ประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน

The performance of parameter estimation in structural equation modeling under different statistical conditions

กัญญา บวรโชคชัย[1*]
Kanya Bowornchockchai[1]

Received: 25 February 2022; **Revised**: 20 April 2022; **Accepted**: 23 May 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนารูปแบบและจำลองข้อมูลภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน 2) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และ 3) เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีขั้นตอนดังนี้ 1) จำลองข้อมูลด้วยวิธีการมอนติคาร์โล เพื่อวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง 2) วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างและตรวจสอบดัชนีวัดความสอดคล้องเชิงประจักษ์ทั้ง 36 โมเดล 3) เปรียบเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยปัจจัยในการศึกษาคือ ขนาดตัวอย่าง วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ และระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ผลการศึกษาพบว่า 1) ข้อมูลที่จำลองขึ้นเป็นไปตามเงื่อนไข 2) การตรวจสอบดัชนีวัดความสอดคล้องเชิงประจักษ์ เมื่อใช้วิธีการประมาณค่าวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (ML) และวิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนัก (WLS) พบว่า โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง และพบค่าสถิติไคกำลังสองมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างใหญ่ขึ้น และ 3) การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยพิจารณาจากดัชนีความเอนเอียงสัมพัทธ์ (RB) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล (MCSE) พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบรายคู่ ที่ขนาดตัวอย่าง 200 ชุด พบว่า วิธีการประมาณค่าวิธี ML กับวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไป (GLS) และ ML กับ WLS ผลทำให้ดัชนี RB และ MCSE แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สำหรับขนาดตัวอย่างที่ระดับ 400 ชุด และ 1,000 ชุด ประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพในการประมาณค่า โมเดลสมการโครงสร้าง ขนาดตัวอย่าง การประมาณค่าพารามิเตอร์ ภาวะร่วมเส้นตรงพหุ

Abstract

The aims of this study were 1) to develop a model and simulate data under different statistical conditions, 2) to confirm model fit between developed models with the empirical data, and 3) to compare the factors influencing the efficiency of parameter estimation. The method, of this study was experimental research. The steps were as follows: 1) data generated by using the Monte Carlo method for analyzing the structural equation model 2) analyzing the structural equation model and confirming model fit with indices for all 36 models 3) comparing the factors influencing the efficiency of parameter estimation. The factors consisted of sample size, parameter estimation methods, and Level of Multicollinearity. The results showed that 1) the simulation conformed to the conditions 2) model fit indices showed that using Maximum likelihood (ML) and weighted least square (WLS) estimation methods, the model was consistent with the empirical data at all levels of sample size and found that the chi-square statistic tended to increase when the sample size was larger; and 3) In a comparison of factors affecting the efficiency of parameter estimation from

[1] อาจารย์, สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และนวัตกรรมข้อมูล แขนงวิทยาการข้อมูลและการวิเคราะห์สถิติเชิงธุรกิจ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

[1] Lecture, Department of Computer Science and Data Innovation, Data Science and Statistical Analysis in Business Sect , Faculty of Science and Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

* Corresponding author. E-mail: kunya.bo@ssru.ac.th , kunya_tu@yahoo.com

the relative bias index (RB) and Monte Carlo standard error (MCSE), there was an interaction between the sample size and the parameter estimation method that affecting the efficiency to parameter estimation at a significance level of 0.05. Multiple comparison to explore the mean differences between pairs of groups shows that at the 200 sample size, the ML vs. Generalized least square (GLS) and ML vs. WLS estimation methods showed a statistically significant difference in both RB and MCSE indices. Therefore for sample sizes 400 and 1000 sample, parameter estimates were no different.

Keywords: Parameter Estimation, Structural Equation Model, Sample Size, Parameter Estimation, Multicollinearity

บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันพบว่าสถิติวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural equation modeling: SEM) เป็นเทคนิควิธีการวิเคราะห์ทางสถิติมุ่งศึกษาโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงหรือโมเดลทางทฤษฎีสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ซึ่งเป็นสถิติวิเคราะห์แนวใหม่ที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างกว้างขวาง (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2548) อันเนื่องมาจากปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางสังคมศาสตร์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดปรากฏการณ์ที่มีสลับซับซ้อนมากกว่าในอดีต ทำให้ตัวแปรในการวิจัยมีความซับซ้อนและมีหลายตัวแปรทั้งตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variables) คือ ตัวแปรที่สังเกตได้หรือวัดค่าได้โดยตรง และตัวแปรแฝง (Latent Variables) คือ ตัวแปรที่ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง มีลักษณะเป็นนามธรรม แต่สามารถนิยามเชิงปฏิบัติการและวัดผ่านตัวแปรสังเกตได้ ซึ่งโมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) มีจุดเด่นและมีความเหมาะสม ดังนี้ 1) โมเดลการวิเคราะห์เป็นโมเดลเดียวกับโมเดลการวิจัย สามารถวิเคราะห์เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ทุกค่าด้วยการวิเคราะห์เพียงครั้งเดียว 2) โมเดลการวิเคราะห์มีตัวแปรแฝง และเทอมความคลาดเคลื่อน สามารถวิเคราะห์ทั้งโมเดลพร้อมกันได้และสามารถกำหนดให้การวัดตัวแปรสังเกตได้มีความคลาดเคลื่อนได้ เป็นการผ่อนคลายข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติวิเคราะห์แบบเดิม 3) เทอมความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันได้ ซึ่งเป็นการผ่อนคลายข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์แบบเดิมอีกประการหนึ่ง 4) เป็นสถิติที่สามารถตรวจสอบความตรงของโมเดล หรือตรวจสอบความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ได้ และ 5) สามารถทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของโมเดลเมื่อกลุ่มตัวอย่างเปลี่ยนไปได้ นอกจากนี้คุณสมบัติของโมเดลสมการโครงสร้างยังสามารถคำนวณค่าความเที่ยงของตัวแปรสังเกตได้ที่วัดตัวแปรแฝงในโมเดลได้ด้วย นอกจากนั้นยังสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงด้วยกันได้ (สุภมาส อังศุโชติ และคณะ 2554, หน้า 3)

การวิจัยครั้งนี้จึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อดำเนินการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างภายใต้ภาวะร่วมเส้นตรงพหุและเงื่อนไขข้อมูลสถิติที่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยมุ่งศึกษาว่าหากพบข้อมูลที่มีปัญหาภาวะร่วมเส้นตรงพหุและเงื่อนไขข้อมูลสถิติที่แตกต่างกัน เช่น มีขนาดตัวอย่างแตกต่างกันแล้ว เมื่อนำมาวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างจะยังคงมีประสิทธิภาพอยู่หรือไม่ โดยการตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ด้วยดัชนีประเมินความสอดคล้องโมเดล (Assessment of model fit) และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อใช้วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แตกต่างกัน การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบและจำลองข้อมูลภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกันสำหรับวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 การพัฒนารูปแบบและจำลองข้อมูลภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกันสำหรับวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง

การวิจัยครั้งนี้กำหนดรูปแบบการวิจัยซึ่งเป็นโมเดลเชิงทฤษฎีหรือเป็นโครงสร้างหลักสำหรับใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยกำหนดจำนวนตัวแปรแฝงและตัวแปรสังเกตได้ โมเดลการวิจัย ประกอบด้วย 3 ตัวแปรแฝง ประกอบด้วยตัวแปรแฝงภายนอก 1 ตัวแปร คือ K1 และตัวแปรแฝงภายใน 2 ตัวแปร คือ E1 และ E2 ซึ่งแต่ละตัวแปรแฝง ประกอบด้วย 4 ตัวแปรสังเกตได้ รวมเป็น 12 ตัวแปรสังเกตได้ คือ X1, X2, X3, X4, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7, Y8 นอกจากนี้ยังมีตัวแปร d1, d2, d3, d4 เป็นความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของตัวแปร X1-X4 ตัวแปร e1 - e8 เป็นความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของตัวแปร Y1-Y8 และ z1, z2 เป็นความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของตัวแปร E1, E2 โดยมีเส้นภาวะร่วมเส้นตรงพหุอยู่ที่ตัวแปร X1 และ X4 ดัง Figure 1

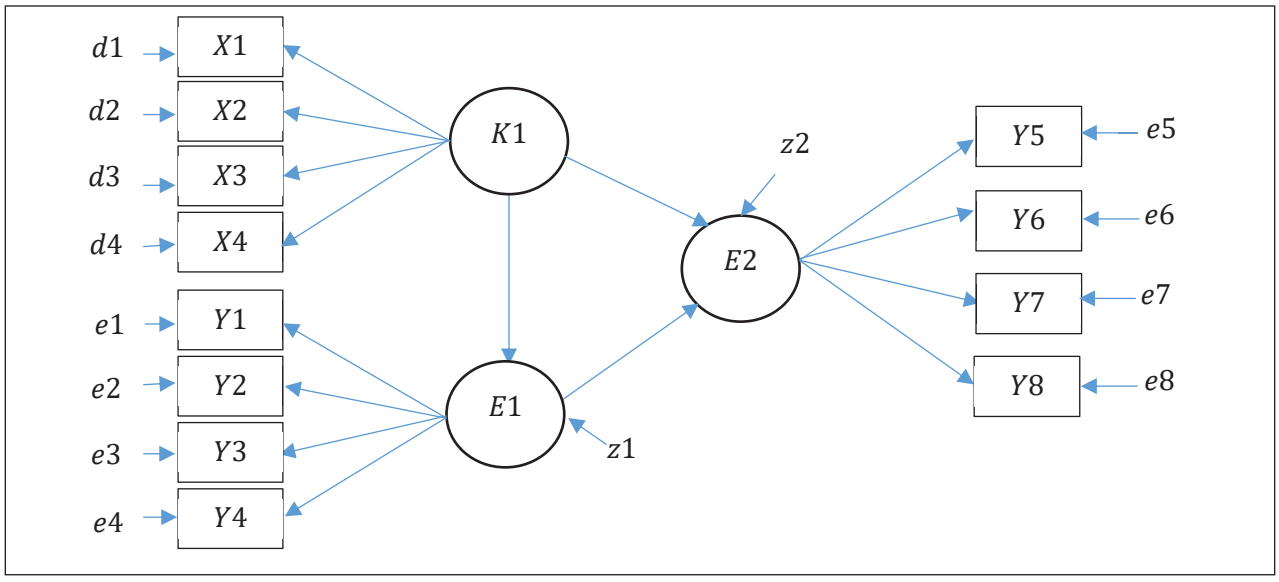


Figure 1 Structural equation model for this research

สำหรับโมเดลสมการโครงสร้างเมื่อเขียนในรูปสมการเมทริกซ์แบบที่มีตัวแปรครบทุกประเภทได้ตามโมเดลสมการโครงสร้างหรือโมเดลลิสเรล เมื่อเขียนในรูปสมการจะประกอบด้วยสมการการวัดสองสมการ และสมการเชิงโครงสร้างหนึ่งสมการ ดังนี้

1) โมเดลเชิงโครงสร้าง

$$[E] = [AL] + [BE][E] + [GA][K] + [z]$$

2) โมเดลการวัด

$$[X] = [TX] + [LX][K] + [d]$$
$$[Y] = [TY] + [LY][E] + [e]$$

โมเดลสมการโครงสร้างมีข้อตกลง ข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ดังนี้ 1) ข้อมูลควรมีลักษณะการแจกแจงปกติ (Normal distributions) มีความเป็นเอกพันธ์ของการกระจาย (Homoscedasticity) และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ต้องเป็นแบบเส้นตรง (Linear relationship) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ถดถอย 2) ไม่มีภาวะร่วมเส้นตรงพหุ (Multicollinearity) หรือภาวะที่ตัวแปรต้นมีความสัมพันธ์กันเองสูง 3) การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างมีเทอมความคลาดเคลื่อน (Error terms) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์การถดถอย แต่ยอมให้ ตัวแปรความคลาดเคลื่อนจากการวัดตัวแปรสังเกตได้สามารถสัมพันธ์กันได้ ซึ่งเป็นการผ่อนคลายข้อตกลงเบื้องต้นอีกประการหนึ่ง

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ โดยการจำลองข้อมูลด้วยวิธีการมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation) โดยใช้โปรแกรม R เช่น ต้องการสุ่มข้อมูลสำหรับแต่ละตัวแปรที่มีขนาดเท่ากับ 200 ชุด มีค่าเฉลี่ย เข้าใกล้ 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เข้าใกล้ 3 ด้วยคำสั่ง rnorm(200,0,3) โดยแต่ละโมเดลจะมีตัวแปรที่อยู่ภายใต้ภาวะร่วมเส้นตรงพหุคือตัวแปร X4 สำหรับวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างตามรูปแบบที่พัฒนาขึ้น สำหรับสถานการณ์ในการทดลองครั้งนี้ กำหนดเงื่อนไขในการได้มาซึ่งคำตอบการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ประกอบด้วย (1) ระดับปัญหาภาวะร่วมเส้นตรงพหุ 4 ระดับ ไม่มีภาวะร่วมเส้นตรงพหุ, มีภาวะร่วมเส้นตรงพหุที่ระดับ 0.80 0.90 และ 0.95 (2) ความเบ้ของตัวแปรสังเกตได้ 1 ระดับ มีค่าระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 เนื่องจากเงื่อนไขของการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง คือตัวแปรมีการแจกแจงปกติหรือมีการแจกแจงปกติหลายตัวแปร (Multivariate normal distribution) หากฝ่าฝืนข้อตกลงนี้จะทำให้ความคลาดเคลื่อนของโมเดลมีค่าต่ำกว่าปกติ (Under estimate) ดังนั้น ข้อมูลที่จำลองขึ้นภายใต้การแจกแจงปกติทำให้ค่าความเบ้ไม่สูงและจัดอยู่ใน 1 ระดับ (3) ขนาดตัวอย่าง 3 ระดับ คือ 200 400 และ 1,000 ชุด และ (4) วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในแต่ละสถานการณ์มี 3 วิธี คือ วิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum likelihood: ML) วิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไป (Generalized least square: GLS) และวิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนัก (Weighted least square: WLS) รวมทั้งสิ้น 36 เงื่อนไขการทดลอง เพื่อใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง 36 รูปแบบหรือโมเดล ตามเงื่อนไขการทดลองดังกล่าว

ระยะที่ 2 การตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ทั้ง 36 รูปแบบหรือโมเดล สำหรับสมมติฐานทางสถิติดังนี้

H_0: โมเดลตามสมมติฐานสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ หรือ เมทริกซ์ $\sum$ = เมทริกซ์ S

H_1: โมเดลตามสมมติฐานไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ หรือ เมทริกซ์ $\sum \neq$ เมทริกซ์ S

สำหรับดัชนีประเมินความสอดคล้องเชิงประจักษ์ 6 ดัชนี คือ (1) ค่าไคกำลังสอง (χ^2) (2) ค่าไคกำลังสองสัมพัทธ์ (χ^2/df) (3) ดัชนีระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (Comparative fit index: CFI) (4) ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบของ Tucker และ Lewis (Tucker-Lewis index: TLI) (5) ดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือมาตรฐาน (Standardized root mean square residual: SRMR) (6) ดัชนีรากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่า (Root mean square error of approximation: RMSEA)

ระยะที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของโมเดล ด้วยการศึกษาจากค่าขนาดอิทธิพล เป็นขนาดของผลที่เกิดขึ้นจากตัวแปรต้น ต่อตัวแปรตามที่ได้จากการศึกษาเชิงเปรียบเทียบหรือเชิงความสัมพันธ์ โดยการเปรียบเทียบขนาดอิทธิพล (η^2) ของปัจจัยด้านขนาดตัวอย่าง (Sample size) ระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ (Multicollinearity Level) และวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter estimation) ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการประมาณค่าโมเดลสมการโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วย 2 ดัชนี (1) ความเอนเอียงสัมพัทธ์ (Relative bias: RB) และ (2) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลหรือค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (Monte Carlo standard error: MCSE) โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง (Three-way ANOVA)

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิจัยออกเป็น 3 ตอน ตามวัตถุประสงค์การวิจัย ซึ่งผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การพัฒนารูปแบบและจำลองข้อมูลภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน

ผลจากการจำลองข้อมูลด้วยวิธีการมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation) โดยใช้โปรแกรม R ภายใต้ภาวะร่วมเส้นตรงพหุสำหรับวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างตามรูปแบบที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง โดยข้อมูลเป็นไปตามเงื่อนไขในการหาคำตอบการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ประกอบด้วย (1) ระดับปัญหาภาวะร่วมเส้นตรงพหุ 4 ระดับ ไม่มีภาวะร่วมเส้นตรงพหุ, มีภาวะร่วมเส้นตรงพหุที่ระดับ 0.80 0.90 และ 0.95 (2) ความเบ้ของตัวแปรสังเกตได้ 1 ระดับ คือ ±0.5 เนื่องจากข้อมูลที่จำลองขึ้นมามีการแจกแจงปกติทำให้ค่าความเบ้ที่ได้ไม่เกินช่วงดังกล่าว (3) ขนาดตัวอย่าง 3 ระดับ คือ 200 400 และ 1,000 ชุดและตรวจสอบค่าสถิติบรรยายลักษณะตัวแปรสังเกตได้ จำนวน 12 ตัวแปรภายใต้แต่ละโมเดลสมการโครงสร้าง รวม 36 โมเดล พบว่า ข้อมูลที่จำลองขึ้นสำหรับแต่ละตัวแปรในแต่ละโมเดลสมการโครงสร้าง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เข้าใกล้ 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เข้าใกล้ 3 และเมื่อตรวจสอบข้อมูลการแจกแจงปกติด้วยค่าสถิติ Kolmogorov-smirnov พบว่าข้อมูลที่จำลองขึ้นแทนตัวแปรสังเกตได้ทุกตัวแปรมีค่า p-value ระหว่าง 0.20 มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลที่จำลองขึ้นแทนตัวแปรสังเกตได้ทุกตัวแปรมีการแจกแจงปกติ โดยมีค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) ของตัวแปรสังเกตได้ของทุกตัวแปรอยู่ระหว่าง ±0.50

2. ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ภายใต้ภาวะร่วมเส้นตรงพหุและเงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน ซึ่งดัชนีวัดความสอดคล้องเชิงประจักษ์ที่ใช้ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย 1) ค่าสถิติไคกำลังสอง (χ^2) 2) ค่าสถิติไคกำลังสองสัมพัทธ์ (χ^2/df) 3) ดัชนี CFI 4) ดัชนี TLI 5) ดัชนี SRMR 6) ดัชนี RMSEA เมื่อดำเนินการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างทั้ง 36 โมเดล หรือตามสถานการณ์ 36 เงื่อนไขการทดลอง สรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ค่าสถิติไคกำลังสอง (Chi-square statistics: χ^2) เป็นดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ สมมุติฐานการทดสอบคือ H_0: S = $\sum$, H_1: S ≠ $\sum$ เมื่อ S แทน เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของข้อมูลเชิงประจักษ์ และ $\sum$ แทน เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้ที่ประมาณจากโมเดล ถ้าค่าไคกำลังสองไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่า โมเดลที่พัฒนาขึ้นสอดคล้องกับมูลเชิงประจักษ์มีผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS ในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ พบค่าสถิติไคกำลังสองไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงว่าโมเดลที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ แต่วิธีการประมาณค่าแบบ GLS ทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ พบว่าค่าสถิติไคกำลังสองมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงว่าโมเดลที่พัฒนาขึ้นไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ทั้งนี้วิธีการประมาณค่าแบบ GLS โปรแกรมไม่ให้ข้อแนะนำในการปรับโมเดล นอกจากนี้เป็นที่น่าสังเกตว่า ค่าสถิติไคกำลังสองสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ขนาด 200 ชุด พบค่าสถิติไค

กำลังสองมีค่าต่ำกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ขนาด 400 ชุด หรือ 1,000 ชุด โดยเมื่อขนาดตัวอย่างยิ่งมากค่าสถิติไคกำลังสองจะมีแนวโน้มสูงขึ้น และค่าสถิติไคกำลังสอง ในแต่ละระดับปัญหาภาวะร่วมเส้นตรงพหุพบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อระดับปัญหาภาวะร่วมเส้นตรงพหุสูงขึ้น

2) ค่าสถิติไคกำลังสองสัมพัทธ์ (χ^2/df) ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาค่าไคกำลังสองสัมพัทธ์ ควรมีค่าน้อยกว่า 2 (Bollen, 1989) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS พบว่าดัชนี χ^2/df ระหว่าง 1.232-1.698 และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ และวิธีการประมาณค่าแบบ GLS ที่ขนาดตัวอย่าง 200 ชุด ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 2 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนวิธีการประมาณค่าแบบ GLS ที่ขนาดตัวอย่าง 400 และ 1,000 ชุด ในทุกระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ พบว่าดัชนี χ^2/df ระหว่าง 4.554-9.392 ซึ่งมีค่ามากกว่า 2 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และ χ^2/df มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น

3) ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (Comparative fit index: CFI)) ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาดัชนีดังกล่าวควรมีค่ามากกว่า 0.95 (Diamantopoulos & Siguaw, 2000) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS พบว่า ดัชนี CFI มีค่าระหว่าง 0.983-0.999 และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.95 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่วิธีการประมาณค่าแบบGLS พบดัชนี CFI มีค่าระหว่าง 0.594-0.873 ทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ ดัชนี CFI มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

4) ดัชนี Tucker-Lewis index (TLI) เป็นดัชนีวัดความสอดคล้องกลมกลืนเชิงสัมพัทธ์ ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาดัชนีดังกล่าวควรมีค่ามากกว่า 0.95 (Diamantopoulos & Siguaw, 2000) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS พบว่า ดัชนี TLI มีค่าระหว่าง 0.971-0.998 และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.95 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่วิธีการประมาณค่าแบบ GLS พบว่าดัชนี TLI มีค่าระหว่าง 0.475 - 0.835 ทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ ดัชนี TLI มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

5) ดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือมาตรฐาน (Standardized root mean square residual: SRMR) เป็นค่าสรุปของ Standardized residual ควรมีค่าน้อยกว่า 0.05 (Diamantopoulos & Siguaw, 2000) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML พบว่าดัชนี SRMR มีค่าระหว่าง 0.010 - 0.045 ในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.08 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่วิธีการประมาณค่าแบบ GLS พบว่าดัชนี SRMR มีค่าระหว่าง 0.048 - 0.089 ส่วนใหญ่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ มีเฉพาะที่ขนาดตัวอย่าง 200 ชุดในภาวะร่วมเส้นตรงพหุที่ 0.8 และที่ขนาดตัวอย่าง 400 ชุดในภาวะร่วมเส้นตรงพหุที่ 0.95 พบว่าดัชนี SRMR ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยดัชนี SRMR มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น และวิธีการประมาณค่าแบบ GLS พบว่าดัชนี SRMR สูงกว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง ส่วนวิธีการประมาณค่าแบบ WLS ไม่แสดงผลดัชนี SRMR

6) ดัชนีรากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่า (Root mean square error of approximation: RMSEA) ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาดัชนีดังกล่าวควรมีค่าน้อยกว่า 0.05 (Diamantopoulos & Siguaw, 2000) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS พบว่า ดัชนี RMSEA มีค่าระหว่าง 0.019 - 0.040 และมีค่าใกล้เคียงกัน ในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ สำหรับวิธีการประมาณค่าแบบ GLS พบว่าดัชนี RMSEA มีค่าระหว่าง 0.050 - 0.109 โดยเฉพาะที่ขนาดตัวอย่าง 200 ชุด ในทุกระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ พบว่าดัชนี RMSEA เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนที่ขนาดตัวอย่าง 400 ชุด และ 1,000 ชุด พบว่าดัชนี RMSEA ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยค่าดัชนี RMSEA มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ดัชนี RMSEA ของวิธีการประมาณค่าแบบ GLS ยังมีค่าสูงกว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS อย่างชัดเจนในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง ผลการศึกษาดังแสดงตาม Figure 2-4

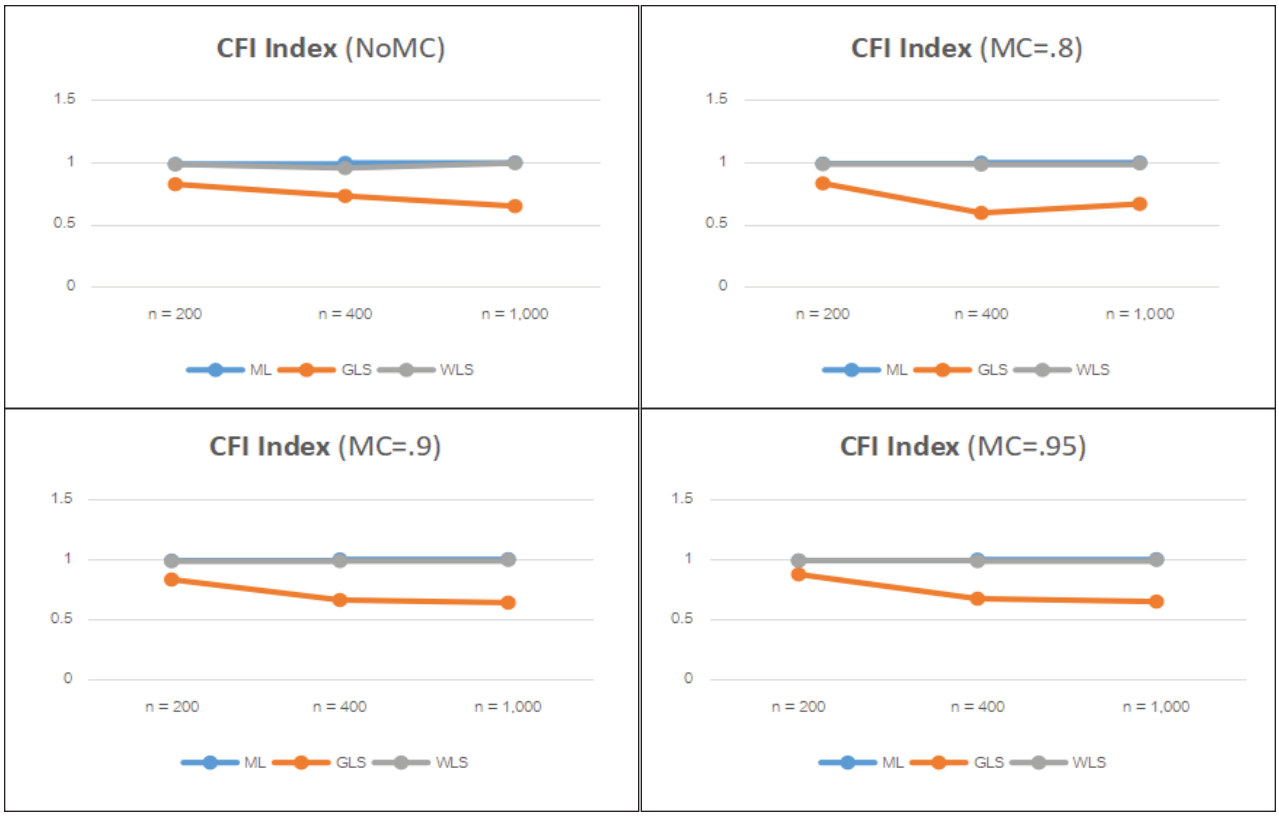


Figure 2 shows the Comparative fit index (CFI) each level of Multicollinearity (MC)

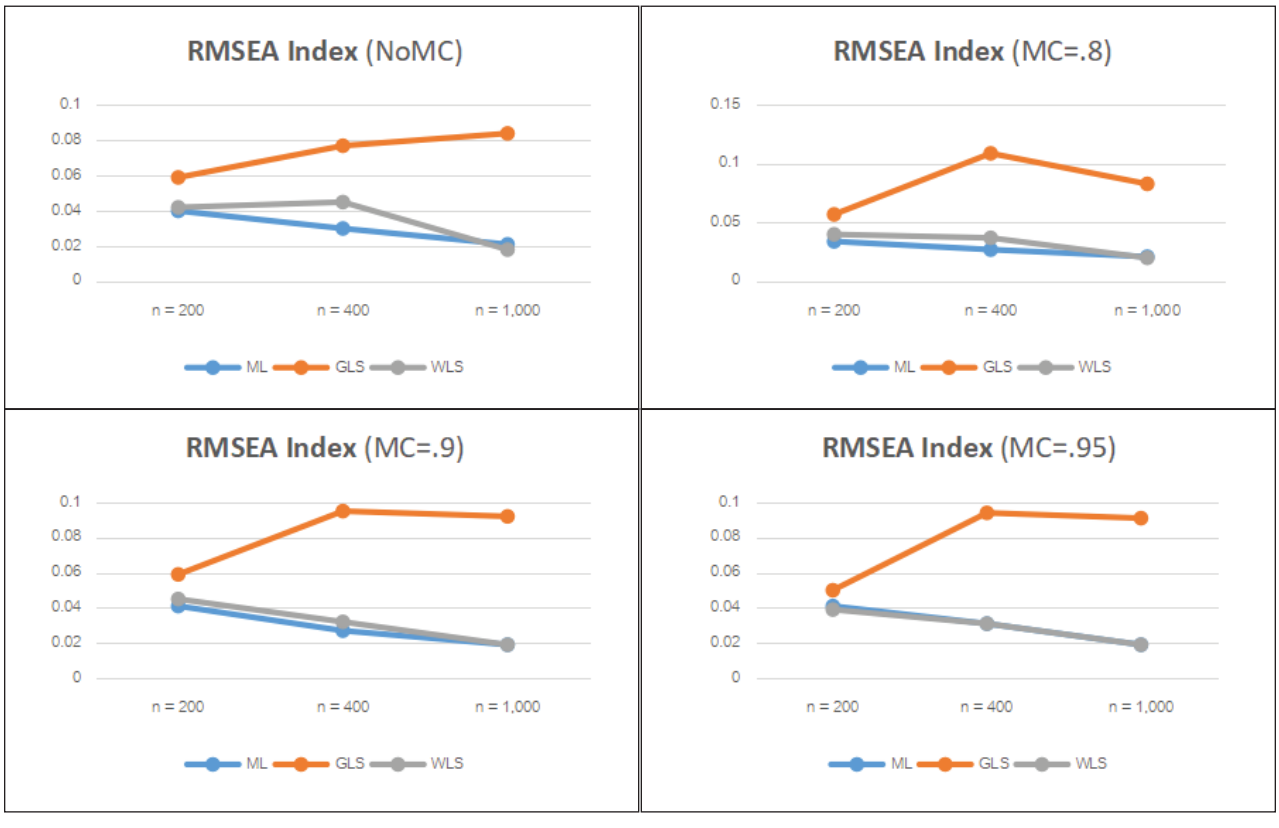
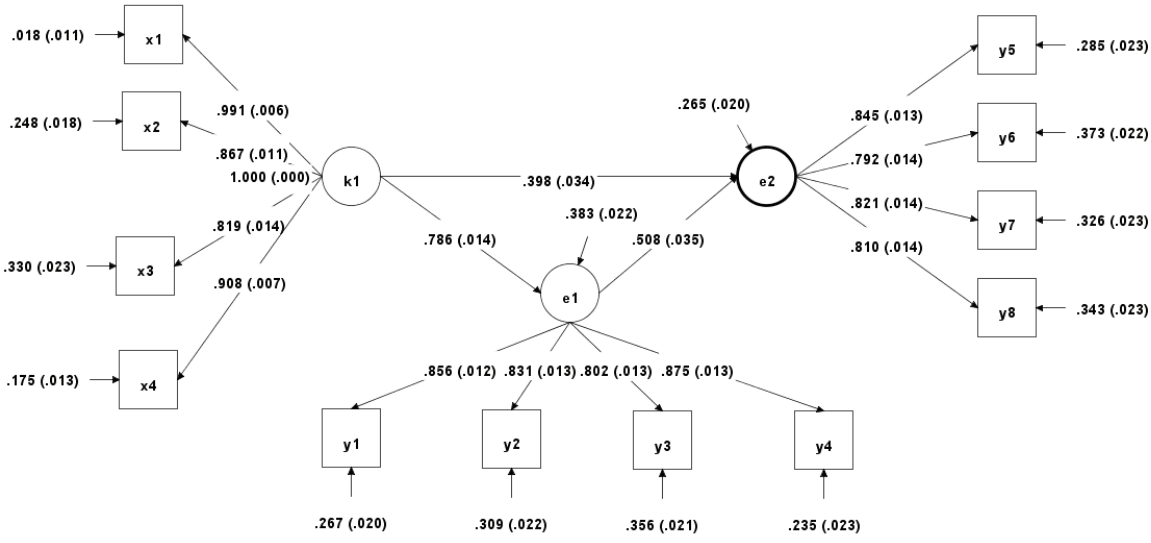


Figure 3 shows Root mean square error of Approximation (RMSEA) each level of Multicollinearity (MC)



χ^2= 44.354, df = 33, p = 0.0896, χ^2/df = 1.344, CFI = 0.999, TLI = 0.998, RMSEA = 0.019, SRMR = 0.010 (M*plus* 7 standardized estimates)

Figure 4 shows an example diagram of 1 of 36 structural equation model analysis results (MC)

นอกจากนี้ Figure 4 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง 1 โมเดลจากทั้งหมด 36 โมเดล โดยแต่ละโมเดลประกอบด้วยตัวแปรสังเกตได้ (X1-X4, Y1-Y8) ตัวแปรแฝงภายใน (E1, E2) และภายนอก(K1) และมีเส้นแสดงความสัมพันธ์โดยแต่ละเส้นแสดงค่าน้ำหนักองค์ประกอบ (B) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) ค่าแสดงผลความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ พบว่าเมื่อใช้วิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS ทั้ง 6 ดัชนี คือ ดัชนี χ^2, χ^2/df, CFI, TLI, SRMR และ RMSEA เป็นไปตามเงื่อนเกณฑ์ที่กำหนด แสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง ทั้งนี้วิธีการประมาณค่าแบบ GLS ค่าสถิติไคกำลังสองจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้โมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ สำหรับดัชนี RMSEA เมื่อใช้วิธีการประมาณค่าแบบ GLS ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง มีค่าสูงกว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

3. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์

ผลการวิจัยในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้ภาวะร่วมเส้นตรงพหุและเงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ประเด็น ดังนี้ 1) สถิติเชิงบรรยายประสิทธิภาพของวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ ในแต่ละระดับของภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่า ดังแสดงใน Table 1 และ 2) เปรียบเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของรูปแบบด้วยค่าขนาดอิทธิพล (η^2) ซึ่งเป็นขนาดของผลที่เกิดขึ้นจากตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตามที่ได้จากการศึกษาเชิงเปรียบเทียบ โดยการเปรียบเทียบขนาดอิทธิพลของดัชนี (1) ความเอนเอียงสัมพัทธ์ (Relative bias: RB) และ (2) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลหรือค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (Monte Carlo standard error: MCSE) กำหนดปัจจัยในการศึกษาดังนี้ ขนาดตัวอย่าง (Sample size) วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter estimation) และระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ (Multicollinearity Level) โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง ผลการศึกษาดังนี้ เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วม พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และให้ผลที่สอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลัก พบว่า (1) ปัจจัยด้านขนาดตัวอย่างส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และให้ผลที่สอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี และ (2) ปัจจัยด้านวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และให้ผลที่สอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี ส่วนปัจจัยด้านระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ดัชนี ไม่แตกต่าง ผลการศึกษาดังแสดงตาม Table 1-2

Table 1 Descriptive statistics of Relative Bias and Monte Carlo Standard Error

Level of multicollinearity	Estimation method	Relative bias (RB)			Monte Carlo standard error (MCSE)		
		n=200	n=400	n=1,000	n=200	n=400	n=1,000
No Multicollinearity	ML	0.1095	0.1032	0.1004	0.1124	0.1064	0.0893
	GLS	0.0942	0.0518	0.0797	0.0909	0.0631	0.0721
	WLS	0.0947	0.0864	0.1027	0.1033	0.0977	0.0966
Multicollinearity = 0.8	ML	0.1289	0.1033	0.0913	0.1284	0.1105	0.0819
	GLS	0.1076	0.0744	0.0786	0.1012	0.0779	0.0714
	WLS	0.0943	0.0598	0.1034	0.0891	0.0636	0.0937
Multicollinearity = 0.9	ML	0.1215	0.1132	0.0815	0.1153	0.1206	0.0759
	GLS	0.1032	0.0720	0.0903	0.1013	0.0753	0.0780
	WLS	0.0941	0.1129	0.0725	0.0892	0.1240	0.0655
Multicollinearity = 0.95	ML	0.1330	0.1005	0.0729	0.1254	0.1029	0.0698
	GLS	0.1016	0.0832	0.0985	0.0997	0.0837	0.0846
	WLS	0.0866	0.1243	0.0983	0.0875	0.1328	0.0902

Table 2 Comparison of effect size of factors influencing the efficiency of parameter estimation

Effects	**The efficiency of the structural equation model estimation**	
	Relative bias (RB)	**Monte Carlo standard error (MCSE)**
Model	0.580**	0.635**
Sample size	0.295**	0.415**
Parameter estimation	0.300**	0.341**
Multicollinearity Level	0.030	0.017
Sample size* Parameter estimation	0.349*	0.341*
Sample size* Multicollinearity Level	0.158	0.145
Parameter estimation* Multicollinearity Level	0.079	0.095
Sample size* Parameter estimation* Multicollinearity Level	0.0196	0.0179

หมายเหตุ: * p-value < 0.05, ** p-value < 0.01

Table 3 Multiple Comparison or post hoc test to explore the mean differences between pairs of groups of Relative bias (RB) and Monte Carlo standard error (MCSE)

Sample size	**Parameter estimation**		**Mean Difference (I-J)**	
	Level (I)	**Level (J)**	**Relative bias (RB)**	**Monte Carlo standard error (MCSE)**
n = 200	ML	GLS	.0215**	.0221**
		WLS	.0308**	.0281**
	GLS	WLS	.0093	.0060
n = 400	ML	GLS	.0347	.0351
		WLS	.0092	.0056
	GLS	WLS	-.0255	-.0295

Table 3 Multiple Comparison or post hoc test to explore the mean differences between pairs of groups of Relative bias (RB) and Monte Carlo standard error (MCSE) (cont.)

Sample size	Parameter estimation		Mean Difference (I-J)	
	Level (I)	Level (J)	Relative bias (RB)	Monte Carlo standard error (MCSE)
n = 1,000	ML	GLS	-.0002	.0027
		WLS	-.0077	-.0072
	GLS	WLS	-.0074	-.0100

หมายเหตุ: * p-value < 0.05, ** p-value < 0.01

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ กับประสิทธิภาพของวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ดัชนี ผลการศึกษาดังนี้ สำหรับขนาดตัวอย่างที่ระดับ 200 ชุด พบว่า มีเฉพาะวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบ ML กับ GLS และ ML กับ WLS เท่านั้นที่ส่งผลทำให้ดัชนีความเอนเอียงสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สำหรับขนาดตัวอย่างที่ระดับ 400 ชุด และ 1,000 ชุด ในทุกระดับของวิธีการประมาณค่า พบว่า ดัชนีความเอนเอียงสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สรุปผลและวิจารณ์ผล

1. การตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ด้วยดัชนีวัดความสอดคล้องเชิงประจักษ์จากการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง จำนวน 36 โมเดล ได้ผลดังนี้

ค่าสถิติไคกำลังสอง (χ^2) และค่าสถิติไคกำลังสองสัมพัทธ์ (χ^2/df) แสดงผลที่สอดคล้องกันสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ขนาด 200 ชุดหรือกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก พบค่าสถิติไคกำลังสองมีค่าต่ำกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ขนาด 400 ชุด หรือ 1,000 ชุด โดยเมื่อขนาดตัวอย่างยิ่งมากค่าสถิติไคกำลังสองจะมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Bollen (1989) เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ จะมีค่าเข้าใกล้ค่าอนันต์ สถิติไคกำลังสองมีแนวโน้มที่จะมีค่าสูง ทำให้ค่าสถิติไคกำลังสองมีโอกาสที่ให้นัยสำคัญ หรืออาจปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H0: โมเดลตามสมมติฐานสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์) ทั้งๆ ที่สมมติฐานหลักถูกต้อง

ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (Comparative fit index: CFI) และดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบของTucker และ Lewis (Tucker-Lewis index: TLI) สำหรับวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS พบว่า ดัชนี CFI มีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ มีค่ามากกว่า 0.95 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และสำหรับวิธีการประมาณค่าแบบ GLS พบค่าดัชนี CFI มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hu & Bentler (1998) ที่พบว่าดัชนี CFI และ TLI จะได้รับอิทธิพลจากวิธีประมาณค่าเมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามเงื่อนไขเกี่ยวกับข้อตกลงเบื้องต้น แต่จะไม่ได้รับอิทธิพลจากวิธีประมาณค่าเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติหรือเป็นไปตามเงื่อนไขเกี่ยวกับข้อตกลงเบื้องต้น และสอดคล้องกับ กันตินันท์ นันทนาดิศัย (2559) ศึกษาพบว่าดัชนี CFI, TLI, RMSEA และ RMSEA มีความเหมาะสมกว่าดัชนีอื่น เนื่องจากมีความไวต่อการระบุโมเดลผิดพลาด และมีความไวต่อตัวแปรแทรกซ้อนอื่น

2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน

ผลการศึกษาเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วม พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และให้ผลที่สอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลัก พบว่า (1) ปัจจัยด้านขนาดตัวอย่าง ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และสอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี และ (2) ปัจจัยด้านวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และสอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี ส่วนปัจจัยด้านระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ดัชนี ไม่แตกต่าง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ กับประสิทธิภาพของวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ดัชนี ผลการศึกษาดังนี้ สำหรับขนาดตัวอย่างที่ระดับ 200 ชุด พบว่า มีเฉพาะวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบ ML กับ GLS และ ML กับ WLS เท่านั้นที่ส่งผลทำให้ดัชนีความเอนเอียงสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่ระดับ 0.05 สำหรับขนาดตัวอย่างที่ระดับ 400 ชุด และ 1,000 ชุด ในทุกวิธีการประมาณค่า พบว่า ดัชนีความเอนเอียงสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า ในทุกระดับของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ไม่แตกต่าง ซึ่งสอดคล้องกับกันตินันท์ นันทนาดิศัย (2559) ศึกษาพบว่า วิธีการประมาณค่าแบบ ML มีความเอนเอียงสัมพัทธ์ต่างจากวิธี GLS และ WLS เนื่องจาก (1) วิธี GLS จะมีแนวโน้มให้ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่มีความเอียงเมื่อมีการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้น (Boomsma & Hoogland, 2001; Lei & Lomax, 2005; Olsson *et al*., 2000) ผลการวิจัยพบว่าวิธี GLS ยังคงมีความเอนเอียงสัมพัทธ์มากกว่าวิธี ML เมื่อขนาดตัวอย่างใหญ่ขึ้น ถึงแม้ว่าข้อมูลจะมีการแจกแจงแตกต่างไปจากการแจกแจงปกติไม่มาก ทั้งนี้งานวิจัยของ Boomsma & Hoogland (2001) พบว่าวิธี WLS ต้องการขนาดตัวอย่างจำนวนมากในการวิเคราะห์ จึงจะได้ค่าประมาณที่มีประสิทธิภาพ และมีความคงเส้นคงวา โดยขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมควรมีค่าเท่ากับ 40 เท่าต่อจำนวนพารามิเตอร์ในโมเดล วิธี WLS จึงจะมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี ML (Boomsma & Hoogland, 2001; Curran *et al*., 1996; Fan & Wang, 1998; Olsson *et al*., 2000)

เอกสารอ้างอิง

กันตินันท์ นันทนาดิศัย. (2559). *ประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์และดัชนีวัดความสอดคล้องเชิงประจักษ์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันภายใต้โมเดลระบุผิดพลาดและตัวแปรสังเกตได้มีการแจกแจงไม่ปกติ* [วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2548). *รายงานการประเมินการปฏิรูปการเรียนรู้ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน: พหุกรณีศึกษา*. สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ.

สุภมาส อังศุโชติ, สมถวิล วิจิตวรรณา และรัชนีกูล ภิณโญภานุวัฒน์. (2541). *สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์: เทคนิคการใช้โปรแกรม LISREL*. มิสชั่น มีเดีย.

Bollen, K.A. (1989). *Structural Equations and Latent Variables.* John Wiley & Sons Inc.

Boomsma, A. & Hoogland, J.J. (2001). *The robustness of LISREL modeling revisited. Structural equation models: Present and future.* A Festschrift in honor of Karl Joreskog.

Curran, P.J., West, S.G., & Finch, J.F. (1996). The robustness of test statistics to nonnormality and specification error in confirmatory factor analysis. *Psychological Methods, 1*(1), 16.

Diamantopoulos, A. & Siguaw, J.A. (2000). *Introducing LISREL: A Guide for the uninitiated.* SAGE Publications, Inc.

Fan, X. & Wang, L. (1998). Effects of potential confounding factors on fit indices and parameter estimates for true and misspecified models. *Educational and Psychological Measurement, 58*(5), 701-735.

Hu, L. & Bentler, P. M. (1998). Fit Indices in Covariance Structure Modeling: Sensitivity to Underparameterized Model Misspecification. *Psychological Methods. 3*(1), 424-453.

Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J. & Anderson, R.E. (2010). *Multivariate data analysis: A global perspectives.* Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, International.

Lei, M. & Lomax, R.G. (2005). The effect of varying degrees of nonnormality in structural equation modeling. *Structural Equation Modeling, 12*(1), 1-27.

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. *Structurat Equation Modeling, 7*(4), 557-595.