โดยใช้โมเดลสมการโครงสร้างดังนี้

1. โมเดลสมการโครงสร้างใช้ทดสอบโมเดลความสัมพันธ์ซึ่งสาเหตุระหว่างตัวแปร (causal model) ที่สัมพันธ์กับการวิเคราะห์อิทธิพล (pathanalysis) แบบดั้งเดิม แต่การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างสามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด (measurement error) ของตัวแปรสังเกตได้และขจัดความคลาดเคลื่อนในการวัดออกจากความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางทฤษฎี (ตัวแปรแฝง) ทำให้ผลการทดสอบทฤษฎีมีความแม่นยำยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังใช้โมเดลสมการโครงสร้างทดสอบโมเดลความสัมพันธ์ซึ่งสาเหตุระหว่างตัวแปรแบบย้อนกลับ (autoregressive models) ได้อีกด้วย

2. โมเดลสมการโครงสร้างใช้ตรวจสอบองค์ประกอบเชิงยืนยันโครงสร้างทางทฤษฎีของเครื่องมือวิจัยหรือเครื่องมือวัดทางจิตวิทยาด้วยวิธีการใหม่ๆ เช่น การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเที่ยงของแบบทดสอบแบบวัดซ้ำ (test-retest reliability) โดยการพิจารณาความคงที่ของค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (factor loadings) และความคงที่ของความคลาดเคลื่อนในการวัดจากการวัดซ้ำ เป็นต้น

3. โมเดลสมการโครงสร้างใช้ตรวจสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างได้ โดยการตรวจสอบโมเดลทางทฤษฎีของกลุ่มตัวอย่างว่าเหมือนกันหรือไม่ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Norris and Ford (1995) ที่ศึกษาความต้องการใช้ถุงยางอนามัยในกลุ่มวัยรุ่นอเมริกันผิวดำเพศชายและเพศหญิง กลุ่มวัยรุ่นอเมริกันเม็กซิกันเพศชายและเพศหญิง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างหลายกลุ่ม เปรียบเทียบโมเดลทางทฤษฎีความถี่การใช้ถุงยางอนามัยของกลุ่มตัวอย่างทั้งสี่กลุ่ม ผลการวิจัยพบว่า โมเดลทางทฤษฎีทั้งสี่โมเดลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ไม่สามารถใช้โมเดลทางทฤษฎีโมเดลใดโมเดลหนึ่งอธิบายความต้องการใช้ถุงยางอนามัยของกลุ่มตัวอย่างทั้งสี่กลุ่มได้ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลระหว่างตัวแปรเหมือนกัน 4 เส้นทางในโมเดลทางทฤษฎี 2 โมเดล และขนาดค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้หลักการของโมเดลสมการโครงสร้างยังเป็นการเปิดประตูไปสู่คำถามวิจัยใหม่ๆ เช่น การกำหนดระดับความคลาดเคลื่อนในการวัดของตัวแปรสังเกตได้ไม่แตกต่างกัน ในกรณีที่หน่วยตัวอย่างเป็นบุคคลที่เหมือนกันหรือมีแนวโน้มในการเปลี่ยนคำตอบหรืออาจเข้าใจข้อคำถามผิดพลาด แล้วผู้วิจัยทดสอบผลของการกำหนดระดับความคลาดเคลื่อนในการวัดจากโมเดลทางทฤษฎี ทำให้ข้อสรุปของปัญหาวิจัยสามารถมีความแม่นยำของความสัมพันธ์ซึ่งสาเหตุระหว่างตัวแปรได้ ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Rigdon (1994) พบว่า ความสัมพันธ์ซึ่งสาเหตุระหว่างเหตุการณ์ในชีวิตที่ทำให้เกิดความเครียดกับ

ความซึมเศร้าในโมเดลของ Ferguson and Horwood (1984) ที่ระบุว่า เป็นความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรแบบย้อนกลับ (สองทาง) ต่อมา Rigdon พบว่า เป็นความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรแบบทางเดียว เมื่อกำหนดให้มีความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปรสังเกตได้ (โมเดลของ Ferguson & Horwood กำหนดให้ไม่มีความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปรสังเกตได้) ดังนั้น ความเชื่อที่ว่า เหตุการณ์ในชีวิตที่ทำให้เกิดความเครียดเป็นสาเหตุให้เกิดความซึมเศร้าและความซึมเศร้าเป็นสาเหตุให้เกิดเหตุการณ์ในชีวิตที่ทำให้เกิดความเครียดนั้น ไม่เป็นจริงในกรณีที่กำหนดให้มีความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวแปรสังเกตได้ บางทีอิทธิพลของความซึมเศร้าที่มีต่อเหตุการณ์ในชีวิตที่ทำให้เกิดความเครียดที่พบในโมเดลของ Ferguson and Horwood อาจไม่มีอยู่จริงก็ได้ เป็นแค่เพียงการมีอารมณ์เศร้าในชีวิตเท่านั้น การศึกษาของ Rigdon พบเพียงว่า เหตุการณ์ในชีวิตที่ทำให้เกิดความเครียดมีอิทธิพลต่อความซึมเศร้า

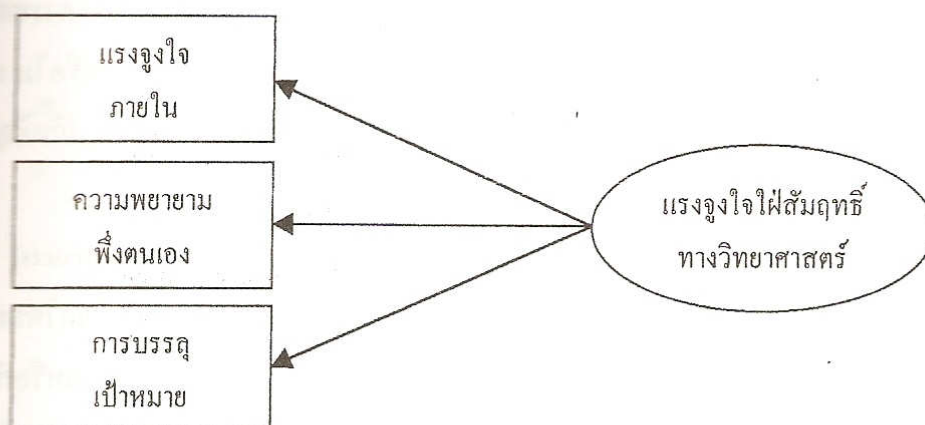
คำศัพท์ที่ใช้ในโปรแกรมลิสเรล

ก่อนที่จะกล่าวถึงลักษณะข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างและข้อตกลงเบื้องต้นของโมเดลสมการโครงสร้าง ผู้อ่านควรทำความเข้าใจกับคำศัพท์ที่ใช้ก่อน เนื่องจากมีการใช้คำศัพท์ต่างกัน แต่มีความหมายอย่างเดียวกันอยู่หลายคำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แตกต่างกัน ปัจจุบันนิยมใช้โปรแกรมลิสเรล (LISREL) หรือโปรแกรม EQS (อ่านว่า เอ็กซ์) หรือโปรแกรม AMOS แต่ในบทความนี้จะกล่าวถึงเฉพาะคำศัพท์ที่ใช้ในโปรแกรมลิสเรลเท่านั้น

1. ตัวบ่งชี้ (indicators) ตัวแปรวัดค่าได้ (measured variables) ตัวแทน (proxies) หรือตัวแปรสังเกตได้ (manifest variables) คำศัพท์ทั้งสี่คำมีความหมายอย่างเดียวกัน คือ บทความนี้ใช้คำว่า ตัวบ่งชี้ ซึ่งหมายถึงตัวแปรที่สามารถวัดค่าได้หรือสังเกตค่าได้โดยตรง โดยการพิจารณาความตรงกันระหว่างคำตอบที่กำหนดไว้กับคำตอบในแบบวัดหรือแบบสอบถาม

โปรแกรมลิสเรลใช้ตัวอักษรโรมันพิมพ์ใหญ่ X แทน ตัวบ่งชี้ที่วัดค่าตัวแปรภายนอกหรือตัวแปรต้น (exogenous variable) และใช้ตัวอักษรโรมันพิมพ์ใหญ่ Y แทน ตัวบ่งชี้ที่วัดค่าตัวแปรภายในหรือตัวแปรตาม (endogenous variable)

หลักการเขียนตัวบ่งชี้ในโมเดล คือ เขียนชื่อตัวบ่งชี้ใส่ในรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า () ดังนั้น เมื่อพิจารณาแผนภาพ 1 จะเห็นว่า ประกอบด้วยตัวบ่งชี้ 3 ตัว ได้แก่ 1) แรงจูงใจภายใน 2) ความพยายามพึ่งตนเอง 3) การบรรลุเป้าหมาย



แผนภาพ 1 โมเดลการวัดแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ (วิสิทธิ์ ไรจนไพรวงค์, 2545)

2. ความคลาดเคลื่อนในการวัด (measurement error) หรือ เศษเหลือ (residuals) มีความหมายอย่างเดียวกัน หมายถึง ความผิดพลาดในการวัดตัวบ่งชี้ที่สามารถประมาณค่าได้ บทความนี้ใช้คำว่า ความคลาดเคลื่อนในการวัด

กรณีที่ไม่มีการสุ่มตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนในการวัดของตัวบ่งชี้แต่ละตัวอาจมีความสัมพันธ์กันได้ ทั้งนี้ อาจเกิดขึ้นกรณีที่ข้อคำถามในแบบสอบถามเป็นเรื่องเกี่ยวกับความพึงพอใจหรือกรณีที่ให้เครื่องมือวัดชนิดเดียวกัน แต่วัดต่างเวลากัน

โปรแกรมลิสเรลใช้ตัวอักษรกรีกตัวเล็ก δ (delta : อ่านว่า เดลต้า) แทน ความคลาดเคลื่อนในการวัดของตัวบ่งชี้ที่ใช้วัดตัวแปรภายนอก และตัวอักษรกรีกตัวเล็ก ϵ (epsilon : อ่านว่า เอปซิลอน) แทน ความคลาดเคลื่อนในการวัดของตัวบ่งชี้ที่ใช้วัดตัวแปรภายใน แต่บางทีผู้วิจัยก็ไม่เขียนความคลาดเคลื่อนในการวัดไว้ในโมเดล เพื่อให้โมเดลดูง่ายขึ้นไม่รุงรัง แต่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมาณค่าไว้ให้ทุกครั้ง แม้ในกรณีที่ผู้วิจัยกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนในการวัดมีค่าเป็นศูนย์

ผู้วิจัยอาจกำหนดให้การวัดตัวบ่งชี้บางตัว ไม่มีความคลาดเคลื่อนในการวัดก็ได้ ในกรณีที่เป็นการวัดตัวบ่งชี้ที่เป็นรูปธรรมมากๆ เช่น อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง เป็นต้น

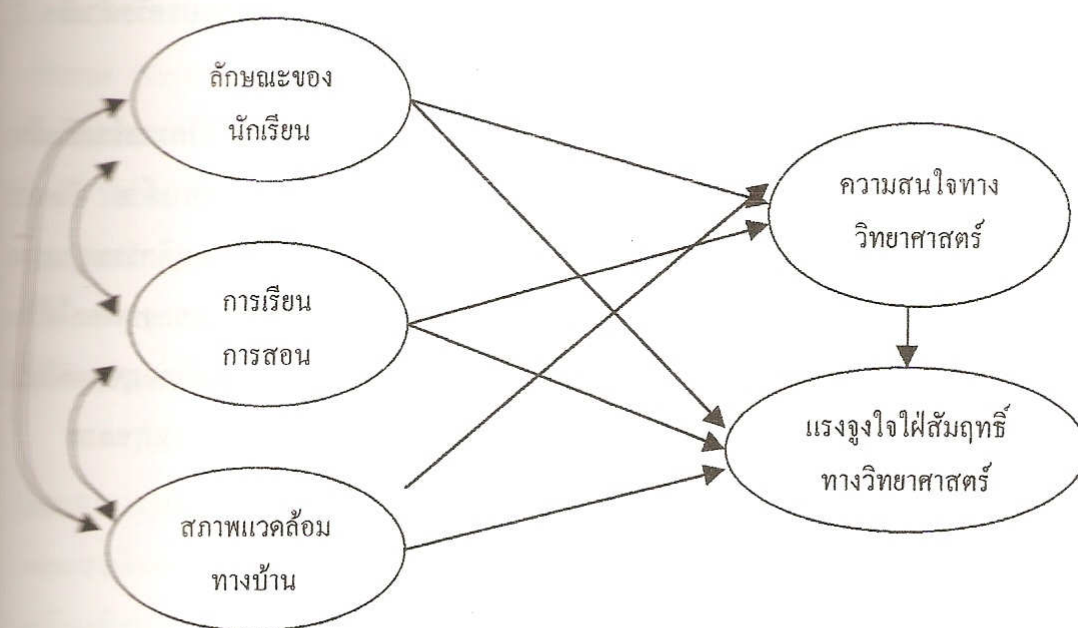
3. โมเดลการวัด (measurement model) เป็นโมเดลที่แสดงความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้นระหว่างตัวแปรแฝงกับตัวบ่งชี้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาแผนภาพ 1 จะเห็นว่า มีตัวบ่งชี้ 3 ตัว ได้แก่ 1) แรงจูงใจภายใน 2) ความพยายามพึ่งตนเอง 3) การบรรลุเป้าหมาย ในโมเดลนี้ตัวบ่งชี้มีความคลาดเคลื่อนในการวัด แต่ไม่ได้เขียนไว้

ในบางเรื่องผู้วิจัยให้ความสำคัญกับโมเดลการวัดมาก เช่น การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (confirmatory factor analysis) เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของเครื่องมือวิจัยหรือเครื่องมือวัดทางจิตวิทยา เป็นต้น แต่ในบางเรื่องผู้วิจัยก็ไม่สนใจโมเดลการวัด เนื่องจากมุ่งความสนใจไปที่

การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางทฤษฎีหรือตัวแปรแฝง อย่างไรก็ดี การทดสอบความตรงของทฤษฎีใด ๆ ผู้วิจัยพิจารณาว่าโมเดลการวัดสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ แต่ในกรณีโมเดลการวัดไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ผู้วิจัยไม่สามารถสรุปได้ว่า เกิดปัญหาที่ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงในโมเดลสมมติฐาน หรือการวัดค่าตัวบ่งชี้

4. ตัวแปรแฝง (latent variables) โครงสร้างทางทฤษฎี (theoretical constructs) หรือตัวแปรวัดค่าโดยตรงไม่ได้ (unmeasured variables) ในโมเดลสมการโครงสร้างเรียกโครงสร้างทางทฤษฎีว่าเป็นตัวแปรวัดค่าโดยตรงไม่ได้หรือตัวแปรแฝง เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถวัดหรือสังเกตค่าได้โดยตรง บทความนี้ใช้คำว่า ตัวแปรแฝง เพื่อป้องกันความสับสนในการใช้คำศัพท์ ตัวแปรแฝงเป็นตัวแปรที่ไม่มีความคลาดเคลื่อนในการวัดทั้งแบบสุ่มและแบบเป็นระบบ (Bollen, 1989) หลักการเขียน ตัวแปรแฝงในโมเดลคือ เขียนชื่อตัวแปรแฝงใส่  ในรูปวงรี () ดังนั้น เมื่อพิจารณาแผนภาพ 1 จะเห็นว่า มีตัวแปรแฝง 1 ตัว คือ แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์

โปรแกรมลิซเรลใช้ตัวอักษรกรีกตัวเล็ก η (eta : อ่านว่า เอต้า) แทน ตัวแปรภายนอกแฝง (ตัวแปรแฝงที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรอื่นในโมเดล) และตัวอักษรกรีกตัวเล็ก ξ (xi : อ่านว่า ซาย) แทนตัวแปรภายในแฝง (ตัวแปรแฝงที่ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรอื่นในโมเดล) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรใช้สัญลักษณ์รูปลูกศรหัวเดียว ($\rightarrow$) แทน ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม โดยตัวแปรที่อยู่หางลูกศรเป็นตัวแปรต้นหรือตัวแปรเหตุ ส่วนตัวแปรที่อยู่หัวลูกศรเป็นตัวแปรตามหรือตัวแปรผล และใช้สัญลักษณ์รูปลูกศร 2 หัวสั้นโค้ง ($\longleftrightarrow$) แทนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ดังนั้น เมื่อพิจารณาแผนภาพ 2



แบบแผน 2 โมเดลสมมติฐานความสัมพันธ์เชิงสาเหตุแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์
(วิสิทธิ์ ไรจนไพรวงศ์, 2545)

จะเห็นว่า ในโมเดลมีตัวแปรภายนอกแฝง 3 ตัว คือ 1) ลักษณะของนักเรียน 2) การเรียนการสอน 3) สภาพแวดล้อมทางบ้าน และมีตัวแปรภายในแฝง 2 ตัว คือ 1) แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ 2) ความสนใจทางวิทยาศาสตร์

เมื่อพิจารณาเรื่องความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรแฝงในโมเดล จะเห็นว่า

- 1) ตัวแปรลักษณะของนักเรียน ตัวแปรการเรียนการสอน ตัวแปรสภาพแวดล้อมทางบ้านเป็นตัวแปรเหตุ และตัวแปรความสนใจทางวิทยาศาสตร์เป็นตัวแปรผล
- 2) ตัวแปรลักษณะของนักเรียน ตัวแปรการเรียนการสอน ตัวแปรสภาพแวดล้อมทางบ้าน ตัวแปรความสนใจทางวิทยาศาสตร์เป็นตัวแปรเหตุ และตัวแปรแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์เป็นตัวแปรผล

เมื่อพิจารณาเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงในโมเดล จะเห็นว่า ตัวแปรลักษณะของนักเรียนสัมพันธ์กับตัวแปรการเรียนการสอน ตัวแปรการเรียนการสอนสัมพันธ์กับตัวแปรสภาพแวดล้อมทางบ้าน และตัวแปรลักษณะของนักเรียนสัมพันธ์กับตัวแปรสภาพแวดล้อมทางบ้าน

5. ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (disturbance) เป็นความคลาดเคลื่อนในสมการทำนายตัวแปรภายในแฝงด้วยตัวแปรแฝงอื่นในโมเดล ซึ่งเทียบได้กับความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนหรือเศษเหลือในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง โดยปกติไม่นิยมเขียนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไว้ในโมเดล แต่โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณให้เสมอ กรณีที่เขียนไว้ จะ

เขียนเป็นรูปลูกศรสั้นๆ (✓) ที่ตัวแปรภายในแฝง โปรแกรมลิสเรลใช้ตัวอักษรกรีกตัวเล็ก ζ (zeta : อ่านว่า เซต้า) แทน ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

6. โมเดลทางทฤษฎี (theoretical model) เป็นโมเดลที่แสดงความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้นระหว่างตัวแปรแฝง ดังตัวอย่างในแผนภาพ 3 ตัวแปรแฝงในโมเดล ประกอบด้วย ตัวแปรภายนอกแฝง 1 ตัว คือ เจตคติต่อสุขภาพ ตัวแปรภายในแฝง 2 ตัว คือ 1) พฤติกรรมสุขภาพ 2) สุขภาพของบุคคล และ ตัวบ่งชี้ 1 ตัว คือ อายุ ผู้วิจัยตั้งสมมติฐานวิจัยว่า สุขภาพของบุคคลได้รับอิทธิพลทางตรงจากตัวแปรอายุ และตัวแปรพฤติกรรมสุขภาพ ตัวแปรแฝงเจตคติต่อสุขภาพไม่มีอิทธิพลทางตรงต่อสุขภาพของบุคคล แต่มีอิทธิพลทางอ้อมผ่านตัวแปรแฝงพฤติกรรมสุขภาพ



แผนภาพ 3 โมเดลทางทฤษฎีทำนายสุขภาพของบุคคล จากตัวแปรอายุ ตัวแปรเจตคติต่อสุขภาพ และตัวแปรพฤติกรรมสุขภาพ (Norris, 2001)

7. พารามิเตอร์ (parameters) ค่าสัมประสิทธิ์ (coefficients) หรือ การประมาณค่าพารามิเตอร์ (parameter estimates) ผู้วิจัยเรียกค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพล (path coefficients) จาก ตัวแปรเหตุไปสู่ตัวแปรผล ว่าพารามิเตอร์ หรือค่าสัมประสิทธิ์หรือการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งคำศัพท์ทั้งสามใช้สลับกันไปมา แต่หมายถึงสิ่งเดียวกัน บทความนี้ใช้คำว่า พารามิเตอร์ ในโปรแกรมลิสเรล ได้จำแนกพารามิเตอร์ไว้ดังนี้

1) พารามิเตอร์แกมมา (λ : lambda) เมื่อกล่าวถึงสัมประสิทธิ์อิทธิพลในโมเดลการวัด

2) พารามิเตอร์เบต้า (β : beta) เมื่อกล่าวถึงสัมประสิทธิ์อิทธิพลระหว่างตัวแปรภายในแฝงด้วยกันเอง

3) ค่าพารามิเตอร์แกมมา (γ : gamma) เมื่อกล่าวถึงสัมประสิทธิ์อิทธิพลระหว่างตัวแปรภายนอกแฝงด้วยกัน หรือ ตัวแปรภายนอกแฝงกับตัวแปรภายในแฝง

ผู้วิจัยกำหนดชื่อเส้นทางอิทธิพลโดยใส่ตัวเลขคู่ลำดับห้อยหลังค่าพารามิเตอร์ เช่น $\gamma_{1,2}$ (เลข 1 แทน ตัวแปรผล เลข 2 แทน ตัวแปรเหตุ)

พารามิเตอร์มีค่า 2 แบบ ได้แก่ ค่ากำหนด (fixed) และค่าอิสระ (free) ในกรณีพารามิเตอร์กำหนด (fixed parameter) ผู้วิจัยกำหนดเป็นค่าเฉพาะ (0,1) ไว้ในโมเดล โปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงไม่ประมาณค่าให้ ตัวอย่างเช่น ในโมเดลการวัด ผู้วิจัยกำหนดพารามิเตอร์ระหว่างตัวแปรแฝงกับตัวบ่งชี้ 1 ตัว มีค่าเท่ากับ 1.0 ส่วนพารามิเตอร์อื่นกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 (ไม่มีสัมประสิทธิ์อิทธิพลระหว่างตัวแปรแฝงด้วยกัน หรือระหว่างตัวแปรแฝงกับตัวบ่งชี้ตัวอื่นๆ)

พารามิเตอร์อิสระ (free parameter) ผู้วิจัยไม่ได้กำหนดเป็นค่าเฉพาะไว้ในโมเดล แต่ให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมาณค่าให้ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวบ่งชี้ในโมเดล

โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะประมาณค่าพารามิเตอร์แบบกะเนนดิบ (nonstandardized parameter) และค่าพารามิเตอร์แบบกะเนนมาตรฐาน (standardized parameter) รวมทั้งทดสอบนัยสำคัญของค่าพารามิเตอร์ โดยทั่ว ๆ ไปผู้วิจัยนิยมใช้ค่าพารามิเตอร์แบบกะเนนมาตรฐาน เพราะสามารถเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์อิทธิพลระหว่างตัวแปรได้ นอกจากนี้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ยังคำนวณค่าอิทธิพลทางอ้อม (indirect effects) และค่าอิทธิพลรวม (total effects) ของตัวแปรแฝงในรูปกะเนนดิบ และกะเนนมาตรฐานได้ด้วย

8. ค่าสถิติวัดระดับความสอดคล้อง (model fit statistics) โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะให้ค่าสถิติต่างๆ สำหรับพิจารณาความสอดคล้องระหว่างโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โปรแกรมลิสเรลกำหนดค่าสถิติวัดระดับความสอดคล้องให้โดยอัตโนมัติ ผู้วิจัยพิจารณาเลือกใช้ค่าสถิติเอง ปัจจุบันยังไม่มีข้อยุติว่าค่าสถิติตัวใดเป็นค่าสถิติที่ดีที่สุด บทความนี้จะกล่าวถึงเฉพาะค่าสถิติวัดระดับความสอดคล้องที่พบบ่อยๆ ในรายงานการวิจัยที่ตีพิมพ์เท่านั้น

ค่าสถิติวัดระดับความสอดคล้องที่ใช้กันมาก ได้แก่ ดัชนีวัดระดับความสอดคล้อง (goodness of fit index : GFI) และดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (comparative fit index : CFI) ดัชนีทั้งสองมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ในสมัยก่อนโมเดลที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์พิจารณาจากดัชนี GFI และ ดัชนี CFI มีค่ามากกว่า 0.90 (Bentler & Bonnett, 1980) ต่อมา มีการนำดัชนี GFI มาปรับแก้โดยคำนึงถึงขนาดขององศาอิสระ รวมทั้งจำนวนตัวแปรและขนาดกลุ่มตัวอย่าง เป็นดัชนีวัดระดับความสอดคล้องที่ปรับแก้แล้ว (adjusted goodness of fit index : AGFI) ดัชนี AGFI มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับดัชนี GFI (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542) Diamantopoulos and Siguaw (2000) เสนอแนะว่า ดัชนี GFI และ ดัชนี AGFI มีค่ามากกว่า 0.90 แสดงว่า โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ Hu and Bentler (1999) เสนอแนะว่า ดัชนี CFI มีค่ามากกว่า 0.95 แสดงว่า โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ดี อย่างไรก็ตาม การใช้ดัชนีเพียงสามตัวพิจารณาความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์อาจไม่เหมาะสมสำหรับทุกกรณี เนื่องจากต้องพิจารณาเรื่องขนาดกลุ่มตัวอย่าง วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์และลักษณะการแจกแจงของข้อมูล (Hu & Bentler, 1995)

สำหรับดัชนี NFI (normed fit index) และดัชนี NNFI (non-normed fit index) มีการนำมาใช้ในรายงานวิจัยบ้าง ส่วนดัชนีตัวอื่นๆ เช่น IFI, RFI, PGFI เป็นต้น ไม่ค่อยนำมาใช้ในรายงานวิจัย ดัชนีเหล่านี้ก็เช่นเดียวกับดัชนี GFI และ ดัชนี CFI คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้ามีค่ามากกว่า 0.90 แสดงว่า โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ นอกจากนี้ยังมีดัชนีบอกความคลาดเคลื่อนของโมเดล เช่น ดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของส่วนเหลือมาตรฐาน (standardized root mean square residual: Standardized RMR) ดัชนี Standardized RMR มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.08 แสดงว่า โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ดี (Hu & Bentler, 1999) และดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ (root mean square of error approximation: RMSEA) ดัชนี RMSEA มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.06 แสดงว่า โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ดี (Hu & Bentler, 1999) เป็นต้น

โปรแกรมลิซเรลให้ค่าสถิติไค-สแควร์ (chi-square statistics) ซึ่งเป็นการประเมินความแตกต่างระหว่างข้อมูลเชิงประจักษ์กับสมการลดรูปจากโมเดลเต็มรูป (Byrne, 1994) ในการทดสอบโมเดลต้องการให้ค่าสถิติไค-สแควร์ไม่มีนัยสำคัญ (nonsignificance) เพราะต้องการยืนยันสมมติฐานหลัก (null hypothesis) คือ โมเดลทางทฤษฎีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ไม่แตกต่างกัน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสถิติไค-สแควร์ คือ ขนาดกลุ่มตัวอย่างและการฝ่าฝืนการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติพหุ (Joreskog & Sorbom, 1988) ดังนั้น การให้เพียงค่าสถิติไค-สแควร์สรุปความสอดคล้องระหว่างโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ จึงเป็นการพิจารณาอย่างคร่าวๆ เท่านั้น (Bollen & Long, 1993) Carmines and McIver (1983) เสนอแนะให้ใช้ค่าสถิติที่คำนวณด้วยมือ 2 ตัว ตัวแรกเรียกว่า ค่าอัตราส่วนไค-สแควร์สัมพัทธ์ (relative chi-square ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสถิติไค-สแควร์กับองศาอิสระ (ค่าสถิติไค-สแควร์หารด้วยองศาอิสระ) ในกรณีที่ค่าอัตราส่วนไค-สแควร์สัมพัทธ์น้อยกว่า 3.00 ถือว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ส่วนอีกตัวหนึ่งเรียกว่า ค่าไค-สแควร์สอดแทรก (nested chi-square) ใช้สำหรับเปรียบเทียบระหว่างโมเดลที่ศึกษากับโมเดลคู่แข่ง (competitive model) ว่าโมเดลใดสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่ากัน ดังนั้น เมื่อพิจารณา ตาราง 1 ตัวอย่างการคำนวณค่าไค-สแควร์สอดแทรก โดยการนำค่าสถิติไค-สแควร์และองศาอิสระของโมเดลที่ศึกษาลบด้วยค่าสถิติไค-สแควร์และองศาอิสระของโมเดลคู่แข่ง การตัดสินใจว่าโมเดลที่ศึกษาสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่าโมเดลคู่แข่งหรือไม่ พิจารณาจากระดับนัยสำคัญของค่าไค-สแควร์สอดแทรก ในตาราง 1 ค่าสถิติไค-สแควร์สอดแทรกมีนัยสำคัญ ($\chi^2 = 15.21$, $df = 2$, $p < 0.001$) แสดงว่า โมเดลที่ศึกษา (ค่าสถิติไค-สแควร์น้อยกว่า) สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากกว่าโมเดลคู่แข่ง (ค่าสถิติไค-สแควร์มากกว่า)

ตาราง 1 ตัวอย่างการคำนวณค่าไค-สแควร์สอดแทรก (Norris, 2001)

ค่าสถิติไค-สแควร์ของโมเดลการวัดที่ศึกษา	2,006.37, df = 1,202
ค่าสถิติไค-สแควร์ของโมเดลการวัดคู่แข่ง	2,021.58, df = 1,200
ค่าไค-สแควร์สอดแทรก	-15.21*, df = 2

* เครื่องหมาย - หรือ + มีความหมายไม่ต่างกัน, $p < 0.001$

โดยหลักการทั่วไป การตรวจสอบความตรงของโมเดลทางทฤษฎีที่เป็นสมมติฐานวิจัย หรือการประเมินผลความถูกต้องของโมเดลทางทฤษฎีหรือการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อมูลเชิงประจักษ์กับโมเดลทางทฤษฎี ผู้วิจัยพิจารณาจากค่าสถิติไค-สแควร์ ค่าอัตราส่วนไค-สแควร์สัมพัทธ์ และค่าดัชนี GFI, AGFI, CFI, Standardized RMR, RMSEA ดังนี้

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

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

9. การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (identification of the model) เป็นสมมติฐานว่าโมเดลนั้นสามารถนำมาประมาณค่าพารามิเตอร์ได้เป็นค่าเดียวหรือไม่ (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542) ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญในการประมาณค่าพารามิเตอร์และการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดลมี 3 แบบดังนี้

- 1) โมเดลระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวเกินพอดีหรือโมเดลระบุเกินพอดี (overidentified model) กรณีจำนวนสมการมากกว่าจำนวนพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าในโมเดล
- 2) โมเดลระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวได้พอดีหรือโมเดลระบุพอดี (just identified model) กรณีจำนวนสมการเท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าในโมเดล
- 3) โมเดลระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวไม่พอดีหรือโมเดลระบุไม่พอดี (underidentified model) กรณีจำนวนสมการน้อยกว่าจำนวนพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าในโมเดล

โมเดลทางทฤษฎีและโมเดลการวัดที่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์และตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ได้ ต้องเป็นโมเดลระบุเกินพอดี ส่วนกรณีเป็น

โมเดลระบุพหุติสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ได้ แต่ไม่สามารถระบุค่าสถิติวัดระดับความสอดคล้องและกรณีเป็นโมเดลระบุไม่พหุติ โปรแกรมจะไม่ทำงานหรือทำงานหลังจากที่โปรแกรมเลือกค่าพารามิเตอร์บางตัวในโมเดลให้เท่ากับศูนย์

การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวกรณีโมเดลระบุเกินพหุติไม่ใช่เรื่องที่ทำได้ง่ายๆ หรือตรงไปตรงมา ในบางกรณีโมเดลในกระดาษเป็นโมเดลระบุเกินพหุติ แต่เมื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมาณค่าพารามิเตอร์แล้ว อาจระบุว่าเป็นโมเดลระบุไม่พหุติ ก็ได้ ทั้งนี้เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวบ่งชี้ค่าสูงหรือลักษณะการแจกแจงของตัวแปรไม่เป็นแบบปกติ หลักเกณฑ์ในการระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดลอาจศึกษาจากนงลักษณ์ วิรัชชัย (2542) หรือ Bollen (1989)

10. ดัชนีปรับเปลี่ยนโมเดล (modification indices) เป็นค่าสถิติเฉพาะของพารามิเตอร์แต่ละตัวสำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงของความสอดคล้องระหว่างโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (การเปลี่ยนแปลงของค่าไค-สแควร์) โดยการเพิ่มหรือลดจำนวนพารามิเตอร์ในโมเดล ผู้วิจัยสามารถใช้ค่าสถิติตัวนี้เป็นแนวทางสำหรับตัดสินใจปรับเปลี่ยนสัมประสิทธิ์อิทธิพลในโมเดลได้ ในโปรแกรมลิสเรลเรียกว่าดัชนีปรับเปลี่ยนโมเดล (modification indices : MI) ดัชนี MI เสนอแนะว่า ควรจะเพิ่มพารามิเตอร์หรือสัมประสิทธิ์อิทธิพลในโมเดลเส้นใดบ้าง ส่วนการตัดสินใจปรับเปลี่ยนสัมประสิทธิ์อิทธิพลเส้นใดขึ้นอยู่กับผู้วิจัย ผู้วิจัยต้องปรับสัมประสิทธิ์อิทธิพลอย่างมีความหมายในเชิงเนื้อหาและสามารถตีความหมายค่าพารามิเตอร์นั้น ๆ ได้ชัดเจน (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542)

11. การวิเคราะห์กลุ่มพหุ (multiple group analysis) เป็นการวิเคราะห์ความแตกต่างของกลุ่มตัวอย่างหลายกลุ่มในการทดสอบโมเดลการวัดและโมเดลทางทฤษฎี ว่าผลการทดสอบความสอดคล้องและค่าพารามิเตอร์มีความคงที่ตลอดทุกกลุ่มตัวอย่างหรือไม่ ผู้วิจัยควรตรวจสอบองค์ประกอบของโครงสร้างทางทฤษฎีของเครื่องมือวิจัยกับกลุ่มตัวอย่างที่ต่างกัน เช่น ต่างอายุ ต่างเพศ ต่างเชื้อชาติ ต่างสถานภาพทางเศรษฐกิจและสังคม เป็นต้น ว่ามีโมเดลทางทฤษฎีเหมือนกันหรือไม่ ความแตกต่างของกลุ่มตัวอย่างในโมเดลทางทฤษฎีพิจารณาได้จากโมเดลการวัดเหมือนกันหรือเหมือนกันบางส่วน (Byrne, 1994) โมเดลการวัดเหมือนกันในกรณีค่าพารามิเตอร์อิสระระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โมเดลการวัดเหมือนกันบางส่วนต้องมีค่าพารามิเตอร์อิสระอย่างน้อย 1 ตัวเหมือนกัน (ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ)

ลักษณะข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง

ข้อมูลที่ใช้สำหรับวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างต้องมีลักษณะ 3 ประการดังนี้

1. ข้อมูลควรวัดเป็นค่าต่อเนื่อง (continuous) และมีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเป็นแบบปกติ แต่ปัจจุบันในโปรแกรมลิสเรล 8.50 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกประเภท (categorical data)

โมเดลสมการโครงสร้างได้ รวมทั้งมีวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์แบบพิเศษที่มีความแข็งแกร่งต่อการฝ่าฝืนข้อสมมติเบื้องต้นเรื่องลักษณะการแจกแจงข้อมูลเป็นแบบปกติ

2. ตัวแปรแฝงแต่ละตัว ต้องวัดด้วยตัวบ่งชี้หลายตัว สำหรับโมเดลการวัดตัวแปรแฝง 1 ตัว ต้องวัดด้วยตัวบ่งชี้อย่างน้อย 3 ตัว เนื่องจากเมื่อผู้วิจัยกำหนดให้พารามิเตอร์ในโมเดลการวัด 1 ตัว เป็นพารามิเตอร์กำหนด (เท่ากับ 1.0) โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์และตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลได้ (โมเดลระบุเกินพอดี) อย่างไรก็ดี ในโมเดลการวัดที่มีตัวแปรแฝง 1 ตัว และวัดด้วยตัวบ่งชี้น้อยกว่า 3 ตัว ก็อาจประมาณค่าพารามิเตอร์ได้ ในกรณีที่กำหนดให้ไม่มีความคลาดเคลื่อนในการวัดตัวบ่งชี้ นอกจากนี้ การใช้ตัวบ่งชี้หลายตัววัดตัวแปรแฝงหนึ่งตัว ยังทำให้สามารถวัดลักษณะของตัวแปรแฝงได้หลายแง่มุม แต่ตัวบ่งชี้แต่ละตัวต้องไม่ซ้ำซ้อนกัน (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวบ่งชี้แต่ละคู่ไม่เกิน .90) ทั้งนี้เพื่อป้องกันโมเดลในกระดาศเป็นโมเดลระบุเกินพอดี แต่เมื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างอาจระบุเป็นโมเดลระบุไม่พอดี เนื่องจากตัวบ่งชี้มีความสัมพันธ์กันสูง

3. ควรใช้ข้อมูลจำนวนมาก ในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างต้องใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ใช้วิธีไล่ค่าสูงสุดที่สุดหรือความเป็นไปได้สูงสุดหรือวิธี ML (maximum likelihood: ML) ประมาณค่าพารามิเตอร์ในโมเดล โดยทั่วไปมีข้อเสนอว่า ควรใช้กลุ่มตัวอย่างขนาด 100-200 หน่วยตัวอย่าง หรือกรณีการวิเคราะห์กลุ่มพหุ ควรใช้กลุ่มตัวอย่างขนาด 100-200 หน่วยตัวอย่างต่อกลุ่ม แต่การศึกษาจากสถานการณ์จำลองของ Fan and Wang (1998) พบว่า โมเดลทางทฤษฎีที่มี 3 องค์ประกอบ การใช้กลุ่มตัวอย่างขนาด 100 และ 200 หน่วยตัวอย่าง จะได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลไม่ถูกต้อง (ค่าสถิติเป็นไปไม่ได้ เช่น ความแปรปรวนเป็นลบ เป็นต้น) แต่ถ้าใช้กลุ่มตัวอย่างขนาด 500 หน่วยตัวอย่าง จะได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลถูกต้อง ดังนั้น การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างจึงควรใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ นอกจากนี้กรณีโมเดลทางทฤษฎีมีความซับซ้อน (ประมาณค่าพารามิเตอร์หลายตัว) และลักษณะการแจกแจงของข้อมูลไม่เป็นแบบปกติ ควรใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ยิ่งขึ้น เรื่องการใช้ขนาดกลุ่มตัวอย่างยังไม่มีหลักเกณฑ์ชัดเจนตายตัว Bollen (1989) เสนอแนะว่า พารามิเตอร์อิสระ 1 ตัว ต้องใช้หน่วยตัวอย่างหลายตัว ส่วน Lindeman, Merenda and Gold (1980) ให้หลักทั่วไปว่า อัตราส่วนระหว่างหน่วยตัวอย่างกับจำนวนพารามิเตอร์หรือตัวแปร ควรจะเป็น 20 : 1

การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างใช้กับข้อมูลภาคตัดขวาง (cross-sectional data) หรือข้อมูลระยะยาว (longitudinal data) ที่ได้จากการวิจัยเชิงสำรวจ แต่ไม่ใช้กับข้อมูลที่ได้จากการวิจัยเชิงทดลอง ดังตัวอย่างงานวิจัยของ Norris and Ford (1995) ที่กล่าวมาแล้ว วิเคราะห์กลุ่มพหุ

โดยใช้ข้อมูลภาคตัดขวางซึ่งได้จากการวิจัยเชิงสำรวจ ดังนั้น การสร้างโมเดลสมการโครงสร้างจึงต้องใช้ทฤษฎีหรืองานวิจัยสนับสนุนความเป็นสาเหตุระหว่างตัวแปรในโมเดล

ข้อตกลงเบื้องต้นของโมเดลสมการโครงสร้าง

โมเดลสมการโครงสร้างมีข้อตกลงเบื้องต้น 3 ประการดังนี้

1. ข้อตกลงเบื้องต้นทางทฤษฎี

การสร้างโมเดลสมการโครงสร้างไม่เน้นความสำคัญของการใช้ทฤษฎีมากเหมือนกับการวิเคราะห์อิทธิพลแบบดั้งเดิม ซึ่งต้องใช้ทฤษฎีหรือความเป็นสาเหตุกำหนดความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรในโมเดล แต่การสร้างโมเดลสมการโครงสร้าง ก็มีข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องความเป็นสาเหตุทั้งเรื่องการวัดตัวแปรแฝง (การสร้างตัวบ่งชี้) และความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรแฝงในโมเดล ข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องความเป็นสาเหตุใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนว่า ในโมเดลควรมีเส้นทางอิทธิพลระหว่างตัวแปรใด (ค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลไม่เท่ากับ 0) และไม่ควรมีเส้นทางอิทธิพลระหว่างตัวแปรใด (ค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลเท่ากับ 0) ดังแผนภาพ 3 ไม่มีเส้นทางอิทธิพลระหว่างตัวแปรอายุกับตัวแปรเจตคติต่อสุขภาพ และตัวแปรอายุกับพฤติกรรมสุขภาพ ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลระหว่างตัวแปรอายุกับเจตคติต่อสุขภาพและตัวแปรอายุกับตัวแปรพฤติกรรมสุขภาพ จึงมีค่าเท่ากับ 0 (โปรแกรมคอมพิวเตอร์ไม่ประมาณค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพล) ส่วนการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างก็เช่นเดียวกับการวิเคราะห์อิทธิพลแบบดั้งเดิม ต้องพิจารณาเงื่อนไขความเป็นสาเหตุระหว่างตัวแปร 3 ประการคือ 1) ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรต้องสามารถวัดค่าหรือสังเกตค่าได้จริง 2) ลำดับการเกิดก่อนหลังของตัวแปร 3) ต้องไม่ใช่ความสัมพันธ์ลวง (nonspuriousness) Bollen (1989) กล่าวว่า ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรต้องมีเงื่อนไข 3 ประการคือ 1) ความเกี่ยวเนื่อง (association) 2) ทิศทางของอิทธิพล (direction of influence) 3) การแยกส่วนความสัมพันธ์ (isolation) และได้พูดถึงการแยกส่วนความสัมพันธ์เทียม (pseudoisolation) ในกรณีที่ไม่สามารถระบุได้ว่าความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรแฝง 2 ตัวเป็นความสัมพันธ์ลวงหรือไม่ โดยเน้นให้เห็นความจำเป็นในการแสวงหาหลักฐานมาสนับสนุนความเป็นสาเหตุระหว่างตัวแปร และถือว่าการตรวจสอบเงื่อนไขเรื่องความเกี่ยวเนื่องและการแยกส่วนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นสิ่งสำคัญ

2. ข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ

การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างมีข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ 3 ประการ ดังนี้

1) ข้อมูลควรมีลักษณะการแจกแจงเป็นแบบปกติ (normal distributions) มีความเป็นเอกพันธ์ของการกระจาย (homoscedasticity) และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ต้องเป็นแบบเส้นตรง (linear relationships) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ถดถอย เนื่องจากการวิเคราะห์โมเดล

สมการโครงสร้าง เป็นการแก้สมการถดถอยหลายๆ สมการ อย่างไรก็ดี การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างมีความแข็งแกร่งต่อการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติ รวมทั้งสามารถใช้กับข้อมูลที่ได้จากตัวแปรจำแนกประเภทได้ แต่ตัวแปรจำแนกประเภทอาจมีอิทธิพลต่อตัวแปรอื่นในโมเดลการวัด จึงต้องตรวจสอบเป็นรายกรณี และเปลี่ยนรูปข้อมูลเป็นความถี่แบบเส้นตรง (Bollen, 1989) หรือในกรณีที่วิเคราะห์กลุ่มพหุ ควรตรวจสอบปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจำแนกประเภท ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Norris and Ford (1995) ดังกล่าวมาแล้ว ใช้วิธีการวิเคราะห์กลุ่มพหุ แสดงโมเดลความต้องการใช้ถุงยางอนามัยในกลุ่มตัวอย่างซึ่งจำแนกตามตัวแปรเพศและตัวแปรเชื้อชาติ ข้อสรุปของงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเพศกับเชื้อชาติในเรื่องความต้องการใช้ถุงยางอนามัย

2) การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างมีเทอมความคลาดเคลื่อน (error terms) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ถดถอยที่เรียกว่า เศษเหลือ (residuals) โดยปกติการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นข้อนี้ ยกเว้น ตัวแปรแฝงในโมเดลเป็นตัวแปรที่ไม่มีความคลาดเคลื่อนในการวัด

3) ข้อตกลงเรื่องกลุ่มตัวอย่างมีการแจกแจงแบบเชิงเส้นกำกับ (asymptotic) กล่าวคือ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ จะมีค่าเข้าใกล้ค่าอนันต์ (Bollen, 1989) ในกรณีกลุ่มตัวอย่างน้อยกว่า 100 หน่วยตัวอย่าง ค่าสถิติไค-สแควร์มีแนวโน้มที่จะมีค่าสูง ทำให้ค่าสถิติไค-สแควร์มีโอกาสที่จะมีค่าสูง อาจปฏิเสธสมมติฐานหลัก (โมเดลทางทฤษฎีสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์) ทั้งๆ ที่สมมติฐานหลักถูกต้อง

ข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติ ผู้วิจัยสามารถฝ่าฝืนได้ ถ้าใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ อย่างไรก็ดี การฝ่าฝืนข้อตกลงเหล่านี้อาจส่งผลให้โมเดลทางทฤษฎีไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ต่างๆ ที่ในสภาพความเป็นจริงแล้ว โมเดลทางทฤษฎีสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และอาจทำให้ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องไม่ตรงกับสภาพความเป็นจริง

3. ข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีไล่ค่าสูงสุดสูงสุดหรือรวมเป็นไปได้สูงสุดหรือวิธี ML วิธี ML มีข้อตกลงเบื้องต้น 2 ประการ ดังนี้

1) ไม่มีตัวแปรเดียวหรือกลุ่มของตัวแปรใดสามารถอธิบายตัวแปรอื่นได้อย่างสมบูรณ์ (Bollen, 1989)

2) ข้อมูลจากตัวบ่งชี้ต้องมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติพหุ (West et al., 1995)

ข้อตกลงเบื้องต้นข้อแรก แสดงให้เห็นว่า ผู้วิจัยจำเป็นต้องใช้ตัวบ่งชี้หลายตัววัดตัวแปรแฝงหนึ่งตัว และตัวบ่งชี้เหล่านั้นต้องไม่มีความสัมพันธ์กันสูง เนื่องจากวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์

แบบ ML ไม่มีความแกร่งในกรณีตัวบ่งชี้มีความสัมพันธ์กันสูง ดังนั้น ตัวบ่งชี้ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างกันตั้งแต่ .90 ขึ้นไป จึงไม่ควรนำไปใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ในโมเดล ส่วนข้อตกลงเบื้องต้นข้อที่สอง เป็นเรื่องที่ตรวจสอบได้ยาก แต่วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบ ML มีความแกร่งต่อการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นในข้อนี้ (Chou & Bentler, 1995) ยกเว้นในกรณีต่อไปนี้

1. กลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็กและโมเดลทางทฤษฎีซับซ้อน
2. ในโมเดลมีการใช้ตัวแปรจำแนกประเภทหรือตัวแปรทวิภาค (dichotomous variables) (มีการแปรค่าในลักษณะ 2 ค่า)

เรื่องการใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ บางครั้งในทางปฏิบัติก็เป็นเรื่องที่ทำได้ยาก นอกจากนี้ กรณีการวิเคราะห์กลุ่มพหุ ผู้วิจัยอาจจำเป็นต้องใช้ตัวแปรทวิภาค เช่น เพศ เชื้อชาติ หรือสถานภาพการทำงาน เป็นต้น แทน ความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ดังนั้น การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างจึงควรให้ความสำคัญกับโมเดลทางทฤษฎีมากกว่าหรืออย่างน้อยก็เท่ากับการวิเคราะห์ทางสถิติ (Norusi, 2001) ปัจจุบันในโปรแกรมลิสเรล 8.50 มีเทคนิคพิเศษสำหรับประมาณค่าพารามิเตอร์กรณีในโมเดลมีตัวแปรจำแนกประเภท

อำนาจการทดสอบของโมเดลสมการโครงสร้าง

เรื่องอำนาจการทดสอบของโมเดลสมการโครงสร้าง มีประเด็นที่ควรพิจารณา 2 ประเด็น ดังนี้

1. ในขั้นตอนการทดสอบโมเดล ถ้าผู้วิจัยใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ จะทำให้ค่าสถิติไค-สแควร์มีโอกาสมีนัยสำคัญมากกว่าใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก อาจทำให้ต้องปฏิเสธโมเดลทั้ง ๆ ที่ในสภาพความเป็นจริงแล้ว ควรจะต้องยอมรับโมเดล (Bollen, 1989) เนื่องจากการใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (มากกว่า 500 ขึ้นไป) วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างจะไปขยายการกำหนดข้อมูลจำเพาะที่ผิดพลาดให้ใหญ่โตเกินความเป็นจริง ทำให้ค่าสถิติไค-สแควร์มีแนวโน้มสูงเกินความเป็นจริงและมีนัยสำคัญ ($p < .05$) แต่ในทางตรงกันข้ามการใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง จะไปปิดบังการกำหนดข้อมูลจำเพาะที่ผิดพลาดให้เล็กลงกว่าความเป็นจริง ทำให้ค่าสถิติไค-สแควร์มีแนวโน้มต่ำกว่าความเป็นจริงและไม่มีนัยสำคัญ ($p \geq .05$) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงควรพิจารณาขนาดของกลุ่มตัวอย่างให้พอเหมาะกับงานวิจัย

2. โอกาสในการยอมรับความคลาดเคลื่อนประเภทที่ II (type II error) (ยอมรับโมเดลทั้ง ๆ ที่ควรปฏิเสธโมเดล) จะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการปรับโมเดลและทดสอบโมเดลใหม่ (Kaplan, 1995) อย่างไรก็ดี ในการทดสอบโมเดลสมการโครงสร้างเรื่องการปรับโมเดลและทดสอบโมเดล

ใหม่ถือว่าเป็นเรื่องปกติธรรมดา แต่โอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ II มากเกินไปก็เป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง ดังนั้น ผู้วิจัยควรใช้ทฤษฎีประกอบกับดัชนีปรับเปลี่ยนโมเดลในการกำหนดข้อมูลจำเพาะทุกครั้ง ส่วนการเลือกโมเดลควรพิจารณาจากค่าสถิติไค-สแควร์ ค่าไค-สแควร์สอดคล้องและดัชนีวัดระดับความสอดคล้องต่าง ๆ โดยเลือกโมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากที่สุด นอกจากนี้ Chou and Bentler (1995) ได้เสนอแนะไว้ว่า ในกรณีที่มีข้อมูลมากพอ ผู้วิจัยควรแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยใช้ข้อมูลครึ่งแรกพัฒนาโมเดลและใช้ข้อมูลอีกครึ่งหนึ่งทดสอบโมเดลสุดท้าย (final model)

การประเมินอำนาจการทดสอบของโมเดลสมการโครงสร้างว่ามีมากน้อยเท่าใด เป็นเรื่องที่ทำได้ยาก เนื่องจากอำนาจการทดสอบขึ้นอยู่กับขนาดของกลุ่มตัวอย่างและการกำหนดข้อมูลจำเพาะผิดพลาด (Kaplan, 1995) และในบางครั้งการกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดลผิดพลาดก็เกิดขึ้นโดยที่ผู้วิจัยไม่ได้ตั้งใจ สำหรับวิธีการคำนวณอำนาจการทดสอบมีด้วยกันหลายวิธี ผู้อ่านที่สนใจอาจศึกษาได้จาก Kaplan (1995)

การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง

การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเริ่มต้นจากการเตรียมการวิเคราะห์โมเดลหรือกำหนดข้อมูลจำเพาะ การประมาณค่าพารามิเตอร์จากโมเดลและการทดสอบโมเดล และการพิจารณาข้อจำกัดของการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง

การเตรียมการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง ต้องดำเนินการ 2 เรื่อง ดังนี้

1. การสร้างโมเดลเต็มรูป แสดงรายละเอียดของโมเดลการวัดสำหรับตัวแปรแฝงแต่ละตัว และแสดงความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรแฝงในโมเดลทางทฤษฎี
2. การกำหนดค่าพารามิเตอร์ หรือค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลระหว่างตัวแปรในโมเดลให้เป็น 0 หรือไม่เท่ากับ 0

หลังจากนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะประมาณค่าพารามิเตอร์และทดสอบความสอดคล้องระหว่างโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยจะทดสอบโมเดลการวัดให้ก่อน เมื่อผู้วิจัยพิจารณาว่าโมเดลการวัดสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์แล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทดสอบโมเดลทางทฤษฎีต่อไป

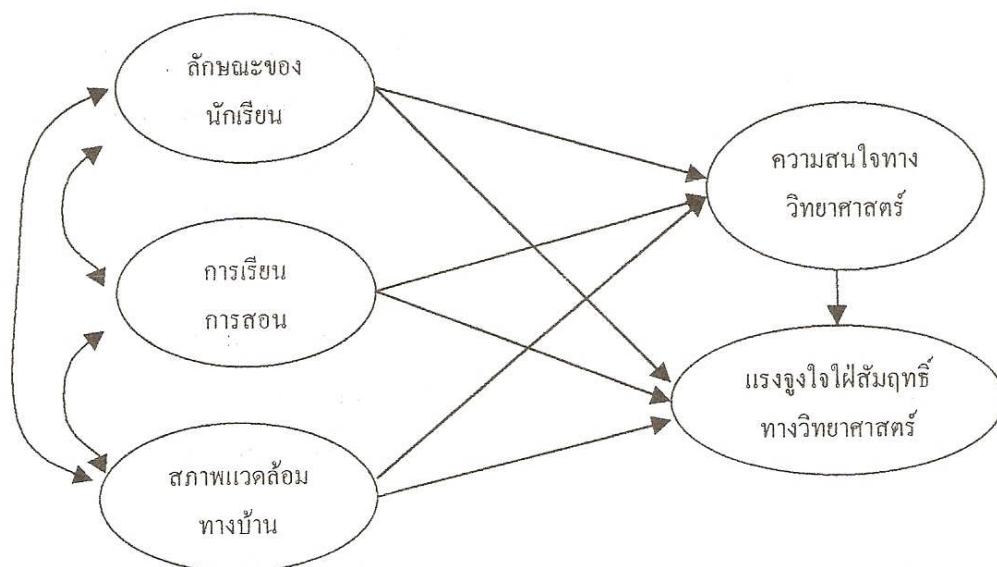
การประมาณค่าพารามิเตอร์และการทดสอบโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ อาจต้องทดสอบหลายครั้ง ในกรณีดัชนี GFI, AGFI มีค่าต่ำกว่า 0.90 ดัชนี CFI มีค่าต่ำกว่า 0.95 ดัชนี Standardized RMR มีค่ามากกว่า 0.08 ดัชนี RMSEA มีค่ามากกว่า 0.06 โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะแนะนำค่าพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญและควรตัดออกจากโมเดลหรือกำหนดข้อมูล

จำเพาะใหม่ โดยปกติดัชนี MI เสนอแนะว่า ควรจะเพิ่มพารามิเตอร์เส้นใดเข้าไปในโมเดล เมื่อผู้วิจัยพิจารณาเห็นว่ามีทฤษฎีและหลักฐานสนับสนุนเพียงพอ ก็เพิ่มเติมพารามิเตอร์นั้นเข้าไปได้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทดสอบความตรงของโมเดลใหม่ แม้ว่าผู้วิจัยสามารถเพิ่มพารามิเตอร์และทดสอบโมเดลได้หลายครั้ง ก็ควรเพิ่มเฉพาะพารามิเตอร์ที่ทำให้โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์เท่านั้น

การพิจารณาข้อจำกัดของการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง ช่วยทำให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสอดคล้องกับบริบทของการวิจัย ตัวอย่างเช่น ผู้วิจัยอาจพิจารณาว่า ข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องความคลาดเคลื่อนในการวัดมีอิทธิพลต่อผลการวิจัยหรือไม่ เป็นต้น ในการตรวจสอบความตรงของโมเดล เรื่องการพิจารณาความตรงของโมเดลสุดท้ายเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อเลือกโมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มากที่สุดและสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ดีที่สุดด้วย

ตัวอย่างการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างโดยใช้โปรแกรมลิสเรล

วิสิทธิ์ โรจนไพรวงศ์ (2545) ได้ใช้โมเดลสมการโครงสร้างทดสอบโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งพัฒนาจากทฤษฎีของ Aalst, Emous and Kapteyn (1985) ที่ศึกษาเรื่องโมเดลความสนใจ แรงจูงใจและการเรียน รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงจูงใจและความสนใจ โดยโมเดลเริ่มต้น (initial model) ประกอบด้วย ตัวแปรแฝง 5 ตัว ได้แก่ ความสนใจทางวิทยาศาสตร์ แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ ลักษณะของนักเรียน การเรียนการสอน และสภาพแวดล้อมทางบ้าน ดังแผนภาพ 4



แผนภาพ 4 โมเดลสมมติฐานความสัมพันธ์เชิงสาเหตุแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์
(วิสิทธิ์ โรจนไพรวงศ์, 2545)

จากโมเดลสมมุติฐาน จะเห็นว่า ตัวแปรลักษณะของนักเรียน ตัวแปรการเรียนการสอน และตัวแปรสภาพแวดล้อมทางบ้าน น่าจะส่งอิทธิพลทางตรงต่อตัวแปรแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์และตัวแปรความสนใจทางวิทยาศาสตร์ และน่าจะส่งอิทธิพลทางอ้อมต่อตัวแปรแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ผ่านตัวแปรความสนใจทางวิทยาศาสตร์

ตัวแปรความสนใจทางวิทยาศาสตร์น่าจะส่งอิทธิพลทางตรงต่อแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์

ตัวแปรแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์วัดด้วยตัวบ่งชี้ 3 ตัว ได้แก่ 1) แรงจูงใจภายใน 2) ความพยายามพึ่งตนเอง และ 3) การบรรลุเป้าหมาย

ตัวแปรความสนใจทางวิทยาศาสตร์วัดด้วยตัวบ่งชี้ 3 ตัว ได้แก่ 1) การแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม 2) การทำกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ และ 3) การวางแผนเกี่ยวกับการเรียนต่อหรือการประกอบวิชาชีพทางวิทยาศาสตร์

ตัวแปรลักษณะของนักเรียนวัดด้วยตัวบ่งชี้ 6 ตัว ได้แก่ 1) ความรู้เดิม (เกรดเฉลี่ยสะสม) 2) ความสามารถทางวิทยาศาสตร์ 3) มโนทัศน์เกี่ยวกับตนเอง 4) ค่านิยมต่อวิชาชีพทางวิทยาศาสตร์ 5) การติดตามข้อมูลข่าวสารทางวิทยาศาสตร์ และ 6) ความต้องการประกอบอาชีพตามความคาดหวังของนักเรียน

ตัวแปรการเรียนการสอน วัดด้วยตัวบ่งชี้ 7 ตัว ได้แก่ 1) บรรยากาศการเรียนการสอน 2) พฤติกรรมการสอนของครูวิทยาศาสตร์ 3) บุคลิกลักษณะของครูวิทยาศาสตร์ 4) สภาพแวดล้อมในชั้นเรียน 5) ความสัมพันธ์กับเพื่อนในชั้นเรียน 6) การมีส่วนร่วมในกิจกรรมเสริมหลักสูตร และ 7) สื่อและอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์

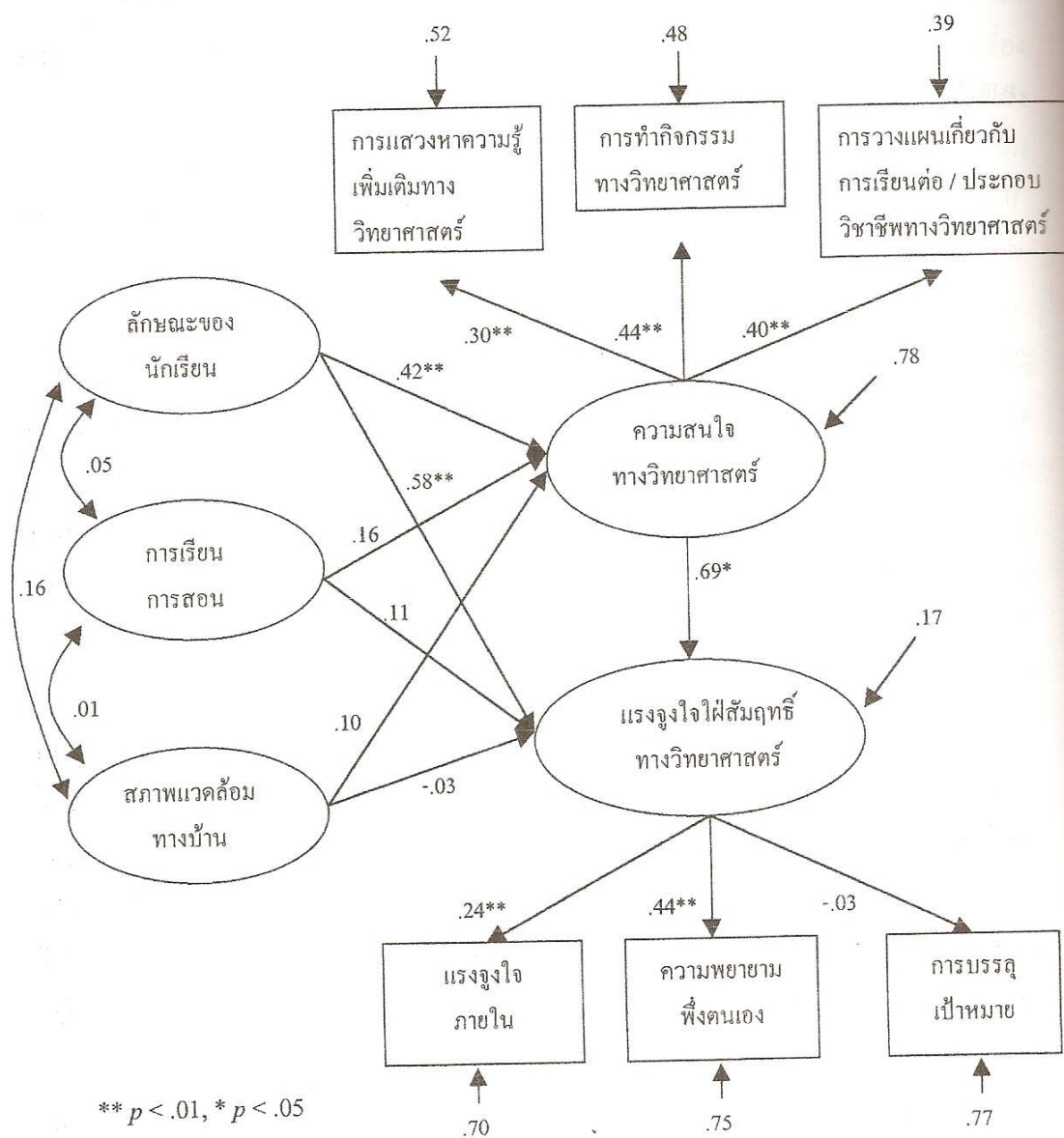
ตัวแปรสภาพแวดล้อมทางบ้าน วัดด้วยตัวบ่งชี้ 7 ตัว ได้แก่ 1) อาชีพบิดา 2) อาชีพมารดา 3) ฐานะทางเศรษฐกิจของครอบครัว 4) ความต้องการประกอบอาชีพในครอบครัว 5) ความสัมพันธ์ภายในครอบครัว 6) การอบรมเลี้ยงดู และ 7) การสนับสนุนส่งเสริมด้านการเรียนจากครอบครัว

ผู้วิจัยทดสอบโมเดลโดยใช้ข้อมูลจากกลุ่มนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในโรงเรียนสังกัดกรมสามัญศึกษา สำหรับจำนวนหน่วยตัวอย่าง Lindeman, Merenda and Gold (1980) ได้เสนอแนะไว้ว่า อัตราส่วนระหว่างหน่วยตัวอย่างกับจำนวนพารามิเตอร์หรือตัวแปร ควรจะเป็น 20 : 1 งานวิจัยเรื่องนี้มีตัวแปรที่ศึกษาจำนวน 28 ตัวแปร จึงใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 560 คน

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรมลิสเรล 8.50 และวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์แบบ ML ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลได้เปลี่ยนรูปตัวบ่งชี้บางตัว เพื่อแก้ปัญหาเรื่องการแจกแจงของตัวแปรต้องเป็นโค้งปกติ

ในขั้นตอนการทดสอบโมเดลทางทฤษฎีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยทดสอบโมเดลเชิงสมมุติฐานที่พัฒนาขึ้น ผลการตรวจสอบเบื้องต้น พบว่า การวิเคราะห์โปรแกรมลิสเรล

โดยใช้ตัวแปรลักษณะของนักเรียน ตัวแปรการเรียนการสอน และตัวแปรสภาพแวดล้อมทางบ้าน เป็นตัวแปรแฝงซึ่งวัดจากตัวบ่งชี้ที่นั้น โมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงปรับโมเดลทางทฤษฎีใหม่ ดังแผนภาพ 5 แล้ววิเคราะห์ด้วยโปรแกรมลิสเรลอีกครั้งหนึ่ง ผลการทดสอบโมเดลที่ปรับใหม่ ดังตาราง 2



แผนภาพ 5 โมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นและปรับโมเดลแล้ว (วิสิทธิ์ โรจน์ไพรวงศ์, 2545)

ตาราง 2 ค่าสถิติวัดระดับความสอดคล้องสำหรับโมเดลทางทฤษฎีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์

Goodness of Fit Statistics	
Degrees of Freedom = 246	
Minimum Fit Function Chi-Square = 195.900 (P = 0.992)	
Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 210.877 (p = 0.949)	
Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 0.0	
90	Percent Confidence Interval for NCP = (0.0 ; 0.221)
Minimum Fit Function Value = 0.350	
Population Discrepancy Function Value (FO) = 0.0	
90	Percent Confidence Interval for FO = (0.0 ; 0.000396)
Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.0	
90	Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.0 ; 0.00127)
P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 1.000	
Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 0.816	
90	Percent Confidence Interval for ECVI = (0.816 ; 0.816)
ECVI for saturated Model = 1.256	
ECVI for Independence Model = 2.141	
Chi-Square for Independence Model with 325 Degrees of Freedom = 1145.078	
Independence AIC = 1197.078	
Model AIC = 420.877	
Saturated AIC = 702.000	
Independence CAIC = 1335.604	
Model CAIC = 980.310	
Saturated CAIC = 2572.106	
Normed Fit Index (NFI) = 0.829	
Non-Normed Fit Index (NNFI) = 1.081	
Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.627	
Comparative Fit Index (CFI) = 1.000	
Incremental Fit Index (IFI) = 1.056	
Relative Fit Index (RFI) 0.774	
Critical N (CN) = 858.537	
Root Mean Square Residual (RMR) = 0.0407	
Standardized RMR = 0.0361	
Goodness of Fit Index (GFI) = 0.972	
Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.960	
Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.681	

ผลการวิเคราะห์โมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุแรงงูใจไฟ้สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์หลังปรับโมเดลใหม่พบว่า ค่าสถิติไค-สแควร์ไม่มีนัยสำคัญ (ค่าสถิติไค-สแควร์เท่ากับ 210.88 : $p = 0.95$) องศาอิสระเท่ากับ 246 ค่าอัตราส่วนไค-สแควร์สัมพัทธ์เท่ากับ 0.86 ($210.88 / 246$) ดังนั้น $GFI = 0.97$, $AGFI = 0.96$, $CFI = 1.00$, $Standardized\ RMR = 0.04$, $RMSEA = 0.00$ แสดงว่าโมเดลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์อยู่ในเกณฑ์ดี ค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (R-SQUARE) เท่ากับ .80 แสดงว่าตัวแปรทั้งหมดในโมเดลอธิบายความแปรปรวนในตัวแปรแรงงูใจไฟ้สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ ได้ร้อยละ 80

สรุป

โมเดลสมการโครงสร้างเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลที่ทรงคุณค่าในหลายๆ ด้าน ช่วยให้ การทดสอบทฤษฎีและประเมินความตรงเชิงโครงสร้างของตัวแปรแม่นยำยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม โมเดล สมการโครงสร้างก็เป็นเพียงเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลตัวหนึ่งเท่านั้น ถ้าพึ่งตัวของโมเดลสมการ โครงสร้างเอง ไม่สามารถแสดงความมีอยู่จริงของตัวแปรหรือความเป็นสาเหตุของความตรงเชิงโครงสร้าง ของตัวแปรได้ การทดสอบโมเดลสมการโครงสร้างได้ผลการทดสอบเพียงว่า โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่เท่านั้น ไม่สามารถสรุปได้ว่าโมเดลนั้นถูกต้องหรือไม่ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีเป็นเครื่องชี้นำในการวิเคราะห์ข้อมูลและใช้โมเดลสมการโครงสร้างช่วยตรวจสอบความ ตรงของโมเดล ทฤษฎีที่สวดยุใดๆ ก็อาจถูกหักล้างหรือได้แย้งจากข้อมูลเชิงประจักษ์ได้ เมื่อปฏิเสธ สมมุติฐานหลัก ในทางตรงกันข้าม เมื่อวิเคราะห์โมเดลทางทฤษฎีหลายๆ โมเดลแล้ว ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ก็ยังไม่เป็นไปตามทฤษฎีนั้น ก็อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนประเภทที่ II หรือข้อมูลของโมเดลการวัดมี ปัญหา หรือทั้งสองกรณีก็ได้

เอกสารอ้างอิง

- นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2542). โมเดลลิสเรล : สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 3.
 กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิสิทธิ์ ไรจนไพบรวงศ์. (2545). การพัฒนาโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุแรงงูใจไฟ้สัมฤทธิ์ทาง วิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในโรงเรียนสังกัดกรมสามัญศึกษา.
 วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิทยาการศึกษา
 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา.
- เสรี ชัดแฉ่ม. (2538). โมเดลและการสร้างโมเดล. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 9(2) :
 50 - 69.

- Bentler, P. M. & Bonnett, D. G. (1980). Significance tests and goodness of fit in the analysis of covariance structure. *Psychological Bulletin*, 88(3), 588-606.
- 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.
- Bollen, K. A. (1994). *Structural equation modeling with EQS and EQS/Windows : Basic concepts, applications, and programming*. Thousand Oaks, CA : SAGE Publications, Inc.
- Carmine, E. G. & McIver, J. P. (1983). An introduction of the analysis of models with unobserved variables. *Political Methodology*, 9(1), 51-102.
- Chen, C-P. & Bentler, P. M. (1995). Estimates 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.
- Dimantopoulos, A. & Siguaw, J.A. (2000). *Introducing LISREL : A guide for the uninitiated*. London : SAGE Publications, Inc.
- Fin, 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.
- Hair, J.F., Anderson, R. E, Tatham, R. L & Black, W. C. (1998). *Multivariate data analysis* (5 th ed). London : Prentice – Hall International, Inc.
- Hu, L-T. & Bentler, P. M. (1995). Evaluating model fit. In R. H. Hoyle. *Structural equation modeling : Concepts, issues, and applications*. (pp. 76-99). Thousand Oaks, CA : SAGE Publications, Inc.
- 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.
- Jöreskog, K. G. & Sorbom, D. (1988). *LISREL 7 : A guide to the program and applications*. Chicago : SPSS, Inc.

- Kaplan, D. (1995). Statistical power in structural equation modeling. In R. H. Hoyle. *Structural equation modeling : Concepts, issues, and applications*. Thousand Oaks, CA : SAGE Publications.
- Kelloway, E. K. (1998). *Using LISREL for Structural equation modeling : A researcher's guide*. Thousand Oaks, London : SAGE Publications, Inc.
- Lindeman, R. H., Merenda, P. F. & Gold, R. H. (1980). *Introduction to bivariate and multivariate analysis*. Glenview, IL : Scott, Foresman and Company.
- Norris, A. E. (2001). Structural equation modeling. In B.H. Munro. *Statistical methods for health care research*. (4 th. ed) (p 379-404). Philadelphia : Lippincott William & Wilkins.
- Norris, A. E. & Ford, K. (1995). Condom use by low-income African American and Hispanic youth with a well-known partner : Integrating the Health Belief Model, Theory of Resasoned Action, and Construct Accessibility Model. *Journal of Applied Social Psychology*, 25(20), 1801-1830.
- Rigdon, E. E. (1994). Demonstrating the effects of unmodeled random measurement error. *Structural Equation Modeling*, 1(4), 375-380.
- Toit, M. D. & Toit, S. D. (2001). *Interactive LISREL : User's guide*. Lincolnwood, IL : Scientific Software International, Inc.
- 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.