การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสำหรับข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงปกติ

นายยมล คงเจริญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MONTE CARLO SAMPLE SIZE DETEMINATION IN CONFIRMATORY FACTOR ANALYSIS MODEL FOR NON-NORMAL OBSERVED DATA

Mr. Yamol Kongjareon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Education Program in Educational Statistics
Department of Educational Research and Psychology
Faculty of Education
Chulalongkorn University
Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสำหรับข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงปกติ
โดย	นายยมล คงเจริญ
สาขาวิชา	สถิติการศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.สิวะโชติ ศรีสุทธิยากร

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะครุศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา บวรกิติวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.สิวะโชติ ศรีสุทธิยากร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สังวรณ์ งัดกระโทก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ยมล คงเจริญ : การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสำหรับข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงปกติ (MONTE CARLO SAMPLE SIZE DETEMINATION IN CONFIRMATORY FACTOR ANALYSIS MODEL FOR NON-NORMAL OBSERVED DATA) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.สิวะโชติ ศรีสุทธิยากร, 155 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ (1) เพื่อพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเมื่อข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ (2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี ได้แก่ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper และวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดล จำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลจำนวน 12 สถานการณ์ (1) ระดับของการระบุพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบในโมเดลผิดพลาด 3 ระดับ คือ ต่ำ (RMSEA=.02) ปานกลาง (RMSEA=.04) และสูง (RMSEA=.06) และ (2) ความโด่ง 4 ระดับของการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปร คือ แบนราบกว่าปกติระดับน้อย (ku=-1) ปกติ (ku=0) โด่งกว่าปกติระดับน้อย (ku=1) และโด่งกว่าปกติระดับมาก (ku=2) ประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างพิจารณา 2 ด้าน ประกอบด้วย ประสิทธิภาพด้านการประมาณค่าพารามิเตอร์ และ ประสิทธิภาพด้านการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ด้วยอำนาจการทดสอบ

ผลการวิจัย พบว่า (1) วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่พัฒนาขึ้นมี 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) การกำหนดโมเดลการวิจัย 2) ตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ทำการเก็บมาได้ โดยพิจารณาจากดัชนี RMSEA ให้มีค่าเท่ากับ .000 เรียกโมเดลนี้ว่า โมเดลประชากรโดยประมาณ 3) จำลองข้อมูลในการวิเคราะห์ รวม 12 สถานการณ์ 4) วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน แล้วบันทึกค่า ขนาดตัวอย่าง ค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลและอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์ 5) นำค่าบันทึกที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ โดยที่ค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลมีค่าไม่เกิน 10% หรือ อำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์มีค่าไม่ต่ำกว่า .8 และ 6) จะได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ (2) สำหรับการระบุโมเดลผิดพลาดทุกระดับ การกำหนดขนาดตัวอย่าแบบมอนติคาร์โลมีประสิทธิภาพสูงสุด กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลางกับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างที่ดีที่สุดคือ การกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุดคือวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย และพบว่า RML เป็นวิธีประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด

ภาควิชา วิจัยและจิตวิทยาการศึกษา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถิติการศึกษา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5883372227 : MAJOR EDUCATIONAL STATISTICS
KEYWORDS: SAMPLE SIZE / MONTE CARLO SIMUATION

YAMOL KONGJAREON: MONTE CARLO SAMPLE SIZE DETEMINATION IN CONFIRMATORY FACTOR ANALYSIS MODEL FOR NON-NORMAL OBSERVED DATA. ADVISOR: SIWACHOAT SRISUTTIYAKORN, Ph.D., 155 pp.

The purposes of this research were: 1) to develop Monte Carlo sample size determination method in confirmatory factor analysis, and 2) to compare the efficiency between four sample size determination methods included Monte Carlo method for non-normal data, rule of thumb method, Soper's sample size determination methods and power based for structural equation model method. Data were generated by using Monte Carlo technique under 12 simulation conditions : (1) Three misspecification levels including low (RMSEA=.02), moderate (RMSEA=.04), and high (RMSEA=.06), and Four kurtosis levels distribution including low platykurtic (ku=-1), normal (ku=0), moderate leptokurtic (ku=1), and high leptokurtic (ku=2). Two criteria of sample size determination were parameter and power to the test of goodness of fit.

The research results were: 1) Developed Monte Carlo sample size determination method consisted of six steps: first step specified research model, second step population model estimation by using observed data and adjusted the model until RMSEA =.000, third step was data simulation under 12 conditions, forth step was analysied confirmatory factor analysis and recorded sample sizes , relative biases values , monte carlo standard errors and power of the test, fifth step compared relative biases values and monte carlo standard errors to ≤ .10 or power of the test of goodness of fit test via chi-square statistic closed to .8, and final step got lowest sample size with desired power of the goodness of fit test guarantee 2) Monte Carlo sample size determination method was the most efficient method for all misspecification levels. Rule of thumb method was the most efficient method in case misspecification moderate and high. Power based method was the most efficient method in high misspecification level and RML was the best parameter estimation .

Department: Educational Research and Psychology
Student's Signature .....
Advisor's Signature .....
Field of Study: Educational Statistics
Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไม่ได้หากขาดการสนับสนุน ช่วยเหลือด้วยความเมตตาและกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ ดร.สิวะโชติ ศรีสุทธิยากร อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ได้สละเวลาอันมีค่า ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวทางแก้ปัญหาและกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตร์ตราจารย์ ดร.สุชาดา บวรกิติวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตร์ตราจารย์ ดร. สังวร งัดกระโทก กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ความกรุณาตรวจสอบและคำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สุรศักดิ์ เก้าเอี้ยน ที่ให้คำแนะนำและความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษาที่ได้ให้ความรู้และอบรมสั่งสอนให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณพี่ ๆ ทุกคนในสาขาวิชาสถิติการศึกษา ที่คอยดูแล ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาในการเรียนและการทำวิทยานิพนธ์ตลอดระยะเวลาการศึกษาที่นี้

ท้ายสุดนี้กราบขอบพระคุณครอบครัว ทั้งคุณยาย คุณป้า คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ชาย ที่เป็นกำลังใจสำคัญ ที่คอยอบรมเลี้ยง ให้การช่วยเหลือ ให้การสนับสนุนในทุกด้าน อีกทั้งยังเป็นแรงบันดาลใจในการศึกษาต่อในครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 5

สมมติฐานการวิจัย 5

ขอบเขตการวิจัย 5

นิยามศัพท์ 8

ประโยชน์ที่ได้รับ 8

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

ตอนที่ 1 มโนทัศน์เบื้องต้นในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน 9

ตอนที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน 13

ตอนที่ 3 วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน และโมเดลสมการโครงสร้าง 20

ตอนที่ 4 กรอบแนวคิด 29

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 30

ส่วนที่ 1: เงื่อนไขการจำลองข้อมูล 30

ส่วนที่ 2: สถานการณ์ที่ทำการศึกษา 32

ส่วนที่ 3: เกณฑ์การพิจารณาประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ส่วนที่ 4: สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล 35
ส่วนที่ 5: ขั้นตอนการดำเนินงาน 35
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 37
ตอนที่ 1 วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล 38
ตอนที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 91
สรุปผลการวิจัย 91
อภิปรายผลการวิจัย 94
ข้อเสนอแนะ 96
รายการอ้างอิง 98
ภาคผนวก 112
ภาคผนวก ก 113
ภาคผนวก ข 132
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 155

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ความถี่และร้อยละวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับโมเดลการวิเคราะห์ในงานวิจัยภายในประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2551-2559 14

2.2 ความถี่และร้อยละวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับโมเดลการวิเคราะห์ในงานวิจัยต่างประเทศ ในช่วงปี ค.ศ. 2012-2016 15

2.3 ความถี่และร้อยละของลักษณะตัวแปรสังเกตได้ในงานวิจัยที่ใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างภายในประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2551-2559 จำนวน 50 เล่ม 18

2.4 องค์ประกอบในการกำหนดขนาดตัวอย่างในแต่ละวิธี 27

2.5 การสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์โมเดลต่าง ๆ ... 28

4.1 ผลการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี ในแต่ละกรณีที่ศึกษา 43

4.2 ร้อยละผลการจำลองข้อมูลที่สำเร็จด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล จำนวน 1000 รอบ 44

4.3 ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบจำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และวิธีประมาณค่า 47

4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ในพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ 49

4.5 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี 49

4.6 ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดจำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และ วิธีประมาณค่า 52

4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด 54

4.8 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี 54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ **หน้า**

4.9 ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงจำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และ วิธีประมาณค่า 57

4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง 59

4.11 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี..... 59

4.12 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบจำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และ วิธีประมาณค่า 61

4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ .. 63

4.14 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี 63

4.15 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์แปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดจำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และ วิธีประมาณค่า 66

4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด 68

4.17 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี..... 68

ตารางที่ **หน้า**

4.18 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงจำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และวิธีประมาณค่า..... 71

4.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง..... 73

4.20 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี..... 73

4.21 อำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์จำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และวิธีประมาณค่า..... 76

4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์..... 78

4.23 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคแสควร์ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี..... 78

4.24 อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากค่าRMSEA จำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และวิธีประมาณค่า..... 80

4.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ RMSEA..... 82

4.26 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของ RMSEA ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี..... 82

4.27 อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากค่า Gamma hat จำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และวิธีประมาณค่า..... 84

4.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ Gamma hat..... 86

4.29 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของค่า Gamma hat ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี..... 86

ตารางที่ **หน้า**

4.30 อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากค่า McDonald’s centrality Index จำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่งและวิธีประมาณค่า..... 88

4.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ McDonald’s centrality Index 90

4.32 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของค่า McDonald’s centrality Index ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี 90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 โมเดลประชากร 6

2.1 เส้นโค้งข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบสมมาตร 16

2.2 เส้นโค้งข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่สมมาตร 17

2.3 ลักษณะของการแจกแจงแบบต่างๆ 17

2.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย 29

3.1 โมเดลการประชากร 31

3.2 ลักษณะโมเดลที่มีการระบุผิดพลาด 33

3.3 ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำหนดขนาดตัวอย่างทั้ง 4 วิธี 36

4.1 แผนภาพขั้นตอนการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล 40

4.2 อำนาจการทดสอบสมมติฐานในแต่ละขนาดตัวอย่าง 41

4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าประมาณพารามิเตอร์ 42

4.4 ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบจำแนกตามความโด่ง 48

4.5 ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อน 53

4.6 ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง 58

4.7 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบจำแนกตามความโด่ง 62

4.8 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดจำแนกตามความโด่ง 67

4.9 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงจำแนกตามความโด่ง 72

4.10 อำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์จำแนกตามความโด่ง 77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ **หน้า**

4.11 อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากค่าRMSEAจำแนกตามความโด่ง..... 81

4.12 อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากจากค่า Gamma hat จำแนกตามความโด่ง..... 85

4.13 อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากจากค่า McDonald's centrality Index จำแนกตามความโด่ง..... 89

5.1: วิธีการเลือกขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์..... 93

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขนาดตัวอย่างเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสถิติวิเคราะห์ทุกประเภทในหลากหลายด้าน ได้แก่ ความถูกต้องแม่นยำของผลการศึกษาจากตัวอย่าง ความเป็นเอกพันธุ์ของประชากร ระดับนัยสำคัญ อำนาจการสอบสมมติฐาน ขนาดผลการจัดกระทำทางการวิจัย งบประมาณในการใช้จ่ายและเวลา ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม ควรเป็นขนาดตัวอย่างที่พอเหมาะตามหลักปฏิบัติและควรเป็นขนาดตัวอย่างที่ถูกต้องตามหลักสถิติที่ตัวอย่างมีความเป็นตัวแทนของประชากรโดยมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในระดับที่สามารถยอมรับได้ ทำให้การวิจัยเชิงปริมาณที่ใช้สถิติในการวิเคราะห์ที่มีความซับซ้อน ยิ่งได้รับผลกระทบจากขนาดตัวอย่างเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพของการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างและการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน การกำหนดขนาดตัวอย่างที่ไม่เพียงพอ จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ทั้งในด้านความแม่นยำ ความถูกต้องของค่าประมาณพารามิเตอร์และอำนาจในการทดสอบสมมติฐานทั้งในส่วนของการทดสอบอิทธิพล และความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดล ในทางกลับกันการกำหนดขนาดตัวอย่างที่ใหญ่เกินไปก็จะส่งผลให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์ที่ใช้ในการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดล ซึ่งจะเพิ่มโอกาสในการปฏิเสธโมเดลวิจัยของนักวิจัยถึงแม้ว่าโมเดลวิจัยนั้นจะมีความคลาดเคลื่อนในเชิงทฤษฎีที่ต่ำแล้วก็ตาม (Pornprasertmanit, 2014; Jöreskog & Sörbom, 1996; Bollen, 1989; Bentler and Bonnet, 1980) การกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการที่ทำให้ได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นสำหรับการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างและการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

ในปัจจุบันมีวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างและการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอยู่ด้วยกัน 4 วิธี วิธีการแรกคือ การกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย (Rule of thumb) ซึ่งมีผู้พัฒนาเอาไว้หลายเกณฑ์ เช่น การใช้ขนาดตัวอย่างขั้นต่ำสำหรับการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างและการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน(Kline, 2015) การใช้อัตราส่วนระหว่างจำนวนตัวแปรสังเกตได้ต่อจำนวนตัวแปรแฝง (Marsh et al., 1996) แต่เกณฑ์การกำหนดขนาดตัวอย่างที่เป็นที่นิยมคือการใช้อัตราส่วนระหว่างขนาดตัวอย่างต่อจำนวนพารามิเตอร์ในโมเดล (Kline, 2015) ซึ่งในกรณีที่ดีที่สุดก็คือใช้อัตราส่วน 20 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์ หรือขั้นต่ำที่สุดก็คือ 10 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์ (Lindeman, Merenda and Gold,

1980; Nunnally, & Bernstein, 1994; Hair, 2009; Kline, 2015) ข้อเด่นของการใช้กฎเกณฑ์อย่างง่ายคือคำนวณได้ง่ายและรวดเร็ว แต่ก็มีข้อจำกัดมากโดยเฉพาะในด้านการรับประกันประสิทธิภาพของผลการวิเคราะห์ที่จะได้จากขนาดตัวอย่างที่กำหนด และการคำนวณที่ง่ายเกินไปขาดการนำข้อมูลจำเพาะที่สำคัญของโมเดลวิจัยไปร่วมในการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ได้จึงเป็นเพียงการคาดการณ์อย่างคร่าว ๆ โดยที่ผู้วิจัยไม่อาจทราบได้ว่าในความเป็นจริงแล้วขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้นี้มีความเหมาะสมจริงหรือไม่

วิธีการที่สองและสามพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดของวิธีการแรก เป็นวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างและการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันที่อิงกับอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดล (MacCallum, Browne, and Sugawara, 1996; Kim, 2005; Preacher and Coffman, 2006; Soper, 2016) ซึ่งมีผู้พัฒนาไว้หลายวิธีการ วิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยคือ วิธีการของ Preacher and Coffman (2006) ซึ่งกำหนดขนาดตัวอย่างโดยพิจารณาจากอำนาจการทดสอบของดัชนี root mean square of approximation (RMSEA) จะเป็นการคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้อำนาจการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลโดยภาพรวม นักวิจัยจะต้องระบุค่า RMSEA เป็นดัชนีบ่งบอกถึงการระบุโมเดลผิดพลาด (level of misspecification) ในเกณฑ์ที่นักวิจัยยอมรับได้เป็นข้อมูลนำเข้าในการคำนวณขนาดตัวอย่างขั้นต่ำที่จะให้อำนาจในการทดสอบตามที่นักวิจัยต้องการ และอีกวิธีการหนึ่งคือ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper (2016) พิจารณาจากอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของขนาดอิทธิพล (Anticipated effect size) ซึ่งคำนวณมาจากค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝง นักวิจัยจะต้องระบุค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงที่นักวิจัยยอมรับได้เป็นข้อมูลนำเข้าพร้อมกับจำนวนตัวแปรแฝง (Number of latent variables) จำนวนตัวแปรที่สังเกตได้ (Number of observed variables) และระดับนัยสำคัญ (Probability level) เข้าไปในการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ขั้นต่ำที่ให้ระดับอำนาจการทดสอบตามที่กำหนดไว้ได้ ซึ่งทั้งสองวิธีจะทำให้นักวิจัยสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างได้อย่างเหมาะสมมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กฎเกณฑ์อย่างง่าย อย่างไรก็ตามทั้งสองวิธีมีข้อจำกัดในส่วนของการกำหนดค่าอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลซึ่งในความเป็นจริงนักวิจัยจะไม่ทราบว่าค่าที่แท้จริงมีค่าเท่าไรจึงจะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการคำนวณ เพื่อที่ให้ได้ขนาดตัวอย่างเหมาะสม อีกทั้งปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันยังมีอีกหลายปัจจัย เช่น ระดับความเที่ยง (reliability) ของตัวแปรสังเกตได้ การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสังเกตได้ ข้อมูลสูญหาย (missing value) และวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในโมเดล

(Fan, Thompson, and Wang, 1999; Muthen and Muthen, 2002; Wang and Wang, 2012) นอกจากนี้เกณฑ์การเลือกขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมคือประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ในด้านอำนาจการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์จากสถิติทดสอบไคสแควร์แต่ในความเป็นจริงประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ยังมีในด้านการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วย

จากข้อจำกัดของวิธีการดังกล่าวจึงมีผู้เสนอ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation approach) ซึ่งกำหนดขนาดตัวอย่างโดยอาศัยผลการวิเคราะห์ที่สร้างจากข้อมูลที่จำลองขึ้นจากโมเดลประชากรที่ผู้วิจัยคาดว่าจะมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด โดยนักวิจัยสามารถกำหนดเงื่อนไขข้อมูล ภายใต้ขอบเขตที่สนใจศึกษาแบบต่าง ๆ อาทิ โมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในโมเดล วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ การระบุโมเดลผิดพลาด ลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสังเกตได้ ช่วงความเชื่อมั่น อำนาจการทดสอบสมมติฐาน ในระดับและลักษณะที่แตกต่างกันได้ การจำลองนี้จะกระทำซ้ำหลายรอบและนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ เพื่อใช้ตัดสินใช้เลือกขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมตามที่นักวิจัยต้องการ วิธีการนี้ทำให้ผู้วิจัยสามารถศึกษาประสิทธิภาพของผลการวิเคราะห์ที่ได้จากขนาดตัวอย่างต่าง ๆ ได้อย่างละเอียดและรอบด้านมากกว่าวิธีการอื่น ๆ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังสามารถเพิ่มปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดตัวอย่างเข้าไปในกระบวนการได้เองตามต้องการ (Muthen and Muthen, 2002; Wang and Wang, 2012; Beaujean, 2014) ซึ่งแตกต่างกับวิธีอื่น ๆ ตรงที่กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เช่น วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่ายจะใช้จำนวนพารามิเตอร์หรือจำนวนตัวแปร วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลการตามแนวคิด Preacher & Coffman ใช้อำนาจการทดสอบของดัชนี RMSEA เป็นตัวกำหนดเท่านั้น ดังนั้นในเชิงทฤษฎีแล้วการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการมอนติคาร์โลจึงน่าจะให้ขนาดตัวอย่างที่มีความเหมาะสมได้มากกว่าวิธีการอื่น ๆ

ในระยะเวลาที่ผ่านมามีนักวิจัยที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเป็นจำนวนมากแต่จากการสืบค้นงานวิจัยที่ใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างทั้งภายในประเทศไทยและต่างประเทศ ในช่วงพ.ศ.2551-2559 จากฐานข้อมูลทั้งโครงการเครือข่ายห้องสมุดประเทศไทย(ThaiLIS), สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และ ScienceDirect จำนวน 55 เล่ม พบว่า วิธีกำหนดขนาดตัวอย่างที่นิยมใช้มากที่สุด คือ Rule of thumb คิดเป็นร้อยละ 78 ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักวิจัยยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างมากเท่าที่ควร รวมไปถึงลักษณะการแจกแจงของข้อมูลที่เป็นส่วนหนึ่งของข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ข้อมูลและซึ่งแสดงให้เห็น

จากการสืบค้นงานวิจัยที่ใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างภายในประเทศไทย พ.ศ.2551-2559 จำนวน 50 เล่ม จากตัวแปรสังเกตได้ในงานวิจัยทั้งหมด จำนวน 955 ตัวแปร ในฐานข้อมูลสำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า มีตัวแปรสังเกตได้ส่วนใหญ่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ จำนวน 553 ตัวแปร คิดเป็นร้อยละ 57.91 โดยแบ่งเป็นตัวแปรสังเกตได้ที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติกรณีมีความเบ้อย่างเดียว คิดเป็นร้อยละ 17.49 กรณีมีความโด่งอย่างเดียวคิดเป็นร้อยละ 16.75 และกรณีที่มีทั้งความเบ้ความโด่ง คิดเป็นร้อยละ 23.66 ซึ่งผลกระทบจากการแจกแจงไม่ปกติจะส่งผลต่อจะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์และรวมไปถึงการตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐานอีกด้วย ซึ่งนักวิจัยมักจะแก้ปัญหาโดยการเลือกวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับลักษณะการแจกแจงข้อมูลไม่ปกติแต่วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นก็มีของจำกัดที่ว่าจะจำเป็นต้องมีขนาดตัวอย่างที่ใหญ่พอในประมาณค่าพารามิเตอร์โมเดล ดังนั้นในเชิงทฤษฎีแล้วการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการมอนติคาร์โลจึงน่าจะให้ขนาดตัวอย่างที่มีความเหมาะสมได้มากกว่าวิธีการอื่น ๆ

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าในปัจจุบันมีงานวิจัยใช้วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันนี้อยู่น้อย โดยส่วนใหญ่จะศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการกำหนดขนาดตัวอย่าง และยังไม่มีวิธีปฏิบัติที่เป็นมาตรฐานโดยเฉพาะในขั้นตอนของการกำหนดโมเดลประชากรสำหรับสร้างข้อมูลจำลอง ซึ่งส่วนใหญ่โมเดลประชากรจะมาจากการอ้างอิงงานวิจัยของผู้อื่นหรือกำหนดขึ้นมาเอง นอกจากนี้ยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบกันอย่างชัดเจนว่าการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โลจะทำให้ได้ขนาดตัวอย่างที่มีความเหมาะสมกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบอื่น ๆ หรือไม่ อย่างไร (Muthen and Muthen, 2002; Wolf, Harrington, Clark, and Miller, 2013) ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสำหรับข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงปกติ และศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper และวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเมื่อข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย กับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper กับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เมื่อตัวแปรสังเกตได้ไม่มีการแจกแจงปกติ

สมมติฐานการวิจัย

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล จะมีประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ เพราะวิธีการนี้อาศัยผลการวิเคราะห์ที่สร้างจากข้อมูลที่จำลองขึ้นจากโมเดลประชากรที่มีความใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด จะกระทำซ้ำหลายรอบและนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อดูประสิทธิภาพในหลากหลายด้าน สำหรับใช้ในการตัดสินเลือกขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมตามนักวิจัยต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดตัวอย่างเข้าไปในกระบวนการได้ตามต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขอบเขตการวิจัย

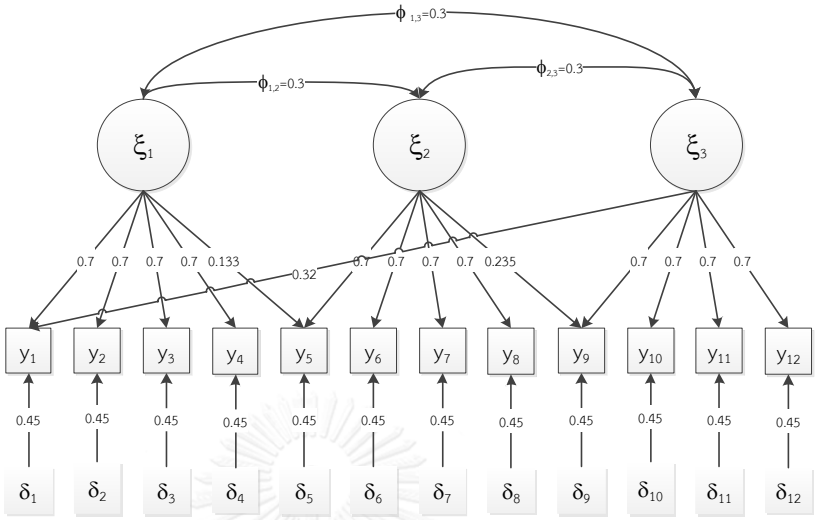
1. วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง

ในการศึกษาเปรียบเทียบผลการกำหนดขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในครั้งนี้จะทำการเปรียบเทียบกัน 4 วิธี ได้แก่ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดล และวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

2. โมเดลประชากร

การวิจัยนี้กำหนดให้โมเดลประชากร (population model: (M_{pop})) คือโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (confirmatory factor analysis: CFA) ตัวแปรแฝงที่ใช้ในการศึกษา

กำหนดให้มีจำนวน 3 ตัว และจำนวนตัวแปรสังเกตที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 12 ตัวแปร โดยในแต่ละตัวแปรแฝงกำหนดให้มีตัวแปรสังเกตได้จำนวน 4 ตัวแปร ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1: โมเดลประชากร

3. การระบุโมเดลผิดพลาด

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาการระบุโมเดลผิดพลาดกรณีโมเดลวิจัยมีความไม่สอดคล้องกันในลักษณะที่โมเดลวิจัยระบุพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบไม่ครบ กำหนดให้มีการระบุโมเดลผิดพลาด 3 ระดับ โดยที่ระดับของการระบุผิดพลาดกำหนดจากค่าดัชนี RMSEA ดังนี้

- RMSEA = 0.02 คือ โมเดลที่ระบุผิดพลาดระดับต่ำ
- RMSEA = 0.04 คือ โมเดลที่ระบุผิดพลาดระดับกลาง
- RMSEA = 0.06 คือ โมเดลที่ระบุผิดพลาดระดับสูง

4. วิธีการประมาณค่าและตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์

วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิจัยมี 4 วิธีการ ได้แก่ 1) วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood: ML) 2) วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดที่มีความแกร่ง (Robust Maximum Likelihood: RML) 3) วิธีกำลังสองน้อยสุดนัยทั่วไป (Generalized Least Squares: GLS) และ 4) วิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักทั่วไป (Weighted Least Squares: WLS) โดยวิธี ML, GLS, WLS มีคุณสมบัติคล้ายกัน มีความคงเส้นคงวา เป็นอิสระจากมาตรวัด และการแจกแจงสุ่มของค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้เป็นแบบปกติ และ RML เป็นวิธีที่มีการปรับแก้ให้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีความแกร่งต่อการแจงแจงแบบไม่ปกติ (Satorra-Bentler, 1983) ส่วนการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์จะใช้เกณฑ์ตรวจสอบ 4 ดัชนี ได้แก่ 1) ค่าไค-สแควร์ (Chi-square Statistic)

2) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่า (Root Mean Square error of Approximation: RMSEA) 3) Gamma hat (Gamma) และ 4) McDonald's centrality Index (Mc) โดยที่ดัชนี ค่าไค-สแควร์ เป็นดัชนีที่ใช้แพร่หลายในการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์โดยภาพรวม (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2537; สุภมาส อังศุโชติ, 2551) และ Thus Hu& Bentler (1999) ได้เสนอดัชนี RMSEA, Gamma hat และ McDonald's centrality Index ที่เป็นดัชนีที่มีความไวต่อการระบุโมเดลผิดพลาด แต่ไม่มีความไวต่อประเภทของโมเดลและขนาดตัวอย่าง มาใช้ในการวิจัยครั้งนี้

5. การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสังเกตได้

ในการทำวิจัยครั้งนี้สนใจศึกษาข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติโดยจะกำหนดให้ข้อมูลมีลักษณะความ ความโด่ง 4 ระดับ แบ่งเป็น โด่งปกติ (Mesokurtic), โด่งกว่าปกติมาก (Highly Leptokurtic), โด่งกว่าปกติน้อย (Small Leptokurtic) และแบนราบกว่าปกติน้อย (Small Platykurtic)

6. เกณฑ์การพิจารณา

เกณฑ์การพิจารณาเพื่อเลือกวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่มีความเหมาะสมที่สุดในแต่ละกรณีประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ขนาดตัวอย่าง ประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์ และประสิทธิภาพของดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์

ประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์ จะใช้หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ (Relative Biased) และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Standard Error)

ประสิทธิภาพของดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์จะใช้หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจประสิทธิภาพของดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ ได้แก่ อำนาจการทดสอบสมมติฐาน (Power of Test)

นิยามศัพท์

ประสิทธิภาพของการประมาณค่า หมายถึง ด้านความแม่นยำและด้านความถูกต้องของการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยที่ประสิทธิภาพด้านความแม่นยำจะวัดจากค่าเฉลี่ยของค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ ประสิทธิภาพด้านความถูกต้องของการประมาณค่าพารามิเตอร์จะวัดจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล

ประสิทธิภาพของดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ หมายถึง ด้านอำนาจการทดสอบสมมติฐานด้วยดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ 4 ดัชนี ได้แก่สถิติทดสอบไคสแควร์ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่า Gamma hat และ McDonald’s centrality Index

ประโยชน์ที่ได้รับ

ประโยชน์ในเชิงวิชาการ

1. ผลการวิจัยครั้งนี้จะทำให้ทราบว่าวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแต่ละวิธี เหมาะสมกับการนำไปใช้ภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

2. ผลการวิจัยครั้งนี้เป็นการนำเสอนการใช้เทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โลมาประยุกต์ใช้กับการกำหนดขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขข้อมูลภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ อีกทั้งศึกษาประสิทธิภาพของผลการวิเคราะห์ที่ได้จากขนาดตัวอย่างได้อย่างละเอียดและรอบด้าน

ประโยชน์ในเชิงปฏิบัติ

1. นักวิจัยที่สนใจศึกษาโมเดลการวัดหรือโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสามารถประยุกต์ใช้ผลลัพธ์จากการวิจัยครั้งนี้ คือ ชุดคำสั่ง (function) ในการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีมอนติคาร์โล สำหรับโปรแกรม R ไปใช้ในการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพตามความต้องการของนักวิจัย

2. อัลกอริทึมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ต่อยอดสำหรับการศึกษาการกำหนดขนาดตัวอย่างในโมเดลขั้นสูงต่อไปได้ และสามารถประยุกต์ใช้กับปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดตัวอย่างได้ เช่น ระดับความเที่ยงของตัวแปรสังเกตได้ การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสังเกตได้ และข้อมูลสูญหาย เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเรื่อง “การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน สำหรับข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงปกติ” ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบ่งการนำเสนอออกเป็น 4 ตอน ได้แก่

1. มโนทัศน์เบื้องต้นในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน
2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน
3. วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน และโมเดลสมการโครงสร้าง
4. กรอบแนวคิดการวิจัย

ตอนที่ 1 มโนทัศน์เบื้องต้นในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่นักวิจัยพัฒนาโมเดลที่จะศึกษาขึ้นมา โดยสามารถระบุว่าแต่องค์ประกอบมีอะไรบ้าง วัดจาดตัวแปรสังเกตอะไร มีจำนวนเท่าไร จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วเก็บข้อมูลตามตัวแปรสังเกตได้ตามที่กำหนดไว้และทำการวิเคราะห์ผลว่าโมเดลที่ศึกษามีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ ซึ่งการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันจะมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อตรวจสอบทฤษฎี เพื่อสำรวจและระบุองค์ประกอบ และเพื่อปรับตัวแปรใหม่ โดยที่การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเป็นลักษณะของโมเดลการวัด ประกอบไปด้วย ตัวแปรแฝง (latent variable) เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง ซึ่งจะต้องวัดจากตัวแปรสังเกตได้ (observed variables) โดยที่ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ที่ส่งผลไปยังตัวแปรแฝงจะเรียกว่า ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (factor loading) ส่วนค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงด้วยกันเองที่ส่งผลซึ่งกันละกันจะเรียกว่า ค่าความแปรปรวนร่วม (covariance) ซึ่งสามารถอธิบายเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$y_i = \Lambda\xi_i + \delta_i \qquad (1)$$

โดยที่ y_i คือเวกเตอร์ของตัวแปรสังเกตได้ (observed variable) ขนาด p x 1, Λ คือเมทริกซ์ของน้ำหนักองค์ประกอบ (factor loadings matrix) ขนาด p x q, ξ_i คือเวกเตอร์ของตัวแปร

แฝง (latent variable) ขนาด q x 1 และ δ_i คือเวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อนจากการวัด (measurement errors) ขนาด p x 1

ขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันมี 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดข้อมูลจำเพาะของโมเดล (Model Specification)

2. การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (Model Identification)

3. การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter Estimation)

4. การประเมินความสอดคล้องของโมเดล (Assessing Measurement Model Validity)

ในส่วนของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่นิยมใช้จะมีวิธีการประมาณค่า 4 วิธี ได้แก่ วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood: ML) วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดที่มีความแกร่ง (Robust Maximum Likelihood: RML) วิธีกำลังสองน้อยสุดนัยทั่วไป (Generalized Least Squares: GLS) วิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักทั่วไป (Weighted Least Squares: WLS)

1.วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood: ML) นี้ใช้ฟังก์ชันความกลมกลืนที่ไม่ใช่ฟังก์ชันแบบเส้นตรง แต่ก็เป็นฟังก์ชันที่บอกความแตกต่างระหว่างเมทริกซ์ความแปรปรวน – ความแปรปรวนร่วมจากกลุ่มตัวอย่าง (S) และ Sigma ได้เพราะถ้าเมทริกซ์ทั้งสองค่ามีค่าใกล้เคียงกัน เทอมแรกของฟังก์ชันจะมีค่าเท่ากับเทอมที่สาม ในขณะที่เทอมกลางมีค่าเป็นศูนย์ ค่าประมาณของพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี ML มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับวิธี GLS คือ มีความคงเส้นคงวา มีประสิทธิภาพและเป็นอิสระจากมาตรวัด การแจกแจงสุ่มของค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี ML เป็นแบบปกติและความแกร่งของค่าประมาณขึ้นอยู่กับขนาดของค่าพารามิเตอร์

$$ML = \log\left|\sum(\theta) + tr\left(s\sum(\theta)^{-1}\right) - \log|S| - (p+q)\right|$$

เมื่อ tr คือ ผลรวมของสมาชิกในแนวทแยงของเมทริกซ์

$\sum(\theta)$ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมที่ได้จากการระบุโมเดล

S คือ เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมที่ได้จากตัวแปรสังเกตได้

| | คือ ดีเทอร์มินแนนท์ของเมทริกซ์

Log คือ ค่าล็อคฐาน 10

2.วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดที่มีความแกร่ง (Robust Maximum Likelihood) เป็นวิธีที่มีการพัฒนาจากวิธี ML โดยจะปรับแก้สูตรการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานให้มีความแกร่งต่อข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติหรือมีข้อมูลสูญหาย ซึ่งมีด้วยกันหลากหลายวิธี โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงวิธี Maximum Likelihood Estimation with Robust Standard Error and a Satorra-Bentler Scaled Test Statistic (MLM) ของ Satorra-Bentler (1983) ซึ่งมีการปรับแก้ให้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีความแกร่งต่อการแจงแจงแบบไม่ปกติเป็นดังนี้

$$nCov(\hat{\theta}) = A^{-1}BA^{-1} = (\Delta' W\Delta)^{-1}(\Delta'\Gamma W\Delta)(\Delta' W\Delta)^{-1}$$

เมื่อ Δ คือ จาโคเบียนเมทริกซ์ (jacobian matrix)

W คือ ฟังก์ชั่น $\sum^{-1}$ (function of $\sum^{-1}$)

3.วิธีกำลังสองน้อยสุดนัยทั่วไป (Generalized Least Squares: GLS) เมื่อข้อมูลมีความแปรปรวนของตัวแปรตามไม่เท่ากันทุกค่าของตัวแปรต้น (heteroscedasticity) หรือมีความสัมพันธ์กันระหว่างความคลาดเคลื่อน (autocorrelation) จะต้องใช้วิธีประมาณค่าแบบ GLS ซึ่งการถ่วงน้ำหนักค่าสังเกต เพื่อปรับแก้ความแปรปรวนไม่เท่ากัน ค่าประมาณของพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี GLS มีความคงเส้นคงวา มีประสิทธิภาพ และเป็นอิสระจากมาตรวัด หรือไม่มีหน่วย อย่างไรก็ดีถ้าตัวแปรสังเกตได้มีลักษณะการแจกแจงที่สูงหรือเตี้ยกว่าโค้งปกติ ค่าประมาณของพารามิเตอร์จะไม่ถูกต้อง เพราะข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นที่ว่าด้วยการแจกแจงแบบปกติพหุนาม นอกจากนี้ถ้ากลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จะมีความลำเอียงเข้าหาค่าศูนย์

$$GLS = \frac{1}{2}tr\left[1 - S^{-1}\right]^2$$

4.วิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักทั่วไป (Weighted Least Squares: WLS) เป็นวิธีที่มีการวางนัยทั่วไปกว้างขวาง กล่าวได้ว่า GLS และ ML เป็นกรณีหนึ่งของวิธี WLS การประมาณค่าวิธีนี้มิได้ใช้เมทริกซ์เต็มรูป แต่ใช้เฉพราะสมาชิกในแนวทแยงและใต้แนวทแยง และใช้เมทริกซ์ W เป็นเมทริกซ์น้ำหนัก โดยถ่วงน้ำหนักด้วยอินเวอส์ของเมทริกซ์ W ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับเมทริกซ์ที่มีการตัดข้อมูลสูญหาย (missing) แบบตัดเฉพาะคู่ที่ขาด (pairwise) ส่วนคุณสมบัติของพารามิเตอร์ เหมือนกับวิธี ML

$$WLS = (S - \sigma)' W^{-1}(S - \sigma)$$

เมื่อ S คือ เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมที่ได้จากตัวแปรสังเกตได้

σ คือ สมาชิกในแนวทแยง และใต้แนวทแยงของเมทริกซ์

W คือ เมทริกซ์ใช้ถ่วงน้ำหนัก

การประเมินความสอดคล้องของโมเดลจะทำการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ ซึ่งมีหลากหลายดัชนี ได้แก่ 1) ค่าไค-สแควร์ (Chi-square Statistic) 2) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่า (Root Mean Square error of Approximation: RMSEA) 3) Gamma hat (Gamma) และ 4) McDonald's centrality Index (Mc) (Thus Hu& Bentler, 1999; นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2537; สุภมาส อังศุโชติ, 2551)

1.ค่าไค-สแควร์ (Chi-square Statistic) ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้แพร่หลายในการตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์โดยภาพรวม ค่าไค-สแควร์คำนวณจากผลคูณระหว่าง Minimum Fit Function Value กับ n-1 เมื่อ n แทนขนาดกลุ่มตัวอย่าง มีชั้นของความเป็นอิสระ

(df) เท่ากับ k(k+1)/2-t เมื่อ k แทนจำนวนตัวแปรสังเกตได้ และ t แทนจำนวนพารามิเตอร์ในโมเดลที่ต้องประมาณค่า สมมติฐานของการทดสอบคือ $H_0 : \sum = \sum(\theta)$ เมื่อ $\sum$ แทนเมทริกซ์ความแปรปรวน – ความแปรปรวนร่วมข้อมูลเชิงประจักษ์ และ $\sum(\theta)$ แทนเมทริกซ์ความแปรปรวน – ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้ที่ประมาณมาจากโมเดล ถ้าค่าไค-สแควร์มีนัยสำคัญแสดงว่าโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์สอดคล้องกัน โดยพิจารณาค่า p-value > 0.05

2.ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่า (Root Mean Square error of Approximation: RMSEA) ใช้ทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \sum = \sum(\theta)$เมื่อ $\sum$ แทนเมทริกซ์ความแปรปรวน – ความแปรปรวนร่วมข้อมูลเชิงประจักษ์ และ $\sum(\theta)$ แทนเมทริกซ์ความแปรปรวน – ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้ที่ประมาณมาจากโมเดล แต่นำค่าองศาความเป็นอิสระมาปรับแก้ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$RMSEA = \left(\frac{Fo}{df}\right)^{\frac{1}{2}}$$

เมื่อ Fo คือ population discrepancy function value หรือฟังก์ชันความกลมกลืนเมื่อโมเดลความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ถ้า Fo เท่ากับศูนย์ RMSEA จะเท่ากับศูนย์ แสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ดีมาก

Diamantopoulos (2000) เสนอว่าค่า RMSEA ที่ดีควรมีค่าควรมีค่าน้อยกว่า 0.05 จะหมายถึงโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มาก ค่าระหว่าง 0.05-0.08 หมายถึง โมเดลค่อนข้างสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ค่าระหว่าง 0.08-0.10 แสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์เล็กน้อย และค่าที่มากกว่า 0.1 แสดงว่าโมเดลยังไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

3.Gamma hat (Gamma)

เป็นดัชนีที่มีความไวต่อการระบุโมเดลผิดพลาด แต่ไม่มีความไวต่อประเภทของโมเดลและขนาดตัวอย่างส่วนเกณฑ์การพิจารณา Thus Hu& Bentler (1999) เสนอว่าค่า Gamma Hat ที่ดีควรมีค่าเกิน 0.95

$$GAMMA = \frac{p}{p + 2\left(\frac{T - df}{N - 1}\right)}$$

เมื่อ p คือ จำนวนตัวแปรสังเกตได้ (number of observed variables)

T คือ สถิติทดสอบความสอดคล้องระหว่างโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (T statistic for the target model)

4.McDonald’s centrality Index (Mc)

เป็นดัชนีที่มีความไวต่อการระบุโมเดลผิดพลาด แต่ไม่มีความไวต่อประเภทของโมเดลและขนาดตัวอย่างส่วนเกณฑ์การพิจารณา Thus Hu& Bentler (1999) เสนอว่าค่า Mc ที่ดีควรมีค่าเกิน 0.90 ในกรณีที่มีขนาดต่ำหรือน้อยกว่า 250 คน

$$Mc = \exp\left(-\frac{T - df}{2N}\right)$$

เมื่อ T คือ สถิติทดสอบความสอดคล้องระหว่างโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (T statistic for the target model)

ตอนที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันหากผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ผลแล้วพบว่าโมเดลไม่มีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ มีสาเหตุได้หลากหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ได้แก่ ขนาดตัวอย่างมีน้อยเกินไป ข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ การเลือกวิธีการประมาณที่ไม่เหมาะสม หรือเกิดมาจากการระบุโมเดลผิดพลาด

2.1 ขนาดตัวอย่าง

ขนาดตัวอย่าง (sample size) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อทั้งประสิทธิภาพ ค่าประมาณ และการทดสอบสมมติฐานที่เกี่ยวกับพารามิเตอร์ในโมเดล หากผู้วิจัยกำหนดขนาดตัวอย่างเล็กเกินไปจะทำให้ความแม่นยำในการประมาณค่าพารามิเตอร์และอำนาจการทดสอบสมมติฐานมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ส่งผลให้ในการทดสอบมีโอกาสที่จะไม่ปฏิเสธโมเดลสมมติฐานของนักวิจัยสูง ในทางกลับกันหากกำหนดขนาดตัวอย่างใหญ่เกินไปก็จะส่งผลต่อจะก่อให้เกิดความลำเอียงในการประมาณค่าในสถิติบางประเภท เช่น สถิติทดสอบไคสแควร์จะมีอำนาจการทดสอบที่สูงขึ้นเมื่อมีขนาดตัวอย่างที่มากขึ้น ซึ่งถึงแม้อำนาจในการทดสอบจะสูงขึ้นแต่ไม่สามารถควบคุมให้โอกาสของการเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่หนึ่งอยู่ภายใต้ระดับนัยสำคัญที่นักวิจัยกำหนดไว้ได้ ส่งผลให้นักวิจัยมีโอกาสที่จะปฏิเสธโมเดลวิจัยสูงทั้งที่แท้จริงแล้วโมเดลนั้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ก็ตาม (Pornprasertmanit, 2014; Jöreskog & Sörbom, 1996; Bollen, 1989; Bentler and Bonnet, 1980) ดังนั้นการเลือกวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำวิจัย

การสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างในวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน และการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง

ในปัจจุบันมีวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างหลากหลายวิธี จากการสืบค้นงานวิจัยที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน และวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างทั้งภายในประเทศไทยและต่างประเทศในช่วงปี พ.ศ. 2559-2551 จากฐานข้อมูลทั้ง โครงการเครือข่ายห้องสมุดประเทศไทย(ThaiLIS), สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และ ScienceDirect โดยสนใจเฉพาะการวิเคราะห์ข้อมูลหนึ่งระดับ ทั้งหมดจำนวน 55 เล่ม แบ่งเป็นภายในประเทศไทย จำนวน 40 เล่ม และต่างประเทศจำนวน 15 เล่ม ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2.1 กับ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ความถี่และร้อยละวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับโมเดลการวิเคราะห์ในงานวิจัยภายในประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2551-2559

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง/โมเดล	SEM	CFA	รวม	ร้อยละ
Rule of thumb	25	10	35	87.5
ตารางสำเร็จรูปและสูตรของYamane (1973)	2	0	2	5
สูตรของ Cochran (1977)	1	0	1	2.5
Preacher & Coffman (2006)	2	0	2	5
รวม	30	10	40	100

จากตาราง 2.1 พบว่า วิธีกำหนดขนาดตัวอย่างที่นิยมใช้กันในประเทศไทยมากที่สุด คือวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย (Rule of thumb) คิดเป็นร้อยละ 87.5 รองลงมาคือ วิธีตารางสำเร็จรูปและสูตรของYamane (1973) กับ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลตามแนวคิดของ Preacher & Coffman (2006) คิดเป็นร้อยละ 5 และน้อยที่สุดได้แก่ วิธีสูตรของ Cochran (1977) คิดเป็นร้อยละ 2.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ความถี่และร้อยละวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับโมเดลการวิเคราะห์ในงานวิจัยต่างประเทศ ในช่วงปี ค.ศ. 2012-2016

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง/โมเดล	SEM	CFA	รวม	ร้อยละ
Rule of thumb	5	3	8	53.33
Krejcie and Morgan Table	1	0	1	6.67
De Vaus Table (2002)	1	0	1	6.67
Israel Table	1	0	1	6.67
$n = \frac{\hat{p}(1-\hat{p})z^2}{ME^2}$	1	0	1	6.67
p (p+1)/2 Bayram (2010) and Schermelleh-Engel (2003)	1	0	1	6.67
Preacher & Coffman (2006)	2	0	2	13.33
รวม	12	3	15	100.00

จากตาราง 2.2 พบว่า วิธีกำหนดขนาดตัวอย่างที่นิยมใช้กันในต่างประเทศมากที่สุด คือ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย (Rule of thumb) คิดเป็นร้อยละ 53.33 รองลงมาคือ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลตามแนวคิดของ Preacher & Coffman (2006) คิดเป็นร้อยละ 13.33 ซึ่งจะเห็นได้ว่านักวิจัยที่ใช้การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างทั้งภายในประเทศไทยและต่างประเทศส่วนใหญ่ในปัจจุบัน มักจะนิยมใช้วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย

ซึ่งจากทั้ง 2 ตารางจะแสดงให้เห็นว่านักวิจัยส่วนใหญ่ยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน โดยยังใช้วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่ายอยู่ ทั้งที่มีข้อจำกัดด้านการรับประกันประสิทธิภาพของผลการวิเคราะห์ที่จะได้จากขนาดตัวอย่างที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันได้มีนักวิจัยหลายคนพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดของวิธีการแรกขึ้นทั้งวิธีการของ Preacher and Coffman (2006) ซึ่งกำหนดขนาดตัวอย่างโดยพิจารณาจากอำนาจการทดสอบของดัชนี RMSEA หรือ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper (2016) ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ที่พิจารณาจากอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของขนาดอิทธิพล ในการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ขั้นต่ำที่ให้ระดับอำนาจการทดสอบตามที่กำหนดไว้ได้ และวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โลซึ่งกำหนดขนาดตัวอย่างโดยอาศัยผลการวิเคราะห์จากข้อมูลที่จำลองขึ้นจากโมเดลประชากรที่ใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด และสามารถกำหนดเงื่อนไขข้อมูล

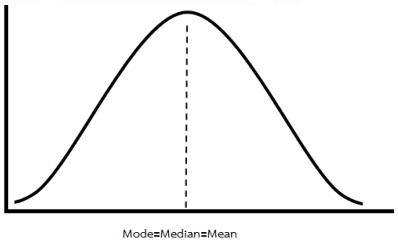
ภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมตามที่นักวิจัยต้องการ ทำให้ในการศึกษาครั้งนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ทั้ง 4 วิธี

2.2 ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล

การแจกแจงของกลุ่มประชากร เป็นการแจกแจงของค่าที่เราสนใจจะศึกษาจากทุกหน่วยของประชากร โดยมีค่าที่จะทำให้เราสามารถทราบการแจกแจงของประชากรอยู่ 4 ค่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง โดยจะแบ่งการแจกแจงของข้อมูลออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การแจกแจงของข้อมูลแบบปกติและการแจกแจงของข้อมูลแบบไม่ปกติ

การแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ เป็นการแจกแจงของข้อมูลที่มีลักษณะแบบสมมาตร เส้นโค้งที่ได้จากการแจกแจงจะมีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำที่สมมาตรกันที่ค่าเฉลี่ย เส้นโค้งทางด้านขวาและด้านซ้ายของค่าเฉลี่ยจะมีลักษณะเหมือนกัน ทุกประการ ค่าเฉลี่ย (Mean) มัธยฐาน (Median) และฐานนิยม (Mode) จะมีค่าเท่ากันหรือทับกันสนิท

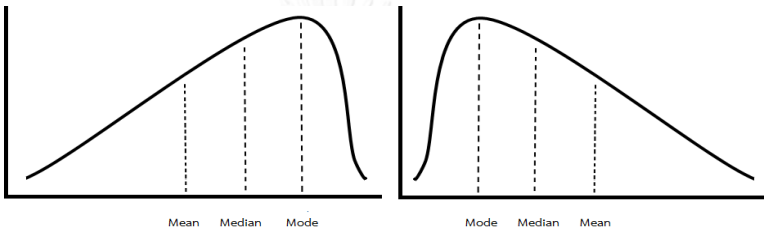
โค้งการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติสามารถมีรูปร่างแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่า μ และ σ ซึ่งโค้งการแจกแจงปกติที่นิยมใช้กันเป็นโค้งการแจกแจงทฤษฎีที่ได้จากการแจกแจงการเกิดเหตุการณ์ของการทดลองเชิงสุ่มโดย μ =0 และ σ =0 ที่เรียกว่าโค้งการแจกแจงปกติมาตรฐาน (วิรัช วรรณรัตน์, 2535; วีนัส พีชวณิชย์ และ สมจิต วัฒนาชยางกลู, 2537; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2550)



รูปที่ 2.1: เส้นโค้งข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบสมมาตร

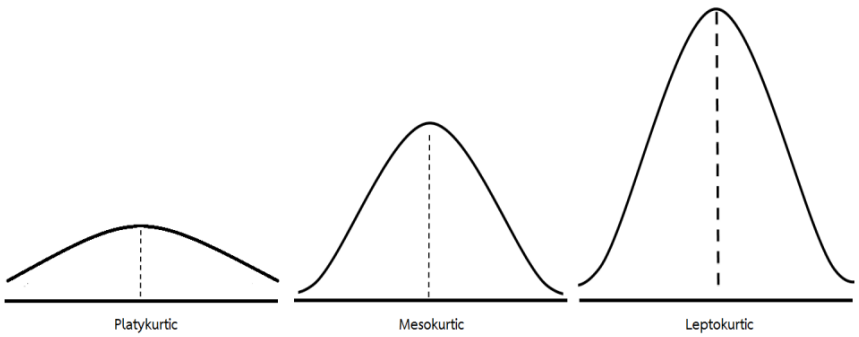
การแจกแจงของข้อมูลแบบไม่ปกติ เป็นการแจกแจงของข้อมูลที่มีลักษณะไม่สมมาตร ข้อมูลเอนไปทางด้านบวกหรือลบ ด้านใดด้านหนึ่งมากกว่า และมีการกระจายไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเส้นโค้งที่ได้จะเบี้ยวไปด้านใดด้านหนึ่งไม่ได้เป็นรูประฆังคว่ำ โดยค่าที่ส่งผลต่อการแจกแจงของประชากรมากที่สุด คือค่าความเบ้ และค่าความโด่ง

ความเบ้ (skewness) คือ ข้อมูลที่มีลักษณะโค้งการแจกแจงแบบไม่สมมาตร มีลักษณะของปลายโค้งทั้งสองข้างไม่เท่ากัน เบ้ไปข้างใดข้างหนึ่ง และมี ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน ฐานนิยมที่แตกต่างกัน ถ้าโค้งการแจกแจงความถี่ของข้อมูล มีหางยาวออกไปด้านซ้ายของเส้นกึ่งกลางมากกว่าทางด้านขวา เรียกว่า ข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ซ้าย หรือเบ้ทางลบ (negatively skewed) โดยข้อมูลจะกองอยู่หนาแน่นทางค่าสูงๆ และถ้าโค้งการแจกแจงความถี่ของข้อมูล มีหางยาวออกไปด้านขวาของเส้นกึ่งกลางมากกว่าทางด้านซ้าย เรียกว่า ข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ขวา หรือเบ้ทางบวก (positively skewed) โดยข้อมูลจะกองอยู่หนาแน่นทางค่าต่ำ ๆ (วิรัช วรรณรัตน์, 2535; วีนัส พีชวณิชย์ และ สมจิต วัฒนาชยางกลู, 2537; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2550)



รูปที่ 2.2: เส้นโค้งข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่สมมาตร

ความโด่ง (kurtosis) คือ ขนาดความสูงของการแจกแจงข้อมูลที่มีลักษณะโค้งการแจกแจงแบบสมมาตร ที่มีความโด่งมากหรือน้อยแตกต่างกัน แบ่งได้ 3 ลักษณะ ลักษณะแบบโค้งปกติ (mesokurtic) ลักษณะแบบแบนราบ (platykurtic) และลักษณะแบบสูงแหลม (leptokurtic) (วิรัช วรรณรัตน์, 2535; วีนัส พีชวณิชย์ และ สมจิต วัฒนาชยางกลู, 2537; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2550)



รูปที่ 2.3: ลักษณะของการแจกแจงแบบต่างๆ

การสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างที่มีข้อมูลมีการแจกแจงของข้อมูลแบบไม่ปกติ จากการสืบค้นงานวิจัยที่ใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างภายในประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2559-2551 จำนวน 50 เล่ม จากตัวแปรสังเกตได้ในงานวิจัยทั้งหมด จำนวน 955 ตัวแปร ในฐานข้อมูล สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่ามีตัวแปรสังเกตได้ส่วนใหญ่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ จำนวน 553 ตัวแปร คิดเป็นร้อยละ 57.91 ซึ่งถือว่ามีจำนวนมากพอสมควรที่ตัวแปรในงานวิจัยที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ โดยแบบเป็นตัวแปรสังเกตได้ที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติกรณีมีความเบ้อย่างเดียว คิดเป็นร้อยละ 17.49 กรณีมีความโด่งอย่างเดียวคิดเป็นร้อยละ 16.75 และกรณีที่มีทั้งความเบ้ความโด่ง คิดเป็นร้อยละ 23.66 ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งหากรวมร้อยละของการแจกแจงของข้อมูลไม่ปกติจะเห็นว่าเกินครึ่งจะมีการแจกแจงของข้อมูลแบบไม่ปกติ การฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นนี้อาจจะส่งผลถึงประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ได้ โดยจะเป็นการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นในเรื่องข้อมูลควรมีลักษณะการแจกแจงเป็นแบบปกติ (Normal Distributions) ซึ่งหากข้อตกลงเบื้องต้นไม่เป็นจริง จะส่งผลกระทบต่อความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และ 2 หรือมีผลกระทบต่อระดับนัยสำคัญและอำนาจการทดสอบ

ตารางที่ 2.3 ความถี่และร้อยละของลักษณะตัวแปรสังเกตได้ในงานวิจัยที่ใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างภายในประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2551-2559 จำนวน 50 เล่ม

ลักษณะการแจกแจงข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
ลักษณะการแจกแจงข้อมูลปกติ	402	42.09
ลักษณะการแจกแจงข้อมูลมีทั้งความเบ้และความโด่ง	226	23.66
ลักษณะการแจกแจงข้อมูลมีความเบ้อย่างเดียว	167	17.49
ลักษณะการแจกแจงข้อมูลมีความโด่งอย่างเดียว	160	16.75
รวม	955	100.00

2.3 วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์

วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันจะมีด้วยกันหลากหลายวิธี แต่วิธีที่นักวิจัยส่วนใหญ่เลือกใช้กันอย่างกว้างขวางคือวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (ML) ซึ่งจะได้ผลการประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพภายใต้สมมติฐานของการแจกแจงพหุปกติ (multivariate normality) ซึ่งจะคล้ายกับผลที่ได้จากวิธีกำลังสองน้อยสุดนัยทั่วไป (GLS) และวิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักทั่วไป (WLS) มีข้อได้เปรียบกับสองวิธีก่อนหน้านี้ตรงที่ไม่มีสมมติฐานเกี่ยวกับการกระจายของตัวแปรสังเกตได้ (asymptotic distribution free estimation) แต่มีข้อจำกัดซึ่งหากจะได้ผล

การประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพจะต้องใช้ขนาดตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่มาก โดยทั้งสามวิธีก็อาจจะไม่ใช่วิธีการประมาณค่าที่ดีที่สุดในทุกสถานการณ์ เช่น กรณีที่ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ (non-normality) ควรใช้วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดที่มีความแกร่ง (RML) เป็นวิธีที่มีการพัฒนาจากวิธี ML โดยจะปรับแก้สูตรการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานให้มีความแกร่งต่อข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติหรือมีข้อมูลสูญหาย จะเห็นได้ว่าหากนักวิจัยเลือกใช้วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมกับภายใต้สถานการณ์ของข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ จะส่งผลต่อประสิทธิภาพด้านความเอนเอียงและความถูกต้องของการประมาณค่าพารามิเตอร์

2.4 การระบุโมเดลผิดพลาด

การระบุโมเดลผิดพลาดนั้นเป็นการเกิดข้ออผิดพลาดบางประการในการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งมีด้วยกันหลากหลายสาเหตุ โดยการเกิดการระบุโมเดลผิดพลาดในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันนั้นจะเกิดขึ้นได้ทั้งในส่วนโมเดลการวัด (Measurement Model) และ โมเดลโครงสร้าง (Structural Model) (Hu and Bentler, 1999) โดยที่โมเดลการวัดจะเกิดการระบุผิดพลาด เช่น การกำหนดโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ผิด การกำหนดประเภทโมเดลการวิเคราะห์ผิดประเภท การระบุจำนวนองค์ประกอบที่ไม่ถูกต้อง การระบุจำนวนตัวบ่งชี้ของตัวแปรแฝงไม่ถูกต้อง เป็นต้น ซึ่งอาจจะเกิดจากการทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่มากพอ ส่วนโมเดลโครงสร้างจะเกิดการระบุผิดพลาด เช่น การประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ถูกต้อง มีความลำเอียง มีความคลาดเคลื่อน และอาจเกิดจากการระบุพารามิเตอร์ไม่ครบหรือระบุพารามิเตอร์เกิน พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันนั้นสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด (Measurement Error Covariances) พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) และพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง (Latent Variable Covariances)

การเกิดการระบุโมเดลผิดพลาดจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืนเชิงประจักษ์ในการตัดสินใจของนักวิจัย ซึ่งหากนักวิจัยเลือกใช้ดัชนีที่ไม่มีความไวต่อการระบุโมเดลผิดพลาดจะส่งผลมีความไม่ถูกต้อง Hu and Bentler (1999) และ Fan and Sivo (2007) ได้ศึกษาการระบุโมเดลผิดพลาดในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน พบว่า การระบุพารามิเตอร์ไม่ครบ จะส่งผลต่อดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืนเชิงประจักษ์เป็นอย่างมาก

ตอนที่ 3 วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน และโมเดลสมการโครงสร้าง

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน และโมเดลสมการโครงสร้างในปัจจุบันมีวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างอยู่ 4 วิธี ดังนี้

3.1 การกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย

การกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย (Rule of thumb) เป็นวิธีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างที่ใช้อัตราส่วนระหว่างขนาดกลุ่มตัวอย่างและจำนวนพารามิเตอร์หรือจำนวนตัวแปร มาคำนวณหาขนาดตัวอย่างขั้นต่ำมาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิธีแรกอัตราส่วนระหว่างขนาดกลุ่มตัวอย่างและจำนวนตัวแปร ที่มีผู้แนะนำไว้ต่ำสุดก็คืออัตราส่วนเป็น 5 เท่าของจำนวนตัวแปร (Bentler, & Chou, 1987) หรือเกณฑ์ในทางปฏิบัติซึ่งเป็นที่ยอมรับทั่วไปก็คืออัตราส่วนเป็น 10 เท่าของจำนวนตัวแปร (Nunnally, & Bernstein, 1994) อีกทั้งยังมีสูตรของ Lindeman, Merenda and Gold (1980 อ้างถึงใน นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542: 54) ที่ระบุว่าโดยปกติแล้วในการวิเคราะห์สถิติประเภทพหุตัวแปรควรกำหนดตัวอย่างประมาณ 20 เท่าของตัวแปรสังเกตได้ในโมเดล

วิธีที่สองใช้เกณฑ์การกำหนดขนาดตัวอย่างของ Hair และคณะ (2006 : 112-113) กับ Klein (2011) ได้เสนอแนะให้พิจารณาขนาดตัวอย่างควบคู่ไปกับจำนวนพารามิเตอร์อิสระที่ต้องการประมาณค่า ถ้าพารามิเตอร์มีจำนวนมากควรจะต้องมีขนาดตัวอย่างเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยใช้อัตราส่วนระหว่างหน่วยตัวอย่างและจำนวนพารามิเตอร์หรือตัวแปรควรเป็น ในกรณีที่ดีที่สุดก็คืออัตราส่วนเป็น 20 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์หรือขั้นต่ำที่สุดก็คืออัตราส่วนเป็น 10 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jackson (2003) ที่ศึกษาพิสูจน์วิธีกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการ Rule of thumb (N: q) โดยที่ N เป็นจำนวนหน่วยตัวอย่างต่อ q คือพารามิเตอร์ 1 ตัว โดยวิเคราะห์ด้วยโปแกรม SAS ซึ่งผลที่ได้พบว่า อัตราส่วน 20 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์เป็นอัตราที่ดีในการกำหนดขนาดตัวอย่างขั้นต่ำที่ทำให้ค่าอำนาจในการสอบออกมาสูง

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า วิธีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างด้วยการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย อัตราส่วนที่ใช้ระหว่างขนาดกลุ่มตัวอย่างและจำนวนพารามิเตอร์หรือตัวแปรที่ยอมรับโดยทุกไปในกรณีที่ดีที่สุดก็คืออัตราส่วนเป็น 20 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์หรือขั้นต่ำที่สุดก็คืออัตราส่วนเป็น 10 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์ ซึ่งการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย ข้อเด่นของการใช้กฎเกณฑ์อย่างง่ายคือคำนวณได้ง่ายและรวดเร็ว แต่ก็มีข้อจำกัดมากโดยเฉพาะในด้านการรับประกันประสิทธิภาพของผลการวิเคราะห์ที่จะได้จากขนาดตัวอย่างที่กำหนด และการคำนวณที่ง่ายเกินไปขาดการนำข้อมูล

จำเพาะที่สำคัญของโมเดลวิจัยไปร่วมในการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ได้จึงเป็นเพียงการคาดการณ์อย่างคร่าว ๆ โดยที่ผู้วิจัยไม่อาจทราบได้ว่าในความเป็นจริงแล้วขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้นี้มีความเหมาะสมจริงหรือไม่ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้จะใช้เลือกอัตราส่วนที่ใช้ระหว่างขนาดกลุ่มตัวอย่างและจำนวนพารามิเตอร์อัตราส่วนเป็น 20 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

3.2 วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลสมการโครงสร้างและโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

Preacher & Coffman (2006) ได้พัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง โดยพิจารณาจากอำนาจการทดสอบของดัชนี root mean square of approximation (RMSEA) วิธีการนี้มีการนำข้อมูลจำเพาะของโมเดลวิจัยไปร่วมในการกำหนดขนาดตัวอย่างมากขึ้นได้แก่ ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด (level of misspecification) ความซับซ้อนของโมเดลวิจัย (complexity) และพัฒนาเป็นเว็บไซต์ที่ผลิตชุดคำสั่งในโปรแกรม R ที่จะช่วยให้นักวิจัยสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างขั้นต่ำที่จะให้อำนาจในการทดสอบตามที่นักวิจัยต้องการและสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างในโมเดลที่มีการซ้อนสัมพันธ์กัน (nested model) ได้ด้วย ซึ่งการคำนวณขนาดตัวอย่างวิธีนี้จะต้องระบุ ระดับนัยสำคัญ (Alpha) เกณฑ์ทั่วไปจะอยู่ที่ .05 องศาอิสระ (Degrees of Freedom) อำนาจในการทดสอบ (Desired Power) และขนาดอิทธิพล (Null RMSEA, Alt. RMSEA) เป็นส่วนในการคำนวณขนาดตัวอย่างขั้นต่ำออกมา

โดยระดับนัยสำคัญที่นิยมใช้จะมีค่าเท่ากับ 0.05 หรือ 0.01 และอำนาจในการทดสอบที่ยอมรับได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.8-0.95 ส่วนขนาดอิทธิพลที่นำมาใช้จะใช้จากการรีวิวงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง ซึ่ง Null RMSEA คือค่า RMSEA ที่นักวิจัยรับได้จะมีค่าเท่ากับ 0 และ Alt. RMSEA คือค่าRMSEA ที่นักวิจัยรับไม่ได้ จะมีค่า RMSEA ที่ได้ประมาณ 0.2-.05

จุดเด่นของวิธีนี้คือผู้วิจัยสามารถกำหนดอำนาจในการทดสอบที่ต้องการได้ โดยใช้ อำนาจการทดสอบของดัชนี root mean square of approximation (RMSEA) เป็นเกณฑ์ในการกำหนดขนาดตัวอย่างขั้นต่ำ ซึ่งสามารถทำได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ผ่านเว็บไซต์เพียงแค่ระบุ ระดับนัยสำคัญ, องศาอิสระ, อำนาจในการทดสอบและขนาดอิทธิพล ที่ต้องการลงไป ส่วนข้อจำกัดวิธีนี้มีสมมติฐานว่ากลุ่มตัวอย่างจะต้องเป็นไปตามข้อตกลงเบื้อง ซึ่งในความในจริงอาจจะไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องก็ได้และวิธีไม่คำนึกถึงลักษณะโมเดลการวิเคราะห์,เส้นอิทธิพลรวมไปถึงน้ำหนักองค์ประกอบด้วย

3.3 การกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper

Soper (2016) สร้างเว็บไซต์ที่คำนวณขนาดตัวอย่างที่ในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง มีการนำข้อมูลจำเพาะของโมเดลวิจัยไปร่วมในการกำหนดขนาดตัวอย่างได้แก่ ขนาดอิทธิพล (Anticipated effect size) ระดับอำนาจการทดสอบสมมติฐาน (Desired statistical power level) จำนวนตัวแปรแฝง (Number of latent variables) จำนวนตัวแปรที่สังเกตได้ (Number of observed variables) และระดับนัยสำคัญ (Probability level) โดยโปรแกรมจะคำนวณขนาดตัวอย่างที่ขั้นต่ำที่ให้ระดับอำนาจการทดสอบตามที่กำหนดไว้ได้

โดยที่ขนาดอิทธิพลจะคำนวณมาจากค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝง ทางเว็บไซต์แนะนำอยู่ 3 ค่า ได้แก่ .1, .3 และ .5 ระดับอำนาจการทดสอบสมมติฐานควรมีค่ามากกว่า .8 ระดับนัยสำคัญที่นิยมใช้จะมีค่าเท่ากับ 0.05 หรือ 0.01 ส่วนจำนวนตัวแปรแฝงกับจำนวนตัวแปรที่สังเกตได้จะขึ้นอยู่กับโมเดลของนักวิจัย

สูตรที่ใช้ในการคำนวณขนาดตัวอย่างเบื้องต้นสำหรับรูปแบบสมการโครงสร้าง ได้แก่ 1) ฟังก์ชั่นข้อผิดพลาด (Error function), 2) สูตรคำนวณขนาดตัวอย่างขั้นต่ำในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Lower bound sample size for a structural equation model) และ 3) ค่าการแจกแจงแบบปกติสะสม (Normal distribution cumulative distribution function)

1) ฟังก์ชั่นข้อผิดพลาด:

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2}\, dt$$

2) สูตรคำนวณขนาดตัวอย่างขั้นต่ำในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง:

$n = \max(n_1, n_2)$ โดยที่

$$n_1 = \left[50\left(\frac{j}{k}\right)^2 - 450\left(\frac{j}{k}\right) + 1100 \right]$$

$$n_2 = \left[\frac{1}{2H} \left(A\left(\frac{\pi}{6} - B + D\right) + H + \sqrt{\left(A\left(\frac{\pi}{6} - B + D\right) + H \right)^2 + 4AH\left(\frac{\pi}{6} + \sqrt{A} + 2B - C - 2D\right)} \right) \right]$$

$$A = 1 - \rho^2$$

$$B = \rho \arcsin\left(\frac{\rho}{2}\right)$$

$$C = \rho \arcsin(\rho)$$

$$D = \frac{1}{\sqrt{3 - A}}$$

$$H = \left(\frac{\delta}{Z_{1-\alpha/2} - Z_{1-3}} \right)^2$$

โดยที่ J คือจำนวนของตัวแปรสังเกต, k คือจำนวนของตัวแปรแฝงที่, ρ คือประมาณสัมพันธ์ Gini สำหรับสองตัวแปรสุ่มเวกเตอร์ปกติ, δ คือขนาดของผลที่คาดว่าจะ α เป็นชนิดที่ Sidak-corrected Type I error , β is the Type II error rateและ z เป็นคะแนนมาตรฐานปกติ

3) ค่าการแจกแจงแบบปกติสะสม (CDF):

$$F\left(x;\mu,\sigma^2\right)=\frac{1}{2}\left[1+erf\left(\frac{x-\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right]$$

โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ย, σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและ erf เป็นฟังก์ชั่นข้อผิดพลาด

จุดเด่นของวิธีนี้คือผู้วิจัยสามารถกำหนดขนาดอิทธิพล, ระดับอำนาจในการทดสอบทางสถิติ, จำนวนตัวแปรแฝง, จำนวนตัวแปรที่สังเกตได้ ผ่านเว็บไซต์ซึ่งสามารถทำได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ส่วนข้อจำกัดวิธีนี้มีสมมติฐานว่ากลุ่มตัวอย่างจะต้องเป็นไปตามข้อตกลงเบื้อง ซึ่งในความในจริงอาจจะไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องก็ได้และวิธีไม่คำนึกถึงลักษณะโมเดลการวิเคราะห์,เส้นอิทธิพลรวมไปถึงน้ำหนักองค์ประกอบด้วย

3.4 การกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล

3.4.1การจำลองแบบมอนติคาร์โล

เทคนิควิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) เป็นสาขาหนึ่งของคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นการนำเลขสุ่มและความน่าจะเป็นสะสมมาสร้างตัวแปรให้เหมือนสถานการณ์จริงแล้วทำการทดลองซ้ำ ๆ หลายครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอนที่จะให้เป็นข้อสรุปหรืออธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในสถานการณ์จริง (Kerlinger, 1988: 192, Krobe and Forge, 1980, Taha, 1988) ซึ่งในการนำเทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โลมาใช้ในการกำหนดขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างจะใช้หลักการทดลอง การทำซ้ำ ด้วยการจำลองสถานการณ์ กำหนดเงื่อนไขข้อมูล ที่เราศึกษาภายใต้ขอบเขตต่าง ๆ อาทิ กำหนดโมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในโมเดล ลักษณะข้อมูล กำหนดช่วงความเชื่อมั่น อำนาจการทดสอบสมมติฐาน ในระดับที่แตกต่างกัน จำลองข้อมูลทุกสถานการณ์ที่ครอบคลุมประชากรของผู้วิจัย จะได้ขนาดตัวอย่างต่าง ๆ ในแต่ละระดับออกมา จากนั้นตรวจสอบประสิทธิภาพทั้งการประมาณค่าพารามิเตอร์และการตรวจความสอดคล้องเชิงประจักษ์ในแต่ละระดับ ในแต่สถานการณ์ แล้วหาขนาดตัวอย่างให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดที่ได้ขนาดตัวอย่างที่ดีที่สุดออกมา ซึ่งแตกต่างกับวิธีอื่น ๆ ตรงที่กำหนดปัจจัยมาให้ไว้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เช่น วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่ายจะใช้จำนวนพารามิเตอร์ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลการตามแนวคิด Preacher & Coffman ใช้อำนาจการทดสอบของดัชนี root mean square of approximation (RMSEA) เป็นตัวกำหนด เป็นต้น

3.4.2 การประยุกต์การจำลองแบบมอนติคาร์โลในการกำหนดขนาดตัวอย่าง

การประยุกต์การจำลองแบบมอนติคาร์โลในการกำหนดขนาดตัวอย่างนี้ได้มีนักวิจัยทำการศึกษาในหลากหลายรูปแบบ หลายหลากโมเดล โดยสรุปรวบรวมของแต่ละท่านไว้ดังนี้

Muthén and Muthén (2002) ศึกษาการใช้เทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โลในการตัดสินใจในกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมโดยใช้อำนาจการทดสอบสมมติฐาน ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดโมเดลในการวิเคราะห์ 2 โมเดล ได้แก่ confirmatory factor analysis (CFA) model กับ growth model โดยวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Mplus ซึ่งในแต่และโมเดลจะวิเคราะห์เปรียบเทียบตามข้อตกลงเบื้องต้นและไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของโมเดล โดยที่ confirmatory factor analysis (CFA) model จะไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นที่เกิดจาก missing data กับ non-normal data และ growth model จะไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นที่เกิดจาก missing data กับ covariate วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ได้แก่ วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood: ML) และได้เสนอเกณฑ์การกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมนั้นให้เลือกขนาดตัวอย่างที่ทำให้ (1) ค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลมีค่าไม่เกิน 10% และ (2) อำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์มีค่าไม่ต่ำกว่า .8 ผลที่ได้พบว่า confirmatory factor analysis (CFA) model อิทธิพลของ missing data มีผลกระทบมากกว่า non-normal data และข้อมูลที่เป็นแบบปกติและไม่เป็นแบบปกติหากมีผลกระทบจาก missing data จะทำให้ต้องการขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น 18 % และ growth model อิทธิพลที่ส่งผลมากที่สุดของ covariate ซึ่งหากมีค่าregression coefficient ระหว่าง .2-.1 จะต้องการขนาดตัวอย่างเพิ่มถึง 4 เท่า ในกรณีที่มีและไม่มี missing data อีกทั้งหากข้อมูลมี missing data จะต้องการขนาดตัวอย่างเพิ่ม 1.7 เท่าของขนาดอิทธิพล

Wolf, Harrington, Clark, and Miller (2013) ศึกษาการกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับ Structural Equation Models จากการประเมิน อำนาจการทดสอบ ความลำเอียงและSolution Proprietary โดยในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้วิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โลในการวิเคราะห์ confirmatory factor analysis (CFA) model กับ Structural Equation Models (SEM) ผ่านโปรแกรม Mplus ผลที่ได้พบว่า จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่น้อยที่สุดของแต่ละโมเดลในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ได้อำนาจการทดสอบเกิน .8 ในทุกเกณฑ์ข้อตกลงเบื้องต้นที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยที่ CFA มีผลกระทบจาก จำนวนองค์ประกอบหลัก, จำนวนตัวชี้วัด, ขนาดอิทธิพลของน้ำหนักองค์ประกอบและขนาดความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลัก ส่วนของ SEM มีผลกระทบจากขนาดเส้นทางความสัมพันธ์แบบถดถอย, ข้อมูลสูญหาย, ตัวแปรแฝง และ ความเที่ยงของผลการวิเคราะห์

Beaujean (2014) ศึกษาการกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับ Regression Models โดยใช้วิธีการเทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โลในโปรแกรม R พบว่า การใช้วิธีการมอนติคาร์โล สำหรับการตัดสินใจเลือกขนาดตัวอย่างในรูปแบบ Regression Models บนพื้นฐานของความถูกต้องและอำนาจในการทดสอบในการประมาณค่าพารามิเตอร์นั้น ในกรณีที่ข้อมูลในลักษณะไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น(ความเบ้.ความเชื่อมั่น)จะคำนวณขนาดตัวอย่างได้มีความละเอียดกว่า ในขนาดที่การคำนวณจากโปรแกรม G*Power นั้นในกรณีที่เป็นหรือไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นขนาดตัวอย่างที่ได้จะมีขนาดเท่ากัน โดย Beaujean ได้อธิบายขั้นตอนการวางแผนทำกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับ Regression Models โดยใช้วิธีการเทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โลไว้ดังต่อไปนี้

1. พิจารณาเกี่ยวกับโมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์

แผนภาพเส้นทางอิทธิพล (Path Diagram) ของโมเดลเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา

2. พิจารณาเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของประชากรทั้งหมดในโมเดลรวมไปถึง: ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย, ระดับตัวแปร, ความน่าเชื่อถือ (ความตรง) ของตัวแปร, เศษเหลือของความแปรปรวน $\left(1-R^2\right)$ และความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรทำนาย หากทำค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดให้เป็นค่ามาตรฐานได้จะช่วยทำให้ง่ายในการทำขั้นตอนต่อไป

ตรวจสอบความถูกต้องของค่าเมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วม

3. พิจารณาเกี่ยวกับลักษณะข้อมูล เช่น ข้อมูลสูญหาย หรือ การฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้น

4. พิจารณาเกี่ยวกับด้านเทคนิคของการจำลองแบบมอนติคาร์โล:

4.1 ออกแบบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (α) โดยใช้การกำหนดช่วงความเชื่อมั่น

4.2 ออกแบบอำนาจการทดสอบสมมติฐาน (1- β) หรือช่วงความเชื่อมั่นครึ่งความกว้าง (CI half-width)

4.3 จำนวนครั้งในการจำลองขนาดตัวอย่าง (M)

4.4 ขนาดตัวอย่าง (N) หรือ ช่วงของขนาดตัวอย่าง

4.5 Random seeds ค่าเริ่มต้นในการจำลอง ทำซ้ำ (อย่างน้อย 2)

5. จำลองข้อมูลจำนวน (M) ครั้ง ของโมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ 2

6. หลังจากจำลองข้อมูลแล้ว ให้ตรวจสอบผลการวิเคราะห์ข้อมูลให้เป็นตามการตรวจสอบคุณภาพในการ MC:

6.1 Relative parameter Biased (ความลำเอียงในการประมาณค่าพารามิเตอร์) (มีค่าสัมบูรณ์ ≤ 0.10 สำหรับพารามิเตอร์ทุกโมเดล) and standard error Biased (ความลำเอียงในการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) (มีค่าสัมบูรณ์ ≤ 0.10 สำหรับพารามิเตอร์ทุกโมเดลและค่าสัมบูรณ์$\leq$ 05 สำหรับพารามิเตอร์สำคัญ ๆ ที่สนใจ

6.2 Coverage (มีค่าระหว่าง .91 กับ .98) ช่วงความเชื่อมั่น 95%

7.หากค่าในขั้นตอนที่ 6 เป็นที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์ ถ้าหากค่าต่าง ๆ ยังไม่ผ่านเกณฑ์ ให้เพิ่มขนาดตัวอย่าง (n) และทำซ้ำในขั้นตอนที่ 5 และ 6

8. ทำซ้ำขั้นตอน 5-7 โดยระบุ ค่าseeds (ค่าเริ่มต้น) ให้แตกต่างกัน

9. เปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการจำลองในแต่ละค่าseedsที่แตกต่างกัน (ขั้นตอนการตัดสินใจ)

9.1 ถ้าผลในการเปรียบเทียบออกมาในลักษณะใกล้เคียงกัน ก็ไม่ต้องจำลองต่อ

9.2 ถ้าผลในการเปรียบเทียบออกมาในลักษณะแตกต่างกัน

ทำซ้ำใหม่ขั้นตอนที่ 5-8 โดยใช้ค่า seeds ที่แตกต่างกันหรือเพิ่มจำนวนครั้งในการจำลองขนาดตัวอย่าง (M) ให้มากขึ้นจากนั้นเมื่อนักวิจัยกำหนดอำนาจในการทดสอบที่ต้องการโปรแกรมจะนำขนาดตัวอย่างขั้นต่ำออกมาได้เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการ

จากที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นถึงวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างในโมเดลสมการโครงสร้างที่มีการใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งแต่ละวิธีการจะมีความเหมือนและความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.4 พบว่า วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย (Rule of thumb) จะพิจารณาแค่เพียงจำนวนตัวแปรหรือจำนวนพารามิเตอร์เท่านั้นซึ่งเป็นการประมาณขนาดตัวอย่างแบบคร่าวๆ และในส่วนของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ตามแนวคิดของPreacher & Coffman กับ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper ที่ จะพิจารณาองค์องค์ประกอบที่คล้ายคลึงกันทั้ง อำนาจในการทดสอบ, ระดับนัยสำคัญและขนาดอิทธิพล แต่ต่างตรงที่ตามแนวคิดของ Preacher & Coffman จะมีองค์ประกอบขององศาอิสระ ในขณะที่ตามแนวคิดของ Soper จะมีองค์ประกอบจำนวนตัวแปรแฝงและจำนวนตัวแปรสังเกตได้ ซึ่งทั้งองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีในแต่ละวิธีในวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลสามารถนำองค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งหมดมามีส่วนในการคำนวณขนาดตัวอย่างได้ ดังนี้

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบในการกำหนดขนาดตัวอย่างในแต่ละวิธี

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	จำนวนตัวแปร	จำนวนพารามิเตอร์	อำนาจในการทดสอบ	ระดับนัยสำคัญ	ขนาดอิทธิพล	องศาอิสระ	โมเดลการวิเคราะห์	ลักษณะการแจกแจงข้อมูล	ความแปรปรวนร่วม
Rule of thumb	✓	✓							
Preacher & Coffman			✓	✓	✓	✓			
Soper	✓		✓	✓	✓				
กำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
รวม	3	2	3	3	2	1	1	1	1

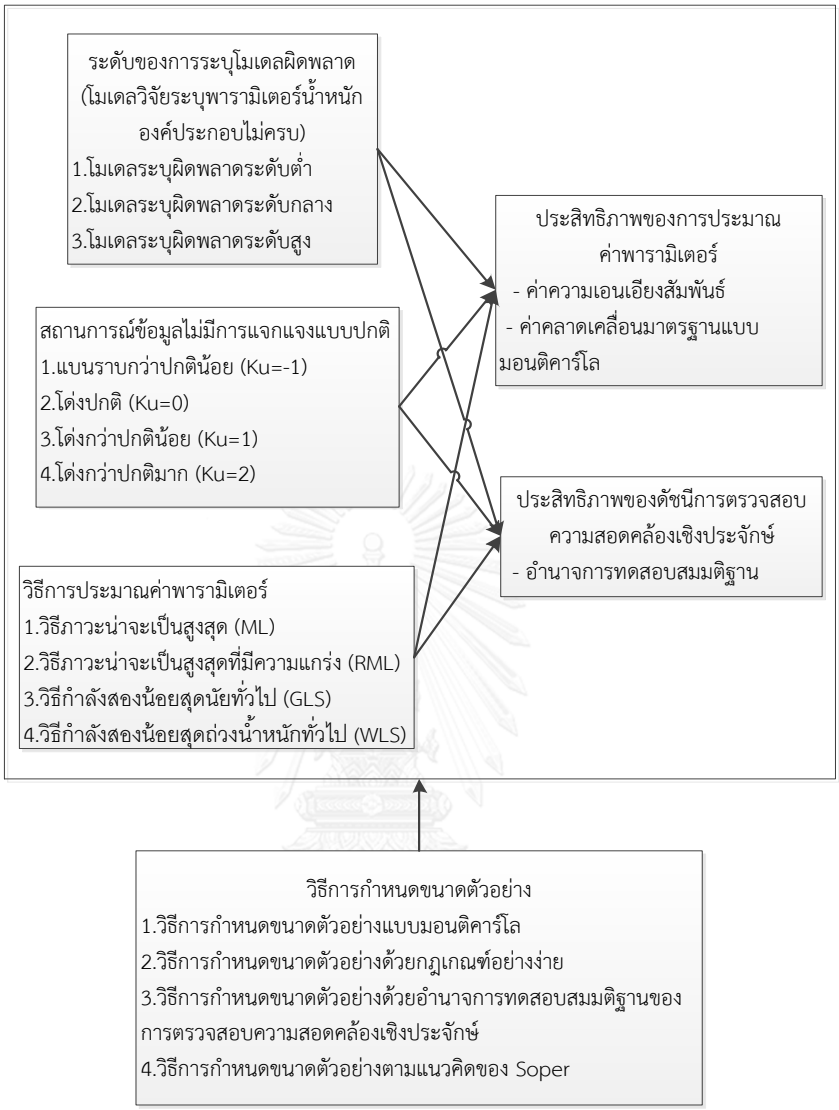
และจากงานวิจัยที่ได้พัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างขึ้นมาสามารถสังเคราะห์ออกมาได้ดังตารางที่ 2.5 พบว่า หากแบ่งดูตามวัตถุประสงค์การวิจัยจะพบว่า ส่วนใหญ่ที่มีวัตถุประสงค์เป็นการพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง จะศึกษาภายใต้ปัจจัยที่ข้อมูลเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น ส่วนงานที่มีวัตถุประสงค์ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการกำหนดขนาดตัวอย่าง จะศึกษาในปัจจัยที่มีข้อมูลสูญหายและไม่มีการแจกแจงแบบปกติและทั้งสองวัตถุประสงค์ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง รองลงมาเป็นโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาขนาดตัวอย่างจะดูจากอำนาจในการทดสอบสมมติฐานเป็นหลัก และหากใช้วิธีคำนวณขนาดตัวอย่างด้วยวิธีมอนติคาร์โลจะมีเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาเพิ่มมาได้แก่ ความเอนเอียงสัมพัทธ์กับความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน โดยส่วนใหญ่จะใช้โปรแกรม R กับ Mplus

จากการสังเคราะห์งานวิจัยจะเห็นได้ว่าในการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง กับโมเดลวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันยังไม่มีผู้ใดศึกษาภายใต้ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น ทำให้ในงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลสำหรับโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเมื่อข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ โดยวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นจะดีกว่าวิธีที่ผ่านมาตรงที่วิธีการนี้สามารถกำหนดการแจกแจงของตัวแปรสังเกตได้ และยังสามารถกำหนดขนาดตัวอย่างให้สอดคล้องกับวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ได้อีกด้วย

ตารางที่ 2.5 การสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์โมเดลต่าง ๆ

		Muthén LK and Muthén BO(2002)	Preacher & Coffman(2006)	Erika J. Wolfและคณะ (2013)	. Alexander Beaujean (2014)	Soper(2016)	รวม
วัตถุประสงค์การวิจัย	ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการกำหนดขนาดตัวอย่าง	✓		✓			2
	พัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		✓		✓	✓	3
โมเดลการวิเคราะห์	SEM		✓	✓		✓	3
	CFA	✓		✓		✓	3
	growth model	✓					1
	Reg				✓		1
เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาขนาดตัวอย่าง	Power	✓	✓	✓	✓	✓	5
	Bias	✓		✓	✓		3
	S.E.	✓			✓		2
ปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดขนาดตัวอย่าง	ข้อมูลเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น		✓			✓	2
	Missing Data	✓		✓	✓		3
	Non-Normal Data	✓			✓		2
	Reliability				✓		1
วิธีคำนวณ	Monte Carlo	✓		✓	✓		3
	เชิงคำนวณ		✓			✓	2
โปรแกรม	R		✓		✓		2
	Mplus	✓		✓			2

ตอนที่ 4 กรอบแนวคิด



รูปที่ 2.4: กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากกรอบแนวคิดข้างต้นในการศึกษาเรื่อง“การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน สำหรับข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงปกติ” นั้นตัวแปรต้นในการศึกษาจะประกอบไปด้วย 4 ส่วน ได้แก่ 1) วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่สนใจ 2) ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด 3) สถานการณ์ที่ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ และ 4) การประมาณค่าพารามิเตอร์ ทั้ง 4 ส่วนนี้จะส่งผลไปยังตัวแปรตามได้แก่เกณฑ์การพิจารณาซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ 1) ประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยจะวัดจาก 3 ส่วนได้แก่ ขนาดตัวอย่าง ค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล 2) ประสิทธิภาพของดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ โดยจะวัดจากอำนาจการทดสอบสมมติฐาน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

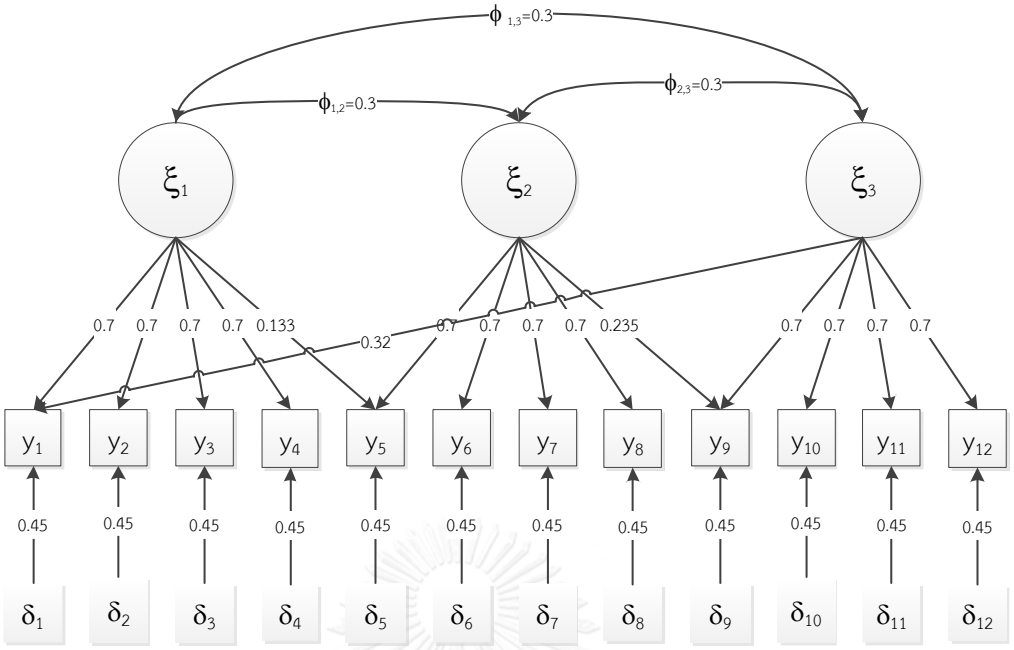
การวิจัยครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) แบ่งออกเป็นสองระยะ ระยะที่หนึ่งคือการพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลสมการการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน โดยพัฒนาต่อยอดจากวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลสำหรับการวิเคราะห์โมเดลสมการเชิงโครงสร้างที่นำเสนอในงานวิจัยของ Muthen and Muthen (2002) และวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์โมเดลเชิงเส้นในงานวิจัย Beaujean (2014) ด้วยการปรับปรุงในขั้นตอนของการระบุโมเดลประชากรสำหรับใช้ในการจำลองข้อมูลให้มีความเป็นได้ และรูปธรรมสามารถใช้กำหนดขนาดตัวอย่างได้จริงในเชิงปฏิบัติ และระยะที่สองผู้วิจัยใช้การวิจัยเชิงทดลองด้วยการจำลองแบบมอนติคาร์โลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่พัฒนาขึ้น, วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย, การกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soperและวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เมื่อตัวแปรสังเกตได้ไม่มีการแจกแจงปกติ การจำลองข้อมูลในการวิจัยผู้วิจัยใช้วิธีมอนติคาร์โลโดยใช้ package “simsem” ในโปรแกรม R เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างข้อมูลจำลองให้มีคุณสมบัติที่ต้องการตามสถานการณ์ที่กำหนด(Pornprasertmanit, 2016) โดยจะนำเสนอเป็น 5 ส่วน ได้แก่ 1) เงื่อนไขการจำลองข้อมูล 2) สถานการณ์ที่ทำการศึกษา 3) เกณฑ์การพิจารณาประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4) สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล และ 5) ขั้นตอนการดำเนินงาน มีรายละเอียดดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ส่วนที่ 1: เงื่อนไขการจำลองข้อมูล

1.โมเดลประชากร

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาผู้วิจัยดำเนินการจำลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลโดยจำลองจากโมเดลประชากร (population model: (M_{pop})) คือโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (confirmatory factor analysis: CFA) ดังรูปที่ 3.1 และสมการที่ (1)



รูปที่ 3.1: โมเดลการประชากร

$$y_i = \Lambda \xi_i + \delta_i \tag{1}$$

โดยที่ y_i คือเวกเตอร์ของตัวแปรสังเกตได้ (observed variable) ขนาด p x 1, Λ คือเมทริกซ์ของน้ำหนักองค์ประกอบ (factor loadings matrix) ขนาด p x q, ξ_i คือเวกเตอร์ของตัวแปรแฝง (latent variable) ขนาด q x 1 และ δ_i คือเวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อนจากการวัด (measurement errors) ขนาด p x 1 รายละเอียดของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในโมเดลเป็นดังนี้

1) ตัวแปรแฝงที่ใช้ในการศึกษากำหนดให้มีจำนวน 3 ตัวแปร (q=3)

2) จำนวนตัวแปรสังเกตที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 12 ตัวแปร (p=12) โดยในแต่ละตัวแปรแฝงกำหนดให้มีตัวแปรสังเกตได้จำนวน 4 ตัวแปร

3) เมทริกซ์ของน้ำหนักองค์ประกอบขนาด 12 x 3 กำหนดให้มีค่าเท่ากับ

$$\Lambda^T = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.133 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.235 & 0 & 0 & 0 \\ 0.32 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0.7 & 0.7 & 0.7 \end{pmatrix}$$

4) กำหนดให้ $\phi = \begin{bmatrix} 1 & & \\ 0.3 & 1 & \\ 0.3 & 0.3 & 1 \end{bmatrix}$ คือเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรแฝง (covariance matrix of latent variables) ขนาด 3 x 3และ $\Psi_d = diag(0.45)$ คือเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของความคลาดเคลื่อนจากการวัด (covariance matrix of measurement errors) ขนาด 12 x 12

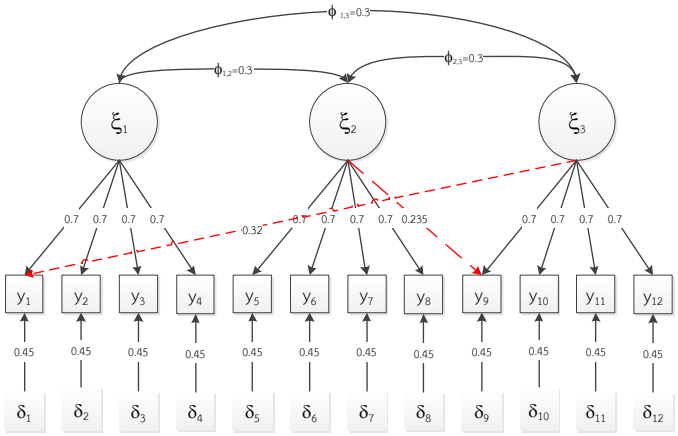
5) การออกแบบการแจกแจงของข้อมูลตัวแปรสังเกตได้ในการวิจัยนี้อ้างอิงจากผลการวิจัยของ Mardia (1974) กับ Olsson และคณะ (2000) ที่พบว่าความโด่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง แต่ไม่พบหลักฐานที่สนับสนุนว่าความเบ้เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบเช่นเดียวกับความโด่ง Olsson และคณะ (2000) ให้เหตุผลว่าความโด่งของตัวแปรเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมซึ่งใช้เป็นข้อมูลสำหรับการประมาณค่าและคำนวณค่าสถิติทดสอบในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง ในขณะที่ความเบ้เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยซึ่งไม่ได้ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง ดังนั้นในการวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงกำหนดให้การแจกแจงของตัวแปรสังเกตได้มีความเบ้คงที่โดยกำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้เท่ากับ 0 และกำหนดให้มีความโด่งที่แตกต่างกัน 4 ระดับ แบ่งเป็น โด่งปกติ (Mesokurtic), โด่งกว่าปกติมาก (Highly Leptokurtic), โด่งกว่าปกติน้อย (Small Leptokurtic) และแบนราบกว่าปกติน้อย (Small Platykurtic) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความโด่งเท่ากับ -1, 0 ,1 และ 2 ตามลำดับ

ส่วนที่ 2: สถานการณ์ที่ทำการศึกษา

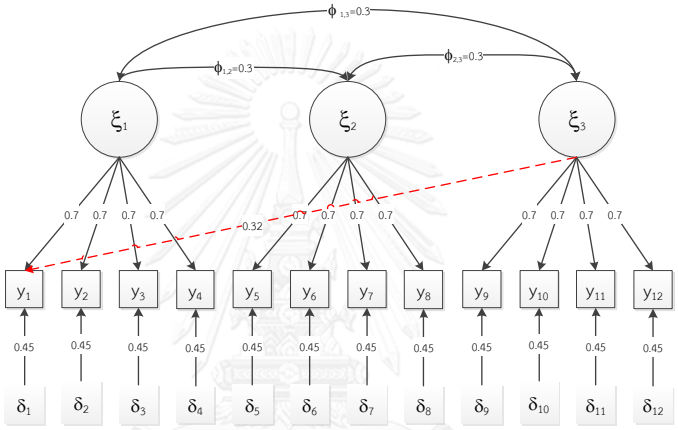
2.1 โมเดลและระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันหากผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ผลแล้วพบว่าโมเดลไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ มีสาเหตุได้หลากหลายประการอาทิ ข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ ขนาดตัวอย่างมีน้อยเกินไป หรือเกิดมาจากการระบุโมเดลผิดพลาด ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ ได้แก่ พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด (Measurement Error Covariances) พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) และพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง (Latent Variable Covariances)

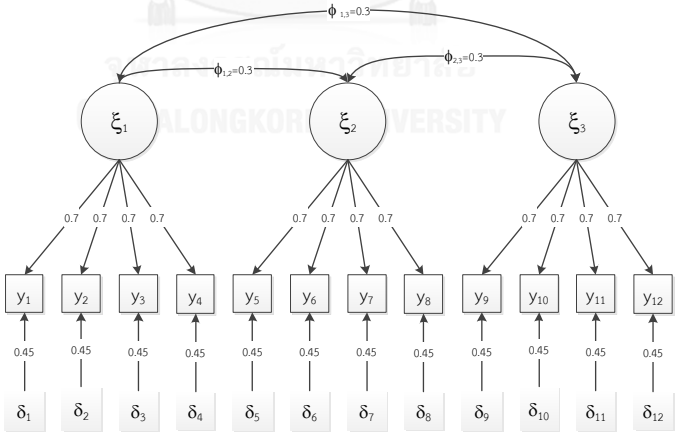
ในการศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างในครั้งนี้ ผู้วิจัยจะศึกษาภายใต้สถานการณ์ที่โมเดลประชากรที่กำหนดในสมการที่ (1) กับโมเดลวิจัยมีความไม่สอดคล้องกันในลักษณะที่โมเดลวิจัยระบุพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบไม่ครบ โดยกำหนดให้การระบุโมเดลผิดพลาดมี 3 ระดับ โมเดลที่ระบุผิดพลาดระดับต่ำคือโมเดลวิจัยที่กำหนดให้พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ $\lambda_{51} = 0$ ดังรูปที่ 3.2 ก. โมเดลที่ระบุผิดพลาดระดับปานกลางคือโมเดลวิจัยที่กำหนดให้พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ $\lambda_{51} = \lambda_{92} = 0$ ดังรูปที่ 3.2 ข. และโมเดลที่ระบุผิดพลาดระดับสูงคือโมเดลวิจัยที่กำหนดให้พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ $\lambda_{51} = \lambda_{92} = \lambda_{13} = 0$ ดังรูปที่ 3.2 ค. และในแต่ละสถานการณ์ที่ศึกษาจะกระทำซ้ำจำนวน 1000 รอบ



ก) โมเดลมีการระบุผิดพลาดต่ำ



ข) โมเดลมีการระบุผิดพลาดปานกลาง



ค) โมเดลมีการระบุผิดพลาดสูง

<u>รูปที่ 3.2</u>: ลักษณะโมเดลที่มีการระบุผิดพลาด

ส่วนที่ 3: เกณฑ์การพิจารณาประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง

เกณฑ์การพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างในการวิจัยนี้จะพิจารณาในสองด้านได้แก่ ด้านประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์ในแต่ละขนาดตัวอย่างซึ่งพิจารณาจาก ขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้จากแต่ละวิธีการกำหนดของตัวอย่าง (Sample Size) ค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ (relative biased: RB) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo standard error: MCSE) ซึ่งจะทำให้อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์ความแปรผันเพื่อให้สามารถแปลความหมายได้สะดวก โดยที่

ขนาดตัวอย่าง (Sample Size)

หลักเกณฑ์ในการตัดสินจะดูจากหากเลือกวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่แตกต่างกันแต่ได้ประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์เท่ากัน จะเลือกวิธีที่ให้ขนาดตัวอย่างที่น้อยที่สุด

ความเอนเอียงสัมพัทธ์ (Relative Bias : RB)

เป็นเกณฑ์ที่ใช้วัดความเอนเอียงของพารามิเตอร์ $\hat{\theta}_j$ ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ประชากร θ_j โดยมีสูตรการคำนวณเป็นดังนี้

$$RB\left(\hat{\theta}_j\right) = \frac{\left|\overline{\hat{\theta}_j} - \theta_j\right|}{\theta_j},\ j = 1,2,3,\ldots,n$$

เมื่อ $\overline{\hat{\theta}}_j$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลอง n รอบ

θ_j คือ ค่าประมาณพารามิเตอร์รอบที่ j

ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Standard Error : MCSE)

เป็นเกณฑ์ที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการจำลองในแต่ละรอบ

$$MCSE = \sqrt{\frac{\sum_{ij=1}^{n}\left(\hat{\theta}_j - \overline{\hat{\theta}_j}\right)^2}{n}}$$

เมื่อ $\overline{\hat{\theta}}_j$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลอง n รอบ

และด้านประสิทธิภาพของการทดสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลวิจัย ซึ่งพิจารณาจาก อำนาจการทดสอบสมมติฐาน (power of the test: POWER) ของสถิติทดสอบไคสแควร์ ซึ่งคำนวณได้จากจำนวนครั้งที่การทดสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลวิจัยปฏิเสธสมมติฐานหลักภายใต้สถานการณ์ที่โมเดลวิจัยมีการระบุผิดพลาดในระดับต่าง ๆ ต่อจำนวนการกระทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์

ส่วนที่ 4: สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติเชิงบรรยาย ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์ และค่าประสิทธิภาพของดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืนเชิงประจักษ์
2. การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์ และค่าประสิทธิภาพของดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืนเชิงประจักษ์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วย โปรแกรม R

ส่วนที่ 5: ขั้นตอนการดำเนินงาน

การวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานอยู่ด้วยกัน 8 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.ศึกษาเอกสารและงานวิจัยทั้งภายในประเทศไทยและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างในโมเดลสมการโครงสร้าง

2.พัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

3.กำหนดโมเดลในการวิเคราะห์สำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง

4.ระบุโมเดลผิดพลาดกรณีระบุพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบไม่ครบ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ โมเดลระบุผิดพลาดระดับต่ำ, โมเดลระบุผิดพลาดระดับปานกลางและโมเดลระบุผิดพลาดระดับสูง

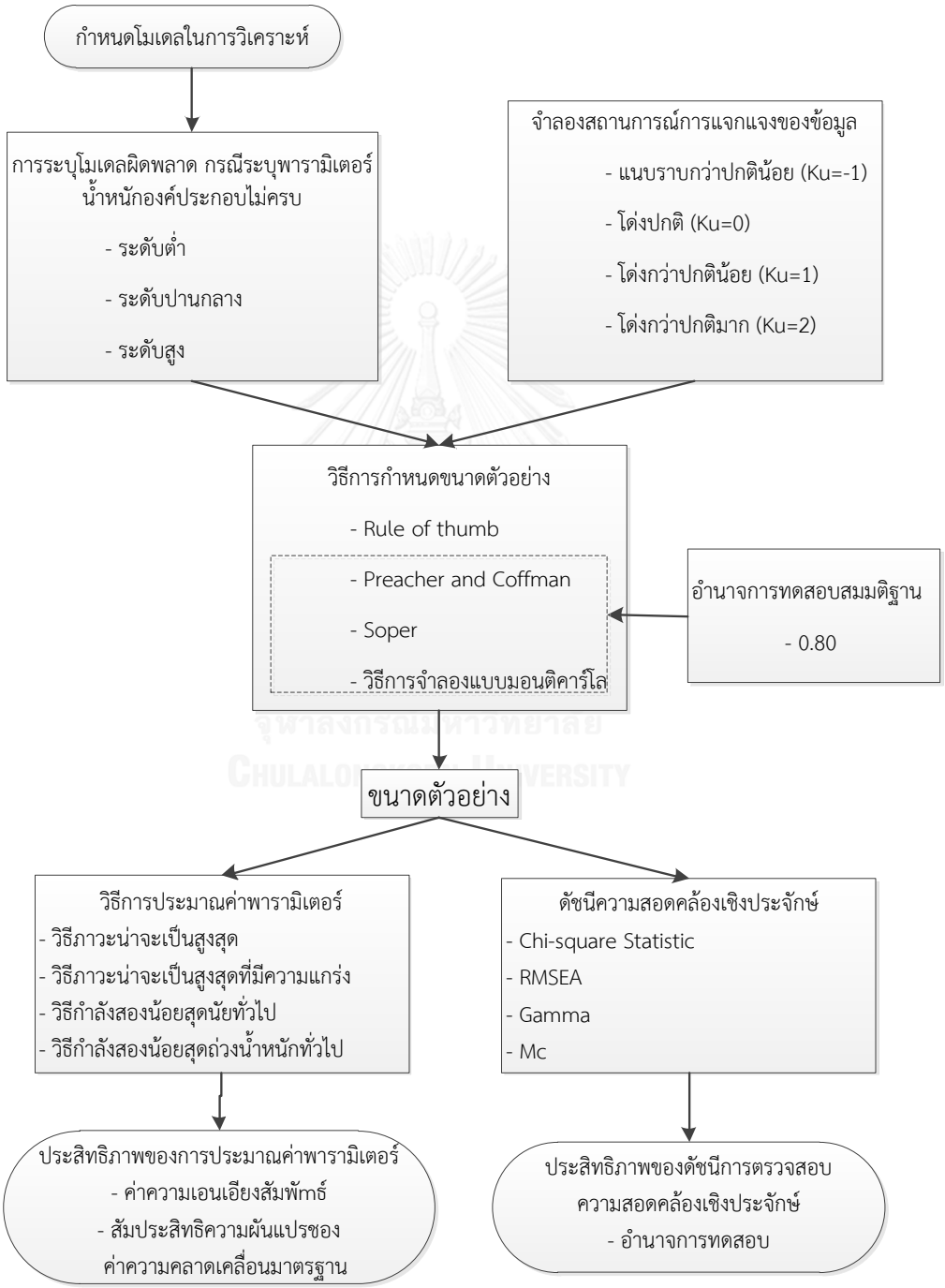
5.จำลองสถานการณ์การแจกแจงของข้อมูลแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ โด่งปกติ, โด่งกว่าปกติมาก, โด่งกว่าปกติน้อยและแบนราบกว่าปกติน้อย

6.คำนวณขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี ได้แก่ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย, วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดล, วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper และ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่เป็นวิธีที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมา โดยที่ 3 วิธีหลังสามารถกำหนดอำนาจในการทดสอบสมมติฐานได้ โดยกำหนดไว้ที่ .8

7.วิเคราะห์ข้อมูล ด้วยวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิจัยมี 4 วิธีการ ได้แก่ 1) วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด 2) วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดที่มีความแกร่ง 3) วิธีกำลังสองน้อยสุดนัยทั่วไป และ 4) วิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักทั่วไป และการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์จะใช้เกณฑ์ตรวจสอบ 4 ดัชนี ได้แก่ 1) ค่าไค-สแควร์ 2) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่า 3) Gamma hat และ 4) McDonald’s centrality Index

8.เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์กับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน แบบมอนติคาร์โลและประสิทธิภาพของดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์โดยอำนาจการทดสอบสมมติฐาน

ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เมื่อตัวแปรสังเกตได้มีการแจกแจงแบบปกติได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3: ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำหนดขนาดตัวอย่างทั้ง 4 วิธี

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์คือ (1) เพื่อพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเมื่อข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ และ (2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย กับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper กับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เมื่อตัวแปรสังเกตได้ไม่มีการแจกแจงปกติ โมเดลที่ใช้ในการศึกษาคือโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันที่ประกอบไปด้วย ตัวแปรแฝงที่ใช้ในการศึกษากำหนดให้มีจำนวน 3 ตัวแปรและจำนวนตัวแปรสังเกตที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 12 ตัวแปร โดยในแต่ละตัวแปรแฝงกำหนดให้มีตัวแปรสังเกตได้จำนวน 4 ตัวแปรและศึกษาการระบุโมเดลผิดพลาดกรณีพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ การระบุผิดพลาดต่ำ, การระบุผิดพลาดปานกลางและการระบุผิดพลาดสูง นอกจากนี้ศึกษาข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติโดยจะกำหนดให้ข้อมูลมีลักษณะความ ความโด่ง 4 ระดับ แบ่งเป็น โด่งปกติ, โด่งกว่าปกติมาก, โด่งกว่าปกติน้อย และ แบนราบกว่าปกติน้อย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความโด่งเท่ากับ -1,0,1 และ 2 รวมทั้งสิ้น 12 กรณี ผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอผลการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง

โดยจะกำหนดสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้แทนความหมายต่าง ๆ ในผลการวิเคราะห์ข้อมูล

MC แทน วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

RT แทน วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย

SP แทน วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper

PC แทน วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดล

ML แทน วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด

RML แทน วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดที่มีความแกร่ง

GLS แทน วิธีกำลังสองน้อยสุดนัยทั่วไป

WLS แทน วิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักทั่วไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตอนที่ 1 วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

1.1 ขั้นตอนการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

การนำเทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โลมาใช้ในการกำหนดขนาดตัวอย่าง จะใช้หลักการทดลอง การทำซ้ำด้วยการจำลองสถานการณ์ ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขของข้อมูลได้ในลักษณะต่าง ๆ ให้ครอบคลุมทุกสถานการณ์ที่ผู้วิจัยสนใจ จะทำให้ได้ขนาดตัวอย่างต่าง ๆ ในแต่ละระดับออกมา จากนั้นกำหนดเกณฑ์ในการเลือกขนาดตัวอย่าง โดยการตรวจสอบประสิทธิภาพทั้งการประมาณค่าพารามิเตอร์และการตรวจความสอดคล้องเชิงประจักษ์ในแต่ละระดับในแต่สถานการณ์ แล้วพิจารณาเลือกขนาดตัวอย่างให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เพื่อจะทำให้ได้ขนาดตัวอย่างที่ดีที่สุดออกมา ในการศึกษาครั้งนี้มีขั้นตอนการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลสำหรับโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดโมเดลในการวิเคราะห์และค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในโมเดลวิจัย

การกำหนดโมเดลการวิจัย เป็นขั้นตอนแรกสุดในการทำงานวิจัยขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ผู้วิจัยต้องกำหนดโมเดลเชิงทฤษฎี (theoretical model) หรือโมเดลการวิจัย (research model) ที่คาดว่าจะใช้สำหรับอธิบายสภาพปรากฏการณ์ที่สนใจในประชากรเป้าหมายได้ ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดโมเดลในการวิเคราะห์ กำหนดตัวแปร และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาทุกตัวแปรให้ออกมารูปแบบแผนภาพเส้นทาง (Path Diagram) อีกทั้งพิจารณาเกี่ยวกับการระบุโมเดลผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นและ กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในโมเดล ได้แก่ พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด, พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ และพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง

2. กำหนดโมเดลประชากรที่ใช้สำหรับจำลองข้อมูล

เงื่อนไขหนึ่งที่ทำให้การศึกษาด้วยการจำลองข้อมูลเป็นไปได้คือนักวิจัยจำเป็นจะต้องมีโมเดลที่ใช้เป็นฐานสำหรับการสร้างข้อมูลจำลอง เงื่อนไขนี้มักก่อปัญหาในการนำวิธีการจำลองข้อมูลเข้ามาใช้ในเชิงปฏิบัติ เนื่องจากนักวิจัยจะไม่ทราบโมเดลประชากรที่เป็นกลไกก่อกำเนิดค่าสังเกตของตัวแปรที่ต้องการศึกษา ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการประมาณโมเดลประชากรโดยใช้ข้อมูลนำร่อง (pilot study) หรือข้อมูลที่ใช้สำหรับตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ กล่าวคือหลังจากนักวิจัยได้ทำการกำหนดโมเดลการวิจัยขึ้นมาแล้วและสร้างเครื่องมือเสร็จเรียบร้อย จะต้องนำเครื่องมือไปทดลองใช้และนำมาตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ (try out) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวที่ได้มาจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันตามโมเดลวิจัยที่กำหนดไว้ จากนั้นดำเนินการปรับโมเดลให้มีความสอดคล้อง

เชิงประจักษ์โดยพิจารณาจากดัชนี RMSEA ให้มีค่าเท่ากับ .000 เรียกโมเดลนี้ว่า โมเดลประชากรโดยประมาณ (estimated population model) เพื่อใช้จำลองข้อมูลในการวิเคราะห์

3. กำหนดการแจกแจงของข้อมูล

เมื่อได้โมเดลประชากรโดยประมาณที่ใช้สำหรับจำลองข้อมูลแล้ว ในส่วนนี้สามารถพิจารณาเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะการแจกแจงของข้อมูลได้ โดยนักวิจัยสามารถกำหนดข้อมูลที่จะใช้ในการจำลองสถานการณ์ มีการแจกแจงข้อมูลแบบใด มีการแจกแจงปกติหรือไม่ปกติ ถ้าหากมีการแจกแจงไม่ปกติ ข้อมูลมีลักษณะมีความเบ้หรือความโด่ง ซึ่งสามารถกำหนดเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้หรือความโด่งได้ของตัวแปรสังเกตได้โดยตรง

4. เงื่อนไขการจำลองแบบมอนติคาร์โล

4.1 กำหนดช่วงของขนาดตัวอย่าง

4.2 กำหนดช่วงความเชื่อมั่น (α)

4.3 กำหนดวิธีการประมาณค่า อาทิ ML, RML, GLS, WLS

4.4 กำหนดดัชนีดัชนีความสอดคล้องเชิงประจักษ์ อาทิ ค่าไค-สแควร์, RMSEA

4.5 กำหนดจำนวนครั้งในการจำลอง

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล หลังจากได้กำหนดโมเดลวิจัย โมเดลประชากรโดยประมาณ และกำหนดการแจกแจงของข้อมูลมาแล้ว นักวิจัยจะระบุเงื่อนไขเบื้องต้นเพิ่มเติมในการวิเคราะห์ เริ่มจากกำหนดช่วงของขนาดตัวอย่าง นักวิจัยจะต้องระบุเป็นช่วงที่ห่างกันพอสมควรโดยอาจจะเริ่มที่ขนาดตัวอย่างที่ 100 ไปจนถึง 1000 โดยมีระยะห่างกันที่ 200 เป็นต้น จากนั้นกำหนดช่วงความเชื่อมั่นตามที่นักวิจัยต้องการ ทั่วไปอยู่ที่ 90% 95% และ99% และกำหนดวิธีการประมาณค่ากับดัชนีดัชนีความสอดคล้องเชิงประจักษ์ที่ต้องการใช้ ท้ายที่สุดกำหนดจำนวนครั้งในการจำลองโดยโปรแกรมจะสร้างข้อมูลและนำข้อมูลไปวิเคราะห์แล้วบันทึกค่าจนกว่าจะครบจำนวนครั้งที่กำหนด หากกำหนดจำนวนครั้งทีมากจะยิ่งได้ผลการวิเคราะห์มีความละเอียดสูง

5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองข้อมูล เพื่อกำหนดขนาดตัวอย่าง

เกณฑ์ในการเลือกขนาดตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้จะใช้เกณฑ์ในการพิจารณา 2 ส่วน ตามเกณฑ์ของ Muthén and Muthén (2002) ได้เสนอว่าการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมนั้นให้เลือกขนาดตัวอย่างที่ทำให้ (1) ค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลมีค่าไม่เกิน 10% และ (2) อำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์มีค่าไม่ต่ำกว่า .8 อย่างไรก็ตามการใช้เกณฑ์การพิจารณานี้ในสถานการณ์ที่โมเดลวิจัยมีการระบุผิดพลาดน้อย

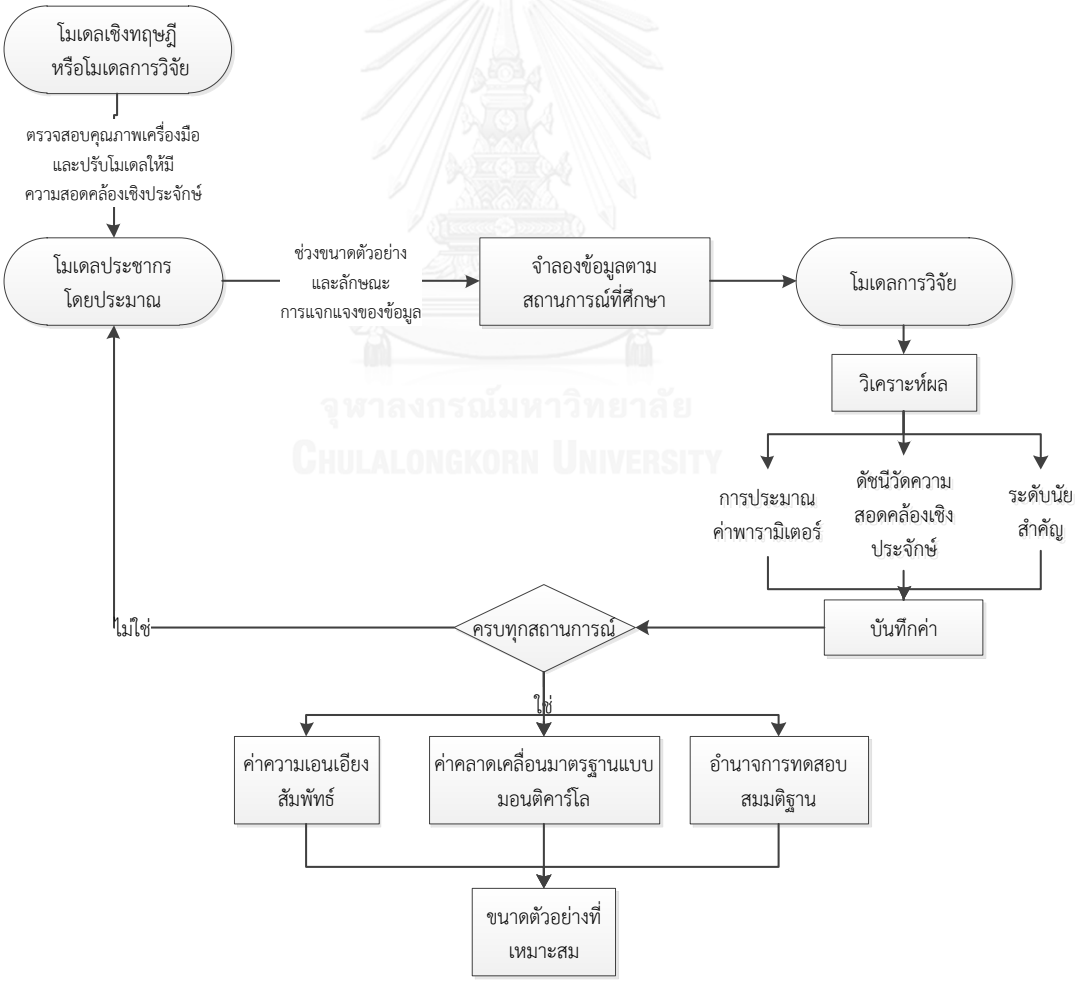
หรือมีความใกล้เคียงกับโมเดลประชากรจะทำให้นักวิจัยต้องใช้ขนาดตัวอย่างมากเกินความจำเป็น เพราะเกณฑ์บังคับให้ผู้วิจัยคงระดับของอำนาจการทดสอบสมมติฐานให้มีค่าอย่างต่ำไว้ที่ .8 ให้ได้ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงปรับปรุงเกณฑ์การพิจารณาเลือกขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมใหม่โดยกำหนดให้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมคือขนาดตัวอย่างที่ทำให้

(1) ค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลมีค่าไม่เกิน 10% หรือ (2) อำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์มีค่าไม่ต่ำกว่า .8

6. พิจารณาผลการกำหนดขนาดตัวอย่าง

ถ้าหากค่าต่าง ๆ ในขั้นตอนที่ 5 ยังไม่ผ่านเกณฑ์ ให้เพิ่มช่วงของขนาดตัวอย่าง และทำซ้ำในขั้นตอนที่ 4 และ 5 จนกว่าจะได้ค่าที่ตรงตามเกณฑ์ในการเลือกขนาดตัวอย่าง

จากนั้นนักวิจัยได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยขั้นตอนดังกล่าวสามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ดังนี้

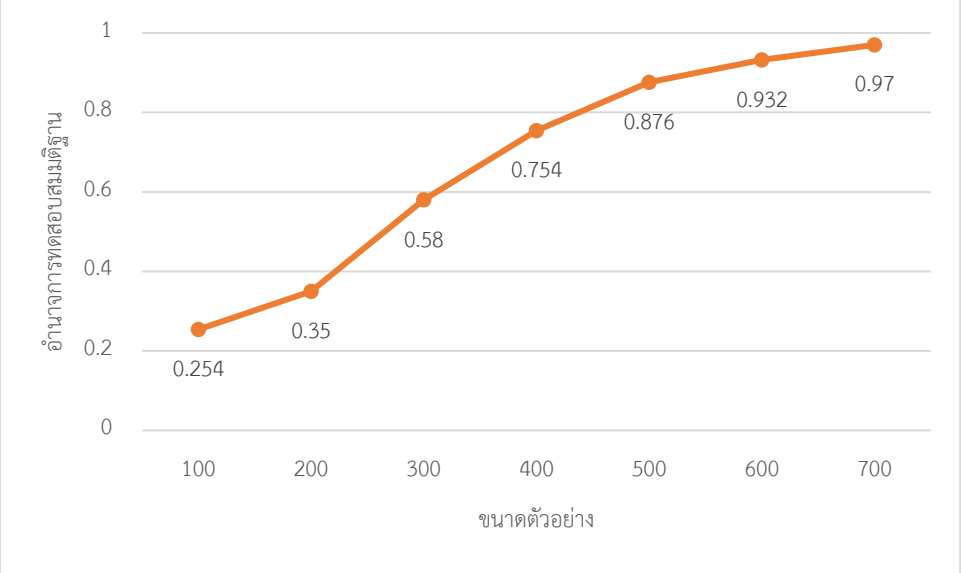


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.1: แผนภาพขั้นตอนการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

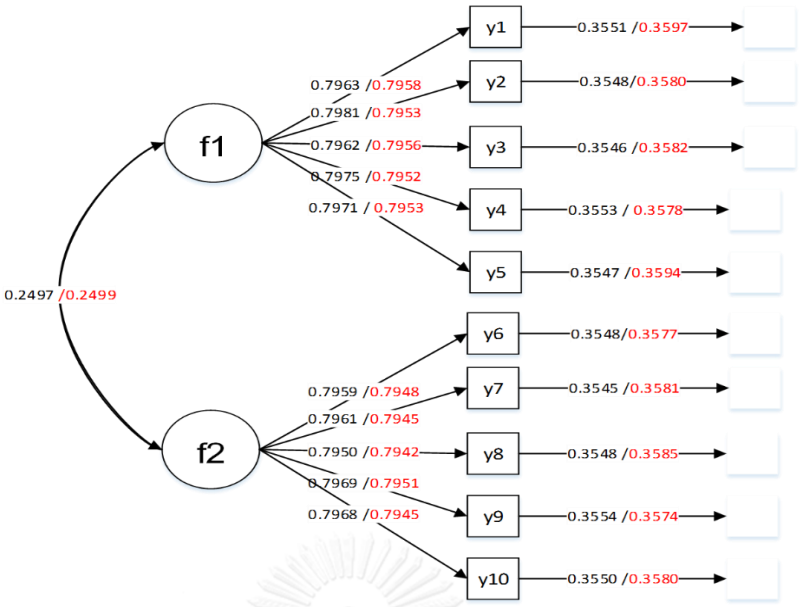
1.2 ตรวจสอบถูกต้องและความตรงของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

1) การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่พัฒนาในการศึกษาครั้งนี้จะยกส่วนหนึ่งของผลของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์จากการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล กรณีที่มีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ ใช้วิธีประมาณค่าแบบ ML และข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ โดยจำนวนครั้งในการจำลอง 500 รอบ พบว่าวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลนี้มีความความถูกต้อง โดยจะเห็นว่ายิ่งมีขนาดตัวอย่างที่สูงขึ้นยิ่งจะทำให้ได้อำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์เพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2: อำนาจการทดสอบสมมติฐานในแต่ละขนาดตัวอย่าง

2) การตรวจสอบความตรงของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่พัฒนาในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้ตัวอย่างของ Muthén and Muthén (2002) ศึกษาการใช้เทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โลในการตัดสินใจในการกำหนดขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ โดยจะตรวจสอบกับโมเดลในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (CFA) ประกอบไปด้วย ตัวแปรแฝง 2 ตัว และตัวแปรสังเกตได้ 10 ตัว มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.8 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดเท่ากับ 0.36 และค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงมีค่าเท่ากับ 0.25 โดยมีพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่า 31 พารามิเตอร์ มีค่า degrees of freedom เท่ากับ 24 ในกรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ไม่มีข้อมูลศูนย์หาย โดยขนาดตัวอย่างที่ได้จากต้องมีอำนาจในการทดสอบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงเท่ากับ 0.8 โดยจำนวนครั้งในการจำลอง 10,000 รอบ ดัง รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3: ผลการเปรียบเทียบค่าประมาณพารามิเตอร์

โดยผลที่ได้ปรากฏว่าหากใช้ขนาดตัวอย่างจำนวน 150 คน ทั้งวิธี Muthén and Muthén กับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่พัฒนาในการศึกษาครั้งนี้ จะได้อำนาจการทดสอบที่ 0.8 ทั้งสองวิธี อีกทั้งค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณค่าได้ก็มีความใกล้เคียงกันสูง สามารถสรุปได้ว่าวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลนี้มีความตรงอยู่ในระดับสูง

ตอนที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง

2.1 ผลการกำหนดขนาดตัวอย่าง

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกัน 4 วิธี ได้แก่ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดล วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper และ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมา

ผลการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยวิธี SP จะให้ขนาดตัวอย่างที่น้อยและจะได้ขนาดตัวอย่างคงที่ในทุกสถานการณ์การจำลอง (N=119) ส่วนวิธี RT จะได้ขนาดตัวอย่างที่มีความใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด ซึ่งในแต่ละระดับจะใช้จำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ประมาณค่าแตกต่างกัน (N=580, 560 และ 540) ส่วนวิธี PC จะให้ขนาดตัวอย่างที่แตกต่างกันไปในแต่ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาดและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยจะให้ขนาดตัวอย่างน้อยในการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง (N อยู่ในช่วง [253,131]) แล้วให้ขนาดตัวอย่างมากที่สุดในการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ (N อยู่ในช่วง [3046,1137]) และวิธี MC จะให้ขนาดตัวอย่างที่แตกต่างกันในทุกสถานการณ์การจำลอง โดยจะให้ขนาดตัวอย่างน้อยในการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง

(N อยู่ในช่วง [220,170]) แล้วให้ขนาดตัวอย่างมากที่สุดในการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ (N อยู่ในช่วง [1900,1700]) แต่วิธีการ MC ไม่สามารถคำนวณขนาดตัวอย่างได้ในสถานการณ์ที่มีการใช้วิธีประมาณค่าแบบวิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักทั่วไป (WLS)

การเปรียบเทียบผลการกำหนดขนาดตัวอย่างในแต่ละวิธี จะพบว่า ภายใต้สถานการณ์จำลองในครั้งนี้วิธี SP จะให้ขนาดตัวอย่างเพียงค่าเดียว ส่วนวิธี RT จะให้ขนาดตัวอย่างที่เปลี่ยนไปตามจำนวนพารามิเตอร์ซึ่งค่าที่แตกต่างจะไม่แตกต่างกันมาก ส่วนวิธีการ PC กับ MC จะได้ขนาดตัวอย่างที่ไปในทิศทางเดียวกัน คือ จะได้ขนาดตัวอย่างแตกต่างกันในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยหากมีการระบุผิดพลาดสูงขนาดตัวอย่างจะมีขนาดเล็ก แต่ถ้าหากมีมีการระบุผิดพลาดต่ำขนาดตัวอย่างจะมีขนาดมาก และในส่วนของวิธีการประมาณค่าถ้าหากเป็น ML และ RML จะให้ขนาดตัวอย่างที่ใกล้เคียงกัน ส่วน GLS ขนาดตัวอย่างที่มากกว่า ML และ RML และ WLS จะได้ขนาดตัวอย่างที่ต่ำที่สุด ซึ่งทั้งสองวิธีการมีข้อแตกต่างกันตรงที่ วิธี MC สามารถคำนวณขนาดตัวอย่างตามลักษณะการแจงแจกข้อมูลได้ซึ่งหากลักษณะการแจงแจกข้อมูลไม่แตกต่างกันมากขนาดตัวอย่างที่ได้ก็จะมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นไปตามผลการกำหนดขนาดตัวอย่างตามตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี ในแต่ละกรณีที่ศึกษา

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP*	RT	PC*	MC*	SP*	RT	PC*	MC*	SP*	RT	PC*	MC*
-1	ML	119	580	1137	1850	119	560	329	435	119	540	174	170
	RML			1137	1850			329	430			174	170
	GLS			3046	1700			447	470			253	220
	WLS			321	NA			209	NA			131	NA
0	ML	119	580	1137	1850	119	560	329	440	119	540	174	170
	RML			1137	1900			329	435			174	170
	GLS			3046	1800			447	480			253	230
	WLS			321	NA			209	NA			131	NA
1	ML	119	580	1137	1850	119	560	329	430	119	540	174	170
	RML			1137	1800			329	430			174	170
	GLS			3046	1700			447	460			253	220
	WLS			321	NA			209	NA			131	NA
2	ML	119	580	1137	1800	119	560	329	435	119	540	174	170
	RML			1137	1850			329	430			174	170
	GLS			3046	1600			447	450			253	220
	WLS			321	NA			209	NA			131	NA

หมายเหตุ * หมายถึง กำหนดอำนาจในการทดสอบสมมติฐาน เท่ากับ 0.8

2.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

พิจารณาเกี่ยวกับด้านเทคนิคของการจำลองแบบมอนติคาร์โลในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้จำนวนครั้งในการจำลอง 1,000 รอบ ในแต่ละกรณี โดยมีผลการจำลองบางรอบไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ เนื่องจากมีวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์บางกรณีที่มีขนาดตัวอย่างน้อยจนเกินไป ทำให้มีการประมาณค่าที่ติดลบขึ้นทำให้ไม่สามารถนำผลจากรอบนั้นมาวิเคราะห์ได้ ซึ่งวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper ได้ให้ขนาดตัวอย่างที่น้อยเกินไปสำหรับโมเดลระดับของการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ และ กลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการใช้วิธีประมาณค่าแบบวิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักทั่วไป (WLS) เช่นเดียวกับการจำลองข้อมูลในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ และวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper ที่ใช้วิธีการประมาณค่าแบบวิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักทั่วไป (WLS) โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลการจำลองข้อมูลที่สำเร็จด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล จำนวน 1000 รอบ

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC
-1	ML	98.5	100	100	100	99.7	100	100	100	100	100	100	100
	RML	98.7	100	100	100	99.7	100	100	100	99.9	100	100	100
	GLS	96.5	100	100	100	99	100	100	100	99.1	100	100	100
	WLS	86.4	100	100	NA	91	100	99.8	NA	92	100	92.5	NA
0	ML	98.6	100	100	100	99.4	100	100	100	99.8	100	100	99.9
	RML	98.2	100	100	100	99.3	100	100	100	100	100	100	100
	GLS	96.6	100	100	100	98.5	100	100	100	98.3	100	100	100
	WLS	77.6	100	100	NA	80.7	100	99.1	NA	88.8	100	94.7	NA
1	ML	99	100	100	100	99.9	100	100	100	100	100	100	100
	RML	98	100	100	100	99.1	100	100	100	99.9	100	100	100
	GLS	96.8	100	100	100	99	100	100	100	99.2	100	99.9	100
	WLS	70.6	100	99.9	NA	72.1	100	97.8	NA	71.9	99.9	77.1	NA
2	ML	98.4	100	100	100	99.9	100	100	100	100	100	100	100
	RML	98.4	100	100	100	98.9	100	100	100	997	100	100	100
	GLS	97.3	100	100	100	98.4	100	100	100	99.2	100	100	100
	WLS	69.8	100	99.8	NA	73.2	100	95.9	NA	66.8	99.8	74.5	NA

2.2.1 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความแม่นยำและความถูกต้องของการประมาณค่าพารามิเตอร์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความแม่นยำและความถูกต้องของการประมาณค่าพารามิเตอร์จะพิจารณาขนาดตัวอย่างที่ได้คำนวณมาใน 4 วิธีจากตอนที่ 2.1 ซึ่งจะวัดจากค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์ และ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล โดยทั้งสองจะเสนอในรูปของค่าเฉลี่ยตามลักษณะพารามิเตอร์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจาก การวัด และพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง และเนื่องจากวิธี MC ไม่สามารถคำนวณขนาดตัวอย่างได้ในสถานการณ์ที่มีการใช้วิธีประมาณค่าแบบ WLS ทำให้ในการการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างทั้ง 4 วิธีจะไม่เปรียบเทียบกรณีที่ใช้วิธีประมาณค่าแบบ WLS ในการศึกษาครั้งนี้ โดยผลการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังต่อไปนี้

1) ผลเปรียบเทียบความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบจำแนกตามวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยภาพรวม พบว่าความโด่งแต่ละระดับมีค่าเฉลี่ย RB ไม่แตกต่างกัน วิธีประมาณค่า ML และ RMLจะมีค่าเฉลี่ย RB ใกล้เคียงกันและต่ำกว่าวิธี GLS การระบุโมเดลผิดพลาดที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าเฉลี่ย RB ต่างกันในทิศทางเดียวกัน

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง .008 ถึง .009 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .010 ถึง .016 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ PC มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง.015 ถึง .016 รองลงมาเป็นวิธี RT มี ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .019 ถึง .020 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง.038 ถึง .040

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง .022 ถึง .025 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .024 ถึง .027 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง .046 ถึง .047 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .058 ถึง .064

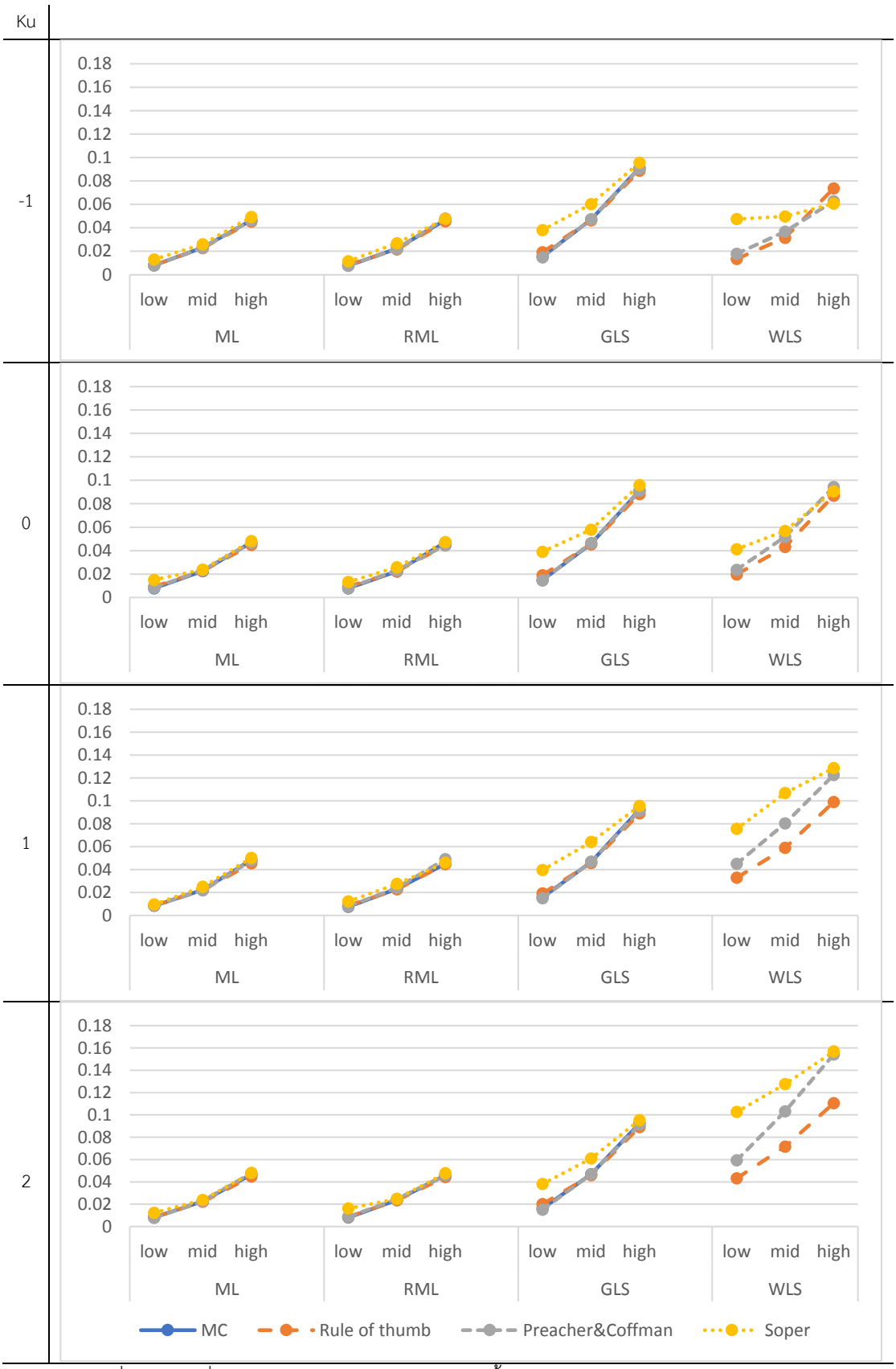
เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง .044 ถึง .045 รองลงมาเป็นวิธี MC PC กับ SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .045 ถึง .050 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบRT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง .088 ถึง .089 รองลงมาเป็นวิธี MC กับ PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .091 ถึง .092 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง.095 ถึง .096 ตามลำดับ

จากข้อสังเกตในสถิติบรรยายข้างต้นพบว่า ความโด่งในแต่ละระดับไม่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย RB มีความแตกต่างกัน ทำให้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบจะตัดปัจจัยความโด่งออก และวิเคราะห์เพียงปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และวิธีประมาณค่า เพื่อดูปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว จากตารางที่ 4.4 พบว่า ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และวิธีประมาณค่า มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ทั้งแบบสองทางและแบบสามทางต่อความเอนเอียงสัมพัทธ์ในพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p-value=.000) และเพื่อจะดูว่ากรณีใดที่มีความเอนเอียงสัมพัทธ์แตกต่างกันจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายจากตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี พบว่า การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ PC มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด ในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด โดยสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ตาราง ก 1 ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบจำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และวิธีประมาณค่า

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC
-1	ML	.013 (n=119)	.008 (n=580)	.008 (n=1137)	.008 (n=1850)	.026 (n=119)	.023 (n=560)	.023 (n=329)	.023 (n=435)	.049 (n=119)	.045 (n=540)	.046 (n=174)	.047 (n=170)
	RML	.012 (n=119)	.008 (n=580)	.008 (n=1137)	.008 (n=1850)	.027 (n=119)	.022 (n=560)	.022 (n=329)	.022 (n=430)	.048 (n=119)	.046 (n=540)	.048 (n=174)	.047 (n=170)
	GLS	.038 (n=119)	.019 (n=580)	.015 (n=3046)	.016 (n=1700)	.060 (n=119)	.046 (n=560)	.047 (n=447)	.047 (n=470)	.096 (n=119)	.089 (n=540)	.091 (n=253)	.091 (n=220)
	WLS	.048 (n=119)	.014 (n=580)	.018 (n=321)	NA	.050 (n=119)	.031 (n=560)	.037 (n=209)	NA	.061 (n=119)	.074 (n=540)	.063 (n=131)	NA
0	ML	.015 (n=119)	.009 (n=580)	.008 (n=1137)	.008 (n=1850)	.024 (n=119)	.023 (n=560)	.023 (n=329)	.023 (n=440)	.048 (n=119)	.045 (n=540)	.047 (n=174)	.047 (n=170)
	RML	.013 (n=119)	.009 (n=580)	.008 (n=1137)	.008 (n=1900)	.026 (n=119)	.022 (n=560)	.023 (n=329)	.022 (n=435)	.047 (n=119)	.045 (n=540)	.044 (n=174)	.047 (n=170)
	GLS	.039 (n=119)	.019 (n=580)	.015 (n=3046)	.015 (n=1800)	.058 (n=119)	.045 (n=560)	.046 (n=447)	.046 (n=480)	.096 (n=119)	.088 (n=540)	.091 (n=253)	.091 (n=230)
	WLS	.041 (n=119)	.020 (n=580)	.024 (n=321)	NA	.057 (n=119)	.043 (n=560)	.052 (n=209)	NA	.091 (n=119)	.087 (n=540)	.094 (n=131)	NA
1	ML	.010 (n=119)	.009 (n=580)	.008 (n=1137)	.008 (n=1850)	.025 (n=119)	.022 (n=560)	.022 (n=329)	.022 (n=430)	.050 (n=119)	.045 (n=540)	.048 (n=174)	.048 (n=170)
	RML	.012 (n=119)	.008 (n=580)	.008 (n=1137)	.008 (n=1800)	.027 (n=119)	.023 (n=560)	.024 (n=329)	.023 (n=430)	.046 (n=119)	.045 (n=540)	.049 (n=174)	.045 (n=170)
	GLS	.040 (n=119)	.019 (n=580)	.015 (n=3046)	.016 (n=1700)	.064 (n=119)	.046 (n=560)	.047 (n=447)	.047 (n=460)	.096 (n=119)	.089 (n=540)	.091 (n=253)	.092 (n=220)
	WLS	.076 (n=119)	.033 (n=580)	.045 (n=321)	NA	.107 (n=119)	.059 (n=560)	.080 (n=209)	NA	.129 (n=119)	.099 (n=540)	.123 (n=131)	NA
2	ML	.012 (n=119)	.008 (n=580)	.008 (n=1137)	.008 (n=1800)	.024 (n=119)	.022 (n=560)	.023 (n=329)	.023 (n=435)	.048 (n=119)	.045 (n=540)	.048 (n=174)	.047 (n=170)
	RML	.016 (n=119)	.009 (n=580)	.009 (n=1137)	.008 (n=1850)	.025 (n=119)	.024 (n=560)	.025 (n=329)	.024 (n=430)	.048 (n=119)	.044 (n=540)	.046 (n=174)	.046 (n=170)
	GLS	.038 (n=119)	.020 (n=580)	.015 (n=3046)	.016 (n=1600)	.061 (n=119)	.046 (n=560)	.047 (n=447)	.047 (n=450)	.095 (n=119)	.089 (n=540)	.091 (n=253)	.092 (n=220)
	WLS	.103 (n=119)	.043 (n=580)	.059 (n=321)	NA	.128 (n=119)	.071 (n=560)	.103 (n=209)	NA	.157 (n=119)	.110 (n=540)	.154 (n=131)	NA



รูปที่ 4.4:ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบจำแนกตามความโด่ง

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ในพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ

ปัจจัย	F	df	p-value	Partial Eta Squared
Intercept	199099.749	1	.000	.999
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	430.209	3	.000	.999
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	30275.018	2	.000	.923
วิธีประมาณค่า	13626.821	2	.000	.998
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	56.901	6	.000	.996
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * วิธีประมาณค่า	126.413	6	.000	.760
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	1518.687	4	.000	.875
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	20.943	12	.000	.983

หมายเหตุ R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	วิธีการประมาณค่า: ML				RML				GLS			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
ระดับต่ำ												
MC		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC<RT	MC<SP
PC			PC=RT	PC<SP			PC=RT	PC<SP			PC<RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												
ระดับปานกลาง												
MC		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP
PC			PC=RT	PC<SP			PC=RT	PC<SP			PC=RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												
ระดับสูง												
MC		MC=PC	MC>RT	MC=SP		MC=PC	MC>RT	MC=SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC>RT	PC=SP			PC>RT	PC=SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												

2) ผลเปรียบเทียบความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดจำแนกตามวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยภาพรวม พบว่า ความโด่งแต่ละระดับมีค่าเฉลี่ย RB ไม่แตกต่างกัน วิธีประมาณค่า ML และ RMLจะมีค่าเฉลี่ย RB ใกล้เคียงกันและต่ำกว่าวิธี GLS การระบุโมเดลผิดพลาดที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าเฉลี่ย RB ต่างกันในทิศทางเดียวกัน

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง .004 ถึง .007 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .017 ถึง .026 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ PC มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง.010 ถึง .015 รองลงมาเป็นวิธี RT มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .035 ถึง .037 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง.161 ถึง .168 ตามลำดับ

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง .011 ถึง .014 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .012 ถึง .018 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง.040 ถึง .043 รองลงมาเป็นวิธี MC กับ PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .047 ถึง .052 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง.163 ถึง .173 ตามลำดับ

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ SP มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง .012 ถึง .020 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .023 ถึง .026 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง.049 ถึง .052 รองลงมาเป็นวิธี PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .087 ถึง .093 วิธี MC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .096 ถึง .104 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .166 ถึง .174 ตามลำดับ

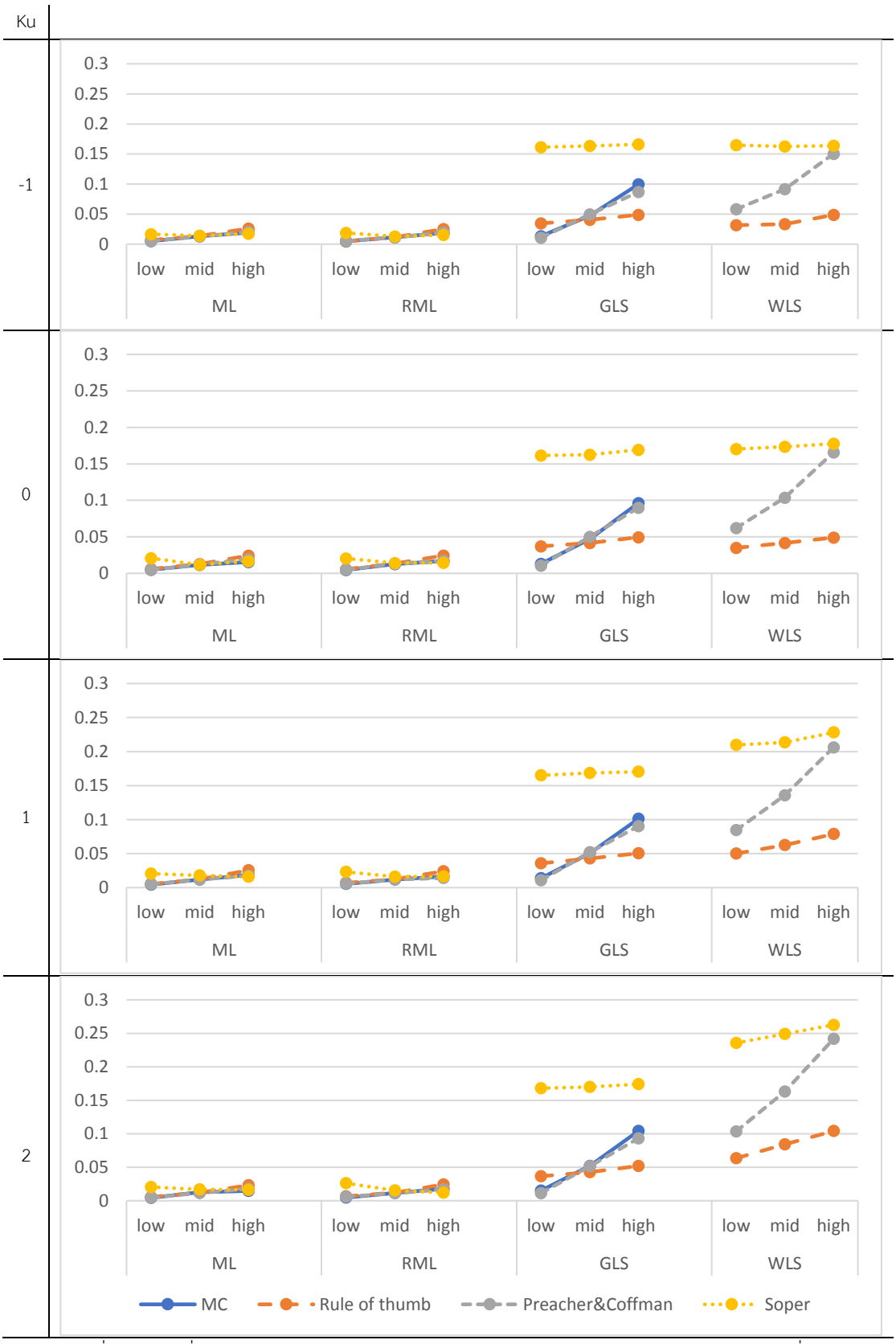
จากข้อสังเกตในสถิติบรรยายข้างต้นพบว่า ความโด่งในแต่ละระดับไม่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย RB มีความแตกต่างกัน ทำให้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดจะตัดปัจจัยความโด่งออกและวิเคราะห์เพียงปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และวิธีประมาณค่า เพื่อดูปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว จากตารางที่ 4.7 พบว่า ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และวิธีประมาณค่า มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ทั้งแบบสองทางและแบบสามทางต่อความเอนเอียงสัมพัทธ์ในพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ .05 (p-value=.000) และเพื่อจะดูว่ากรณีใดที่มีความเอนเอียงสัมพัทธ์แตกต่างกันจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายจากตารางที่ 4.8 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด พบว่า การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด ในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างทั้ง 4 วิธีมีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ SP มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และสำหรับการประมาณค่าแบบ GLS ในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ PC มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลางกับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด โดยสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ตาราง ก 2 ในภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดจำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และ วิธีประมาณค่า

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC
-1	ML	.017 (n=119)	.007 (n=580)	.005 (n=1137)	.005 (n=1850)	.014 (n=119)	.014 (n=560)	.013 (n=329)	.013 (n=435)	.018 (n=119)	.026 (n=540)	.020 (n=174)	.019 (n=170)
	RML	.019 (n=119)	.005 (n=580)	.005 (n=1137)	.005 (n=1850)	.013 (n=119)	.011 (n=560)	.011 (n=329)	.012 (n=430)	.015 (n=119)	.025 (n=540)	.019 (n=174)	.019 (n=170)
	GLS	.161 (n=119)	.035 (n=580)	.011 (n=3046)	.013 (n=1700)	.163 (n=119)	.040 (n=560)	.050 (n=447)	.048 (n=470)	.166 (n=119)	.049 (n=540)	.087 (n=253)	.100 (n=220)
	WLS	.165 (n=119)	.032 (n=580)	.058 (n=321)	NA	.163 (n=119)	.033 (n=560)	.092 (n=209)	NA	.164 (n=119)	.049 (n=540)	.150 (n=131)	NA
0	ML	.021 (n=119)	.006 (n=580)	.005 (n=1137)	.005 (n=1850)	.012 (n=119)	.013 (n=560)	.012 (n=329)	.012 (n=440)	.017 (n=119)	.024 (n=540)	.019 (n=174)	.015 (n=170)
	RML	.020 (n=119)	.006 (n=580)	.005 (n=1137)	.005 (n=1900)	.014 (n=119)	.013 (n=560)	.013 (n=329)	.013 (n=435)	.015 (n=119)	.024 (n=540)	.017 (n=174)	.017 (n=170)
	GLS	.162 (n=119)	.037 (n=580)	.010 (n=3046)	.013 (n=1800)	.162 (n=119)	.041 (n=560)	.050 (n=447)	.047 (n=480)	.169 (n=119)	.049 (n=540)	.090 (n=253)	.096 (n=230)
	WLS	.170 (n=119)	.035 (n=580)	.062 (n=321)	NA	.173 (n=119)	.042 (n=560)	.104 (n=209)	NA	.178 (n=119)	.049 (n=540)	.166 (n=131)	NA
1	ML	.020 (n=119)	.005 (n=580)	.005 (n=1137)	.004 (n=1850)	.018 (n=119)	.012 (n=560)	.012 (n=329)	.012 (n=430)	.016 (n=119)	.025 (n=540)	.018 (n=174)	.019 (n=170)
	RML	.023 (n=119)	.007 (n=580)	.006 (n=1137)	.005 (n=1800)	.016 (n=119)	.012 (n=560)	.012 (n=329)	.012 (n=430)	.016 (n=119)	.024 (n=540)	.014 (n=174)	.016 (n=170)
	GLS	.165 (n=119)	.036 (n=580)	.011 (n=3046)	.014 (n=1700)	.168 (n=119)	.043 (n=560)	.052 (n=447)	.050 (n=460)	.170 (n=119)	.050 (n=540)	.090 (n=253)	.101 (n=220)
	WLS	.210 (n=119)	.050 (n=580)	.085 (n=321)	NA	.213 (n=119)	.062 (n=560)	.136 (n=209)	NA	.228 (n=119)	.079 (n=540)	.206 (n=131)	NA
2	ML	.020 (n=119)	.006 (n=580)	.005 (n=1137)	.004 (n=1800)	.017 (n=119)	.012 (n=560)	.011 (n=329)	.013 (n=435)	.016 (n=119)	.023 (n=540)	.018 (n=174)	.014 (n=170)
	RML	.026 (n=119)	.006 (n=580)	.006 (n=1137)	.005 (n=1850)	.015 (n=119)	.012 (n=560)	.011 (n=329)	.012 (n=430)	.012 (n=119)	.024 (n=540)	.017 (n=174)	.018 (n=170)
	GLS	.168 (n=119)	.037 (n=580)	.011 (n=3046)	.015 (n=1600)	.170 (n=119)	.043 (n=560)	.052 (n=447)	.052 (n=450)	.174 (n=119)	.052 (n=540)	.093 (n=253)	.104 (n=220)
	WLS	.236 (n=119)	.064 (n=580)	.104 (n=321)	NA	.249 (n=119)	.084 (n=560)	.163 (n=209)	NA	.263 (n=119)	.104 (n=540)	.242 (n=131)	NA



รูปที่ 4.5:ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดจำแนกตามความโด่ง

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด

ปัจจัย	F	df	p-value	Partial Eta Squared
Intercept	56958.261	1	.000	.998
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	5116.151	3	.000	.993
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	1845.032	2	.000	.972
วิธีประมาณค่า	21516.796	2	.000	.997
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	310.951	6	.000	.945
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * วิธีประมาณค่า	4100.488	6	.000	.996
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	579.697	4	.000	.955
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	168.192	12	.000	.949

หมายเหตุ R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	วิธีการประมาณค่า											
	ML				RML				GLS			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
ระดับต่ำ												
MC		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC<RT	MC<SP
PC			PC=RT	PC<SP			PC=RT	PC<SP			PC<RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												
ระดับปานกลาง												
MC		MC=PC	MC=RT	MC=SP		MC=PC	MC=RT	MC=SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC=RT	PC=SP			PC=RT	PC=SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT=SP				RT=SP				RT<SP
SP												
ระดับสูง												
MC		MC=PC	MC<RT	MC=SP		MC=PC	MC<RT	MC=SP		MC>PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC<RT	PC=SP			PC<RT	PC=SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT>SP				RT>SP				RT<SP
SP												

3) ผลเปรียบเทียบความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงจำแนกตามวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยภาพรวม พบว่า ความโด่งแต่ละระดับมีค่าเฉลี่ย RB ไม่แตกต่างกัน วิธีประมาณค่า ML และ RML จะมีค่าเฉลี่ย RB ใกล้เคียงกันและต่ำกว่าวิธี GLS การระบุโมเดลผิดพลาดที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าเฉลี่ย RB ต่างกันในทิศทางเดียวกัน

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ การกำหนดขนาดตัวอย่างทั้ง 4 วิธี มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุดอยู่ระหว่าง .061 ถึง .070 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ PC มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง.078 ถึง .080 รองลงมาเป็นวิธี RT มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .081 ถึง .085 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง.095 ถึง .112 ตามลำดับ

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างทั้ง 4 วิธี มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง .156 ถึง .165 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง .232 ถึง .246 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง.242 ถึง .266

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างทั้ง 4 วิธี มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุดอยู่ระหว่าง .314 ถึง .340 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ SP มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด อยู่ระหว่าง .517 ถึง .524 รองลงมาเป็นวิธี RT มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .525 ถึง .533 วิธี PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง.529 ถึง .543 และวิธี MC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง .536 ถึง .548 ตามลำดับ

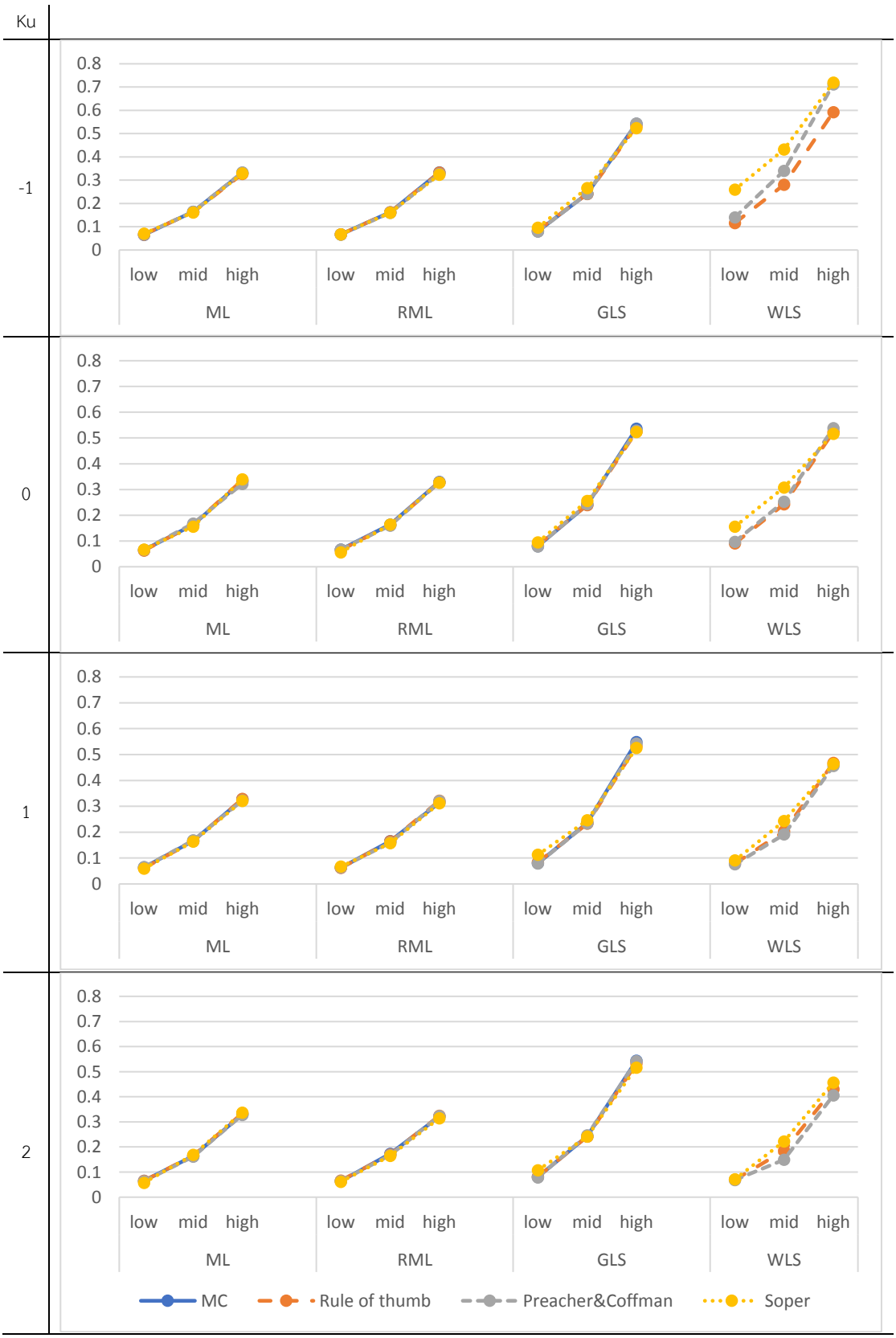
จากข้อสังเกตในสถิติบรรยายข้างต้นพบว่า ความโด่งในแต่ละระดับไม่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย RB มีความแตกต่างกัน ทำให้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงจะตัดปัจจัยความโด่งออก และวิเคราะห์เพียงปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และวิธีประมาณค่าเพื่อดูปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว จากตารางที่ 4.10 พบว่า ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และวิธีประมาณค่า มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ทั้งแบบสองทางและแบบสามทางต่อความเอนเอียงสัมพัทธ์ในพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (แบบสามทาง p-value=.000, แบบสองทางปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับระดับการระบุโมเดลผิดพลาด p-value=.000 และปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับวิธีประมาณค่า p-value=.002) และเพื่อจะดูว่ากรณีใดที่มีความเอนเอียงสัมพัทธ์แตกต่างกันจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายจากตารางที่ 4.11 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงพบว่า วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างทั้ง 4 วิธี มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด สำหรับการประมาณค่าแบบ ML และ RML ในทุกกรณีของการระบุโมเดลผิดพลาดและการประมาณค่าแบบ GLS ในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำและระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT กับ SP มีค่าเฉลี่ย RB ต่ำสุด โดยสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ตาราง ก 3 ในภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงจำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และ วิธีประมาณค่า

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC
-1	ML	.070 (n=119)	.067 (n=580)	.067 (n=1137)	.065 (n=1850)	.161 (n=119)	.163 (n=560)	.164 (n=329)	.164 (n=435)	.329 (n=119)	.327 (n=540)	.334 (n=174)	.331 (n=170)
	RML	.067 (n=119)	.068 (n=580)	.066 (n=1137)	.067 (n=1850)	.160 (n=119)	.162 (n=560)	.160 (n=329)	.162 (n=430)	.323 (n=119)	.333 (n=540)	.327 (n=174)	.334 (n=170)
	GLS	.096 (n=119)	.085 (n=580)	.079 (n=3046)	.080 (n=1700)	.266 (n=119)	.241 (n=560)	.241 (n=447)	.242 (n=470)	.524 (n=119)	.533 (n=540)	.543 (n=253)	.542 (n=220)
	WLS	.259 (n=119)	.115 (n=580)	.140 (n=321)	NA	.432 (n=119)	.280 (n=560)	.341 (n=209)	NA	.719 (n=119)	.593 (n=540)	.712 (n=131)	NA
0	ML	.067 (n=119)	.063 (n=580)	.066 (n=1137)	.065 (n=1850)	.156 (n=119)	.164 (n=560)	.167 (n=329)	.163 (n=440)	.340 (n=119)	.336 (n=540)	.321 (n=174)	.332 (n=170)
	RML	.056 (n=119)	.065 (n=580)	.067 (n=1137)	.067 (n=1900)	.164 (n=119)	.162 (n=560)	.160 (n=329)	.164 (n=435)	.326 (n=119)	.327 (n=540)	.328 (n=174)	.330 (n=170)
	GLS	.095 (n=119)	.083 (n=580)	.078 (n=3046)	.080 (n=1800)	.255 (n=119)	.240 (n=560)	.244 (n=447)	.241 (n=480)	.524 (n=119)	.525 (n=540)	.529 (n=253)	.536 (n=230)
	WLS	.156 (n=119)	.091 (n=580)	.097 (n=321)	NA	.308 (n=119)	.243 (n=560)	.253 (n=209)	NA	.516 (n=119)	.524 (n=540)	.538 (n=131)	NA
1	ML	.059 (n=119)	.061 (n=580)	.064 (n=1137)	.063 (n=1850)	.163 (n=119)	.165 (n=560)	.168 (n=329)	.166 (n=430)	.320 (n=119)	.328 (n=540)	.322 (n=174)	.327 (n=170)
	RML	.067 (n=119)	.061 (n=580)	.063 (n=1137)	.062 (n=1800)	.157 (n=119)	.164 (n=560)	.159 (n=329)	.165 (n=430)	.311 (n=119)	.321 (n=540)	.320 (n=174)	.314 (n=170)
	GLS	.112 (n=119)	.084 (n=580)	.079 (n=3046)	.080 (n=1700)	.246 (n=119)	.232 (n=560)	.233 (n=447)	.235 (n=460)	.525 (n=119)	.533 (n=540)	.542 (n=253)	.548 (n=220)
	WLS	.090 (n=119)	.079 (n=580)	.076 (n=321)	NA	.242 (n=119)	.202 (n=560)	.191 (n=209)	NA	.463 (n=119)	.468 (n=540)	.455 (n=131)	NA
2	ML	.057 (n=119)	.065 (n=580)	.063 (n=1137)	.066 (n=1800)	.169 (n=119)	.165 (n=560)	.161 (n=329)	.163 (n=435)	.337 (n=119)	.334 (n=540)	.327 (n=174)	.330 (n=170)
	RML	.061 (n=119)	.066 (n=580)	.064 (n=1137)	.064 (n=1850)	.164 (n=119)	.170 (n=560)	.167 (n=329)	.173 (n=430)	.314 (n=119)	.324 (n=540)	.324 (n=174)	.321 (n=170)
	GLS	.107 (n=119)	.081 (n=580)	.079 (n=3046)	.080 (n=1600)	.242 (n=119)	.241 (n=560)	.246 (n=447)	.242 (n=450)	.517 (n=119)	.532 (n=540)	.542 (n=253)	.544 (n=220)
	WLS	.071 (n=119)	.069 (n=580)	.068 (n=321)	NA	.222 (n=119)	.185 (n=560)	.149 (n=209)	NA	.456 (n=119)	.430 (n=540)	.406 (n=131)	NA



รูปที่ 4.6:ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง จำแนกตามความโด่ง

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง

ปัจจัย	F	df	p-value	Partial Eta Squared
Intercept	289766.891	1	.000	1.000
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	.583	3	.628	.016
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	54077.987	2	.000	.999
วิธีประมาณค่า	7070.545	2	.000	.992
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	5.478	6	.000	.233
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * วิธีประมาณค่า	3.746	6	.002	.172
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	2011.515	4	.000	.987
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	6.438	12	.000	.417

หมายเหตุ R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	วิธีการประมาณค่า: ML				RML				GLS			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
ระดับต่ำ												
MC		MC=PC	MC=RT	MC=SP		MC=PC	MC=RT	MC=SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP
PC			PC=RT	PC=SP			PC=RT	PC=SP			PC=RT	PC<SP
RT				RT=SP				RT=SP				RT<SP
SP												
ระดับปานกลาง												
MC		MC=PC	MC=RT	MC=SP		MC=PC	MC=RT	MC=SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP
PC			PC=RT	PC=SP			PC=RT	PC=SP			PC=RT	PC<SP
RT				RT=SP				RT=SP				RT<SP
SP												
ระดับสูง												
MC		MC=PC	MC=RT	MC=SP		MC=PC	MC=RT	MC=SP		MC=PC	MC>RT	MC>SP
PC			PC=RT	PC=SP			PC=RT	PC=SP			PC=RT	PC>SP
RT				RT=SP				RT=SP				RT=SP
SP												

4) ผลเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ

จากตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบจำแนกตามวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยภาพรวม พบว่า วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์มีค่าเฉลี่ย CV ไม่แตกต่างกัน ความโด่งที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าเฉลี่ย CV ต่างกันในทิศทางเดียวกัน การระบุโมเดลผิดพลาดที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าเฉลี่ย CV ต่างกันในทิศทางเดียวกัน

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด อยู่ระหว่าง 3.5 ถึง 4.7 รองลงมาเป็นวิธี PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.4 ถึง 7.7 วิธี RT มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.2 ถึง 7.7 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 14.0 ถึง 18.2 ตามลำดับ

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด อยู่ระหว่าง 5.6 ถึง 7.5 รองลงมาเป็นวิธี MC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.3 ถึง 8.4 วิธี PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.9 ถึง 9.4 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 12.4 ถึง 16.7 ตามลำดับ

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด อยู่ระหว่าง 5.0 ถึง 7.3 รองลงมาเป็นวิธี PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.7 ถึง 12.2 วิธี MC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 9.1 ถึง 12.3 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 10.8 ถึง 16.7 ตามลำดับ

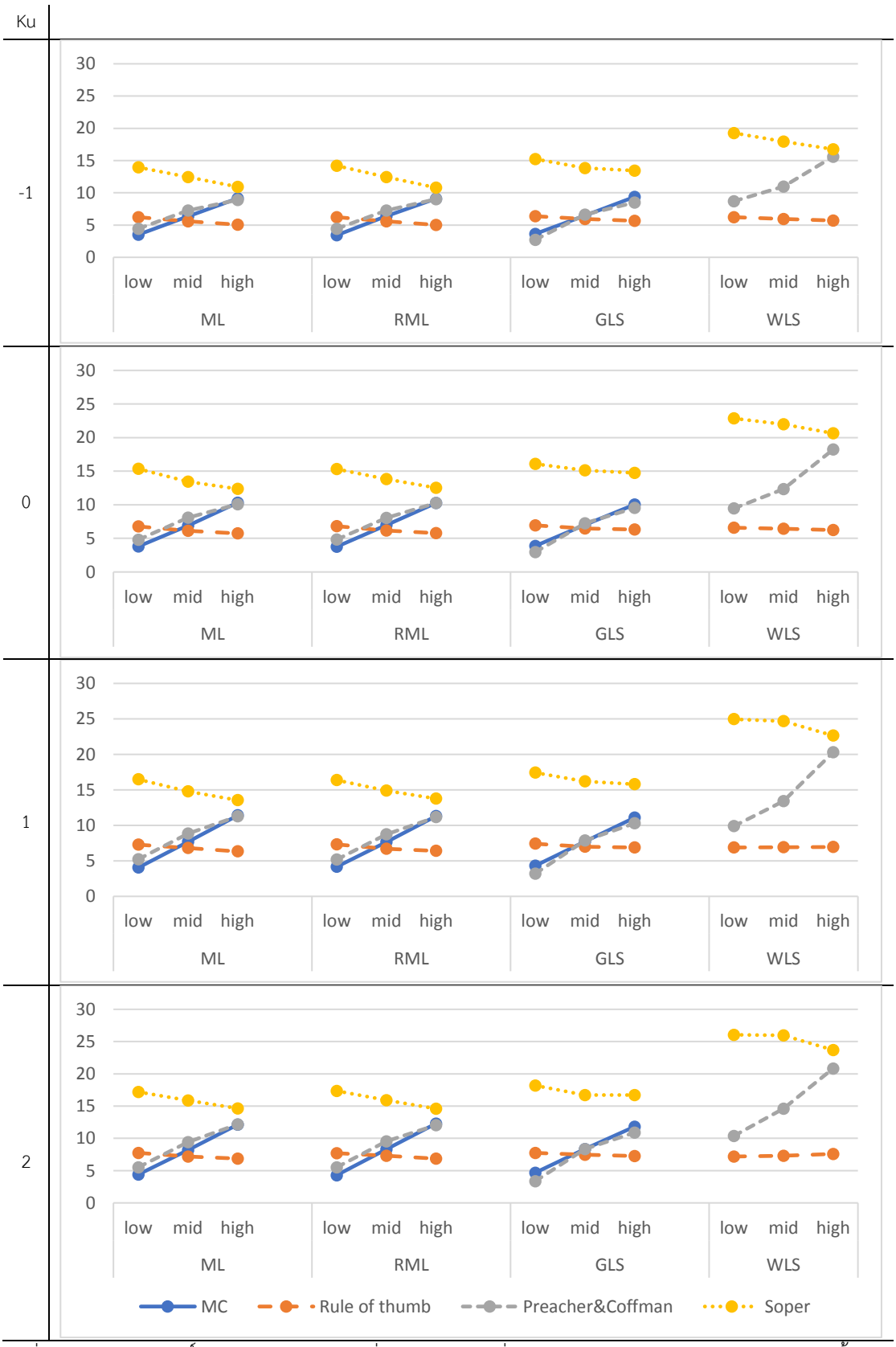
จากข้อสังเกตในสถิติบรรยายข้างต้นพบว่า วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์แต่วิธีไม่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย CV มีความแตกต่างกัน ทำให้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ จะตัดปัจจัยวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ออก และวิเคราะห์เพียงปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และความโด่ง เพื่อดูปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว จากตารางที่ 4.13 พบว่า ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และความโด่ง ไม่มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ทั้งแบบสามทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p-value=.996) แต่มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์แบบสองทางต่อความเอนเอียงสัมพัทธ์ในพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับระดับการระบุโมเดลผิดพลาด p-value=.000 และปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับความโด่ง p-value=.009) และเพื่อจะดูว่ากรณีใดที่มีสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลแตกต่างกันจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

จากตารางที่ 4.14 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ PC มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุดในกรณีมี

การระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ RT มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด โดยสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ตาราง ก 4 ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.12 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบจำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และ วิธีประมาณค่า

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC
-1	ML	14.0 (n=119)	6.2 (n=580)	4.4 (n=1137)	3.5 (n=1850)	12.4 (n=119)	5.6 (n=560)	7.3 (n=329)	6.3 (n=435)	10.9 (n=119)	5.1 (n=540)	8.9 (n=174)	9.1 (n=170)
	RML	14.2 (n=119)	6.2 (n=580)	4.4 (n=1137)	3.4 (n=1850)	12.5 (n=119)	5.6 (n=560)	7.3 (n=329)	6.4 (n=430)	10.8 (n=119)	5.0 (n=540)	9.0 (n=174)	9.1 (n=170)
	GLS	15.2 (n=119)	6.4 (n=580)	6.4 (n=3046)	3.6 (n=1700)	13.9 (n=119)	5.9 (n=560)	5.9 (n=447)	6.5 (n=470)	13.5 (n=119)	5.7 (n=540)	5.7 (n=253)	9.4 (n=220)
	WLS	19.3 (n=119)	6.2 (n=580)	8.7 (n=321)	NA	17.9 (n=119)	5.9 (n=560)	11.0 (n=209)	NA	16.8 (n=119)	5.7 (n=540)	15.6 (n=131)	NA
0	ML	15.4 (n=119)	6.8 (n=580)	4.8 (n=1137)	3.8 (n=1850)	13.4 (n=119)	6.1 (n=560)	8.1 (n=329)	6.9 (n=440)	12.4 (n=119)	5.7 (n=540)	10.1 (n=174)	10.3 (n=170)
	RML	15.3 (n=119)	6.8 (n=580)	4.8 (n=1137)	3.7 (n=1900)	13.8 (n=119)	6.2 (n=560)	8.0 (n=329)	7.0 (n=435)	12.5 (n=119)	5.8 (n=540)	10.3 (n=174)	10.3 (n=170)
	GLS	16.1 (n=119)	6.9 (n=580)	6.9 (n=3046)	3.9 (n=1800)	15.1 (n=119)	6.5 (n=560)	6.5 (n=447)	7.0 (n=480)	14.7 (n=119)	6.3 (n=540)	6.3 (n=253)	10.0 (n=230)
	WLS	22.9 (n=119)	6.6 (n=580)	9.5 (n=321)	NA	22.0 (n=119)	6.4 (n=560)	12.3 (n=209)	NA	20.6 (n=119)	6.2 (n=540)	18.2 (n=131)	NA
1	ML	16.5 (n=119)	7.3 (n=580)	5.2 (n=1137)	4.0 (n=1850)	14.8 (n=119)	6.8 (n=560)	8.8 (n=329)	7.7 (n=430)	13.5 (n=119)	6.3 (n=540)	11.3 (n=174)	11.4 (n=170)
	RML	16.4 (n=119)	7.3 (n=580)	5.2 (n=1137)	4.2 (n=1800)	14.9 (n=119)	6.7 (n=560)	8.7 (n=329)	7.6 (n=430)	13.8 (n=119)	6.4 (n=540)	11.2 (n=174)	11.3 (n=170)
	GLS	17.4 (n=119)	7.4 (n=580)	7.4 (n=3046)	4.3 (n=1700)	16.2 (n=119)	7.0 (n=560)	7.0 (n=447)	7.7 (n=460)	15.8 (n=119)	6.9 (n=540)	6.9 (n=253)	11.1 (n=220)
	WLS	25.0 (n=119)	6.9 (n=580)	9.9 (n=321)	NA	24.7 (n=119)	6.9 (n=560)	13.4 (n=209)	NA	22.7 (n=119)	7.0 (n=540)	20.3 (n=131)	NA
2	ML	17.2 (n=119)	7.8 (n=580)	5.5 (n=1137)	4.4 (n=1800)	15.9 (n=119)	7.2 (n=560)	9.4 (n=329)	8.2 (n=435)	14.7 (n=119)	6.9 (n=540)	12.2 (n=174)	12.2 (n=170)
	RML	17.3 (n=119)	7.7 (n=580)	5.5 (n=1137)	4.3 (n=1850)	15.9 (n=119)	7.3 (n=560)	9.6 (n=329)	8.3 (n=430)	14.6 (n=119)	6.9 (n=540)	12.0 (n=174)	12.3 (n=170)
	GLS	18.2 (n=119)	7.7 (n=580)	7.7 (n=3046)	4.7 (n=1600)	16.7 (n=119)	7.5 (n=560)	7.5 (n=447)	8.4 (n=450)	16.7 (n=119)	7.3 (n=540)	7.3 (n=253)	11.8 (n=220)
	WLS	26.1 (n=119)	7.2 (n=580)	10.4 (n=321)	NA	26.0 (n=119)	7.3 (n=560)	14.6 (n=209)	NA	23.7 (n=119)	7.6 (n=540)	20.8 (n=131)	NA



รูปที่ 4.7: ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบจำแนกตามความโด่ง

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ

ปัจจัย	F	df	p-value	Partial Eta Squared
Intercept	31012.030	1	.000	.997
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	1385.057	3	.000	.977
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	173.695	2	.000	.783
ความโด่ง	85.445	3	.000	.728
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	173.268	6	.000	.915
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ความโด่ง	2.627	9	.009	.198
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * ความโด่ง	1.981	6	.076	.110
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * ความโด่ง	.323	18	.996	.057

หมายเหตุ R Squared = .984 (Adjusted R Squared = .976)

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	การระบุโมเดลผิดพลาด											
	ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
ku=-1												
MC		MC=PC	MC<RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC<RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												
ku=0												
MC		MC=PC	MC<RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC<RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	การระบุโมเดลผิดพลาด											
	ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
ku=1												
MC		MC=PC	MC<RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC<RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												
ku=2												
MC		MC=PC	MC<RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC<RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												

5) ผลเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด

จากตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดจำแนกตามวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยภาพรวม พบว่า วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์มีค่าเฉลี่ย CV ไม่แตกต่างกัน ความโด่งที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าเฉลี่ย CV ต่างกันในทิศทางเดียวกัน การระบุโมเดลผิดพลาดที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าเฉลี่ย CV ต่างกันในทิศทางเดียวกัน

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุดอยู่ระหว่าง 4.3 ถึง 5.7 รองลงมาเป็นวิธี PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.4 ถึง 9.5 วิธี RT มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.7 ถึง 9.5 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 17.4 ถึง 23.2 ตามลำดับ

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด อยู่ระหว่าง 7.9 ถึง 10.2 รองลงมาเป็นวิธี MC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.9 ถึง 11.4 วิธี PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 9.3 ถึง 11.4 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 17.7 ถึง 23.6 ตามลำดับ

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุดอยู่ระหว่าง 8.2 ถึง 10.4 รองลงมาเป็นวิธี MC กับ PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 12.7 ถึง 18.1 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 17.9 ถึง 24.0 ตามลำดับ

จากข้อสังเกตในสถิติบรรยายข้างต้นพบว่า วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์แต่วิธีไม่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย CV มีความแตกต่างกัน ทำให้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความ

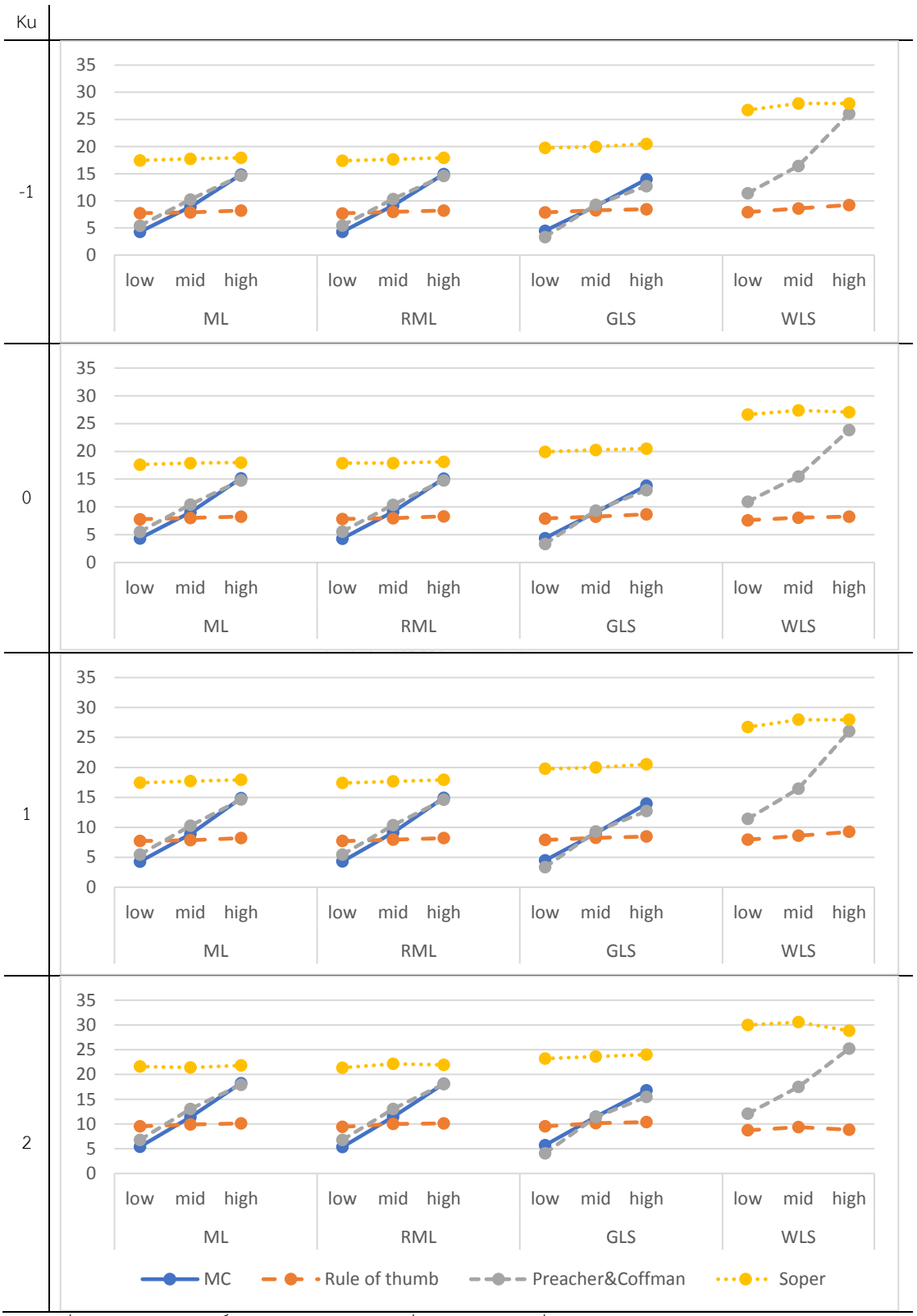
แปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด จะตัดปัจจัยวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ออก และวิเคราะห์เพียงปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และความโด่ง เพื่อดูปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว จากตารางที่ 4.16 พบว่า ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และความโด่ง ไม่มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ทั้งแบบสามทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p-value=.999) แต่มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์แบบสองทางต่อความเอนเอียงสัมพัทธ์ในพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับระดับการระบุโมเดลผิดพลาด p-value=.000 และปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับความโด่ง p-value=.045) และเพื่อจะดูว่ากรณีใดที่มีสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลแตกต่างกันจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

จากตารางที่ 4.17 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี พบว่า การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ PC มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด ในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ RT มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด โดยสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ตาราง ก 5 ในภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.15 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์แปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด จำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และ วิธีประมาณค่า

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC
-1	ML	17.4 (n=119)	7.7 (n=580)	5.4 (n=1137)	4.3 (n=1850)	17.7 (n=119)	7.9 (n=560)	10.2 (n=329)	8.9 (n=435)	17.9 (n=119)	8.2 (n=540)	14.6 (n=174)	14.8 (n=170)
	RML	17.4 (n=119)	7.7 (n=580)	5.4 (n=1137)	4.3 (n=1850)	17.7 (n=119)	7.9 (n=560)	10.4 (n=329)	9.1 (n=430)	17.9 (n=119)	8.2 (n=540)	14.6 (n=174)	14.9 (n=170)
	GLS	19.8 (n=119)	7.9 (n=580)	7.9 (n=3046)	4.5 (n=1700)	20.0 (n=119)	8.2 (n=560)	9.3 (n=447)	9.0 (n=470)	20.5 (n=119)	8.4 (n=540)	12.7 (n=253)	13.9 (n=220)
	WLS	26.7 (n=119)	7.9 (n=580)	11.4 (n=321)	NA	27.9 (n=119)	8.6 (n=560)	16.4 (n=209)	NA	27.9 (n=119)	9.2 (n=540)	26.0 (n=131)	NA
0	ML	17.6 (n=119)	7.8 (n=580)	5.5 (n=1137)	4.4 (n=1850)	17.9 (n=119)	8.0 (n=560)	10.4 (n=329)	9.0 (n=440)	18.0 (n=119)	8.3 (n=540)	14.8 (n=174)	15.2 (n=170)
	RML	17.9 (n=119)	7.8 (n=580)	5.6 (n=1137)	4.3 (n=1900)	17.9 (n=119)	8.0 (n=560)	10.4 (n=329)	9.1 (n=435)	18.1 (n=119)	8.3 (n=540)	14.8 (n=174)	15.1 (n=170)
	GLS	20.0 (n=119)	7.9 (n=580)	7.9 (n=3046)	4.4 (n=1800)	20.3 (n=119)	8.3 (n=560)	9.4 (n=447)	9.0 (n=480)	20.5 (n=119)	8.7 (n=540)	13.1 (n=253)	13.9 (n=230)
	WLS	26.7 (n=119)	7.6 (n=580)	11.0 (n=321)	NA	27.4 (n=119)	8.1 (n=560)	15.5 (n=209)	NA	27.1 (n=119)	8.3 (n=540)	23.9 (n=131)	NA
1	ML	19.5 (n=119)	8.7 (n=580)	6.2 (n=1137)	4.9 (n=1850)	19.6 (n=119)	8.9 (n=560)	11.7 (n=329)	10.2 (n=430)	20.2 (n=119)	9.2 (n=540)	16.5 (n=174)	16.5 (n=170)
	RML	19.7 (n=119)	8.5 (n=580)	6.1 (n=1137)	4.9 (n=1800)	19.7 (n=119)	9.0 (n=560)	11.7 (n=329)	10.2 (n=430)	20.1 (n=119)	9.2 (n=540)	16.2 (n=174)	16.4 (n=170)
	GLS	21.6 (n=119)	8.8 (n=580)	8.8 (n=3046)	5.0 (n=1700)	21.7 (n=119)	9.2 (n=560)	10.3 (n=447)	10.1 (n=460)	22.2 (n=119)	9.5 (n=540)	14.3 (n=253)	15.5 (n=220)
	WLS	28.4 (n=119)	8.0 (n=580)	11.5 (n=321)	NA	29.5 (n=119)	8.5 (n=560)	16.0 (n=209)	NA	27.7 (n=119)	8.4 (n=540)	25.0 (n=131)	NA
2	ML	21.6 (n=119)	9.5 (n=580)	6.8 (n=1137)	5.4 (n=1800)	21.4 (n=119)	9.9 (n=560)	13.0 (n=329)	11.4 (n=435)	21.8 (n=119)	10.1 (n=540)	17.9 (n=174)	18.2 (n=170)
	RML	21.4 (n=119)	9.4 (n=580)	6.7 (n=1137)	5.3 (n=1850)	22.2 (n=119)	10.0 (n=560)	13.0 (n=329)	11.4 (n=430)	21.9 (n=119)	10.1 (n=540)	18.0 (n=174)	18.1 (n=170)
	GLS	23.2 (n=119)	9.5 (n=580)	9.5 (n=3046)	5.7 (n=1600)	23.6 (n=119)	10.2 (n=560)	11.4 (n=447)	11.4 (n=450)	24.0 (n=119)	10.4 (n=540)	15.5 (n=253)	16.8 (n=220)
	WLS	30.0 (n=119)	8.7 (n=580)	12.1 (n=321)	NA	30.5 (n=119)	9.4 (n=560)	17.5 (n=209)	NA	28.8 (n=119)	8.8 (n=540)	25.2 (n=131)	NA



รูปที่ 4.8: ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดจำแนกตามความโด่ง

ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด

ปัจจัย	F	df	p-value	Partial Eta Squared
Intercept	28581.400	1	.000	.997
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	1247.206	3	.000	.975
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	480.400	2	.000	.909
ความโด่ง	67.480	3	.000	.678
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	131.478	6	.000	.892
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ความโด่ง	2.023	9	.045	.159
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * ความโด่ง	1.010	6	.423	.059
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * ความโด่ง	.271	18	.999	.048

หมายเหตุ R Squared = .984 (Adjusted R Squared = .975)

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	การระบุโมเดลผิดพลาด											
	ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
ku=-1												
MC		MC=PC	MC<RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC<RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												
ku=0												
MC		MC=PC	MC<RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC<RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	การระบุโมเดลผิดพลาด											
	ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
ku=1												
MC		MC=PC	MC<RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC<RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												
ku=2												
MC		MC=PC	MC<RT	MC<SP		MC=PC	MC=RT	MC<SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC<RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												

6) ผลเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง

จากตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงจำแนกตามวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยภาพรวม พบว่า วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์กับความโด่งมีค่าเฉลี่ย CV ไม่แตกต่างกัน การระบุโมเดลผิดพลาดที่ต่างกันจะส่งผลต่อค่าเฉลี่ย CV ต่างกันในทิศทางเดียวกัน

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด อยู่ระหว่าง 8.3 ถึง 9.2 รองลงมาเป็นวิธี PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 10.8 ถึง 15.4 วิธี RT มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 14.9 ถึง 15.5 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 33.3 ถึง 36.7 ตามลำดับ

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด อยู่ระหว่าง 13.8 ถึง 14.3 รองลงมาเป็นวิธี MC กับ PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 15.1 ถึง 18.6 และ วิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 30.2 ถึง 32.5 ตามลำดับ

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง พบว่า การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด อยู่ระหว่าง 11.2 ถึง 12.8 รองลงมาเป็นวิธี MC กับ PC มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 16.8 ถึง 22.7 และวิธี SP มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26.6 ถึง 28.8 ตามลำดับ

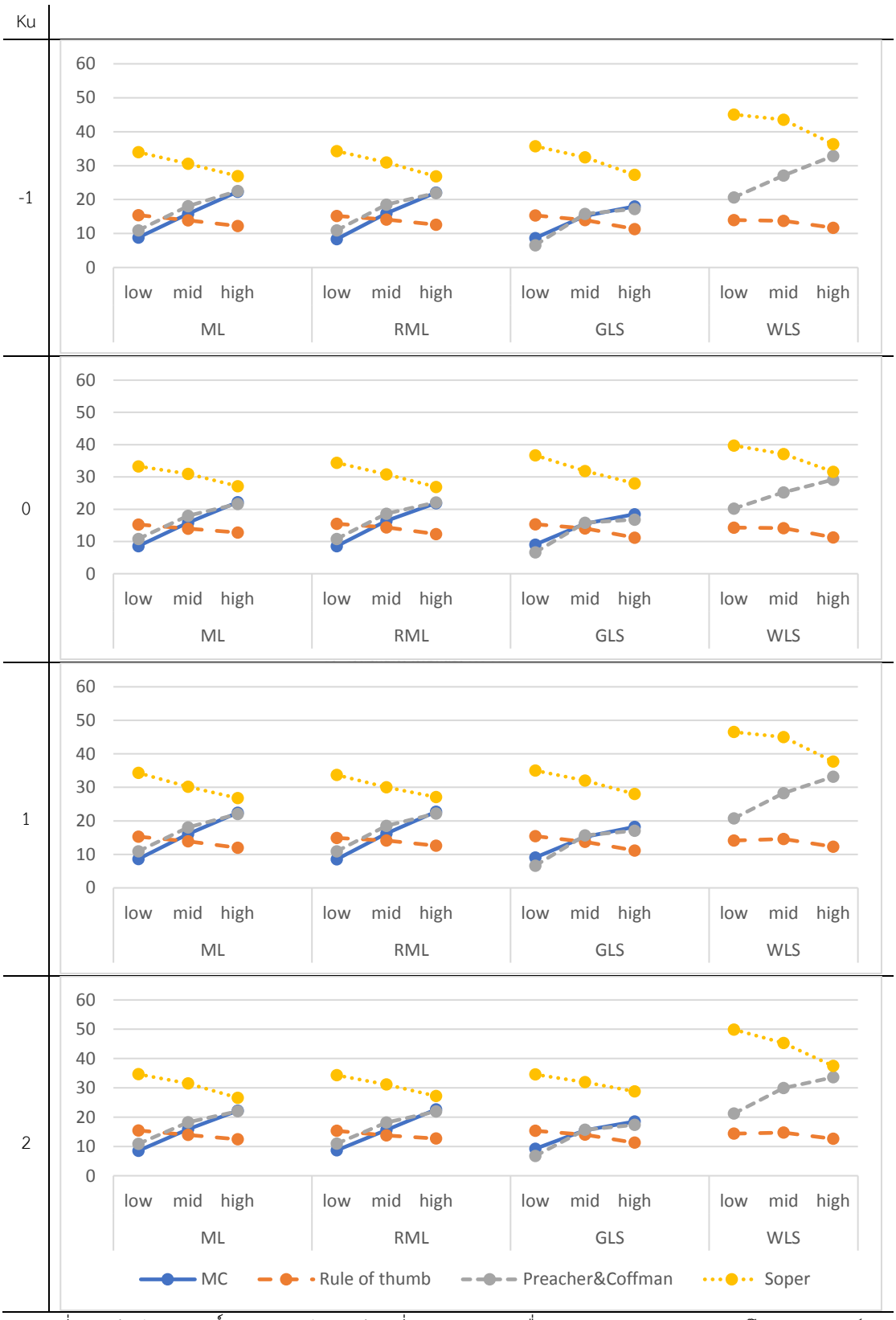
จากข้อสังเกตในสถิติบรรยายข้างต้นพบว่า วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์กับความโด่งไม่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย CV มีความแตกต่างกัน ทำให้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง จะตัดปัจจัยวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์และความโด่งออก และวิเคราะห์เพียงปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับระดับการระบุโมเดลผิดพลาด เพื่อดูปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว จากตารางที่ 4.19 พบว่า ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับระดับการระบุโมเดลผิดพลาด มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์แบบสองทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p-value=.000) และเพื่อจะดูว่ากรณีใดที่มีสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลแตกต่างกันจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

จากตารางที่ 4.20 แสดงผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี พบว่า การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ PC มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด ในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลางและสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีค่าเฉลี่ย CV ต่ำสุด โดยสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ตาราง ก 6 ในภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.18 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงจำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และวิธีประมาณค่า

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC
-1	ML	33.3 (n=119)	15.3 (n=580)	10.8 (n=1137)	8.6 (n=1850)	31.0 (n=119)	14.0 (n=560)	18.0 (n=329)	15.8 (n=435)	27.2 (n=119)	12.8 (n=540)	21.7 (n=174)	22.2 (n=170)
	RML	34.4 (n=119)	15.5 (n=580)	10.8 (n=1137)	8.5 (n=1850)	30.8 (n=119)	14.3 (n=560)	18.6 (n=329)	16.4 (n=430)	26.9 (n=119)	12.3 (n=540)	22.1 (n=174)	21.9 (n=170)
	GLS	36.7 (n=119)	15.3 (n=580)	15.3 (n=3046)	9.1 (n=1700)	31.9 (n=119)	14.0 (n=560)	15.8 (n=447)	15.5 (n=470)	28.0 (n=119)	11.2 (n=540)	16.8 (n=253)	18.5 (n=220)
	WLS	39.8 (n=119)	14.3 (n=580)	20.2 (n=321)	NA	37.1 (n=119)	14.2 (n=560)	25.2 (n=209)	NA	31.6 (n=119)	11.2 (n=540)	29.1 (n=131)	NA
0	ML	34.0 (n=119)	15.4 (n=580)	11.0 (n=1137)	8.8 (n=1850)	30.6 (n=119)	13.9 (n=560)	18.0 (n=329)	15.8 (n=440)	26.9 (n=119)	12.2 (n=540)	22.6 (n=174)	22.3 (n=170)
	RML	34.3 (n=119)	15.2 (n=580)	11.0 (n=1137)	8.3 (n=1900)	31.0 (n=119)	14.1 (n=560)	18.5 (n=329)	15.9 (n=435)	26.8 (n=119)	12.6 (n=540)	22.0 (n=174)	22.1 (n=170)
	GLS	35.8 (n=119)	15.4 (n=580)	15.4 (n=3046)	8.7 (n=1800)	32.5 (n=119)	14.0 (n=560)	15.8 (n=447)	15.1 (n=480)	27.3 (n=119)	11.3 (n=540)	17.3 (n=253)	18.0 (n=230)
	WLS	45.1 (n=119)	14.0 (n=580)	20.6 (n=321)	NA	43.6 (n=119)	13.8 (n=560)	27.1 (n=209)	NA	36.3 (n=119)	11.7 (n=540)	32.9 (n=131)	NA
1	ML	34.3 (n=119)	15.3 (n=580)	10.9 (n=1137)	8.6 (n=1850)	30.2 (n=119)	13.9 (n=560)	18.1 (n=329)	16.1 (n=430)	26.8 (n=119)	12.0 (n=540)	22.1 (n=174)	22.4 (n=170)
	RML	33.7 (n=119)	14.9 (n=580)	10.9 (n=1137)	8.5 (n=1800)	30.0 (n=119)	14.2 (n=560)	18.5 (n=329)	16.2 (n=430)	27.1 (n=119)	12.6 (n=540)	22.2 (n=174)	22.7 (n=170)
	GLS	35.0 (n=119)	15.4 (n=580)	15.4 (n=3046)	9.1 (n=1700)	32.1 (n=119)	13.8 (n=560)	15.7 (n=447)	15.2 (n=460)	28.0 (n=119)	11.2 (n=540)	17.1 (n=253)	18.2 (n=220)
	WLS	46.5 (n=119)	14.1 (n=580)	20.7 (n=321)	NA	45.0 (n=119)	14.6 (n=560)	28.2 (n=209)	NA	37.7 (n=119)	12.3 (n=540)	33.2 (n=131)	NA
2	ML	34.7 (n=119)	15.5 (n=580)	10.9 (n=1137)	8.5 (n=1800)	31.5 (n=119)	13.9 (n=560)	18.2 (n=329)	15.9 (n=435)	26.6 (n=119)	12.4 (n=540)	22.0 (n=174)	22.2 (n=170)
	RML	34.3 (n=119)	15.3 (n=580)	11.0 (n=1137)	9.1 (n=1850)	31.2 (n=119)	13.8 (n=560)	18.2 (n=329)	15.6 (n=430)	27.2 (n=119)	12.7 (n=540)	21.9 (n=174)	22.6 (n=170)
	GLS	34.6 (n=119)	15.3 (n=580)	15.3 (n=3046)	9.2 (n=1600)	32.0 (n=119)	14.1 (n=560)	15.7 (n=447)	15.5 (n=450)	28.8 (n=119)	11.3 (n=540)	17.3 (n=253)	18.5 (n=220)
	WLS	49.9 (n=119)	14.4 (n=580)	21.2 (n=321)	NA	45.3 (n=119)	14.7 (n=560)	29.9 (n=209)	NA	37.5 (n=119)	12.6 (n=540)	33.6 (n=131)	NA



รูปที่ 4.9: ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงจำแนกตามความโด่ง

ตารางที่ 4.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง

ปัจจัย	F	df	p-value	Partial Eta Squared
Intercept	28581.400	1	.000	.997
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	1247.206	3	.000	.975
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	480.400	2	.000	.909
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	131.478	6	.000	.892

หมายเหตุ R Squared = .978 (Adjusted R Squared = .976)

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	การระบุโมเดลผิดพลาด ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
MC		MC=PC	MC<RT	MC<SP		MC<PC	MC>RT	MC<SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC<RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านอำนาจการทดสอบสมมติฐานด้วยดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์จะพิจารณาขนาดตัวอย่างที่ได้คำนวณมาใน 4 วิธีจากตอนที่ 2.1 ซึ่งจะวัดจากค่าอำนาจการทดสอบสมมติฐานด้วยดัชนีการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ดัชนี อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากสถิติทดสอบไคสแควร์ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่า Gamma hat และ McDonald's centrality Index โดยจะพิจารณาตามปัจจัยประกอบไปด้วย วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง การระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการประมาณ และความโด่ง และเนื่องจากวิธี MC ไม่สามารถคำนวณขนาดตัวอย่างได้ในสถานการณ์ที่มีการใช้วิธีประมาณค่าแบบ WLS ทำให้ในการการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างทั้ง 4 วิธี จะไม่เปรียบเทียบกรณีที่ใช้วิธีประมาณค่าแบบ WLS ในการศึกษาครั้งนี้ โดยผลการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

1) ผลเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์

จากตารางที่ 4.21 และรูปที่ 4.10 แสดงอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์โดยภาพรวม พบว่า วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์กับความโด่งมีอำนาจการทดสอบสมมติฐานไม่แตกต่างกัน การระบุโมเดลผิดพลาดที่ต่างกันจะส่งผลต่ออำนาจการทดสอบสมมติฐานต่างกันในทิศทางเดียวกัน

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ พบว่า วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานเกิน .8 ได้แก่ วิธี MC กับ PC โดยที่การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด อยู่ระหว่าง .896 ถึง .932 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ PC มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง .989 ถึง .997 รองลงมาเป็นวิธี MC ที่มีค่าอยู่ระหว่าง .813 ถึง .846

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง พบว่า วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานเกิน .8 ได้แก่ วิธี MC กับ RT โดยที่ การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด อยู่ระหว่าง .958 ถึง .979 รองลงมาเป็นวิธี MC ที่มีค่าอยู่ระหว่าง .870 ถึง .896 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด อยู่ระหว่าง .915 ถึง .919 รองลงมาเป็นวิธี MC ที่มีค่าอยู่ระหว่าง .810 ถึง .824

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง พบว่า วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานเกิน .8 ได้แก่ วิธี MC PC กับ RT โดยที่การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด อยู่ที่ 1.000 รองลงมาเป็นวิธี PC ที่มีค่าอยู่ระหว่าง .849 ถึง .879 และวิธี MC ที่มีค่าอยู่ระหว่าง .827 ถึง .859 ตามลำดับ เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด อยู่ที่ 1.000 รองลงมาเป็นวิธี PC ที่มีค่าอยู่ระหว่าง .862 ถึง .889 และวิธี MC ที่มีค่าอยู่ระหว่าง .810 ถึง .754 ตามลำดับ

จากข้อสังเกตในสถิติบรรยายข้างต้นพบว่า วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์กับความโด่งไม่ส่งผลให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานมีความแตกต่างกัน ทำให้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์ จะตัดปัจจัยวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์และความโด่งออก และวิเคราะห์เพียงปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับระดับการระบุโมเดลผิดพลาดเพื่อดูปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว จากตารางที่ 4.22 พบว่า ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างกับระดับการระบุโมเดลผิดพลาด มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์แบบสองทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p-value=.000) และเพื่อจะดูว่ากรณีใดที่มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานแตกต่างกันจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

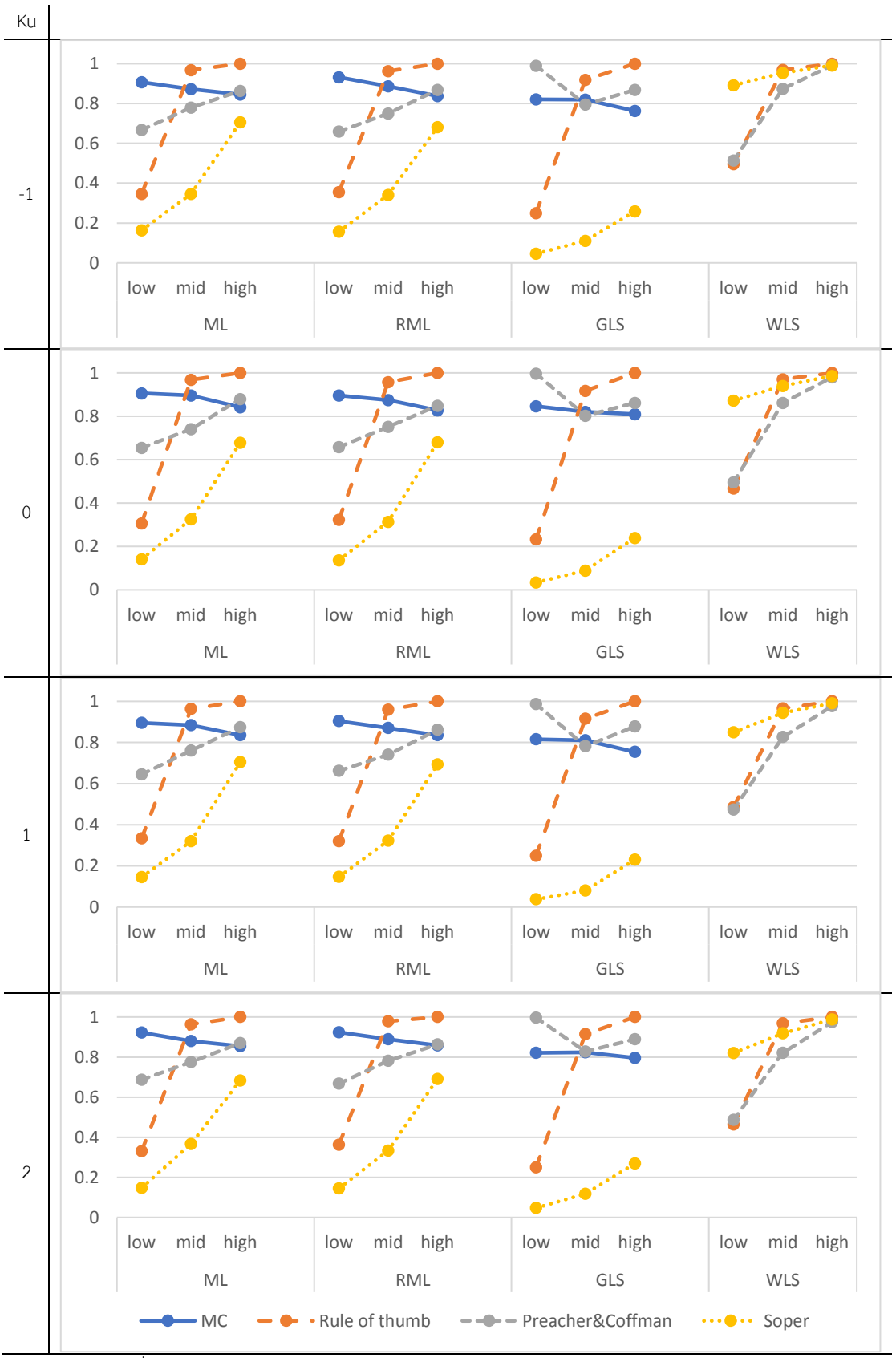
จากตารางที่ 4.23 แสดงผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี พบว่า

การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด ในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ RT มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด โดยสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ตาราง ก 7 ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.21 อำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์จำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และวิธีประมาณค่า

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC
-1	ML	.163 (n=119)	.347 (n=580)	.668 (n=1137)	.907 (n=1850)	.347 (n=119)	.968 (n=560)	.780 (n=329)	.872 (n=435)	.705 (n=119)	1.00 (n=540)	.863 (n=174)	.845 (n=170)
	RML	.157 (n=119)	.356 (n=580)	.660 (n=1137)	.932 (n=1850)	.341 (n=119)	.962 (n=560)	.750 (n=329)	.887 (n=430)	.682 (n=119)	1.00 (n=540)	.868 (n=174)	.838 (n=170)
	GLS	.046 (n=119)	.250 (n=580)	.989 (n=3046)	.821 (n=1700)	.111 (n=119)	.919 (n=560)	.795 (n=447)	.819 (n=470)	.258 (n=119)	1.00 (n=540)	.869 (n=253)	.763 (n=220)
	WLS	.891 (n=119)	.496 (n=580)	.514 (n=321)	NA	.954 (n=119)	.969 (n=560)	.874 (n=209)	NA	.991 (n=119)	1.00 (n=540)	.992 (n=131)	NA
0	ML	.141 (n=119)	.307 (n=580)	.654 (n=1137)	.906 (n=1850)	.896 (n=119)	.968 (n=560)	.741 (n=329)	.896 (n=440)	.678 (n=119)	1.00 (n=540)	.879 (n=174)	.842 (n=170)
	RML	.136 (n=119)	.323 (n=580)	.658 (n=1137)	.896 (n=1900)	.875 (n=119)	.958 (n=560)	.752 (n=329)	.875 (n=435)	.681 (n=119)	1.00 (n=540)	.849 (n=174)	.827 (n=170)
	GLS	.034 (n=119)	.233 (n=580)	.997 (n=3046)	.846 (n=1800)	.820 (n=119)	.917 (n=560)	.803 (n=447)	.820 (n=480)	.239 (n=119)	1.00 (n=540)	.862 (n=253)	.810 (n=230)
	WLS	.872 (n=119)	.468 (n=580)	.496 (n=321)	NA	.939 (n=119)	.971 (n=560)	.862 (n=209)	NA	.986 (n=119)	1.00 (n=540)	.980 (n=131)	NA
1	ML	.145 (n=119)	.333 (n=580)	.645 (n=1137)	.895 (n=1850)	.320 (n=119)	.963 (n=560)	.761 (n=329)	.884 (n=430)	.705 (n=119)	1.00 (n=540)	.874 (n=174)	.835 (n=170)
	RML	.146 (n=119)	.320 (n=580)	.662 (n=1137)	.904 (n=1800)	.323 (n=119)	.959 (n=560)	.741 (n=329)	.870 (n=430)	.694 (n=119)	1.00 (n=540)	.862 (n=174)	.836 (n=170)
	GLS	.037 (n=119)	.249 (n=580)	.987 (n=3046)	.815 (n=1700)	.080 (n=119)	.916 (n=560)	.782 (n=447)	.810 (n=460)	.230 (n=119)	1.00 (n=540)	.878 (n=253)	.754 (n=220)
	WLS	.850 (n=119)	.486 (n=580)	.473 (n=321)	NA	.945 (n=119)	.965 (n=560)	.826 (n=209)	NA	.990 (n=119)	1.00 (n=540)	.977 (n=131)	NA
2	ML	.147 (n=119)	.330 (n=580)	.687 (n=1137)	.923 (n=1800)	.367 (n=119)	.964 (n=560)	.775 (n=329)	.880 (n=435)	.683 (n=119)	1.00 (n=540)	.870 (n=174)	.855 (n=170)
	RML	.144 (n=119)	.362 (n=580)	.667 (n=1137)	.924 (n=1850)	.334 (n=119)	.979 (n=560)	.782 (n=329)	.889 (n=430)	.691 (n=119)	1.00 (n=540)	.864 (n=174)	.859 (n=170)
	GLS	.047 (n=119)	.250 (n=580)	.997 (n=3046)	.821 (n=1600)	.118 (n=119)	.915 (n=560)	.827 (n=447)	.824 (n=450)	.269 (n=119)	1.00 (n=540)	.889 (n=253)	.796 (n=220)
	WLS	.819 (n=119)	.464 (n=580)	.487 (n=321)	NA	.918 (n=119)	.968 (n=560)	.821 (n=209)	NA	.988 (n=119)	1.00 (n=540)	.974 (n=131)	NA

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.10: อำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์จำแนกตามความโด่ง

ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์

ปัจจัย	F	df	p-value	Partial Eta Squared
Intercept	8135.634	1	.000	.984
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	284.040	3	.000	.866
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	128.309	2	.000	.660
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	56.406	6	.000	.719

หมายเหตุ R Squared = .916 (Adjusted R Squared = .909)

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคแสควร์ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	การระบุโมเดลผิดพลาด ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
MC		MC>PC	MC>RT	MC>SP		MC=PC	MC=RT	MC>SP		MC=PC	MC<RT	MC>SP
PC			PC>RT	PC>SP			PC<RT	PC>SP			PC<RT	PC>SP
RT				RT>SP				RT>SP				RT>SP
SP												

2) ผลเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบสมมติฐานของ RMSEA

จากตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.11 แสดงอำนาจการทดสอบสมมติฐานของ RMSEA โดยภาพรวม พบว่า ความโด่งมีอำนาจการทดสอบสมมติฐานไม่แตกต่างกัน วิธีประมาณค่า ML และ RML จะมีอำนาจการทดสอบสมมติฐานใกล้เคียงกันและต่ำกว่าวิธี GLS การระบุโมเดลผิดพลาดที่ต่างกันจะส่งผลต่ออำนาจการทดสอบสมมติฐานต่างกันในทิศทางเดียวกัน

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ที่ 1.000 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .920 ถึง .938 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุดอยู่ที่ 1.000 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .782 ถึง .814

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ระหว่าง .878 ถึง .924 รองลงมาเป็นวิธี MC กับ PC มีค่าอยู่ระหว่าง .840 ถึง .880 และวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .554 ถึง .609 ตามลำดับ เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ระหว่าง .979 ถึง .990 รองลงมาเป็นวิธี MC กับ PC มีค่าอยู่ระหว่าง .978 ถึง .980 และวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .818 ถึง .869 ตามลำดับ

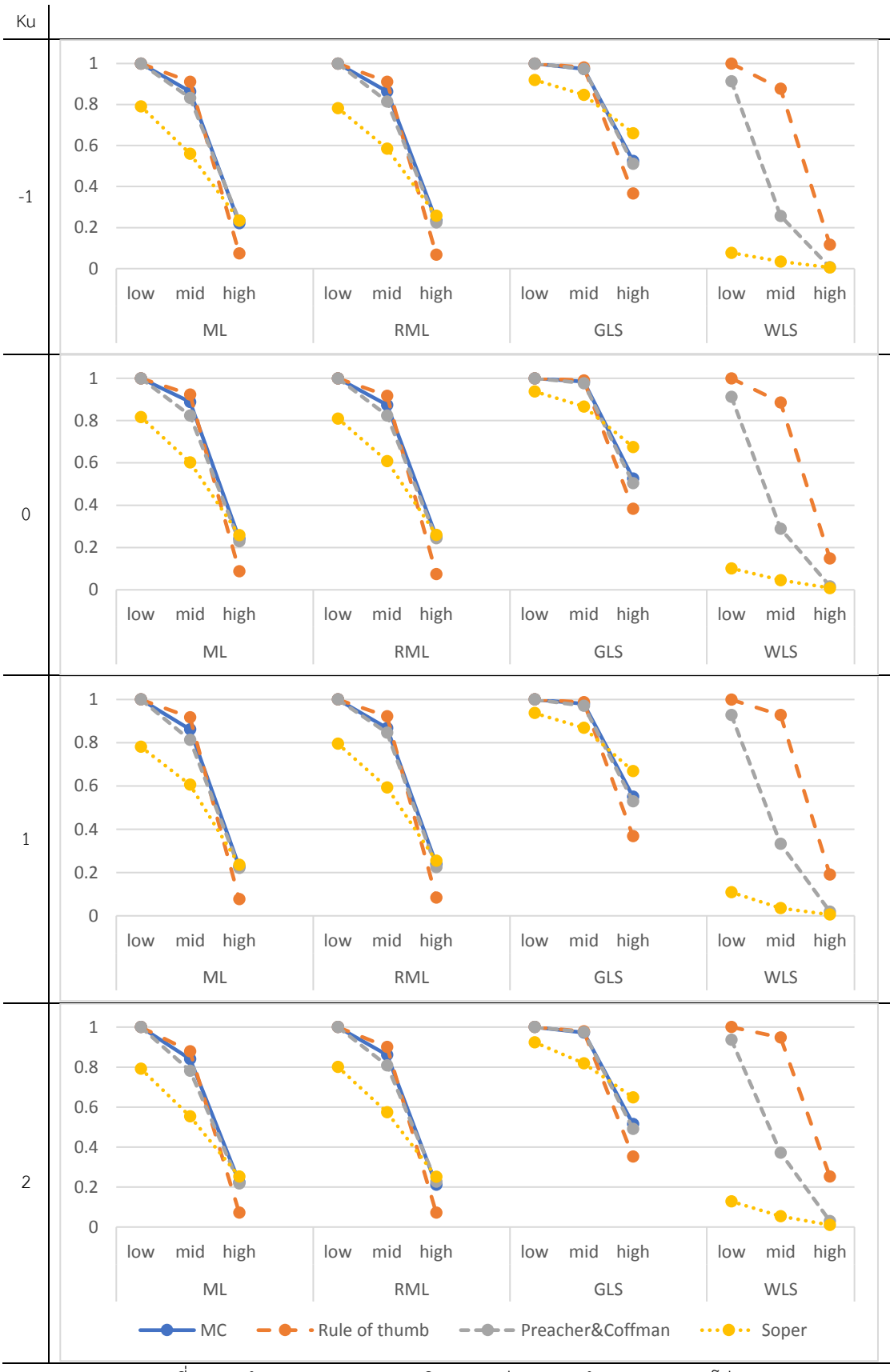
เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ SP ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ระหว่าง .235 ถึง .260 รองลงมาเป็นวิธี MC กับ PC มีค่าอยู่ระหว่าง .212 ถึง .251 และวิธี RT มีค่าอยู่ระหว่าง .068 ถึง .088 ตามลำดับเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ SP ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ระหว่าง .648 ถึง .675 รองลงมาเป็นวิธี MC มีค่าอยู่ระหว่าง .515 ถึง .550 วิธี PC มีค่าอยู่ระหว่าง .4159 ถึง .529 และวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .352 ถึง .383 ตามลำดับ

จากข้อสังเกตในสถิติบรรยายข้างต้นพบว่า ความโด่งไม่ส่งผลให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานมีความแตกต่างกัน ทำให้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ RMSEA จะตัดปัจจัยความโด่งออก และวิเคราะห์เพียงปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาดกับวิธีประมาณค่า เพื่อดูปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว จากตารางที่ 4.25 พบว่า ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และวิธีประมาณค่า มีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ทั้งแบบสองทางและแบบสามทางต่ออำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ RMSEA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p-value=.000) และเพื่อจะดูว่ากรณีใดที่มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานแตกต่างกันจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

จากตารางที่ 4.26 แสดงผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของ RMSEA ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี พบว่า วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PCกับ RT มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด ในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC กับ PC มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุดโดยสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ตาราง ก 8 ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.24 อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากค่าRMSEA จำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และวิธีประมาณค่า

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC
-1	ML	.792 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.561 (n=119)	.911 (n=560)	.832 (n=329)	.864 (n=435)	.235 (n=119)	.075 (n=540)	.235 (n=174)	.222 (n=170)
	RML	.782 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.585 (n=119)	.911 (n=560)	.815 (n=329)	.864 (n=430)	.258 (n=119)	.068 (n=540)	.226 (n=174)	.235 (n=170)
	GLS	.920 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1700)	.847 (n=119)	.981 (n=560)	.974 (n=447)	.974 (n=470)	.660 (n=119)	.367 (n=540)	.512 (n=253)	.525 (n=220)
	WLS	.078 (n=119)	1.00 (n=580)	.913 (n=321)	NA	.034 (n=119)	.878 (n=560)	.257 (n=209)	NA	.006 (n=119)	.117 (n=540)	.007 (n=131)	NA
0	ML	.817 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.603 (n=119)	.924 (n=560)	.824 (n=329)	.888 (n=440)	.259 (n=119)	.088 (n=540)	.230 (n=174)	.242 (n=170)
	RML	.811 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1900)	.609 (n=119)	.917 (n=560)	.825 (n=329)	.874 (n=435)	.260 (n=119)	.075 (n=540)	.244 (n=174)	.251 (n=170)
	GLS	.938 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1800)	.867 (n=119)	.990 (n=560)	.977 (n=447)	.985 (n=480)	.675 (n=119)	.383 (n=540)	.505 (n=253)	.527 (n=230)
	WLS	.102 (n=119)	1.00 (n=580)	.912 (n=321)	NA	.046 (n=119)	.886 (n=560)	.289 (n=209)	NA	.009 (n=119)	.149 (n=540)	.017 (n=131)	NA
1	ML	.782 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.606 (n=119)	.917 (n=560)	.814 (n=329)	.862 (n=430)	.235 (n=119)	.077 (n=540)	.221 (n=174)	.227 (n=170)
	RML	.795 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1800)	.593 (n=119)	.922 (n=560)	.847 (n=329)	.868 (n=430)	.254 (n=119)	.084 (n=540)	.225 (n=174)	.239 (n=170)
	GLS	.937 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1700)	.869 (n=119)	.987 (n=560)	.971 (n=447)	.980 (n=460)	.669 (n=119)	.368 (n=540)	.529 (n=253)	.550 (n=220)
	WLS	.109 (n=119)	.999 (n=580)	.928 (n=321)	NA	.035 (n=119)	.928 (n=560)	.333 (n=209)	NA	.005 (n=119)	.190 (n=540)	.019 (n=131)	NA
2	ML	.792 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1800)	.554 (n=119)	.878 (n=560)	.781 (n=329)	.840 (n=435)	.253 (n=119)	.072 (n=540)	.218 (n=174)	.224 (n=170)
	RML	.801 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.574 (n=119)	.901 (n=560)	.808 (n=329)	.861 (n=430)	.252 (n=119)	.071 (n=540)	.227 (n=174)	.212 (n=170)
	GLS	.924 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1600)	.818 (n=119)	.979 (n=560)	.975 (n=447)	.973 (n=450)	.648 (n=119)	.352 (n=540)	.491 (n=253)	.515 (n=220)
	WLS	.128 (n=119)	1.00 (n=580)	.937 (n=321)	NA	.054 (n=119)	.948 (n=560)	.372 (n=209)	NA	.010 (n=119)	.252 (n=540)	.030 (n=131)	NA



รูปที่ 4.11: อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากค่าRMSEAจำแนกตามความโด่ง

ตารางที่ 4.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ RMSEA

ปัจจัย	F	df	p-value	Partial Eta Squared
Intercept	484910.741	1	.000	1.000
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	589.038	3	.000	.942
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	40218.920	2	.000	.999
วิธีประมาณค่า	3098.671	2	.000	.983
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	870.453	6	.000	.980
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * วิธีประมาณค่า	127.895	6	.000	.877
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	757.719	4	.000	.966
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	4.511	12	.000	.334

หมายเหตุ R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของ RMSEA ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	วิธีการประมาณค่า ML				RML				GLS			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
ระดับต่ำ												
MC		MC=PC	MC=RT	MC>SP		MC=PC	MC=RT	MC>SP		MC=PC	MC=RT	MC>SP
PC			PC=RT	PC>SP			PC=RT	PC>SP			PC=RT	PC>SP
RT				RT>SP				RT>SP				RT>SP
SP												
ระดับปานกลาง												
MC		MC>PC	MC<RT	MC>SP		MC>PC	MC<RT	MC>SP		MC=PC	MC=RT	MC>SP
PC			PC<RT	PC>SP			PC<RT	PC>SP			PC=RT	PC>SP
RT				RT>SP				RT>SP				RT>SP
SP												
ระดับสูง												
MC		MC=PC	MC>RT	MC=SP		MC=PC	MC>RT	MC=SP		MC=PC	MC>RT	MC<SP
PC			PC>RT	PC=SP			PC>RT	PC<SP			PC>RT	PC<SP
RT				RT<SP				RT<SP				RT<SP
SP												

3) ผลเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบสมมติฐานของ Gamma hat

จากตารางที่ 4.27 และรูปที่ 4.12 แสดงอำนาจการทดสอบสมมติฐานของ Gamma hat โดยภาพรวม พบว่า ความโด่งมีอำนาจการทดสอบสมมติฐานไม่แตกต่างกัน วิธีประมาณค่า ML และ RMLจะมีอำนาจการทดสอบสมมติฐานใกล้เคียงกันและต่ำกว่าวิธี GLS การระบุโมเดลผิดพลาดที่ต่างกันจะส่งผลต่ออำนาจการทดสอบสมมติฐานต่างกันในทิศทางเดียวกัน

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ที่ 1.000 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .986 ถึง .997 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ที่ 1.000 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .997 ถึง 1.000 ตามลำดับ

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ที่ 1.000 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .954 ถึง .973 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS พบว่า การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ที่ 1.000 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .993 ถึง .998

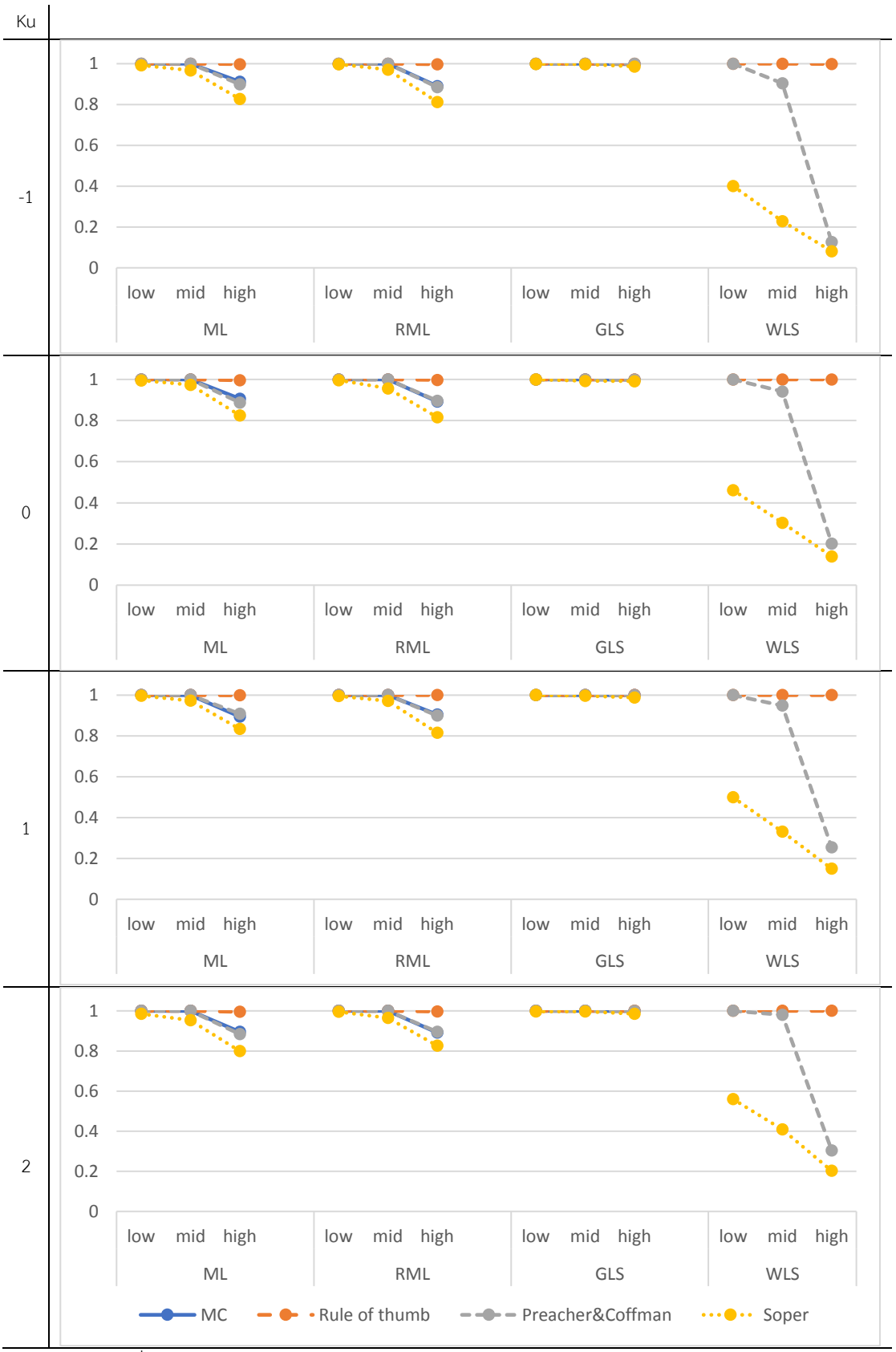
เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ระหว่าง .995-1.000 รองลงมาเป็นวิธี MC กับ PC มีค่าอยู่ระหว่าง .884 ถึง .912 และวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .799 ถึง .834 ตามลำดับ เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง .998-1.000 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .993 ถึง .998

จากข้อสังเกตในสถิติบรรยายข้างต้นพบว่า ความโด่งไม่ส่งผลให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานมีความแตกต่างกัน ทำให้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ Gamma hat จะตัดปัจจัยความโด่งออก และวิเคราะห์เพียงปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างระดับการระบุโมเดลผิดพลาดกับวิธีประมาณค่า เพื่อดูปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว จากตารางที่ 4.28 พบว่า ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และวิธีประมาณค่ามีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ทั้งแบบสองทางและแบบสามทางต่ออำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ Gamma hat อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p-value=.000) และเพื่อจะดูว่ากรณีใดที่มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานแตกต่างกันจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

จากตารางที่ 4.29 แสดงผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของค่า Gamma hat ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี พบว่า ระดับต่ำ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบทั้ง 4 วิธี มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด ในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาด กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุดโดยสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ตาราง ก 9 ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.27 อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากค่า Gamma hat จำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และวิธีประมาณค่า

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC
-1	ML	.993 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.967 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=329)	1.00 (n=435)	.827 (n=119)	.998 (n=540)	.899 (n=174)	.912 (n=170)
	RML	.997 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.971 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=329)	1.00 (n=430)	.812 (n=119)	.998 (n=540)	.885 (n=174)	.890 (n=170)
	GLS	.999 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1700)	.998 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=447)	1.00 (n=470)	.986 (n=119)	1.00 (n=540)	1.00 (n=253)	.998 (n=220)
	WLS	.400 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=321)	NA	.228 (n=119)	1.00 (n=560)	.904 (n=209)	NA	.081 (n=119)	.999 (n=540)	.126 (n=131)	NA
0	ML	.995 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.974 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=329)	1.00 (n=440)	.825 (n=119)	.996 (n=540)	.888 (n=174)	.907 (n=170)
	RML	.996 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1900)	.957 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=329)	1.00 (n=435)	.817 (n=119)	.998 (n=540)	.897 (n=174)	.893 (n=170)
	GLS	1.00 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1800)	.993 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=447)	1.00 (n=480)	.991 (n=119)	1.00 (n=540)	.999 (n=253)	.999 (n=230)
	WLS	.461 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=321)	NA	.304 (n=119)	1.00 (n=560)	.941 (n=209)	NA	.140 (n=119)	1.00 (n=540)	.203 (n=131)	NA
1	ML	.997 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.973 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=329)	1.00 (n=430)	.834 (n=119)	.999 (n=540)	.908 (n=174)	.895 (n=170)
	RML	.996 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1800)	.972 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=329)	1.00 (n=430)	.815 (n=119)	1.00 (n=540)	.900 (n=174)	.905 (n=170)
	GLS	1.00 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1700)	.996 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=447)	1.00 (n=460)	.988 (n=119)	1.00 (n=540)	.999 (n=253)	1.00 (n=220)
	WLS	.499 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=321)	NA	.331 (n=119)	1.00 (n=560)	.949 (n=209)	NA	.150 (n=119)	1.00 (n=540)	.254 (n=131)	NA
2	ML	.986 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1800)	.954 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=329)	1.00 (n=435)	.799 (n=119)	.995 (n=540)	.884 (n=174)	.895 (n=170)
	RML	.995 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.965 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=329)	1.00 (n=430)	.826 (n=119)	.997 (n=540)	.896 (n=174)	.892 (n=170)
	GLS	.997 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1600)	.997 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=447)	1.00 (n=450)	.985 (n=119)	1.00 (n=540)	.999 (n=253)	.999 (n=220)
	WLS	.560 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=321)	NA	.409 (n=119)	1.00 (n=560)	.980 (n=209)	NA	.202 (n=119)	1.00 (n=540)	.304 (n=131)	NA



รูปที่ 4.12: อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากจากค่า Gamma hat จำแนกตามความโด่ง

ตารางที่ 4.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ Gamma hat

ปัจจัย	F	df	p-value	Partial Eta Squared
Intercept	6727197.296	1	.000	1.000
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	748.995	3	.000	.954
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	3100.837	2	.000	.983
วิธีประมาณค่า	915.513	2	.000	.944
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	414.805	6	.000	.958
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * วิธีประมาณค่า	145.339	6	.000	.890
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	703.511	4	.000	.963
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	87.924	12	.000	.907

หมายเหตุ R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .992)

ตารางที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของค่า Gamma hat ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	วิธีการประมาณค่า: ML				RML				GLS			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
ระดับต่ำ												
MC		MC=PC	MC=RT	MC=SP		MC=PC	MC=RT	MC=SP		MC=PC	MC=RT	MC=SP
PC			PC=RT	PC=SP			PC=RT	PC=SP			PC=RT	PC=SP
RT				RT=SP				RT=SP				RT=SP
SP												
ระดับปานกลาง												
MC		MC=PC	MC=RT	MC>SP		MC=PC	MC=RT	MC>SP		MC=PC	MC=RT	MC=SP
PC			PC=RT	PC>SP			PC=RT	PC>SP			PC=RT	PC=SP
RT				RT>SP				RT>SP				RT=SP
SP												
ระดับสูง												
MC		MC=PC	MC<RT	MC>SP		MC=PC	MC<RT	MC>SP		MC=PC	MC=RT	MC>SP
PC			PC<RT	PC>SP			PC<RT	PC>SP			PC=RT	PC>SP
RT				RT>SP				RT>SP				RT>SP
SP												

4) ผลเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบสมมติฐานของ McDonald's centrality Index

จากตารางที่ 4.30 และรูปที่ 4.13 แสดงอำนาจการทดสอบสมมติฐานของ McDonald's centrality Index โดยภาพรวม พบว่า ความโด่งมีอำนาจการทดสอบสมมติฐานไม่แตกต่างกัน วิธีประมาณค่า ML และ RMLจะมีอำนาจการทดสอบสมมติฐานใกล้เคียงกันและต่ำกว่าวิธี GLS การระบุโมเดลผิดพลาดที่ต่างกันจะส่งผลต่ออำนาจการทดสอบสมมติฐานต่างกันในทิศทางเดียวกัน

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ที่ 1.000 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .939 ถึง .959 เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ที่ 1.000 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .990 ถึง .994 ตามลำดับ

เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ระหว่าง .999 ถึง 1.000 รองลงมาเป็นวิธี MC กับ PC มีค่าอยู่ระหว่าง .990 ถึง .999 และวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .818 ถึง .850 ตามลำดับ เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC กับ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ที่ 1.000 รองลงมาเป็นวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .963 ถึง .976

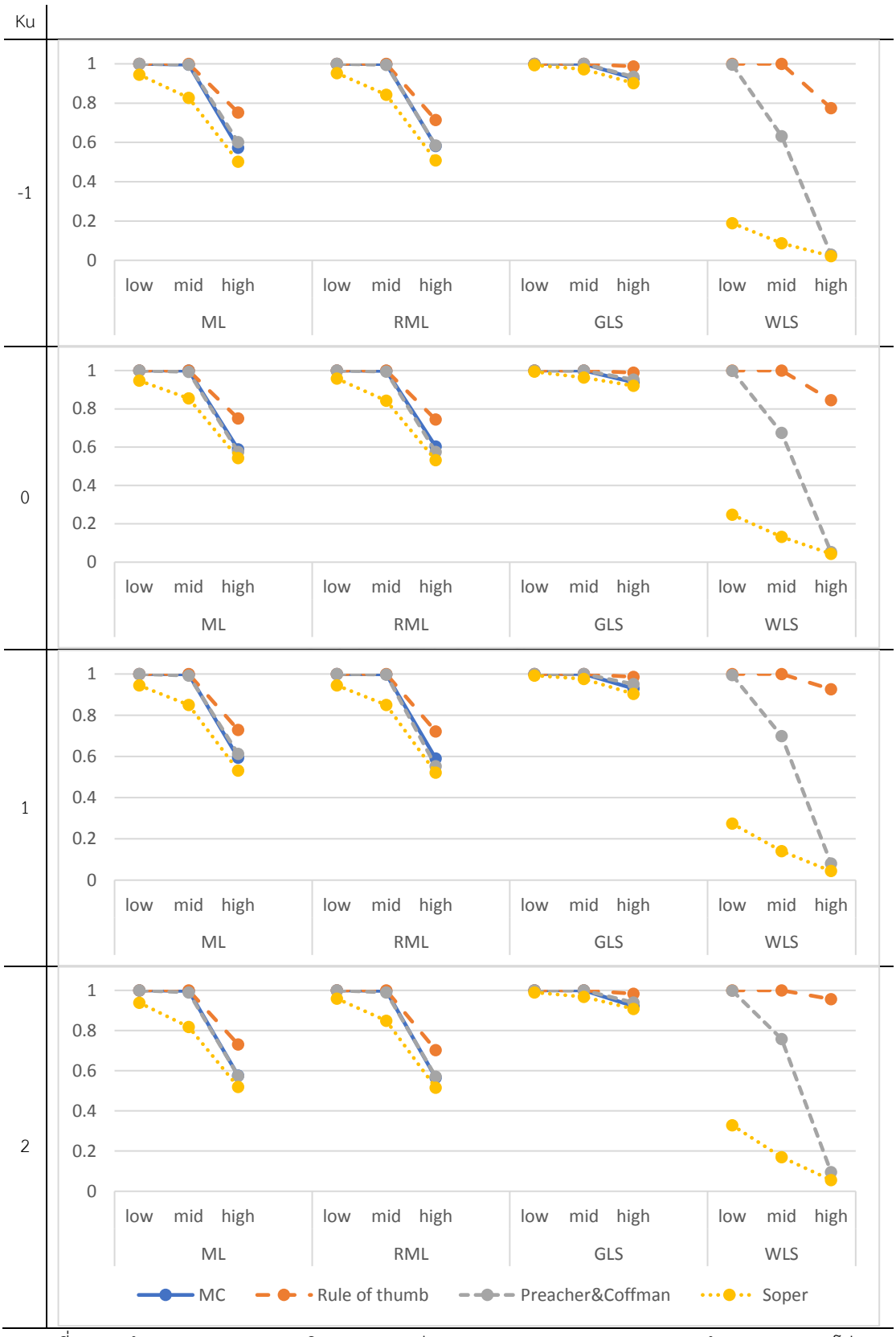
เมื่อระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ระหว่าง .503 ถึง .543 รองลงมาเป็นวิธี MC กับ PC มีค่าอยู่ระหว่าง .573 ถึง .613 และวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .818 ถึง .850 ตามลำดับ เมื่อใช้การประมาณค่าแบบ ML และ RML และเมื่อใช้การประมาณค่าแบบ GLS การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT ให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานที่สูงสุด อยู่ระหว่าง .984 ถึง .989 รองลงมาเป็นวิธี PC มีค่าอยู่ระหว่าง .935 ถึง .953 วิธี MC มีค่าอยู่ระหว่าง .922 ถึง .939 และวิธี SP มีค่าอยู่ระหว่าง .901 ถึง .920 ตามลำดับ

จากข้อสังเกตในสถิติบรรยายข้างต้นพบว่า ความโด่งไม่ส่งผลให้อำนาจการทดสอบสมมติฐานมีความแตกต่างกัน ทำให้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ McDonald's centrality Index จะตัดปัจจัยความโด่งออก และวิเคราะห์เพียงปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างระดับการระบุโมเดลผิดพลาดกับวิธีประมาณค่า เพื่อดูปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว จากตารางที่ 4.31 พบว่า ปัจจัยวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด และวิธีประมาณค่ามีอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ทั้งแบบสองทางและแบบสามทางต่ออำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ McDonald's centrality Index อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p-value=.000) และเพื่อจะดูว่ากรณีใดที่มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานแตกต่างกันจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

จากตารางที่ 4.32 แสดงผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของค่า McDonald's centrality Index ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี พบว่า วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ MC PC และ RT อำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุด ในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำกับปานกลาง และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบ RT มีอำนาจการทดสอบสมมติฐานสูงสุดโดยสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ตาราง ก 1 ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.30 อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากค่า McDonald's centrality Index จำแนกตามระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง ความโด่ง และวิธีประมาณค่า

ความโด่ง	วิธีการประมาณค่า	ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาด											
		ระดับต่ำ				ระดับปานกลาง				ระดับสูง			
		SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC	SP	RT	PC	MC
-1	ML	.945 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.827 (n=119)	1.00 (n=560)	.996 (n=329)	.996 (n=435)	.503 (n=119)	.752 (n=540)	.602 (n=174)	.573 (n=170)
	RML	.953 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.843 (n=119)	1.00 (n=560)	.995 (n=329)	.999 (n=430)	.509 (n=119)	.714 (n=540)	.584 (n=174)	.582 (n=170)
	GLS	.993 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1700)	.973 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=447)	1.00 (n=470)	.901 (n=119)	.987 (n=540)	.935 (n=253)	.927 (n=220)
	WLS	.189 (n=119)	1.00 (n=580)	99.7 (n=321)	NA	.087 (n=119)	1.00 (n=560)	.632 (n=209)	NA	.022 (n=119)	.775 (n=540)	.030 (n=131)	NA
0	ML	.947 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.854 (n=119)	.999 (n=560)	.993 (n=329)	.999 (n=440)	.543 (n=119)	.749 (n=540)	.575 (n=174)	.589 (n=170)
	RML	.958 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1900)	.842 (n=119)	1.00 (n=560)	.994 (n=329)	.998 (n=435)	.533 (n=119)	.744 (n=540)	.576 (n=174)	.604 (n=170)
	GLS	.994 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1800)	.963 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=447)	1.00 (n=480)	.920 (n=119)	.989 (n=540)	.953 (n=253)	.939 (n=230)
	WLS	.247 (n=119)	1.00 (n=580)	.999 (n=321)	NA	.131 (n=119)	1.00 (n=560)	.675 (n=209)	NA	.044 (n=119)	.845 (n=540)	.052 (n=131)	NA
1	ML	.944 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.850 (n=119)	1.00 (n=560)	.992 (n=329)	.998 (n=430)	.531 (n=119)	.729 (n=540)	.613 (n=174)	.594 (n=170)
	RML	.945 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1800)	.850 (n=119)	1.00 (n=560)	.997 (n=329)	.999 (n=430)	.522 (n=119)	.722 (n=540)	.553 (n=174)	.591 (n=170)
	GLS	.993 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1700)	.976 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=447)	1.00 (n=460)	.903 (n=119)	.986 (n=540)	.952 (n=253)	.929 (n=220)
	WLS	.274 (n=119)	1.00 (n=580)	.994 (n=321)	NA	.141 (n=119)	1.00 (n=560)	.698 (n=209)	NA	.044 (n=119)	.926 (n=540)	.081 (n=131)	NA
2	ML	.939 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1800)	.818 (n=119)	1.00 (n=560)	.990 (n=329)	.998 (n=435)	.519 (n=119)	.731 (n=540)	.574 (n=174)	.576 (n=170)
	RML	.959 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=1137)	1.00 (n=1850)	.849 (n=119)	1.00 (n=560)	.990 (n=329)	.997 (n=430)	.516 (n=119)	.703 (n=540)	.571 (n=174)	.566 (n=170)
	GLS	.990 (n=119)	1.00 (n=580)	1.00 (n=3046)	1.00 (n=1600)	.967 (n=119)	1.00 (n=560)	1.00 (n=447)	1.00 (n=450)	.908 (n=119)	.984 (n=540)	.940 (n=253)	.922 (n=220)
	WLS	.329 (n=119)	1.00 (n=580)	.999 (n=321)	NA	.170 (n=119)	1.00 (n=560)	.757 (n=209)	NA	.056 (n=119)	.956 (n=540)	.096 (n=131)	NA



รูปที่ 4.13: อำนาจการทดสอบสมมติฐานจากจากค่า McDonald's centrality Index จำแนกตามความโด่ง

ตารางที่ 4.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบ McDonald's centrality Index

ปัจจัย	F	df	p-value	Partial Eta Squared
Intercept	1729683.752	1	.000	1.000
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	1045.773	3	.000	.967
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	16808.287	2	.000	.997
วิธีประมาณค่า	3932.371	2	.000	.986
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด	243.406	6	.000	.931
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * วิธีประมาณค่า	109.073	6	.000	.858
ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	2680.333	4	.000	.990
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง * ระดับการระบุโมเดลผิดพลาด * วิธีประมาณค่า	23.889	12	.000	.726

หมายเหตุ R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .998)

ตารางที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายอำนาจการทดสอบสมมติฐานของค่า McDonald's centrality Index ของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 4 วิธี

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง	วิธีการประมาณค่า ML				RML				GLS			
	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP	MC	PC	RT	SP
ระดับต่ำ												
MC		MC=PC	MC=RT	MC>SP		MC=PC	MC=RT	MC>SP		MC=PC	MC=RT	MC=SP
PC			PC=RT	PC>SP			PC=RT	PC>SP			PC=RT	PC=SP
RT				RT>SP				RT>SP				RT=SP
SP												
ระดับปานกลาง												
MC		MC=PC	MC=RT	MC>SP		MC=PC	MC=RT	MC>SP		MC=PC	MC=RT	MC>SP
PC			PC=RT	PC>SP			PC=RT	PC>SP			PC=RT	PC>SP
RT				RT>SP				RT>SP				RT>SP
SP												
ระดับสูง												
MC		MC=PC	MC<RT	MC>SP		MC=PC	MC<RT	MC>SP		MC=PC	MC<RT	MC>SP
PC			PC<RT	PC>SP			PC<RT	PC>SP			PC<RT	PC>SP
RT				RT>SP				RT>SP				RT>SP
SP												

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง“การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน สำหรับข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงปกติ”มีวัตถุประสงค์ 2 ประการได้แก่ คือ (1) เพื่อพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเมื่อข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ และ (2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย กับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างตามแนวคิดของ Soper กับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เมื่อตัวแปรสังเกตได้ไม่มีการแจกแจงปกติ

สรุปผลการวิจัย

<u>สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1</u>

การพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในโมเดลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเมื่อข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ วิธีการที่พัฒนาขึ้นในการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปออกมีรายละเอียดดังนี้

การกำหนดโมเดลการวิจัย (specification of research model) ที่คาดว่าจะใช้สำหรับอธิบายสภาพปรากฏการณ์ที่สนใจในประชากรเป้าหมาย ทั้งการกำหนดโมเดลในการวิเคราะห์ กำหนดตัวแปร อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาทุกตัวแปรให้ออกมารูปแบบแผนภาพเส้นทางและกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในโมเดลแล้วทำการสร้างเครื่องมือขึ้นมา จากนั้นนำเครื่องมือไปทดลองใช้และนำมาตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือเครื่องมือ (try out) โดยข้อมูลที่ได้มาจะนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน จากนั้นดำเนินการปรับโมเดลให้มีความสอดคล้องเชิงประจักษ์โดยพิจารณาจากดัชนี RMSEA ให้มีค่าเท่ากับ .000 เรียกโมเดลนี้ว่า โมเดลประชากรโดยประมาณ (estimated population model) เพื่อใช้จำลองข้อมูลในการวิเคราะห์ และในส่วนนี้สามารถพิจารณาเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะการแจกแจงของข้อมูล ซึ่งสามารถกำหนดเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้หรือความโด่งได้ของตัวแปรสังเกตได้โดยตรง

ขั้นตอนต่อไปเป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล นักวิจัยจะระบุเงื่อนไขเบื้องต้นเพิ่มเติมในการวิเคราะห์ (specification of simulation condition) ได้แก่กำหนดช่วงของขนาดตัวอย่าง กำหนดช่วงความเชื่อมั่นกำหนดวิธีการประมาณค่ากับดัชนีดัชนี

ความสอดคล้องเชิงประจักษ์และกำหนดจำนวนครั้งในการจำลองโดยโปรแกรมจะสร้างข้อมูลและนำข้อมูลไปวิเคราะห์แล้วบันทึกค่าจนกว่าจะครบจำนวนครั้งที่กำหนด จากนั้นวิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองข้อมูล (data analysis) พิจารณาเลือกขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมโดยเลือกขนาดตัวอย่างที่ทำให้ (1) ค่าความเอนเอียงสัมพัทธ์และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลมีค่าไม่เกิน 10% หรือ (2) อำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคสแควร์มีค่าไม่ต่ำกว่า .8 ถ้าหากขนาดตัวอย่างที่ได้มายังไม่ผ่านเกณฑ์ให้เพิ่มช่วงของขนาดตัวอย่างแล้วทำการวิเคราะห์ผลจนกว่าจะได้ค่าที่ผ่านเกณฑ์ จากนั้นนักวิจัยจะได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

<u>สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2</u>

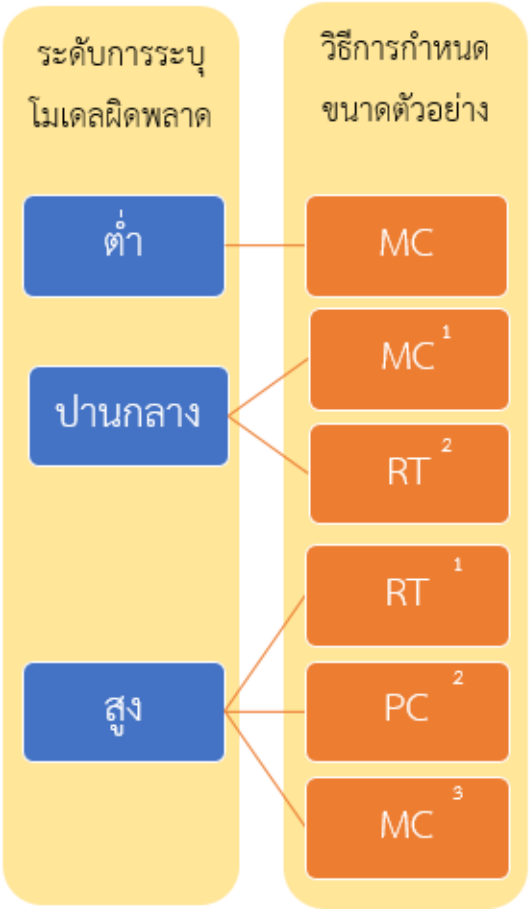
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างเพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัยข้อสองนั้น ผู้วิจัยจะพิจารณาจากประสิทธิภาพ 2 ด้านประกอบไปด้วย ประสิทธิภาพด้านการประมาณค่าพารามิเตอร์ และ ประสิทธิภาพด้านการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ (อำนาจการทดสอบสมมติฐาน) พบว่า

กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลจะมีประสิทธิภาพด้านความแม่นยำและความถูกต้องของการประมาณค่าพารามิเตอร์สูงสุด และวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลจะมีประสิทธิภาพด้านการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์สูงสุด

กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย และวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลจะมีประสิทธิภาพด้านความแม่นยำของการประมาณค่าพารามิเตอร์สูงสุด วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่ายจะมีประสิทธิภาพด้านความถูกต้องของการประมาณค่าพารามิเตอร์และด้านการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์สูงสุด

กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย และวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลจะมีประสิทธิภาพด้านความแม่นยำของการประมาณค่าพารามิเตอร์และด้านการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์สูงสุด และวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่ายจะมีประสิทธิภาพด้านความถูกต้องของการประมาณค่าพารามิเตอร์สูงสุด

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ได้วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมตามสถานการณ์ดังต่อไปนี้ กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุดคือวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล (N=1600-1900) กรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุดคือวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล (N=430-470) รองลงมาคือวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย (N=560) และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุดคือวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย (N=540) รองลงมาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดล (N=174-253) และวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล (N=170-220) ตามลำดับ โดยข้อสรุปดังกล่าวสามารถใช้ในกับวิธีประมาณค่า ML RML และ GLS กับค่าสัมประสิทธิ์ความโด่งที่เท่ากับ -1, 0, 1 และ 2 โดยสามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ดังนี้



รูปที่ 5.1: วิธีการเลือกขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์

อภิปรายผลการวิจัย

ในส่วนของการอภิปรายผลผู้วิจัยแบ่งออกเป็นส่วนของการอภิปรายในส่วนวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 การพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล 1 ประเด็นและส่วนของวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง 2 ประเด็น ดังนี้

1.อภิปรายผลการวิจัยในส่วนของพัฒนาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

1) การกำหนดโมเดลประชากรที่ใช้สำหรับจำลองข้อมูล

เนื่องจากนักวิจัยจะไม่ทราบค่าสังเกตของตัวแปรที่ต้องการศึกษาของโมเดลประชากร ซึ่งเป็นเงื่อนไขหนึ่งที่สำคัญในการศึกษาด้วยการจำลองข้อมูลกล่าวคือนักวิจัยจำเป็นจะต้องมีโมเดลที่ใช้เป็นฐานสำหรับการสร้างข้อมูลจำลอง ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้เสนอแนวทางแก้ไขโดยใช้ข้อมูลนำร่องหรือข้อมูลที่ใช้สำหรับตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันตามโมเดลวิจัย แล้วปรับโมเดลให้มีความสอดคล้องเชิงประจักษ์โดยพิจารณาจากดัชนี RMSEA ให้มีค่าน้อยที่สุด เพื่อให้โมเดลวิจัยมีความสอดคล้องเชิงประจักษ์ มาเป็นโมเดลประชากรโดยประมาณ (estimated population model) ซึ่งแนวทางนี้สามารถแก้ไขปัญหาในการหาโมเดลประชากรในการสร้างข้อมูลจำลองค่าสังเกตของตัวแปรที่ต้องการศึกษาได้จริง แต่มีของควรระวังในส่วนของการปรับโมเดลให้มีความสอดคล้องเชิงประจักษ์โดยพิจารณาจากดัชนี RMSEA ให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งมีความเป็นไปได้ในบางโมเดลจะต้องปรับเส้นพารามิเตอร์มากจนเกิดไป (over parameters) ส่งผลให้โมเดลประชาการโดยประมาณที่ได้มีลักษณะผิดรูปแบบจากโมเดลการวิจัยที่กหนดขึ้น

2) วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์แบบ WLS

สำหรับตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ โดยที่วิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ หากใช้วิธีการประมาณค่าแบบ ML RML หรือ GLS สามารถเก็บขนาดตัวอย่างที่ทำการสำรวจตามเกณฑ์ขั้นต่ำและสามารถนำไปดำเนินการต่อได้ แต่หากเลือกใช้วิธีประมาณค่าแบบ WLS อาจจะต้องเพิ่มขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการสำรวจเนื่องจากวิธีการให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความคลาดเคลื่อนสูงในกรณีที่มีขนาดตัวอย่างน้อย ทำให้หากใช้ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มาเป็นโมเดลประชากรโดยประมาณจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ติดลบได้

2.อภิปรายผลการวิจัยในส่วนของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง

1) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดตัวอย่าง

ผลจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างพบว่า วิธีที่นำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดตัวอย่างมาคำนวณ หากมีหลายปัจจัยก็จะสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างได้อย่างเหมาะสมมากขึ้น จะเห็นได้ว่าวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล จะได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมมากกว่าวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างอื่น ๆ ซึ่งมีหากปัจจัยทั้งการระบุโมเดลผิดพลาด วิธีประมาณค่าพารมมิเตอร์และค่าความโด่ง ซึ่งไปเป็นตามทฤษฎีวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation approach)

2) ผลกระทบจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการกำหนดขนาดตัวอย่าง

ผลกระทบจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการกำหนดขนาดตัวอย่างพบว่า ระดับของการระบุโมเดลผิดพลาดจะส่งผลต่อการคำนวณขนาดขนาดตัวอย่างเป็นอย่างมาก โดยหากมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำขนาดตัวอย่างควรมีจำนวนมากในทางตรงกันข้ามหากมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูงขนาดตัวอย่างจะมีจำนวนน้อย ซึ่งผลจะสอดคล้องกับ Wolf and et al. (2013) วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน จะได้รับผลกระทบจากขนาดอิทธิพลของน้ำหนักองค์ประกอบและขนาดความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลัก ซึ่งการระบุโมเดลผิดพลาดในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบการระบุพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบไม่ครบ ปัจจัยรองลงมาได้แก่ วิธีการประมาณค่าซึ่งจะแตกต่างกันตามสูตรที่ใช้คำนวณโดยที่วิธี ML ของ Ronald Fisher (1912-1915) กับ RML ของ Satorra-Bentler (1983) จะให้ขนาดตัวอย่างที่ใกล้เคียงกัน ส่วนถ้าใช้วิธี GLS ของ Alexander Aitken (1936) จะต้องใช้ขนาดตัวอย่างที่ใหญ่กว่าวิธี ML และ RML และสุดท้ายปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์ความโด่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุด โดยในการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ความโด่ง -1, 0, 1 และ 2 ค่าความโด่งไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดตัวอย่าง เนื่องจากค่าระดับความโด่งที่ผู้วิจัยนำมากำหนดในครั้งนี้ จะเป็นระดับความโด่งที่เกิดขึ้นจริงในงานวิจัยทางสังคมศาสตร์ และมีค่าไม่สูงพอ

3) ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างทำให้ได้วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมตามสถานการณ์ของการระบุโมเดลผิดพลาดในระดับต่าง ๆ ซึ่งบางกรณีจะมีวิธีการประมาณค่าที่ใกล้เคียงกัน เช่น ในกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับปานกลาง จะมีวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุดคือวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่าย ซึ่งจะมีประสิทธิภาพที่เท่ากันแต่แตกต่างกันที่จำนวนขนาดตัวอย่างที่ใช้ โดยที่วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

จะใช้ขนาดตัวอย่างที่น้อยกว่าประมาณ 100 และกรณีมีการระบุโมเดลผิดพลาดระดับสูง วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุดคือวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่ายจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล แต่หากพิจารณาดูในรายละเอียดจะพบว่าวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยกฎเกณฑ์อย่างง่ายจะใช้ขนาดตัวอย่างมากกว่าวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างด้วยอำนาจการทดสอบสมมติฐานของการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงประจักษ์ของโมเดลกับวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลอยู่ถึงประมาณ 2 เท่า แต่ได้ประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไม่มากนั้น จึงทำให้ในการเลือกขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับว่านักวิจัยจะให้ความสำคัญกับปัจจัยใดมากกว่ากัน

ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของข้อเสนอแนะผู้วิจัยแบ่งออกเป็นส่วนของ ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้และข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

การนำวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลไปประยุกต์ใช้ หากจะนำวิธีนี้ไปใช้จะมีสิ่งที่ต้องคำนึง 3 ประการ ได้แก่

1) วิธีประมาณค่า ในการกำหนดโมเดลประชากรที่ใช้สำหรับจำลองข้อมูลนักวิจัยจะนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบเครื่องมือมาทำการประมาณโมเดลประชากรโดยประมาณ ซึ่งโดยทั่วไปจะเก็บข้อมูลกับตัวอย่างที่มีจำนวนน้อย ทำให้ไม่ควรใช้วิธีประมาณค่าแบบ WLS ในการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

2) กำหนดช่วงของขนาดตัวอย่างกับจำนวนรอบของการจำลอง โดยที่ในการหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในตอนแรกนักวิจัยจะไม่รู้ช่วงของขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม ผู้วิจัยแนะนำให้ระบุเป็นช่วงกว้างกว่าในตอนแรกโดยอาจจะเว้นระยะห่างหลักร้อยได้ และใช้จำลองรอบเพียง 200 รอบก็เพียงพอในการหาช่วงของขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมได้ จากนั้นพอนักวิจัยทราบช่วงของขนาดตัวอย่างแล้วเจาะจงลงไปในช่วง ลดระยะห่างของขนาดตัวอย่างและเพิ่มรอบในการจำลองเป็น 1000 รอบ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่แท้จริงออกมาแล้วนักวิจัยจะได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมมา

3) การนำวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลไปใช้ ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้วิธีการประมาณค่าแบบ RML เนื่องจากในการกำหนดโมเดลประชากรโดยประมาณจะอาศัยข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบเครื่องมือ ซึ่งวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ RML จะใช้ขนาดตัวอย่างที่น้อยกว่าวิธี GLS ซึ่งจำเป็นต้องขนาดตัวอย่างมากกว่า และหากใช้วิธีประมาณค่าแบบ RML จะดีกว่า ML ตรงที่มีการปรับแก้สูตรการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานให้มีความแกร่งต่อข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติหรือมีข้อมูลสูญหายอีกด้วย

2.ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1) วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลสามารถพัฒนาต่อยอดไปสู่การวิเคราะห์ขั้นสูงกว่าได้ เช่น การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling:SEM) หรือการวิเคราะห์สาเหตุ (Path Analysis)

2) การนำวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลไปใช้สามารถประยุกต์ใช้กับปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดตัวอย่างได้ตามความสนใจของนักวิจัยได้ เช่น ระดับความเที่ยงของตัวแปรสังเกตได้ การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสังเกตได้ ข้อมูลสูญหาย และการระบุโมเดลผิดพลาด ประเภทอื่น ๆ จากพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัดหรือพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงก็ได้

3) การกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในงานวิจัยนี้กำหนดโมเดลประชากรสำหรับการสร้างข้อมูลจำลอง ด้วยข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบเครื่องมือ อย่างไรก็ตามขนาดตัวอย่างก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความถูกต้องต่อการประมาณโมเดลประชากร ดังนั้นการวิจัยครั้งต่อไปจึงควรมีการศึกษา เพื่อพัฒนาเกณฑ์หรือวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการประมาณโมเดลประชากร

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กชกร เกียรติศรศรี. (2554). *การวิเคราะห์องค์ประกอบ ระดับ และตัวแปรที่สัมพันธ์กับความยึดมั่นผูกพันกับการวิจัยของครู.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กมลวรรณ พลับจีน. (2556). *การวิเคราะห์กลุ่มแฝงอัตลักษณ์เชิงวิชาชีพครู*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กฤตติพัฒน์ ชื่นพิทยาวุฒิ, นำชัย ศุภฤกษ์ชัยสกุลและ อังศินันท์ อินทรกำแหง,. (2558). อิ*ทธิพลของปัจจัยทางจิตและสังคมที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการจัดการความเสี่ยงในการเผชิญอุทกภัยผ่านทางทุนพลังใจทางบวกและการเติบโตทางสังคมจิตใจของครูในจังหวัดปริมณฑล*. วารสารพฤติกรรมศาสตร์. สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนทรวิโรฒ

กิตติพล มุกดาเจริญชัย. (2556). *แบบจำลองสมการโครงสร้างของปัจจัยการผลิตแบบลีน ต่อผลการดำเนินงานในอุตสาหกรรมยานยนต์.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาบริหารธุรกิจ. คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณิตพันธุ์ ทองสืบสาย. (2552). *การพัฒนาแบบวัดความฉลาดทางสังคมสำหรับนักศึกษาปริญญาบัณฑิต*.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวัดและประเมินผลการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณีกร ศรีประดู่. (2554). *การวิเคราะห์องค์ประกอบสมรรถนะการสัมภาษณ์ของนิสิตบัณฑิตศึกษาโดยใช้เทคนิคการสัมภาษณ์เชิงพฤติกรรม*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เจณิกา วังสถาพร. (2555). *การติดงานและความผูกใจมั่นในงาน : สาเหตุเชิงแรงจูงใจ และผลด้านความเหนื่อยหน่ายในงาน*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาจิตวิทยา. คณะจิตวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จันทนา เริ่มสินธุ์. (2553). *ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่านิยมชีวิตของนักศึกษาครูมหาวิทยาลัยราชภัฏ : การวิเคราะห์และประเมินพหุระดับ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวัดและประเมินผลการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จันทวรรณ พลวัฒน์. (2557). *ปัจจัยเชิงสาเหตุและผลของเวลาการเรียนรู้เชิงวิชาการในชั้นเรียนวิจัยการศึกษาของนักศึกษาครู*.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุรีพร ปานแก้ว. (2552). *การพัฒนาตัวบ่งชี้ประสิทธิผลของโครงการคุรุทายาทตำรวจตระเวนชายแดน*.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิจัยการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชลธิดา ดวงงามยิ่ง. (2553). *การพัฒนาโมเดลเชิงสาเหตุของการคิดอภิมานของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น*.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชาญชัย เมธาวิรุฬห์. (2556). *โมเดลสมการโครงสร้างของการจัดการสารสนเทศ การบูรณาการประสิทธิภาพโลจิสติกส์และความสามารถในการแข่งขัน*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาบริหารธุรกิจ. คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชุติมา ไชยสิทธิ์. (2554). *การพัฒนาโมเดลเชิงสาเหตุของความรับผิดชอบต่อสังคมของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชัญญา ลี้ศัตรูพ่ายและชาญ รัตนะพิสิฐ.(2557).*การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของทักษะการสื่อสารแบบกัลยาณสนทนาของวัยรุ่นตอนปลาย ในเขตกรุงเทพมหานคร*. วารสารพฤติกรรมศาสตร์. สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนทรวิโรฒ

ญาติกา เอกวัฒนพันธ์. (2555). *การเข้าถึงความรู้สึกนักเรียนของครูมัธยมศึกษา : การวิจัยแบบผสมวิธี*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณัฐวุธ แก้วสุทธา, อังศินันท์อินทรกำแหงและ พัชรี ดวงจันทร,. (2557). *โมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุพฤติกรรมการดูแลอนามัยช่องปากและสภาวะอนามัยช่องปากของวัยรุ่นตอนต้น.* วารสารพฤติกรรมศาสตร์. สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนทรวิโรฒ

ณิชาภา จันทร์เพ็ญ. (2555). *การพัฒนาตัวบ่งชี้และแบบวัดสมรรถนะข้ามวัฒนธรรมของครู : การทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของการวัดตามภูมิหลังของครู*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดารุณี ทิพยกุลไพโรจน์. (2557). *การพัฒนาตัวบ่งชี้ความยึดมั่นผูกพันกับความเป็นพลเมืองของนักเรียนไทย: การทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของการวัด*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทิพอาภา กลิ่นคำหอม. (2556). *โมเดลเชิงสาเหตุของความยึดมั่นผูกพันของนักเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เกิดจากอิทธิพลของครู*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธนดล ยิ้มถนอม. (2554). *การพัฒนาโมเดลเชิงสาเหตุของพฤติกรรมรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียนมัธยมศึกษาในกรุงเทพมหานคร*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธนวัต ปุณยกนก. (2553). *โมเดลเจตจำนงต่อการแสวงหาความช่วยเหลือจากนักวิชาชีพ : บทบาทการส่งผ่านของการประทับตราว่าด้วยค่าตามการรับรู้และเจตคติต่อการแสวงหาความช่วยเหลือ*.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาจิตวิทยาการปรึกษา. คณะจิตวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธนา จินดาโชติบันท์. (2556). *อิทธิพลของแรงจูงใจในกิจกรรมและการรับรู้การสนับสนุนจากองค์การต่อความตั้งใจลาออก โดยมีความผูกพันกับองค์การเป็นตัวแปรส่งผ่าน*.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาจิตวิทยาประยุกต์. คณะจิตวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธีรศักดิ์ ศรีสุรกุล. (2555). *การพัฒนารูปแบบการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัยของ กศน.ตำบล : การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันและการวิจัยปฏิบัติการ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาการศึกษานอกระบบโรงเรียน. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2537). *ความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้น (LISREL) : สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 1 ed.). กรุงเทพฯ ภาควิชาวิจัยการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาฯ.

นวพร กาญจนศรี. (2551). *การพัฒนาและตรวจสอบความตรงของโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของสมรรถภาพบัณฑิตของนิสิตบัณฑิตศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิจัยการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นูรลี หมัดปลอด, อิศรัฏฐ์ รินไธสงและรุ่งชัชดาพร เวหะชาติ. (2555). *โมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุพฤติกรรมการเป็นสมาชิกที่ดีต่อองค์การของครูโรงเรียนเอกชน ประเภทสามัญ สังกัดสำนักงานการศึกษาเอกชนจังหวัดสงขลา*. วารสารพฤติกรรมศาสตร์. สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนทรวิโรฒ

บงกช วงศ์หล่อสายชล. (2555). *กลยุทธ์การสร้างความยึดมั่นผูกพันกับโรงเรียนของนักเรียนจากผลการวิเคราะห์เอสอีเอ็ม : การพัฒนาและการนำไปปฏิบัติ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เบญจพร จูพัฒนกุล. (2556). *อิทธิพลของการมองโลกในแง่ดี ความสามารถในการฟื้นคืนได้ การรับรู้การสนับสนุนจากองค์การ ต่อพฤติกรรมการเป็นสมาชิกที่ดีขององค์การ โดยมีความสุขเชิงอัตวิสัยเป็นตัวแปรส่งผ่าน*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาจิตวิทยาประยุกต์. คณะจิตวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บุณฑริกา ลิ่วเฉลิมวงศ์. (2556). *ความสัมพันธ์ระหว่างการสนับสนุนของผู้ปกครองด้านอาชีพและความลังเลใจในการเลือกเส้นทางอาชีพของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโดยมีการรับรู้ความสามารถของตนในการตัดสินใจเลือกเส้นทางอาชีพเป็นตัวแปรส่งผ่าน*.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาจิตวิทยา. คณะจิตวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บุษราคัม ดุลบุตร. (2555). *การวิเคราะห์ความตรงเชิงจำแนกของแบบประเมินการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูสำหรับนิสิต/นักศึกษาวิชาชีพครู : การศึกษาพหุลักษณะและแหล่งข้อมูลพหุ*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวัดและประเมินผลการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปิลันทนา จันทรัตน์. (2557). *โมเดลเชิงสาเหตุนิสัยการอ่านของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นในกรุงเทพมหานครที่มีแรงจูงใจในการอ่านเป็นตัวแปรส่งผ่าน*.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประชุม สุวัตถี. (2553). *ทฤษฎีการอนุมานเชิงสถิติ* (พิมพ์ครั้งที่ 3 ปรับปรุงแก้ไข ed.): กรุงเทพฯ : โครงการส่งเสริมและพัฒนาเอกสารวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

ปรางทิพย์ นวลใหม่. (2557). *การพัฒนาแบบวัดการสนับสนุนทางวิชาการจากครอบครัวสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 1*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวัดและประเมินผลการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปารมี ตีรบุลกุล. (2557). *อิทธิพลของการปฏิบัติงานแบบสะท้อนคิดและความสามารถด้านการนิเทศที่มีต่อการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนของนิสิตนักศึกษาครูโดยมีการแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์เป็นตัวแปรส่งผ่าน*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญญฎา ประดิษฐบาทุกา, อังศินันท์ อินทรกำแหงและนำชัย ศุภฤกษ์ชัยสกุล. (2555). *ปัจจัยเชิงเหตุทางจิตสังคมที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะและพฤติกรรมการจัดการเรียนรู้แบบวิจัยเป็นฐานของอาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล*. วารสารพฤติกรรมศาสตร์. สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนทรวิโรฒ

ปัทมา สุพรรณกุลและ วัชรี ศรีทอง. (2557). *โมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของพระสงฆ์ที่ป่วยเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ในเขตภาคเหนือตอนบน ประเทศไทย.*

พจนา อาภานุรักษ์. (2556). *บทบาทการส่งผ่านของความร่วมมือของครูในการศึกษาปัจจัยเชิงสาเหตุที่มีต่อการเรียนรู้และการปฏิบัติงานในชั้นเรียนของครู*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พรรณวดี ยืนยงค์นาน. (2554). *การพัฒนาแบบวัดความตระหนักต่อโลกของนักเรียนมัธยมศึกษา : การทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของการวัดตามตัวแปรเพศ*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพ็ญนภา ศรีโฉม. (2557). *การเปรียบเทียบอิทธิพลของวิธีการวัดที่มีต่อผลการวัดสุขภาพจิตที่มาจากการตอบตามความพึงปรารถนาของสังคม : การประยุกต์ใช้เทคนิคซีอียูแอลและเทคนิคซีอีเอ็มแอล*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พักตร์วิภา หน่อสุวรรณ. (2555). *การพัฒนาตัวบ่งชี้ความกล้าหาญทางจริยธรรมของครู : การทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของการวัดตามภูมิหลังของครู.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิจัยการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พัชรา กระแจะเจิม. (2557). *โมเดลเชิงสาเหตุและผลของการควบคุมความคิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่มีตัวแปรส่งผ่าน.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พัชรีพร ไชยรักษ์. (2555). *โมเดลเชิงสาเหตุของความสำเร็จในวิชาชีพครูที่มีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ การรับรู้ความสามารถของตนเองในวิชาชีพและความผูกพันในวิชาชีพเป็นตัวแปรส่งผ่าน.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิรุนเทพ เพชรบุรี. (2551). *การพัฒนาแบบตรวจสอบรายการประเมินตนเองเพื่อใช้ในการเทียบเคียงการปฏิบัติงานทางวิชาชีพครู*.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิจัยการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พีรยุทธ ภักดีเจริญ. (2552). *โมเดลเชิงสาเหตุและผลของความเหนื่อยหน่ายของครูในกรุงเทพมหานคร : การศึกษาเชิงปริมาณและคุณภาพ*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไพวรัญ รัตนพันธ์. (2556). *โมเดลเชิงสาเหตุของพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนความรู้ของครู: การวิเคราะห์ความไม่แปรเปลี่ยน*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภัทรจิตรา แสงสุข. (2557). *ปัจจัยเชิงสาเหตุและผลของความเชื่อประสิทธิภาพในตนเชิงสร้างสรรค์ของนิสิตนักศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต.*วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาวนา เปลี่ยนศรี. (2551). *การพัฒนาโมเดลเชิงสาเหตุของความสำเร็จในการจัดการศึกษาแบบเรียนร่วมของโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน.*วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิจัยการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มณฑิกานต์ เอี่ยมโซ้ และรัฐพล สันสน. (2559). *รูปแบบปัจจัยเชิงสาเหตุของการเลือกใช้บริการบริษัทสมาชิกตลาดหลักทรัพย์ที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ของการเลือกใช้บริษัท.* วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต. คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยอีสเทิรนเอเชีย

มณิการ์ ชูทอง. (2557). *การพัฒนาเครื่องมือประเมินแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ของนักเรียนโดยใช้แองเคอร์ริง วินเยตต์*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มนัสชนน์ คุณาพรสุจริต. (2555). *เหตุการณ์ในชีวิตทางลบ การนับถือศาสนา สุขภาวะทางจิตวิญญาณ และความสุขในบริบทพุทธธรรมของนักศึกษามหาวิทยาลัย*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาจิตวิทยา. คณะจิตวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมทินี ยอดเสาวดี. (2554). *การพัฒนาตัวบ่งชี้คุณลักษณะความเป็นนักวิจัยของนักเรียนมัธยมศึกษา : การทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของการวัดตามตัวแปรสังกัด*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มัณฑนา ชูไกรไทย. (2553). *การพัฒนาตัวชี้วัดสมรรถนะสำคัญของผู้เรียนตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มารยาท โยทองยศ. (2556). *การพัฒนาโมเดลการวัดและโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของการรู้สถิติของนิสิตนักศึกษาปริญญาตรีที่มีภูมิหลังเป็นตัวแปรกำกับ: การเปรียบเทียบระหว่าง PLS-SEM และ CB-SEM*. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระเบียบ เพราะผักแว่น. (2551). *การพัฒนาโมเดลเชิงสาเหตุของทักษะชีวิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในจังหวัดนครราชสีมา : การวิเคราะห์กลุ่มพหุ*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิจัยการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วรรณวิสา กิจสนิท. (2552). *การพัฒนาตัวบ่งชี้คุณลักษณะที่พึงประสงค์ของครูตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง.*วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิจัยการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วรวิทย์ เลาหะเมทนี, พัชรินทร์ สารมาทและ ภานุมาศ แสงประเสริฐ,. (2558). *โมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างค่านิยมส่วนบุคคลกับการใช้วิจารณญาณในการสังเกตเยี่ยงผู้ประกอบวิชาชีพบัญชีของนักศึกษาการบัญชี.*

วรัญญา แดงสนิท. (2556). *ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างทุนทางจิตวิทยาเชิงบวกและความพึงพอใจในการปฏิบัติงานของครูโดยมีความยึดมั่นผูกพันในงานเป็นตัวแปรส่งผ่าน: การทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของโมเดล*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วราลี ฉิมทองดี. (2557). *โมเดลเชิงสาเหตุของความสามารถในการสร้างนวัตกรรมของครูโดยมีการคิดสร้างสรรค์เป็นตัวแปรส่งผ่าน*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิชุดา กิจธรธรรม. (2555). *โมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของพฤติกรรมการดื่มและผลกระทบในนิสิต/นักศึกษาไทย.* วารสารพฤติกรรมศาสตร์. สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนทรวิโรฒ

วิชญา ติยะพงษ์ประพันธ์. (2558). *โมเดลสมการโครงสร้างแบบกลุ่มสัมพันธ์ระหว่างความรู้ด้านการสอน ความเชื่อมั่นในตนเองด้านการสอบ และแรงจูงใจในการสอนของครูพี่เลี้ยงและนิสิตฝึกสอน.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิรัช วรรณรัตน์. (2535). *วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย*. กรุงเทพฯ: สำนักงานทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา วิทยาลัยการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนทรวิโวฒ ประสานมิตร.

วิธัญญา วัณโณ. (2556). *ทุนจิตวิทยาเชิงบวกในการทำงานกลุ่มของนิสิตนักศึกษา: การวิจัยและพัฒนาโมเดลการวัดและโปรแกรมเสริมสร้าง*.วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วีรพร สีสถาน. (2557). *การพัฒนาแบบวัดจิตอาสาสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นโดยใช้แนวคิดทฤษฎีความสามารถในการให้เหตุผลเชิงจริยธรรมของโคลเบอร์ก*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วีนัส พีชวณิชย์ และ สมจิต วัฒนาชยางกลู. (2537). สถิติสำหรับนักสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ประกายพรึก.

ศรีประภา เหล่าโชคชัยกุล. (2552). *การพัฒนาตัวบ่งชี้ความอยู่ดีมีสุขของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น : การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างกลุ่มพหุ*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิจัยการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิวะพร ภู่พันธ, ดวงกมล ไตรวิจิตรคุณและสุวิมล ว่องวาณิช.(2556).*การพัฒนาและตรวจสอบความตรงของโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของการใช้ประโยชน์งานวิจัยของอาจารย์มหาวิทยาลัย*. วารสารพฤติกรรมศาสตร์. สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนทรวิโรฒ

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2550). สถิติประยุกต์สำหรับการวิจัย (พิมพ์ครั้งที่ 5 ed.). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศรัญญารัตน์ คงอิ่ม. (2554). *โมเดลเชิงสาเหตุของความฉลาดทางจิตวิญญาณของนักเรียนโดยมีความฉลาดทางอารมณ์เป็นตัวแปรส่งผ่าน*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาพร สู่สุข. (2554). *การพัฒนาโมเดลเชิงสาเหตุของการกำกับตนเองด้านความมีวินัยของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สพลกิตต์ สังข์ทิพย์. (2553). *ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสุขในการทำงานของครู สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน : การประยุกต์ใช้โมเดลสมการโครงสร้าง*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สามารถ พันคง. (2552). *ความแกร่งของสถิติทดสอบที เมื่อประชากรมีการแจกแจงไม่เป็นโค้งปกติ*: 2552.

สิริกร โตสติ. (2557). *การสร้างเสริมการรู้จักตนเองเพื่อการพัฒนาตนเองของนักเรียนโดยใช้กระบวนการสืบสอบและการประเมินแบบชื่นชม*. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุขุมาลย์ หนกหลัง. (2558). *อิทธิพลส่งผ่านแบบปรับของการรับรู้ความสามารถของตนเองในการเป็นครูที่มีต่อความมุ่งมั่นตั้งใจในการเป็นครู*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุมิตรา คุณวัฒน์บัณฑิต. (2557). *ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำนึกรับผิดชอบร่วมกันของครูในผลการเรียนรู้ของนักเรียน*.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุรเกียรติ ธาดาวัฒนาวิทย์. (2555). *การพัฒนาโมเดลเชิงสาเหตุของการรู้เท่าทันสื่อและสารสนเทศของนักเรียนประถมศึกษาปีที่ 4-6 : การวิเคราะห์ความไม่แปรเปลี่ยนระหว่างสังกัด*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุนารี มีใหม่. (2557). *การพัฒนาแบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย: การวิเคราะห์ความไม่แปรเปลี่ยนของโมเดลการวัดระหว่างแผนการเรียน*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุภมาส อังศุโชติ, สมถวิล วิจิตรวรรณา,และ รัชนีกูล ภิญโญภานุวัฒน์,. (2551). *สถิติการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์:เทคนิคการใช้โปรแกรม LISREL*.

สิวะโชติ ศรีสิทธิยากร. (2007). *การจำลองตัวแบบความถดถอยเชิงลำดับชั้น เมื่อการแจกแจงความคลาดเคลื่อนสุ่มไม่ได้มีการแจกแจงปกติ*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาสถิติ. คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หทัยทิพย์ สีส่วน. (2556). *ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างคุณภาพของกระบวนการฝึกประสบการณ์วิชาชีพกับความยึดมั่นผูกพันในการทำงานของนิสิตครูโดยมีความเชื่อในความสามารถของตนเป็นตัวแปรส่งผ่าน*.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หทัยนันท์ ตาลเจริญ. (2557). *การพัฒนาแบบวัดความถนัดทางเทคโนโลยีการศึกษาสำหรับการสอบคัดเลือก*.วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัสดิน แก้ววิช. (2559). *การศึกษาปัจจัยเชิงเหตุและผลของแรงจูงใจในการเรียนของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏ เขตจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน:การทดสอบทฤษฎีการกำหนดตนเอง.*

อทิติยา อินแก้ว. (2557). *การพัฒนาตัวบ่งชี้และมาตรวัดความฉลาดทางสุขภาวะของนักเรียน: การวิจัยแบบผสมวิธี.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อรรถพล สุขโข. (2556). *การจำลองสมการโครงสร้างความพึงพอใจของผู้ใช้อาคารเรียน*. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนันดา สัณฐิติวณิชย์. (2551). *การพัฒนาแบบวัดความสามารถในการอ่าน คิดวิเคราะห์ และเขียนสื่อความสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวัดและประเมินผลการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอื้ออารี จันทร. (2557). *การพัฒนาระบบการเรียนรู้จากการทำงานแบบผสมผสานและเสริมศักยภาพด้วยเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาทักษะการสื่อสารสำหรับผู้ดูแลเด็ก สังกัดองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีและการสื่อสารการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อังคณา จรรยา. (2556). *การพัฒนาตัวบ่งชี้คุณลักษณะนักวิจัยของนักเรียนทหาร: การทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของการวัดตามเหล่าทัพ*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัจฉราลักษณ์ วิเศษ. (2556). *การพัฒนาตัวบ่งชี้คุณธรรมจริยธรรมของครูพลศึกษา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาสุขศึกษาและพลศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัญชุลี ศิริประพนธ์โรจน์. (2557). *การพัฒนาเครื่องมือประเมินความสามารถในการให้เหตุผลเชิงกรณีของนิสิตนักศึกษาครูโดยใช้เอ็มอีคิวและสคริปต์คอนคอร์แดนซ์*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัจศรา ประเสริฐสิน, ดวงกมล ไตรวิจิตรคุณและสุวิมล ว่องวาณิช. (2555). *การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของความยึดมั่นผูกพันกับการวิจัยของครูโดยการวิเคราะห์โมเดลแข่งขัน*.วารสารพฤติกรรมศาสตร์. สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนทรวิโรฒ

อาทิตยา ดวงมณี. (2555). *การพัฒนายุทธศาสตร์การบริหารงานวิจัยโดยการเทียบเคียงสมรรถนะตามเกณฑ์คุณภาพการศึกษาเพื่อการดำเนินการที่เป็นเลิศของวิทยาลัยพยาบาลสังกัดกระทรวงกลาโหม*. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาอุดมศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อิสราภรณ์ ผิวขำ. (2555). *ปัจจัยที่ส่งผลต่อสุขภาวะทางจิตของครูโดยมีความขัดแย้งระหว่างงานกับครอบครัวเป็นตัวแปรส่งผ่าน*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิธีวิทยาการศึกษา. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Aitken, A. C. (1936). IV.—on least squares and linear combination of observations. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 55, 42-48.

Arsezen-Otamisa, P., & Yuzbasioglu, N. (2013). *Analysis of Antalya Tourism Cluster Perceived Performance with Structural Equation Model*.

Barnett, L. M., Vazou, S., Abbott, G., Bowe, S. J., Robinson, L. E., Ridgers, N. D., & Salmon, J. (2016). *Construct validity of the pictorial scale of Perceived Movement Skill Competence.*

Beaujean, A. A. (2014). Sample size determination for regression models using Monte Carlo methods in R. *Practical Assessment, Research & Evaluation, 19*(12), 2.

Bentler, P.M. and Bonnet, D.C. (1980), *"Significance Tests and Goodness of Fit in the Analysis of Covariance Structures,"* Psychological Bulletin, 88 (3), 588-606.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Bentler, P. M., & Chou, C.-P. (1987). Practical issues in structural modeling. *Sociological Methods & Research, 16*(1), 78-117.

Bollen, K.A. (1990), *"Overall Fit in Covariance Structure Models: Two Types of Sample Size Effects,"* Psychological Bulletin, 107 (2), 256-59.

Cherayi, S., & Jose, J. P. (2016). Empowerment and social inclusion of Muslim women: Towards a new conceptual model.

Diamantopoulos, A. (2000). *Introducting LISREL : a guide for the uninitiated / Adamantios Diamantopoulos and Judy A. Siguaw*: London : SAGE.

Fan, X., Thompson, B., & Wang, L. (1999). Effects of sample size, estimation methods, and model specification on structural equation modeling fit indexes. Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 6(1), 56-83.

Fan, X., & Sivo, S. A. (2007). Sensitivity of fit indices to model misspecification and model types. Multivariate Behavioral Research, 42(3), 509-529.

Glass, G. V., & Hopkins, K. D. (1996). *Statistical methods in education and psychology* (3rd ed ed.): Boston : Allyn and Bacon, .

Hair, J. F. (2009). Multivariate data analysis.

Hajmirsadeghi, R. S., Shamsuddin, S., & Foroughi, A. (2014). The Relationship between Behavioral & Psychological Aspects of Design Factors and Social Interaction in Public Squares.

Hu, L. t., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal, 6*(1), 1-55.

Jöreskog, K.G. & Sörbom, D. (1996). LISREL 8 User's reference guide. Chicago: Scientific Software.

Kim, K. H. (2005). The relation among fit indexes, power, and sample size in structural equation modeling. Structural Equation Modeling, 12(3), 368-390.

Kline, R. B. (1998). Methodology in the social sciences.

Kline, R. B. (2015). *Principles and practice of structural equation modeling*: Guilford publications.

Lee, G. S., & Yom, Y.-H. (2013). Structural Equation Modeling on Life-world Integration in People with Severe Burns.

Lindeman, R., Merenda, P., & Gold, R. (1980). Introduction to Bivariate and Multivariate Analysis *Scott, Foresman, & Co, New York*.

MacCallum, R. C., Browne, M. W., & Sugawara, H. M. (1996). Power analysis and determination of sample size for covariance structure modeling. Psychological methods, 1(2), 130.

Mardia, K.V. (1974). Applications of some measures of multivariate skewness and kurtosis in testing normality and robustness studies. Sankhya, Series B, 36, 115–128.

Marsh, K., English, M., Crawley, J., & Peshu, N. (1996). The pathogenesis of severe malaria in African children. Annals of Tropical Medicine & Parasitology, 90(4), 395-402

Muthén, L. K., & Muthén, B. O. (2002). How to use a Monte Carlo study to decide on sample size and determine power. *Structural Equation Modeling, 9*(4), 599-620.

Muthen, L. K., & Muthen, B. O. (2010). MPLUS user's guide (6th ed.) Los Angeles, CA: Muthen & Muthen.

Nunnally, J. C., Bernstein, I. H., & Berge, J. M. t. (1967). *Psychometric theory* (Vol. 226): JSTOR.

Olsson, U. H., Foss, T., Troye, S. V., & Howell, R. D. (2000). The performance of ML, GLS, and WLS estimation in structural equation modeling under conditions of misspecification and nonnormality. Structural equation modeling, 7(4), 557-595.

Pornprasertmanit, S. (2014). The Unified Approach for Model Evaluation in Structural Equation Modeling.

Pornprasertmanit, S., Miller, P., Schoemann, A., Quick, C., Jorgensen, T., & Pornprasertmanit, M. S. (2016). Package 'simsem'.

Prasertratana, S., Wirote Sanratana, D., & Kanok-Orn Somprach, D. (2014). Distributed Leadership: Structural Equation Model.

Prayitno, G., Matsushima, K., Jeong, H., & Kobayashi, K. (2014). Social Capital and Migration in Rural Area Development

Preacher, K. J., & Coffman, D. L. (2006). Computing power and minimum sample size for RMSEA. Retrieved from http://quantpsy.org/.

Fisher, R. A. (1915). Frequency distribution of the values of the correlation coefficient in samples from an indefinitely large population. Biometrika, 10(4), 507-521.

Rouquette, A., Badley, E. M., Falissard, B., & Dub, T. (2015). Moderators, mediators, and bidirectional relationships in the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) framework: An empirical investigation using a longitudinal design and Structural Equation Modeling (SEM).

Sepehrianazar, F. (2014). Structural Equation Modeling of Relationship between Mathematics Anxieties with Parenting Styles: The Meditational Role of Goal Orientation.

Shutea, V. J., D'Mellob, S., Bakerc, R., Choa, K., Boschb, N., Ocumpaughc, J., . . . Almedac, V. (2015). Modeling how incoming knowledge, persistence, affective states, and in-game progress influence student learning from an educational game.

şilyurt, E. Y. (2016). Teacher self-efficacy, academic self-efficacy, and computer self-efficacy as predictors of attitude toward applying computer-supported education.

Soper, D. S. (2016). A-priori Sample Size Calculator for Structural Equation Models. Retrieved from http://www.danielsoper.com/statcalc

Wolf, E. J., Harrington, K. M., Clark, S. L., & Miller, M. W. (2013). Sample size requirements for structural equation models an evaluation of power, bias, and solution propriety. *Educational and Psychological Measurement, 73*(6), 913-934.

Wang, W. S., Xiang, Y. Y., Wang, Q. H., Wang, F., Yang, F., & Lee, D. H. (2012). Functional renormalization group and variational Monte Carlo studies of the electronic instabilities in graphene near 1 4 doping. Physical Review B, 85(3), 035414.

Yasar, M. (2016). Assessing paddy farming sustainability in the Northern Terengganu Integrated Agricultural Development Area (IADA KETARA): A structural equation modelling approach.

Zucoloto, M. L. (2016). School engagement and burnout in a sample of Brazilian students.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

1.การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อการกำหนดขนาดตัวอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก 1 การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ในพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ต่ำ	ML	RT	MC	.000	.001	1.000
		PC		.000	.001	1.000
		SP		.004*	.001	.000
		RT	PC	.000	.001	1.000
		SP		.004*	.001	.000
		SP	RT	.004*	.001	.000
	RML	RT	MC	.001	.001	1.000
		PC		.000	.001	1.000
		SP		.006*	.001	.000
		RT	PC	.001	.001	1.000
		SP		.005*	.001	.000
		SP	RT	.005*	.001	.000
	GLS	RT	MC	.004*	.001	.000
		PC		.000	.001	1.000
		SP		.023*	.001	.000
		RT	PC	.005*	.001	.000
		SP		.024*	.001	.000
		SP	RT	.019*	.001	.000
ปานกลาง	ML	RT	MC	.000	.001	1.000
		PC		.000	.001	1.000
		SP		.021*	.001	.021
		RT	PC	.000	.001	1.000
		SP		.002	.001	.026
		SP	RT	.002	.001	.006
	RML	RT	MC	.000	.001	1.000
		PC		.001	.001	1.000
		SP		.003*	.001	.000
		RT	PC	.000	.001	.903
		SP		.003*	.001	.001
		SP	RT	.004*	.001	.001
	GLS	RT	MC	.000	.001	1.000
		PC		.000	.001	1.000
		SP		.014*	.001	.000
		RT	PC	-.001	.001	.782
		SP		.014*	.001	.000
		SP	RT	.015*	.001	.000

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
สูง	ML	RT	MC	-.002*	.001	.029
		PC		.000	.001	1.000
		SP		.002	.001	.052
		RT	PC	-.002*	.001	.021
		SP		.002	.001	.068
		SP	RT	.004*	.001	.000
	RML	RT	MC	-.001	.001	.477
		PC		.001	.001	1.000
		SP		.001	.001	.581
		RT	PC	-.002*	.001	.027
		SP		.000	.001	1.000
		SP	RT	.002*	.001	.005
	GLS	RT	MC	-.003*	.001	.000
		PC		.000	.001	1.000
		SP		.004*	.001	.000
		RT	PC	-.002*	.001	.006
		SP		.004*	.001	.000
		SP	RT	.007*	.001	.000

หมายเหตุ สถิติทดสอบจำแนกรายคู่ Bonferroni โดยที่ * significant ที่ .05.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก 2 การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ต่ำ	ML	RT	MC	.001	.001	1.000
		PC		.000	.001	1.000
		SP		.015*	.001	.000
		RT	PC	.001	.001	1.000
		SP		.015*	.001	.000
		SP	RT	.014*	.001	.000
	RML	RT	MC	.001	.001	1.000
		PC		.000	.001	1.000
		SP		.017*	.001	.000
		RT	PC	.001	.001	1.000
		SP		.017*	.001	.000
		SP	RT	.016*	.001	.000
	GLS	RT	MC	.022*	.001	.000
		PC		-.003	.001	.104
		SP		.150*	.001	.000
		RT	PC	.025*	.001	.000
		SP		.153*	.001	.000
		SP	RT	.128*	.001	.000
ปานกลาง	ML	RT	MC	.000	.001	1.000
		PC		.000	.001	1.000
		SP		.003	.001	.160
		RT	PC	.001	.001	1.000
		SP		.003	.001	.083
		SP	RT	.003	.001	.280
	RML	RT	MC	.000	.001	1.000
		PC		.000	.001	1.000
		SP		.003	.001	.239
		RT	PC	.000	.001	1.000
		SP		.003	.001	.194
		SP	RT	.002	.001	.415

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ปานกลาง	GLS	RT	MC	-.007*	.001	.000
		PC		.002	.001	1.000
		SP		.117*	.001	.000
		RT	PC	-.009*	.001	.000
		SP		.115*	.001	.000
		SP	RT	.124*	.001	.000
สูง	ML	RT	MC	.008*	.001	.000
		PC		.002	.001	.876
		SP		.000	.001	1.000
		RT	PC	.006*	.001	.000
		SP		-.002	.001	.449
		SP	RT	-.008*	.001	.000
	RML	RT	MC	.007*	.001	.000
		PC		.000	.001	1.000
		SP		-.003	.001	.150
		RT	PC	.008*	.001	.000
		SP		-.002	.001	.462
		SP	RT	-.010*	.001	.000
	GLS	RT	MC	-.050*	.001	.000
		PC		-.010*	.001	.000
		SP		.070*	.001	.000
		RT	PC	-.040*	.001	.000
		SP		.080*	.001	.000
		SP	RT	.120*	.001	.000

หมายเหตุ สถิติทดสอบจำแนกรายคู่ Bonferroni โดยที่ * significant ที่ .05.

ตารางที่ ก 3 การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายของค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมพัทธ์ของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ต่ำ	ML	RT	MC	.000	.003	1.000
		PC		.000	.003	1.000
		SP		-.001	.003	1.000
		RT	PC	-.001	.003	1.000
		SP		-.002	.003	1.000
		SP	RT	.000	.003	1.000
	RML	RT	MC	.000	.003	1.000
		PC		.001	.003	1.000
		SP		-.002	.003	1.000
		RT	PC	.000	.003	1.000
		SP		-.003	.003	1.000
		SP	RT	-.002	.003	1.000
	GLS	RT	MC	.003	.003	1.000
		PC		-.001	.003	1.000
		SP		.023*	.003	.000
		RT	PC	.005	.003	1.000
		SP		.024*	.003	.000
		SP	RT	.019*	.003	.000
ปานกลาง	ML	RT	MC	.000	.003	1.000
		PC		.001	.003	1.000
		SP		-.002	.003	1.000
		RT	PC	.000	.003	1.000
		SP		-.003	.003	1.000
		SP	RT	-.002	.003	1.000
	RML	RT	MC	-.002	.003	1.000
		PC		-.004	.003	1.000
		SP		-.004	.003	1.000
		RT	PC	.003	.003	1.000
		SP		.000	.003	1.000
		SP	RT	-.003	.003	1.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ปานกลาง	GLS	RT	MC	-.001	.003	1.000
		PC		.001	.003	1.000
		SP		.012*	.003	.004
		RT	PC	-.003	.003	1.000
		SP		.011*	.003	.011
		SP	RT	.014*	.003	.001
สูง	ML	RT	MC	.001	.003	1.000
		PC		-.004	.003	1.000
		SP		.001	.003	1.000
		RT	PC	.005	.003	.976
		SP		.005	.003	.768
		SP	RT	.000	.003	1.000
	RML	RT	MC	.002	.003	1.000
		PC		.000	.003	1.000
		SP		-.006	.003	.521
		RT	PC	.002	.003	1.000
		SP		-.006	.003	.602
		SP	RT	-.008	.003	.165
	GLS	RT	MC	-.012*	.003	.005
		PC		-.004	.003	1.000
		SP		-.020*	.003	.000
		RT	PC	-.008	.003	.106
		SP		-.017*	.003	.000
		SP	RT	-.008	.003	.112

หมายเหตุ สถิติทดสอบจำแนกรายคู่ Bonferroni โดยที่ * significant ที่ .05.

ตารางที่ ก 4 การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายของค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์น้ำหนักองค์ประกอบ

การระบุโมเดลผิดพลาด	ความโด่ง	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ต่ำ	-1	RT	MC	2.735*	.505	.000
		PC		.325	.505	1.000
		SP		10.932*	.505	.000
		RT	PC	2.410*	.505	.000
		SP		10.606*	.505	.000
		SP	RT	8.197*	.505	.000
	0	RT	MC	3.041*	.505	.000
		PC		.383	.505	1.000
		SP		11.789*	.505	.000
		RT	PC	2.658*	.505	.000
		SP		11.405*	.505	.000
		SP	RT	8.748*	.505	.000
	1	RT	MC	3.161*	.505	.000
		PC		.355	.505	1.000
		SP		12.598*	.505	.000
		RT	PC	2.806*	.505	.000
		SP		12.243*	.505	.000
		SP	RT	9.437*	.505	.000
	2	RT	MC	3.282*	.505	.000
		PC		.344	.505	1.000
		SP		13.123*	.505	.000
		RT	PC	2.938*	.505	.000
		SP		12.779*	.505	.000
		SP	RT	9.841*	.505	.000
ปานกลาง	-1	RT	MC	-.695	.505	1.000
		PC		.667	.505	1.000
		SP		6.523*	.505	.000
		RT	PC	-1.361*	.505	.050
		SP		5.857*	.505	.000
		SP	RT	7.218*	.505	.000
	0	RT	MC	-.711	.505	.974
		PC		.821	.505	.645
		SP		7.172*	.505	.000
		RT	PC	-1.532*	.505	.019
		SP		6.351*	.505	.000

การระบุโมเดลผิดพลาด	ความโด่ง	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ปานกลาง	0	SP	RT	7.883*	.505	.000
	1	RT	MC	-.866	.505	.539
		PC		.792	.505	.721
		SP		7.618*	.505	.000
		RT	PC	-1.658*	.505	.009
		SP		6.826*	.505	.000
		SP	RT	8.483*	.505	.000
	2	RT	MC	-.972	.505	.344
		PC		.833	.505	.613
		SP		7.890*	.505	.000
		RT	PC	-1.805*	.505	.003
		SP		7.056*	.505	.000
		SP	RT	8.861*	.505	.000
สูง	-1	RT	MC	-3.949*	.505	.000
		PC		-.408	.505	1.000
		SP		2.528*	.505	.000
		RT	PC	-3.541*	.505	.000
		SP		2.936*	.505	.000
		SP	RT	6.477*	.505	.000
	0	RT	MC	-4.248*	.505	.000
		PC		-.249	.505	1.000
		SP		3.005*	.505	.000
		RT	PC	-3.999*	.505	.000
		SP		3.253*	.505	.000
		SP	RT	7.253*	.505	.000
	1	RT	MC	-4.734*	.505	.000
		PC		-.365	.505	1.000
		SP		3.106*	.505	.000
		RT	PC	-4.369*	.505	.000
		SP		3.471*	.505	.000
		SP	RT	7.840*	.505	.000
	2	RT	MC	-5.084*	.505	.000
		PC		-.385	.505	1.000
		SP		3.241*	.505	.000
		RT	PC	-4.699*	.505	.000
		SP		3.625*	.505	.000
		SP	RT	8.325*	.505	.000

หมายเหตุ สถิติทดสอบจำแนกรายคู่ Bonferroni โดยที่ * significant ที่ .05.

ตารางที่ ก 5 การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายของค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์แปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อนจากการวัด

การระบุโมเดลผิดพลาด	ความโด่ง	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ต่ำ	-1	RT	MC	3.413*	.715	.000
		PC		.384	.715	1.000
		SP		13.850*	.715	.000
		RT	PC	3.029*	.715	.000
		SP		13.466*	.715	.000
		SP	RT	10.437*	.715	.000
	0	RT	MC	3.490*	.715	.000
		PC		.459	.715	1.000
		SP		14.133*	.715	.000
		RT	PC	3.031*	.715	.000
		SP		13.674*	.715	.000
		SP	RT	10.643*	.715	.000
	1	RT	MC	3.752*	.715	.000
		PC		.415	.715	1.000
		SP		15.331*	.715	.000
		RT	PC	3.337*	.715	.000
		SP		14.916*	.715	.000
		SP	RT	11.580*	.715	.000
	2	RT	MC	4.031*	.715	.000
		PC		.405	.715	1.000
		SP		16.607*	.715	.000
		RT	PC	3.626*	.715	.000
		SP		16.202*	.715	.000
		SP	RT	12.576*	.715	.000
ปานกลาง	-1	RT	MC	-.974	.715	1.000
		PC		.971	.715	1.000
		SP		9.459*	.715	.000
		RT	PC	-1.945*	.715	.047
		SP		8.489*	.715	.000
		SP	RT	10.433*	.715	.000
	0	RT	MC	-.961	.715	1.000
		PC		1.025	.715	.931
		SP		9.640*	.715	.000
		RT	PC	-1.986*	.715	.040
		SP		8.615*	.715	.000

การระบุโมเดลผิดพลาด	ความโด่ง	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ปานกลาง	0	SP	RT	10.601*	.715	.000
	1	RT	MC	-1.159	.715	.651
		PC		1.027	.715	.927
		SP		10.181*	.715	.000
		RT	PC	-2.185*	.715	.017
		SP		9.154*	.715	.000
		SP	RT	11.339*	.715	.000
	2	RT	MC	-1.405	.715	.314
		PC		1.066	.715	.836
		SP		10.991*	.715	.000
		RT	PC	-2.472*	.715	.005
		SP		9.925*	.715	.000
		SP	RT	12.396*	.715	.000
สูง	-1	RT	MC	-6.288*	.715	.000
		PC		-.581	.715	1.000
		SP		4.215*	.715	.000
		RT	PC	-5.706*	.715	.000
		SP		4.796*	.715	.000
		SP	RT	10.503*	.715	.000
	0	RT	MC	-6.305*	.715	.000
		PC		-.495	.715	1.000
		SP		4.156*	.715	.000
		RT	PC	-5.810*	.715	.000
		SP		4.651*	.715	.000
		SP	RT	10.461*	.715	.000
	1	RT	MC	-6.838*	.715	.000
		PC		-.485	.715	1.000
		SP		4.677*	.715	.000
		RT	PC	-6.353*	.715	.000
		SP		5.162*	.715	.000
		SP	RT	11.515*	.715	.000
	2	RT	MC	-7.527*	.715	.000
		PC		-.573	.715	1.000
		SP		4.860*	.715	.000
		RT	PC	-6.953*	.715	.000
		SP		5.433*	.715	.000
		SP	RT	12.386*	.715	.000

หมายเหตุ สถิติทดสอบจำแนกรายคู่ Bonferroni โดยที่ * significant ที่ .05.

ตารางที่ ก 6 การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายของค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลของค่าประมาณพารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝง

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ต่ำ	RT	MC	6.601*	.507	.000
	PC		.763	.507	.810
	SP		25.875*	.507	.000
	RT	PC	5.838*	.507	.000
	SP		25.112*	.507	.000
	SP	RT	19.274*	.507	.000
ปานกลาง	RT	MC	-1.767*	.507	.004
	PC		1.669*	.507	.008
	SP		15.460*	.507	.000
	RT	PC	-3.436*	.507	.000
	SP		13.790*	.507	.000
	SP	RT	17.226*	.507	.000
สูง	RT	MC	-8.916*	.507	.000
	PC		-.542	.507	1.000
	SP		6.346*	.507	.000
	RT	PC	-8.373*	.507	.000
	SP		15.262*	.507	.000
	SP	RT	6.888*	.507	.000

หมายเหตุ สถิติทดสอบจำแนกรายคู่ Bonferroni โดยที่ * significant ที่ .05.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก 7 การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายของอำนาจการทดสอบสมมติฐานของสถิติทดสอบไคแสควร์

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ต่ำ	RT	MC	-.578*	.037	.000
	PC		-.110*	.037	.020
	SP		-.770*	.037	.000
	RT	PC	-.468*	.037	.000
	SP		-.660*	.037	.000
	SP	RT	-.193*	.037	.000
ปานกลาง	RT	MC	.089	.037	.107
	PC		-.086	.037	.123
	SP		-.605*	.037	.000
	RT	PC	.175*	.037	.000
	SP		-.518*	.037	.000
	SP	RT	-.693*	.037	.000
สูง	RT	MC	.178*	.037	.000
	PC		.047	.037	1.000
	SP		-.279*	.037	.000
	RT	PC	.131*	.037	.003
	SP		-.457*	.037	.000
	SP	RT	-.326*	.037	.000

หมายเหตุ สถิติทดสอบจำแนกรายคู่ Bonferroni โดยที่ * significant ที่ .05.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก 8 การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายของอำนาจการทดสอบสมมติฐานจากค่าRMSEA

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ต่ำ	ML	RT	MC	.000	.009	1.000
		PC		.000	.009	1.000
		SP		-.204*	.009	.000
		RT	PC	.000	.009	1.000
		SP		-.204*	.009	.000
		SP	RT	-.204*	.009	.000
	RML	RT	MC	.000	.009	1.000
		PC		.000	.009	1.000
		SP		-.203*	.009	.000
		RT	PC	.000	.009	1.000
		SP		-.203*	.009	.000
		SP	RT	-.203*	.009	.000
	GLS	RT	MC	.000	.009	1.000
		PC		.000	.009	1.000
		SP		-.070*	.009	.000
		RT	PC	.000	.009	1.000
		SP		-.070*	.009	.000
		SP	RT	-.070*	.009	.000
ปานกลาง	ML	RT	MC	.044*	.009	.000
		PC		-.051*	.009	.000
		SP		-.283*	.009	.000
		RT	PC	.095*	.009	.000
		SP		-.232*	.009	.000
		SP	RT	-.327*	.009	.000
	RML	RT	MC	.046*	.009	.000
		PC		-.043*	.009	.000
		SP		-.276*	.009	.000
		RT	PC	.089*	.009	.000
		SP		-.233*	.009	.000
		SP	RT	-.322*	.009	.000
	GLS	RT	MC	.006	.009	1.000
		PC		-.004	.009	1.000
		SP		-.127*	.009	.000
		RT	PC	.010	.009	1.000
		SP		-.124*	.009	.000
		SP	RT	-.134*	.009	.000

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
สูง	ML	RT	MC	-.151*	.009	.000
		PC		-.003	.009	1.000
		SP		.017	.009	.318
		RT	PC	-.148*	.009	.000
		SP		.020	.009	.149
		SP	RT	.167*	.009	.000
	RML	RT	MC	-.160*	.009	.000
		PC		-.004	.009	1.000
		SP		.022	.009	.074
		RT	PC	-.156*	.009	.000
		SP		.026*	.009	.021
		SP	RT	.181*	.009	.000
	GLS	RT	MC	-.162*	.009	.000
		PC		-.020	.009	.121
		SP		.134*	.009	.000
		RT	PC	-.141*	.009	.000
		SP		.154*	.009	.000
		SP	RT	.296*	.009	.000

หมายเหตุ สถิติทดสอบจำแนกรายคู่ Bonferroni โดยที่ * significant ที่ .05.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก 9 การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายของอำนาจการทดสอบสมมติฐานจากค่า Gamma hat

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ต่ำ	ML	RT	MC	.000	.003	1.000
		PC		.000	.003	1.000
		SP		-.007	.003	.138
		RT	PC	.000	.003	1.000
		SP		-.007	.003	.138
		SP	RT	-.007	.003	.138
	RML	RT	MC	.000	.003	1.000
		PC		.000	.003	1.000
		SP		-.004	.003	1.000
		RT	PC	.000	.003	1.000
		SP		-.004	.003	1.000
		SP	RT	-.004	.003	1.000
	GLS	RT	MC	.000	.003	1.000
		PC		.000	.003	1.000
		SP		-.001	.003	1.000
		RT	PC	.000	.003	1.000
		SP		-.001	.003	1.000
		SP	RT	-.001	.003	1.000
ปานกลาง	ML	RT	MC	.000	.003	1.000
		PC		.000	.003	1.000
		SP		-.033*	.003	.000
		RT	PC	.000	.003	1.000
		SP		-.033*	.003	.000
		SP	RT	-.033*	.003	.000
	RML	RT	MC	.000	.003	1.000
		PC		.000	.003	1.000
		SP		-.034*	.003	.000
		RT	PC	.000	.003	1.000
		SP		-.034*	.003	.000
		SP	RT	-.034*	.003	.000
	GLS	RT	MC	.000	.003	1.000
		PC		.000	.003	1.000
		SP		-.004	.003	1.000
		RT	PC	.000	.003	1.000
		SP		-.004	.003	1.000
		SP	RT	-.004	.003	1.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
สูง	ML	RT	MC	.095*	.003	.000
		PC		-.008	.003	.123
		SP		-.081*	.003	.000
		RT	PC	.102*	.003	.000
		SP		-.073*	.003	.000
		SP	RT	-.176*	.003	.000
	RML	RT	MC	.103*	.003	.000
		PC		.000	.003	1.000
		SP		-.077*	.003	.000
		RT	PC	.104*	.003	.000
		SP		-.077*	.003	.000
		SP	RT	-.181*	.003	.000
	GLS	RT	MC	.001	.003	1.000
		PC		.000	.003	1.000
		SP		-.012*	.003	.003
		RT	PC	.001	.003	1.000
		SP		-.012*	.003	.002
		SP	RT	-.013*	.003	.001

หมายเหตุ สถิติทดสอบจำแนกรายคู่ Bonferroni โดยที่ * significant ที่ .05.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก 10 การวิเคราะห์อิทธิพลอย่างง่ายของอำนาจการทดสอบสมมติฐานจากค่า McDonald's centrality Index

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
ต่ำ	ML	RT	MC	.000	.006	1.000
		PC		.000	.006	1.000
		SP		-.056*	.006	.000
		RT	PC	.000	.006	1.000
		SP		-.056*	.006	.000
		SP	RT	-.056*	.006	.000
	RML	RT	MC	.000	.006	1.000
		PC		.000	.006	1.000
		SP		-.046*	.006	.000
		RT	PC	.000	.006	1.000
		SP		-.046*	.006	.000
		SP	RT	-.046*	.006	.000
	GLS	RT	MC	.000	.006	1.000
		PC		.000	.006	1.000
		SP		-.008	.006	1.000
		RT	PC	.000	.006	1.000
		SP		-.008	.006	1.000
		SP	RT	-.008	.006	1.000
ปานกลาง	ML	RT	MC	.002	.006	1.000
		PC		-.005	.006	1.000
		SP		-.160*	.006	.000
		RT	PC	.007	.006	1.000
		SP		-.155*	.006	.000
		SP	RT	-.162*	.006	.000
	RML	RT	MC	.002	.006	1.000
		PC		-.004	.006	1.000
		SP		-.152*	.006	.000
		RT	PC	.006	.006	1.000
		SP		-.148*	.006	.000
		SP	RT	-.154*	.006	.000
	GLS	RT	MC	.000	.006	1.000
		PC		.000	.006	1.000
		SP		-.030*	.006	.000
		RT	PC	.000	.006	1.000
		SP		-.030*	.006	.000
		SP	RT	-.030*	.006	.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การระบุโมเดลผิดพลาด	วิธีการประมาณค่า	วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง		ผลต่างค่าเฉลี่ย	SE	p-value
สูง	ML	RT	MC	.157*	.006	.000
		PC		.008	.006	.999
		SP		-.059*	.006	.000
		RT	PC	.149*	.006	.000
		SP		-.067*	.006	.000
		SP	RT	-.216*	.006	.000
	RML	RT	MC	.135*	.006	.000
		PC		-.015	.006	.070
		SP		-.066*	.006	.000
		RT	PC	.150*	.006	.000
		SP		-.051*	.006	.000
		SP	RT	-.201*	.006	.000
	GLS	RT	MC	.057*	.006	.000
		PC		.015	.006	.059
		SP		-.021*	.006	.002
		RT	PC	.042*	.006	.000
		SP		-.036*	.006	.000
		SP	RT	-.078*	.006	.000

หมายเหตุ สถิติทดสอบจำแนกรายคู่ Bonferroni โดยที่ * significant ที่ .05.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

1.คำสั่งที่ใช้ในวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลด้วยโปรแกรม R

1.1 คำสั่งสร้างข้อมูลตัวแปรสังเกตได้ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

1.2 คำสั่งวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันพร้อมปรับโมเดล

1.3 คำสั่งเก็บค่าพารามิเตอร์ของโมเดลประชากรโดยประมาณ

1.4 คำสั่งกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

1.5 คำสั่งสรุปค่าประสิทธิภาพ

2.คำสั่งที่ใช้ในเปรียบเทียบวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบต่างๆด้วยโปรแกรม R

2.1 คำสั่งสร้างชุดข้อมูลและวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

2.2 คำสั่งสรุปค่าประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.คำสั่งที่ใช้ในวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลด้วยโปรแกรม R

1.1 คำสั่งสร้างข้อมูลตัวแปรสังเกตได้ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

```
####1) try out phase
###### True population model
true.model<-"
ksi1=~0.7*x1+0.7*x2+0.7*x3+0.7*x4+0.133*x5
ksi2=~0.7*x5+0.7*x6+0.7*x7+0.7*x8+0.235*x9
ksi3=~0.7*x9+0.7*x10+0.7*x11+0.7*x12+0.32*x1

ksi1~~1*ksi1
ksi2~~1*ksi2
ksi3~~1*ksi3
ksi1~~0.3*ksi2
ksi1~~0.3*ksi3
ksi2~~0.3*ksi3
x1~~0.45*x1
x2~~0.45*x2
x3~~0.45*x3
x4~~0.45*x4
x5~~0.45*x5
x6~~0.45*x6
x7~~0.45*x7
x8~~0.45*x8
x9~~0.45*x9
x10~~0.45*x10
x11~~0.45*x11
x12~~0.45*x12
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
"
dist<- bindDist(skewness = rep(0,12), kurtosis = rep(0,12))
dat<- generate(true.model, n=250, indDist=dist) #tryout

1.2 คำสั่งวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันพร้อมปรับโมเดล
res.model<-"
ksi1=~NA*x1+x2+x3+x4
ksi2=~NA*x5+x6+x7+x8
ksi3=~NA*x9+x10+x11+x12

ksi1~~1*ksi1
ksi2~~1*ksi2
ksi3~~1*ksi3

"
output<-cfa(res.model,dat,estimator="ML") ##### สามารเปลี่ยนวิธีประมาณค่าได้
output
fitMeasures(output,"rmsea")
head(modindices(output,sort=T))
summary(output)
1.3 คำสั่งเก็บค่าพารามิเตอร์ของโมเดลประชากรโดยประมาณ
####2) estimate sample size phase
estpop.model<-"
ksi1=~0.728*x1+0.698*x2+0.701*x3+0.610*x4+0.121*x5
ksi2=~0.662*x5+0.663*x6+0.582*x7+0.588*x8+0.218*x9
ksi3=~0.572*x9+0.730*x10+0.636*x11+0.655*x12+0.358*x1
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ksi1~~0.314*ksi2

ksi1~~0.400*ksi3

ksi2~~0.323*ksi3

ksi1~~1.0*ksi1

ksi1~~1.0*ksi2

ksi2~~1.0*ksi3

x1~~0.439*x1

x2~~0.419*x2

x3~~0.450*x3

x4~~0.457*x4

x5~~0.437*x5

x6~~0.416*x6

x7~~0.526*x7

x8~~0.424*x8

x9~~0.471*x9

x10~~0.389*x10

x11~~0.371*x11

x12~~0.496*x12

"

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 คำสั่งกำหนดขนาดตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

เป็นการกำหนดโมเดลวิจัย ซึ่งสามารถปรับการระบุโมเดลผิดพลาดได้ ในกรณีเป็นการระบุโมเดลผิดพลาดระดับต่ำ

res.mc.model<-"

ksi1=~NA*x1+x2+x3+x4

ksi2=~NA*x5+x6+x7+x8+x9

ksi3=~NA*x9+x10+x11+x12+x1

```
ksi1~~1*ksi1
ksi2~~1*ksi2
ksi3~~1*ksi3
"
n.interval<-c(1800,1850,1900) #กำหนดช่วงขนาดตัวอย่าง
rep<-1000 #กำหนดจำนวนรอบการจำลอง
m<-0
est.param<-matrix(nrow=32,ncol=rep)
pvalue<-matrix(nrow=rep,ncol=length(n.interval))
rmsea<-matrix(nrow=rep,ncol=length(n.interval))
chisq<-matrix(nrow=rep,ncol=length(n.interval))
###เก็บค่าที่ได้จากการวิเคราะห์###
estimate.ml  <-array(, dim=c(32,rep,length(n.interval)))
se.est <-array(, dim=c(32,rep,length(n.interval)))
fitindices.ml<-array(, dim=c(3,rep,length(n.interval)))
###ตวรจสอบการแจกแจง###
skewness<-array(, dim=c(12,rep,length(n.interval)))
kurtosis<-array(, dim=c(12,rep,length(n.interval)))
mean<-array(, dim=c(12,rep,length(n.interval)))
variance<-array(, dim=c(12,rep,length(n.interval)))

for (k in 1:length(n.interval))
{

        for (i in 1:rep)
        {
        m<-m+1
        cat(m)
```

```
dist<- bindDist(skewness = rep(0,12), kurtosis = rep(0,12)) #สามารถกำหนดการแจกแจงได้
dat.mc<- generate(estpop.model, n=n.interval[k], indDist=dist)

skewness[,i,k]<-skewness(dat.mc)
kurtosis[,i,k]<-kurtosis(dat.mc)
mean[,i,k]<-colMeans(dat.mc)
variance[,i,k]<-diag(var(dat.mc))

out.mc<-cfa(res.mc.model,dat=dat.mc,estimator="ML") #สามารถเปลี่ยนวิธีประมาณค่าได้

estimate.ml [,i,k]<-parameterEstimates(out.mc)[,4]
se.est[,i,k]<-parameterEstimates(out.mc)[,5]
###fitindices####
chisq[i,k]<-fitMeasures(out.mc,"chisq")
pvalue[i,k]<-fitMeasures(out.mc,"pvalue")
rmsea[i,k]<-fitMeasures(out.mc,"rmsea")
        }
}
```

1.5 คำสั่งสรุปค่าประสิทธิภาพ

```
#คำนวณอำนาจการทดสอบสมมติฐาน
decision<-ifelse(pvalue<0.05,1,0)
power<-colMeans(decision)
power
#####################################################################
theta<-
c(0.7275269,0.6983364,0.7011190,0.7104596,0.6622381,0.6628373,0.5822645,0.588190
7,0.2177483,0.5722164,0.7302199,0.6358868,0.6546114,0.3576820,1,1,1,0.4394670,0.41
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
86046,0.4501788,0.4567859,0.4372064,0.4160942,0.5262274,0.4240572,0.4712384,0.38
91266,0.3709886,0.4960220,0.3135096,0.3998517,0.3234474)

#relative bias by ml
ml.theta.hatbar<-matrix(nrow=32,ncol=length(n.interval))
for (m in 1:length(n.interval))
{
ml.theta.hatbar[,m]<-rowMeans(estimate.ml[,,m])
}
ml.rb<-abs(ml.theta.hatbar-theta)/theta
ml.rb.per<-ml.rb*100 #คิดเป็น%
ml.rb.loading<-ml.rb[1:14,]
mean.ml.rb.loading<-colMeans(ml.rb.loading)
ml.rb.correlation<-ml.rb[30:32,]
mean.ml.rb.correlation<-colMeans(ml.rb.correlation)
ml.rb.error<-ml.rb[18:29,]
mean.ml.rb.error<-colMeans(ml.rb.error)

mean.ml.rb<-data.frame(mean.ml.rb.loading,mean.ml.rb.correlation,mean.ml.rb.error)

##calculate monte carlo standard error
#mcse by ml

se.ml<-array(, dim=c(32,rep,length(n.interval)))

for (m in 1:length(n.interval))
{
for(i in 1:rep)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
{
se.ml[,i,m]<-(estimate.ml[,i,m]-ml.theta.hatbar[,m])^2/rep
}
}
mcse.ml<-matrix(nrow=32,ncol=length(n.interval))

for (a in 1:length(n.interval))
{
mcse.ml[,a]<-sqrt(rowSums(se.ml[,,a]))
}

mcse.ml.loading<-mcse.ml[1:14,]
mean.mcse.ml.loading<-colMeans(mcse.ml.loading)
mcse.ml.correlation<-mcse.ml[30:32,]
mean.mcse.ml.correlation<-colMeans(mcse.ml.correlation)
mcse.ml.error<-mcse.ml[18:29,]
mean.mcse.ml.error<-colMeans(mcse.ml.error)

mean.mcse.ml<-
data.frame(mean.mcse.ml.loading,mean.mcse.ml.correlation,mean.mcse.ml.error)

##CV##
cv<-mcse.ml/ml.theta.hatbar
cv.per<-(mcse.ml/ml.theta.hatbar)*100 #คิดเป็น%
########fitindices##############
m.chisq<-colMeans(chisq)
m.pvalue<-colMeans(pvalue)
m.rmsea<-colMeans(rmsea)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
mean.fitindices<-data.frame(m.chisq,m.pvalue,m.rmsea)
############distribution############
row.name.dist<-c("skewness","kurtosis","mean","variance")
variable<-c("y1","y2","y3","y4","y5","y6","y7","y8","y9","y10","y11","y12")
mean.dist<-
data.frame(variable,rowMeans(skewness),rowMeans(kurtosis),rowMeans(mean),rowMeans(variance))
##สรุปผล##
n.interval
power
mean.ml.rb#รวม
mean.mcse.ml#รวม
ml.rb.per#รายพารามิเตอร์
cv.per#รายพารามิเตอร์
mean.fitindices
mean.dist
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.**คำสั่งที่ใช้ในเปรียบเทียบวิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างแบบต่างๆด้วยโปรแกรม R**

2.1 คำสั่งสร้างชุดข้อมูลและวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

```
true.population.model <-"
    f1 =~ 0.7*y1 + 0.7*y2 + 0.7*y3 + 0.7*y4 + 0.133*y5
    f2 =~ 0.7*y5 + 0.7*y6 + 0.7*y7 + 0.7*y8 + 0.235*y9
    f3 =~ 0.32*y1 + 0.7*y9 + 0.7*y10+ 0.7*y11+ 0.7*y12
    f1 ~~ 1*f1
    f2 ~~ 1*f2
    f3 ~~ 1*f3
    f1 ~~ 0.3*f2
```

```
    f1 ~~ 0.3*f3
    f2 ~~ 0.3*f3
    y1 ~~ 0.45*y1
    y2 ~~ 0.45*y2
    y3 ~~ 0.45*y3
    y4 ~~ 0.45*y4
    y5 ~~ 0.45*y5
    y6 ~~ 0.45*y6
    y7 ~~ 0.45*y7
    y8 ~~ 0.45*y8
    y9 ~~ 0.45*y9
    y10 ~~ 0.45*y10
    y11 ~~ 0.45*y11
    y12 ~~ 0.45*y12
"
#####research  model missspec low##### สามาราปรับได้ตามการระบุโมเดลผิดพลาด
research.model<- "
    f1 =~ NA*y1 + y2 + y3 + y4 +0*y5
    f2 =~ NA*y5 + y6 + y7 + y8 +y9
    f3 =~ NA*y1 + y9 + y10 + y11 + y12
    f1 ~~ 1*f1
    f2 ~~ 1*f2
    f3 ~~ 1*f3
    f1 ~~ f2
    f1 ~~ f3
    f2 ~~ f3
    y1 ~~ y1
    y2 ~~ y2
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
    y3 ~~ y3
    y4 ~~ y4
    y5 ~~ y5
    y6 ~~ y6
    y7 ~~ y7
    y8 ~~ y8
    y9 ~~ y9
    y10 ~~ y10
    y11 ~~ y11
    y12 ~~ y12
"

###กำหนดการแจกแจงของข้อมูล###
#dist <- bindDist(skewness = rep(0,12), kurtosis = rep(-1,12))
dist <- bindDist(skewness = rep(0,12), kurtosis = rep(0,12))
#dist <- bindDist(skewness = rep(0,12), kurtosis = rep(1.2,12))
#dist <- bindDist(skewness = rep(0,12), kurtosis = rep(2.1,12))
#รอบการจำลอง
rep<-1000
### ขนาดตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณในแต่ละวิธี
#n.mc.rt.pc.sp<-c(1850,580,1137,119)#ku=-1
n.mc.rt.pc.sp<-c(1850,580,1137,119)#ku=0
#n.mc.rt.pc.sp<-c(1850,580,1137,119)#ku=1
#n.mc.rt.pc.sp<-c(1800,580,1137,119)#ku=2
#เก็บค่าการวิเคราะห์
estimate.ml.fin <- array(, dim=c(32,rep,length(n.mc.rt.pc.sp)))
fitindices.ml.fin <-array(, dim=c(4,rep,length(n.mc.rt.pc.sp)))
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
power.ml.fin<-matrix(nrow=rep,ncol=length(n.mc.rt.pc.sp))
skewness.fin<-array(, dim=c(12,rep,length((n.mc.rt.pc.sp))))
kurtosis.fin<-array(, dim=c(12,rep,length((n.mc.rt.pc.sp))))
mean.fin<-array(, dim=c(12,rep,length((n.mc.rt.pc.sp))))
variance.fin<-array(, dim=c(12,rep,length((n.mc.rt.pc.sp))))
#เริ่มต้นการวิเคราะห์
for (m in 1:length(n.mc.rt.pc.sp))
{
k<-0
for(i in 1:rep)
{
tryCatch({
k<-k+1
cat("replicate=",k,"\n")
#สร้างข้อมูลการจำลอง
data <- generate(true.population.model, n=n.mc.rt.pc.sp[1], indDist=dist) #mc.sample

skewness.fin[,i,m]<-skewness(data)
kurtosis.fin[,i,m]<-kurtosis(data)
mean.fin[,i,m]<-colMeans(data)
variance.fin[,i,m]<-diag(var(data))

id<-seq(1,n.mc.rt.pc.sp[1],1)
pc.sample<-sample(id,size=n.mc.rt.pc.sp[3])
data.pc<-data[pc.sample,]

rt.sample<-sample(id,size=n.mc.rt.pc.sp[2])
data.rt<-data[rt.sample,]
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
sp.sample<-sample(id,size=n.mc.rt.pc.sp[4])
data.sp<-data[sp.sample,]
#สามารถเปลี่ยนวิธีประมาณค่าได้
out.mc.ml <- cfa(research.model,data=data,estimator="ML")
out.rt.ml <- cfa(research.model,data=data.rt,estimator="ML")
out.pc.ml <- cfa(research.model,data=data.pc,estimator="ML")
out.sp.ml <- cfa(research.model,data=data.sp,estimator="ML")
######################Estimates#####################################
##################  ml ############################################
###mc###
###factor loading###
f1y1234<-parameterEstimates(out.mc.ml)[1:4,4]
f2y5678<-parameterEstimates(out.mc.ml)[6:9,4]
f2y9<-parameterEstimates(out.mc.ml)[10,4]###mis###
f3y1<-parameterEstimates(out.mc.ml)[11,4]###mis###
f3y9101112<-parameterEstimates(out.mc.ml)[12:15,4]
###factor correlation###
f1f1f2f2f3f3<-parameterEstimates(out.mc.ml)[16:18,4]
f1f23<-parameterEstimates(out.mc.ml)[19:20,4]
f2f3<-parameterEstimates(out.mc.ml)[21,4]
###error correlation####
y1y1<-parameterEstimates(out.mc.ml)[22,4]
y2y2<-parameterEstimates(out.mc.ml)[23,4]
y3y3<-parameterEstimates(out.mc.ml)[24,4]
y4y4<-parameterEstimates(out.mc.ml)[25,4]
y5y5<-parameterEstimates(out.mc.ml)[26,4]
y6y6<-parameterEstimates(out.mc.ml)[27,4]
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
y7y7<-parameterEstimates(out.mc.ml)[28,4]
y8y8<-parameterEstimates(out.mc.ml)[29,4]
y9y9<-parameterEstimates(out.mc.ml)[30,4]
y10y10<-parameterEstimates(out.mc.ml)[31,4]
y11y11<-parameterEstimates(out.mc.ml)[32,4]
y12y12<-parameterEstimates(out.mc.ml)[33,4]
estimate.ml.fin[,i,1]<-
c(f1y1234,f2y5678,f2y9,f3y1,f3y9101112,f1f1f2f2f3f3,f1f23,f2f3,y1y1,y2y2,y3y3,y4y4,y5y
5,y6y6,y7y7,y8y8,y9y9,y10y10,y11y11,y12y12)
###rt###
###factor loading###
f1y1234<-parameterEstimates(out.rt.ml)[1:4,4]
f2y5678<-parameterEstimates(out.rt.ml)[6:9,4]
f2y9<-parameterEstimates(out.rt.ml)[10,4]###mis###
f3y1<-parameterEstimates(out.rt.ml)[11,4]###mis###
f3y9101112<-parameterEstimates(out.rt.ml)[12:15,4]
###factor correlation###
f1f1f2f2f3f3<-parameterEstimates(out.rt.ml)[16:18,4]
f1f23<-parameterEstimates(out.rt.ml)[19:20,4]
f2f3<-parameterEstimates(out.rt.ml)[21,4]
###error correlation####
y1y1<-parameterEstimates(out.rt.ml)[22,4]
y2y2<-parameterEstimates(out.rt.ml)[23,4]
y3y3<-parameterEstimates(out.rt.ml)[24,4]
y4y4<-parameterEstimates(out.rt.ml)[25,4]
y5y5<-parameterEstimates(out.rt.ml)[26,4]
y6y6<-parameterEstimates(out.rt.ml)[27,4]
y7y7<-parameterEstimates(out.rt.ml)[28,4]
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
y8y8<-parameterEstimates(out.rt.ml)[29,4]
y9y9<-parameterEstimates(out.rt.ml)[30,4]
y10y10<-parameterEstimates(out.rt.ml)[31,4]
y11y11<-parameterEstimates(out.rt.ml)[32,4]
y12y12<-parameterEstimates(out.rt.ml)[33,4]
estimate.ml.fin[,i,2]<-
c(f1y1234,f2y5678,f2y9,f3y1,f3y9101112,f1f1f2f2f3f3,f1f23,f2f3,y1y1,y2y2,y3y3,y4y4,y5y
5,y6y6,y7y7,y8y8,y9y9,y10y10,y11y11,y12y12)
###pc###
###factor loading###
f1y1234<-parameterEstimates(out.pc.ml)[1:4,4]
f2y5678<-parameterEstimates(out.pc.ml)[6:9,4]
f2y9<-parameterEstimates(out.pc.ml)[10,4]###mis###
f3y1<-parameterEstimates(out.pc.ml)[11,4]###mis###
f3y9101112<-parameterEstimates(out.pc.ml)[12:15,4]
###factor correlation###
f1f1f2f2f3f3<-parameterEstimates(out.pc.ml)[16:18,4]
f1f23<-parameterEstimates(out.pc.ml)[19:20,4]
f2f3<-parameterEstimates(out.pc.ml)[21,4]
###error correlation####
y1y1<-parameterEstimates(out.pc.ml)[22,4]
y2y2<-parameterEstimates(out.pc.ml)[23,4]
y3y3<-parameterEstimates(out.pc.ml)[24,4]
y4y4<-parameterEstimates(out.pc.ml)[25,4]
y5y5<-parameterEstimates(out.pc.ml)[26,4]
y6y6<-parameterEstimates(out.pc.ml)[27,4]
y7y7<-parameterEstimates(out.pc.ml)[28,4]
y8y8<-parameterEstimates(out.pc.ml)[29,4]
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
y9y9<-parameterEstimates(out.pc.ml)[30,4]
y10y10<-parameterEstimates(out.pc.ml)[31,4]
y11y11<-parameterEstimates(out.pc.ml)[32,4]
y12y12<-parameterEstimates(out.pc.ml)[33,4]
estimate.ml.fin[,i,3]<-
c(f1y1234,f2y5678,f2y9,f3y1,f3y9101112,f1f1f2f2f3f3,f1f23,f2f3,y1y1,y2y2,y3y3,y4y4,y5y
5,y6y6,y7y7,y8y8,y9y9,y10y10,y11y11,y12y12)
###sp###
###factor loading###
f1y1234<-parameterEstimates(out.sp.ml)[1:4,4]
f2y5678<-parameterEstimates(out.sp.ml)[6:9,4]
f2y9<-parameterEstimates(out.sp.ml)[10,4]###mis###
f3y1<-parameterEstimates(out.sp.ml)[11,4]###mis###
f3y9101112<-parameterEstimates(out.sp.ml)[12:15,4]
###factor correlation###
f1f1f2f2f3f3<-parameterEstimates(out.sp.ml)[16:18,4]
f1f23<-parameterEstimates(out.sp.ml)[19:20,4]
f2f3<-parameterEstimates(out.sp.ml)[21,4]
###error correlation####
y1y1<-parameterEstimates(out.sp.ml)[22,4]
y2y2<-parameterEstimates(out.sp.ml)[23,4]
y3y3<-parameterEstimates(out.sp.ml)[24,4]
y4y4<-parameterEstimates(out.sp.ml)[25,4]
y5y5<-parameterEstimates(out.sp.ml)[26,4]
y6y6<-parameterEstimates(out.sp.ml)[27,4]
y7y7<-parameterEstimates(out.sp.ml)[28,4]
y8y8<-parameterEstimates(out.sp.ml)[29,4]
y9y9<-parameterEstimates(out.sp.ml)[30,4]
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
y10y10<-parameterEstimates(out.sp.ml)[31,4]
y11y11<-parameterEstimates(out.sp.ml)[32,4]
y12y12<-parameterEstimates(out.sp.ml)[33,4]
estimate.ml.fin[,i,4]<-
c(f1y1234,f2y5678,f2y9,f3y1,f3y9101112,f1f1f2f2f3f3,f1f23,f2f3,y1y1,y2y2,y3y3,y4y4,y5y
5,y6y6,y7y7,y8y8,y9y9,y10y10,y11y11,y12y12)
################fitindices##############################################
fit.mc.ml <-fitMeasures(out.mc.ml, c("chisq", "df", "rmsea"))
ml.chisq  <-fit.mc.ml[1]
ml.rmsea  <-fit.mc.ml[3]
p<-12 #p=number of manifest variables
ml.gamma  <-p/(p+(2*fit.mc.ml[2])*(fit.mc.ml[3]^2))
ml.Mc     <-exp(-1*(fit.mc.ml[1]-fit.mc.ml[2])/(2*n.mc.rt.pc.sp[1]))
fitindices.ml.fin[,i,1]<-c(ml.chisq,ml.rmsea,ml.gamma,ml.Mc)

fit.rt.ml <-fitMeasures(out.rt.ml, c("chisq", "df", "rmsea"))
ml.chisq  <-fit.rt.ml[1]
ml.rmsea  <-fit.rt.ml[3]
p<-12 #p=number of manifest variables
ml.gamma  <-p/(p+(2*fit.rt.ml[2])*(fit.rt.ml[3]^2))
ml.Mc     <-exp(-1*(fit.rt.ml[1]-fit.rt.ml[2])/(2*n.mc.rt.pc.sp[2]))
fitindices.ml.fin[,i,2]<-c(ml.chisq,ml.rmsea,ml.gamma,ml.Mc)

fit.pc.ml <-fitMeasures(out.pc.ml, c("chisq", "df", "rmsea"))
ml.chisq  <-fit.pc.ml[1]
ml.rmsea  <-fit.pc.ml[3]
p<-12 #p=number of manifest variables
ml.gamma  <-p/(p+(2*fit.pc.ml[2])*(fit.pc.ml[3]^2))
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
ml.Mc      <-exp(-1*(fit.pc.ml[1]-fit.pc.ml[2])/(2*n.mc.rt.pc.sp[3]))
fitindices.ml.fin[,i,3]<-c(ml.chisq,ml.rmsea,ml.gamma,ml.Mc)

fit.sp.ml <-fitMeasures(out.sp.ml, c("chisq", "df", "rmsea"))
ml.chisq  <-fit.sp.ml[1]
ml.rmsea  <-fit.sp.ml[3]
p<-12 #p=number of manifest variables
ml.gamma  <-p/(p+(2*fit.sp.ml[2])*(fit.sp.ml[3]^2))
ml.Mc      <-exp(-1*(fit.sp.ml[1]-fit.sp.ml[2])/(2*n.mc.rt.pc.sp[4]))
fitindices.ml.fin[,i,4]<-c(ml.chisq,ml.rmsea,ml.gamma,ml.Mc)
################  power global  ############################
power.ml.fin[i,1]<-ifelse(fitMeasures(out.mc.ml)[5]<0.05,1,0)
power.ml.fin[i,2]<-ifelse(fitMeasures(out.rt.ml)[5]<0.05,1,0)
power.ml.fin[i,3]<-ifelse(fitMeasures(out.pc.ml)[5]<0.05,1,0)
power.ml.fin[i,4]<-ifelse(fitMeasures(out.sp.ml)[5]<0.05,1,0)
}, error=function(e){})
}
###กำจัดข้อมูลที่ติดลบ
negative.ml<-ifelse(estimate.ml.fin[,,]>=0,0,1)
sumneg.ml<-array(, dim=c(1,rep,length(n.mc.rt.pc.sp)))
for (m in 1:length(n.mc.rt.pc.sp))
{
sumneg.ml[,,m]<-ifelse(colSums(negative.ml[,,m])>0,1,0)
}
seq.ml<-array(,dim=c(1,rep,length(n.mc.rt.pc.sp)))
for (m in 1:length(n.mc.rt.pc.sp))
{
seq.ml[,,m]<-seq(sumneg.ml[,,m])*sumneg.ml[,,m]
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
}
estimate.ml.fin[,seq.ml,]<-NA
newrep.ml<-matrix(nrow=1,ncol=length(n.mc.rt.pc.sp))
for (m in 1:length(n.mc.rt.pc.sp))
{
newrep.ml[,m]<-sum(1-sumneg.ml[,,m])
}
```

2.2 คำสั่งสรุปค่าประสิทธิภาพ

```
theta<-
c(0.7,0.7,0.7,0.7,0.7,0.7,0.7,0.7,0.7,0.235,0.32,0.7,0.7,0.7,0.7,1,1,1,0.3,0.3,0.3,0.45,0.45,0.45,0.
45,0.45,0.45,0.45,0.45,0.45,0.45,0.45,0.45,0.45)

#relative bias by ml
ml.theta.hatbar<-matrix(nrow=32,ncol=length(n.mc.rt.pc.sp))
for (m in 1:length(n.mc.rt.pc.sp))
{
ml.theta.hatbar[,m]<-rowMeans(estimate.ml.fin[,,m],na.rm=T)
}
ml.rb<-abs(ml.theta.hatbar-theta)/theta

ml.rb.loading<-ml.rb[1:14,]
mean.ml.rb.loading<-colMeans(ml.rb.loading)
#ml.rb.correlation<-ml.rb[15:20,]
ml.rb.correlation<-ml.rb[18:20,]
mean.ml.rb.correlation<-colMeans(ml.rb.correlation)
ml.rb.error<-ml.rb[21:32,]
mean.ml.rb.error<-colMeans(ml.rb.error)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
row.names.samplesize<-c("MC","Rule of thumb","Preacher&Coffman","Soper")
mean.ml.rb<-
data.frame(mean.ml.rb.loading,mean.ml.rb.correlation,mean.ml.rb.error,row.names
=row.names.samplesize)

##calculate monte carlo standard error

se.ml<-array(, dim=c(32,rep,length(n.mc.rt.pc.sp)))
for (m in 1:length(n.mc.rt.pc.sp))
{
for(i in 1:rep)
{
se.ml[,i,m] <-(estimate.ml.fin[,i,m]-ml.theta.hatbar[,m])^2/newrep.ml[,m]
}
}
mcse.ml<-matrix(nrow=32,ncol=length(n.mc.rt.pc.sp))
for (a in 1:length(n.mc.rt.pc.sp))
{
mcse.ml[,a]<-sqrt(rowSums(se.ml[,,a],na.rm=T))
}

mcse.ml.loading<-mcse.ml[1:14,]
mean.mcse.ml.loading<-colMeans(mcse.ml.loading)
#mcse.ml.correlation<-mcse.ml[15:20,]
mcse.ml.correlation<-mcse.ml[18:20,]
mean.mcse.ml.correlation<-colMeans(mcse.ml.correlation)
mcse.ml.error<-mcse.ml[21:32,]
mean.mcse.ml.error<-colMeans(mcse.ml.error)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
row.names.samplesize<-c("MC","Rule of thumb","Preacher&Coffman","Soper")
mean.mcse.ml<-
data.frame(mean.mcse.ml.loading,mean.mcse.ml.correlation,mean.mcse.ml.error,row.
names =row.names.samplesize)
#CV
cv.per<-(mcse.ml/ml.theta.hatbar)*100
cv.per.loading<-cv.per[1:14,]
mean.cv.per.loading<-colMeans(cv.per.loading)
cv.per.correlation<-cv.per[18:20,]
mean.cv.per.correlation<-colMeans(cv.per.correlation)
cv.per.error<-cv.per[21:32,]
mean.cv.per.error<-colMeans(cv.per.error)
row.names.samplesize<-c("MC","Rule of thumb","Preacher&Coffman","Soper")
mean.cv.per<-
data.frame(mean.cv.per.loading,mean.cv.per.correlation,mean.cv.per.error,row.names
=row.names.samplesize)
mean.cv.per
####### power #########
#ตัดรอบที่ติดลบออก
t.sumneg.ml<-aperm(sumneg.ml)
t.sumneg.ml.fin<-matrix(t.sumneg.ml[,,1],nrow=rep,ncol=4,byrow=T)
t.sumneg.ml.fin.na<-ifelse(t.sumneg.ml.fin>0,NA,1)
power.ml.neg<-power.ml.fin*t.sumneg.ml.fin.na
power.ml<-colMeans(power.ml.neg,na.rm=T)
sample.size<-n.mc.rt.pc.sp
row.names.samplesize<-c("MC","Rule of thumb","Preacher&Coffman","Soper")
power<-data.frame(sample.size,power.ml,row.names =row.names.samplesize)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
power
##############################
#RMSEA
power.rmsea<-ifelse(fitindices.ml.fin[2,,]<0.05,1,0)
power.rmsea.neg<-power.rmsea*t.sumneg.ml.fin.na
colMeans(power.rmsea.neg,na.rm=T)
#gamma
power.gamma<-ifelse(fitindices.ml.fin[3,,]>0.95,1,0)
power.gamma.neg<-power.gamma*t.sumneg.ml.fin.na
colMeans(power.gamma.neg,na.rm=T)
#mc
power.mc<-ifelse(fitindices.ml.fin[4,,]>0.9,1,0)
power.mc.neg<-power.mc*t.sumneg.ml.fin.na
colMeans(power.mc.neg,na.rm=T)
power.fit<-
data.frame(sample.size,colMeans(power.rmsea.neg,na.rm=T),colMeans(power.gamma.
neg,na.rm=T),colMeans(power.mc.neg,na.rm=T),row.names =row.names.samplesize)
#######  fitindices  #########
fitindices.ml.fin[,seq.ml,]<-NA
        mean.fitindices.ml.mc<-rowMeans(fitindices.ml.fin[,,1],na.rm=T)
        mean.fitindices.ml.rt<-rowMeans(fitindices.ml.fin[,,2],na.rm=T)
        mean.fitindices.ml.pc<-rowMeans(fitindices.ml.fin[,,3],na.rm=T)
        mean.fitindices.ml.sp<-rowMeans(fitindices.ml.fin[,,4],na.rm=T)
row.names.fitindices<-c("chisq","rmsea","gamma","Mc")
mean.fitindices.ml<-
data.frame(mean.fitindices.ml.mc,mean.fitindices.ml.rt,mean.fitindices.ml.pc,mean.fitin
dices.ml.sp,row.names = row.names.fitindices)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

```
############distribution############
row.name.dist<-c("skewness","kurtosis","mean","variance")
variable<-c("y1","y2","y3","y4","y5","y6","y7","y8","y9","y10","y11","y12")
mean.dist.fin<-
data.frame(variable,rowMeans(skewness.fin),rowMeans(kurtosis.fin),rowMeans(mean.fin
),rowMeans(variance.fin))
############สรุปผล#################
power.fit
mean.ml.rb
mean.mcse.ml
mean.cv.per
mean.fitindices.ml
mean.dist.fin
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายยมล คงเจริญ เกิดวันจันทร์ที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2535 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาสังคมวิทยาและมานุษยวิทยาบัณฑิต (สาขาการวิจัยทางสังคม) จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2557 และได้เข้าศึกษาในหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต สาขา สถิติการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2558

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University