การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก

The Study of Efficiency of Parameter Estimation Methods in Multilevel Analysis of Small Sample Groups

มนตรี สังข์ทอง*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Montri Songthong*

Faculty of Science and Technology. RajaMangala University of Technology SuvarnaBhumi

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก ทั้ง 3 วิธี ประกอบด้วย วิธี FML วิธี RML และวิธี EB งานวิจัยนี้จำลองแบบปัญหาด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล โดยโปรแกรม R เวอร์ชั่น 2.13 ซึ่งมีเงื่อนไขการจำลองแบบปัญหา คือ 1) ประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้ายและความโด่งต่ำกว่าปกติ และเบ้ขวาความโด่งสูงกว่าปกติ 2) ตัวแปรอิสระระดับละ 1 ตัวแปร 3) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น เท่ากับ 0.01 และ 0.20 4) ขนาดตัวอย่าง ระดับละ 3 ขนาด คือ 5, 15 และ 25 โดยในแต่ละสถานการณ์จำลองชุดข้อมูลจำนวน 1,000 ชุด และสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบทางเดียว ผลการวิจัย พบว่า วิธี FML และวิธี RML มีประสิทธิภาพสูงสุดในการประมาณค่าอิทธิพลแบบคงที่ และวิธี EB มีประสิทธิภาพสูงสุดในการประมาณค่าอิทธิพลแบบสุ่ม โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 สำหรับวิธี FML กับวิธี RML มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าอิทธิพลแบบคงที่และอิทธิพลแบบสุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ทั้งกรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้ายและความโด่งต่ำกว่าปกติ และกรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ขวาและความโด่งสูงกว่าปกติ

คำสำคัญ : โมเดลเชิงเส้นลำดับชั้น กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก

Abstract

This research was aimed to compare the efficiency of parameter estimation in multilevel analysis of small sample groups in 3 methods which were FML, RML, and EB. This research simulated by using Monte Carlo technique, this research simulated problem with R program version 2.13. The conditions of simulation were 1) the population have negative skewness and platykurtic kurtosis distribution and positive skewness and leptokurtic kurtosis distribution; 2) one independent variable for each level; 3) Intraclass correlation coefficient were 0.01 and 0.20, and 4) sample sizes, 3 for each level which were 5, 15, and 25. Each condition was generated 1,000 simulated data sets and the statistics used to compare the efficiency was One-way Multivariate Analysis of Variance (One-way MANOVA). The results indicated that FML and RML have the highest efficiency in estimating the Fixed Effects. The EB has the highest efficiency in estimating the Random Effects. It was tested at the significant level of 0.01. For the FML and RML have the efficiency to estimate the Fixed and Random Effects difference not statistically significant at the 0.01 level in the population have negative skewness and platykurtic kurtosis distribution and positive skewness and leptokurtic kurtosis distribution.

Keyword : Hierarchical Linear Models, Small Sample Groups

***E-mail:** sonktong@yahoo.com

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

บทนำ

โมเดลเชิงเส้นลำดับชั้น (Hierarchical linear models: HLM) ถูกนำมาใช้ในการวิจัยทางการศึกษา การวิจัยเกี่ยวกับองค์กร การวิจัยทางเศรษฐศาสตร์ และการวิจัยทางชีววิทยา ซึ่งมีการกล่าวถึงในชื่อที่ต่างกันไป ได้แก่ โมเดลส่วนประกอบของความแปรปรวนหรือความแปรปรวนร่วม (variance or covariance components models) โมเดลสัมประสิทธิ์แบบสุ่ม (random coefficients models) โมเดลเชิงเส้นพหุระดับ (multilevel linear models) โมเดลอิทธิพลสุ่มและอิทธิพลผสม (mixed-effects and random -effects models) และโมเดลเชิงเส้นแบบผสม(mixed linear models) โดยโมเดลเชิงเส้นลำดับชั้นเป็นกรณีหนึ่งของโมเดลเชิงเส้นแบบผสม ซึ่งขยายแนวคิดมาจากโมเดลการถดถอยเชิงเส้นมาตรฐาน (Delpish, 2006) สำหรับในงานวิจัยนี้ จะเรียกว่า การวิเคราะห์พหุระดับ (Multilevel Analysis) ซึ่งสะท้อนถึงโครงสร้างและธรรมชาติของข้อมูลที่มีความสลับซับซ้อน มีการจัดเป็นหน่วยที่ซ้อนกันเป็นลำดับชั้น (Hierarchy) กล่าวคือหน่วยหลายๆ หน่วยในระดับเดียวกันถูกจัดกลุ่มเข้าด้วยกันเพื่อเป็นระดับที่สูงขึ้น โครงสร้างของข้อมูลเช่นนี้จึงเหมาะสมที่จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์พหุระดับ สำหรับการวิเคราะห์พหุระดับนั้นมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในกรณีที่ข้อมูลเป็นโครงสร้างลำดับชั้นแทนการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) แบบทั่วไป เนื่องมาจากสามารถแก้ปัญหาความผิดพลาด 3 ประการ คือ ความเอนเอียงของการสรุปข้ามระดับ (Aggregation Bias) ความผิดพลาดในการประมาณความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Misestimated Standard Error) และความเป็นวิวิธพันธุ์ของสัมประสิทธิ์การถดถอย (Heterogeneity of Regressions) (Raudenbush & Bryk, 2002)

เนื่องจากการวิเคราะห์พหุระดับได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายสาขาวิชา จึงได้มีการพัฒนาในด้านต่างๆ โดยเฉพาะการประมาณค่าพารามิเตอร์ และตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานอย่างต่อเนื่องแต่ก็มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความซับซ้อนในการคำนวณ และเมื่อมีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป ปัญหาที่สำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์พหุระดับ แม้ว่าจะมีโปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยในการวิเคราะห์ คือ ความเอนเอียงของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้งอิทธิพลแบบคงที่ (fixed effects) และอิทธิพลแบบสุ่ม (random effects) โดยวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียง ไม่ว่าจะประมาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบธรรมดา (Ordinary Least Squares: OLS) วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบนัยทั่วไป (Generalized Least Squares: GLS) และวิธีภาวะความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood: ML) โดยกลุ่มตัวอย่างต้องมีขนาดใหญ่พอ แต่เมื่อไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นจะมีผลทำให้ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์และการทดสอบดังกล่าวไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ (Van der Leeden, Busing & Meijer, 1997 ; Maas & Hox, 2001) ดังเช่นการศึกษาของ Maas & Hox (2004) ได้ศึกษาขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์พหุระดับกรณี 2 ระดับ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีภาวะความควรจะเป็นสูงสุดแบบจำกัด (Restricted Maximum Likelihood: RML) พบว่า การประมาณค่าอิทธิพลแบบคงที่ คือ ค่าจุดตัดแกน (Intercept) และค่าความชัน (Slope) มีความเอนเอียงโดยเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 0.05 และมีความเอนเอียงสูงสุดเมื่อจำนวนกลุ่มเท่ากับ 30 ขนาดของกลุ่มเท่ากับ 5 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเท่ากับ 0.30 โดยจะเกิดความเอนเอียงร้อยละ 0.30 นอกจากนี้แล้วจากการศึกษาของ Van der Leeden, Busing & Meijer (1997) พบว่า ถ้าข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับการแจกแจงแบบปกติ และขนาดตัวอย่างไม่ใหญ่พอจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีความเอนเอียง

สำหรับการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนส่วนตกค้าง (residual error) ของการวิเคราะห์ในระดับที่ 1 นั้น โดยทั่วไปจะมีความแม่นยำสูง จากการศึกษาของ Busing (1993) และ Van der Leeden & Busing (1994) โดยใช้การจำลองแบบปัญหา (simulation) พบว่า การประมาณค่าความแปรปรวน โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบนัยทั่วไปทำให้ได้ค่าประมาณที่มีความแม่นยำน้อยกว่าการประมาณด้วยวิธีภาวะความควรจะเป็นสูงสุด นอกจากนี้แล้วยังพบว่าการประมาณค่าความแปรปรวนในระดับกลุ่มนั้นจะมีความแม่นยำก็ต่อเมื่อมีจำนวนกลุ่มมากกว่า 100 กลุ่มขึ้นไป ต่อมา Maas & Hox (2001) ได้ศึกษา พบว่า เมื่อจำนวนกลุ่มประมาณ 30 กลุ่ม การประมาณค่าโดยใช้วิธี RML จะให้ค่าประมาณที่ค่อนข้างแม่นยำ แต่เมื่อจำนวนกลุ่มน้อยมากๆ การประมาณค่าโดยวิธีดังกล่าวจะให้ค่าประมาณที่ต่ำเกินกว่าค่าที่เป็นจริง

ในปัจจุบันวิธี Full Maximum Likelihood (FML) และวิธี RML เป็นวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับที่ได้รับการนำไปประยุกต์ใช้ในโปรแกรมสำเร็จรูปอย่างแพร่หลาย โดยมีข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวการแจกแจงแบบปกติและกลุ่มตัวอย่างต้องมีขนาดใหญ่ ดังนั้นการทดสอบสมมติฐานทางสถิติของการวิเคราะห์พหุระดับถ้ามีการเพิ่มขนาดตัวอย่างในทุกระดับ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตัวประมาณค่า และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะมีความถูกต้องสูงขึ้น และจะลู่เข้าสู่การแจกแจงแบบปกติตามทฤษฎีขีดจำกัดกลาง (Central limit theorem) จากการศึกษางานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า ขนาดตัวอย่างในแต่ละระดับมีผลต่อประสิทธิภาพของวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์โดยงานวิจัยดังกล่าวเป็นการศึกษากรณี 2 ระดับเป็นส่วนใหญ่เพื่อค้นหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม จากปัญหาที่กล่าวมา จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ กรณี 3 ระดับ ที่ใช้โดยทั่วไปในโปรแกรมวิเคราะห์พหุระดับ คือ วิธี FML วิธี RML และวิธีการประมาณค่าแบบเบส์เชิงประจักษ์ (Empirical Bayes: EB) ซึ่งเป็นแนวคิดที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน โดยการจำลองข้อมูลในเงื่อนไขที่กลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก และประชากรไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ เพื่อให้ได้สารสนเทศเกี่ยวกับวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็กและข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติต่อไป

แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีภาวะความควรจะเป็นสูงสุด

วิธีภาวะความควรจะเป็นสูงสุดเป็นวิธีการประมาณค่าที่มีการนำไปใช้ในโปรแกรมสำเร็จรูปเกี่ยวกับการวิเคราะห์พหุระดับมากที่สุด เนื่องมาจากวิธีภาวะความควรจะเป็นสูงสุดมีคุณสมบัติของการเป็นตัวประมาณค่าที่ดี คือ มีความแกร่ง (robust) มีประสิทธิภาพ (efficient) และมีความแนบนัย (consistent) แต่ตัวอย่างต้องมีขนาดใหญ่พอ วิธีภาวะความควรจะเป็นสูงสุดจะมีความแกร่งในการถูกละเลยข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับการแจกแจงของค่าส่วนตกค้าง การประมาณค่าโดยวิธีนี้จะใช้ฟังก์ชันความควรจะเป็นสูงสุด (likelihood function) โดยวิธีภาวะความควรจะเป็นสูงสุดที่ใช้ในการวิเคราะห์พหุระดับ จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ วิธี FML ซึ่งวิธีนี้จะประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและส่วนประกอบของความแปรปรวน (variance components) พร้อมกัน โดยใช้ฟังก์ชันความควรจะเป็นสูงสุด ส่วนวิธี RML จะประมาณค่าส่วนประกอบของความแปรปรวนก่อนโดยใช้ฟังก์ชันความควรจะเป็นสูงสุดและจึงทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

วิธี RML จะมีความเอนเอียงต่ำกว่าวิธี FML (Longford, 1993) โดยเฉพาะกรณีที่สมาชิกในแต่ละกลุ่มเท่ากัน (equal group sizes) การประมาณค่าโดยวิธี RML จะให้ค่าประมาณที่มีความแม่นยำมากกว่าวิธี FML (Searle, Casella & McCulloch, 1992) แต่ในทางปฏิบัติเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปส่วนใหญ่แล้วค่าประมาณในระดับที่ 2 จะแตกต่างกันน้อยมากเพียงทศนิยมในตำแหน่งที่สอง (Browne, 1998) โดยวิธี FML จะมีข้อได้เปรียบในการนำไปใช้ คือ ความยุ่งยากในการคำนวณน้อยกว่า และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจะใช้ฟังก์ชันความควรจะเป็นสูงสุดทั้งหมด

สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีภาวะความควรจะเป็นสูงสุดจะเริ่มต้นจากให้โปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าพารามิเตอร์อันดับต่อไปจะทำการปรับค่าเริ่มต้นโดยทำการวิเคราะห์วนซ้ำ และนำค่าประมาณที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณในครั้งที่ผ่านมาถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่าค่าประมาณนั้นมีความเหมาะสมหรือลู่เข้าสู่การเป็นค่าประมาณที่ดี แต่ในการวิเคราะห์พหุระดับโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจะมีปัญหาในเรื่องของจำนวนรอบในการวนซ้ำซึ่งเกินกว่าที่กำหนดไว้แล้วยังไม่ได้ค่าประมาณที่เหมาะสม และปัญหาอีกอย่างหนึ่ง คือ การประมาณค่าโดยใช้วิธีภาวะความควรจะเป็นสูงสุดตัวอย่างต้องมีขนาดใหญ่พอ (Hox, 2002)

วิธีการประมาณค่าแบบเบส์เชิงประจักษ์

วิธีการประมาณค่าแบบเบส์เชิงประจักษ์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์พหุระดับนี้ เรียกว่า Empirical Bayes หรือ Shrinkage Estimator เป็นวิธีที่ปรับปรุงตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ให้มีความแม่นยำขึ้น โดยใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักด้วยค่าความเที่ยง (Reliability) ดังนั้นการประมาณด้วยวิธีนี้จะให้ค่าที่แม่นยำ และมีความแปรปรวนต่ำกว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบธรรมดา โดยมีขั้นตอน ดังนี้ (Raudenbush & Bryk, 2002)

ขั้นที่ 1 ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและส่วนประกอบของความแปรปรวนด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบธรรมดา

ขั้นที่ 2 นำค่าประมาณที่ได้ในขั้นที่ 1 ไปประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Empirical Bayes ดังนี้

ตัวแปรอิสระระดับละ 1 ตัวแปร

$$\hat{\pi}_{0jk}^{EB} = \lambda_{jk}\hat{\pi}_{0jk} + \left(1 - \lambda_{jk}\right)\left(\hat{\beta}_{00k} + \hat{\beta}_{10k}X_{jk}\right)$$

เมื่อ $\lambda_{jk} = \dfrac{\tau_\pi}{\left[\tau_\pi + \sigma^2/n_{jk}\right]}$

โดยที่ λ_{jk} คือ ค่าความเที่ยงเพื่อปรับค่าจุดตัดแกนในระดับที่ 1

σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนระดับที่ 1

τ_π คือ ค่าความแปรปรวนระดับที่ 2

$$\hat{\beta}_{00k}^{EB} = \lambda_k\hat{\beta}_{0k} + \left(1 - \lambda_k\right)\left(\hat{\gamma}_{000} + \hat{\gamma}_{10k}W_k\right)$$

เมื่อ $\lambda_k = \dfrac{\tau_\beta}{\left[\tau_\beta + \left(\Sigma(\tau_\pi + \sigma^2/n_{jk})^{-1}\right)^{-1}\right]}$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โดยที่ λ_k คือ ค่าความเที่ยงเพื่อปรับค่าจุดตัดแกนในระดับที่ 2

σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนระดับที่ 1

τ_π คือ ค่าความแปรปรวนระดับที่ 2

τ_B คือ ค่าความแปรปรวนระดับที่ 3

ขั้นที่ 3 นำค่าประมาณที่ได้ในขั้นที่ 2 ไปเป็นตัวแปรตามในระดับที่ 2 และระดับที่ 3 และประมาณค่าอิทธิพลแบบคงที่และอิทธิพลแบบสุ่ม

ขนาดตัวอย่าง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติของการวิเคราะห์พหุระดับถ้ามีการเพิ่มขนาดตัวอย่างในทุกระดับ ตัวประมาณค่า และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานก็จะมีความถูกต้องสูงขึ้น จากการศึกษาของ Kreft (1996) เกี่ยวกับการกำหนดขนาดตัวอย่าง และได้นำเสนอเป็นกฎอย่างง่าย (rule of thumb) สำหรับการวิเคราะห์พหุระดับกรณี 2 ระดับ คือ กฎ 30/30 โดย Kreft (1996) กล่าวว่า เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการวิเคราะห์พหุระดับจำนวนกลุ่ม (number of groups) หรือหน่วยตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ในระดับที่ 2 ควรมีอย่างน้อย 30 กลุ่มขึ้นไป และต้องมีจำนวนบุคคลต่อกลุ่ม (number of individuals per group) หรือหน่วยตัวอย่างในระดับที่ 1 ใน 1 กลุ่มต้องมีสมาชิกอย่างน้อย 30 ขึ้นไป แต่จากการศึกษาของ Maas & Hox (2004) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความแกร่งของการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในกรณี 2 ระดับ สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานใช้วิธี Restricted Iterative Generalized Least Square(RIGLS) พบว่า เงื่อนไขในการจำลองแบบปัญหาไม่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของการประมาณค่าอิทธิพลแบบคงที่ แต่ทำให้การสร้างช่วงความเชื่อมั่นและการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของอิทธิพลแบบสุ่ม ในระดับที่ 2 นั้นไม่ถูกต้อง เพราะว่าในการจำลองที่จำนวนกลุ่มต่ำสุด คือ 30 นั้น มีถึง 9% ที่การประมาณค่าอิทธิพลแบบสุ่มในระดับที่ 2 อยู่นอกช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ดังนั้น กฎอย่างง่าย ของ Kreft (1996) นั้นพิจารณาการประมาณค่าอิทธิพลแบบคงที่ และอิทธิพลแบบสุ่มในระดับที่ 1 ไม่ได้คำนึงถึงการทดสอบนัยสำคัญของอิทธิพลแบบสุ่มในระดับที่ 2

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์

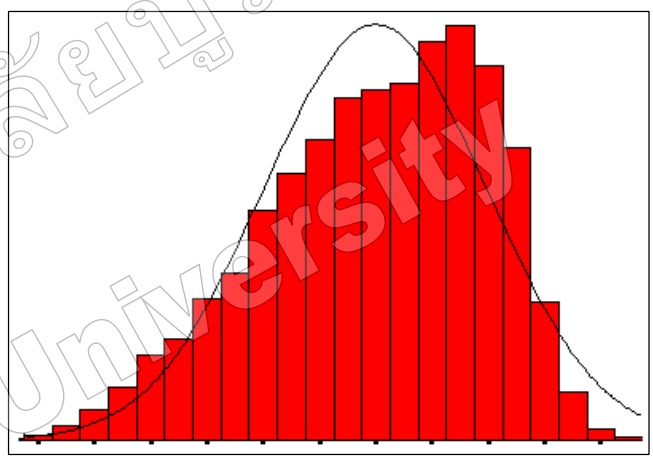
การวิจัยครั้งนี้วางแผนการวิจัยโดยการจำลองแบบปัญหาด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลด้วยโปรแกรม R เวอร์ชั่น 2.13

วิธีการวิจัย

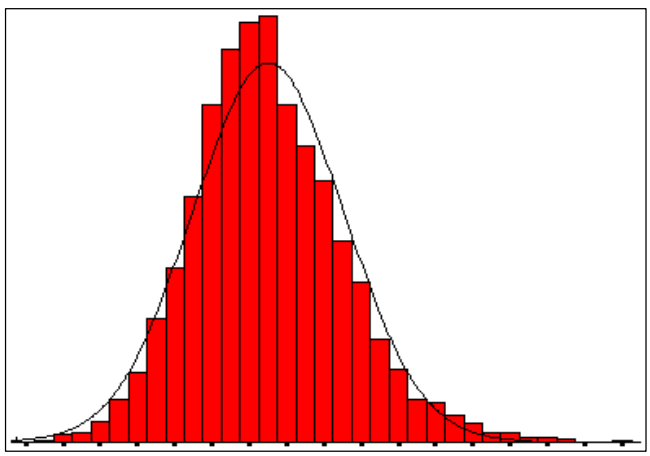
การดำเนินการทดลองครั้งนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. ประชากรที่ศึกษาประกอบด้วยประชากรที่มีการแจกแจงแบบเบ้ซ้ายและความโด่งต่ำกว่าปกติ คือ (S_k = -0.50, K = 2.60) มีลักษณะดังภาพที่ 1 และประชากรที่มีการแจกแจงแบบเบ้ขวาและความโด่งสูงกว่าปกติ (S_k = 0.50, K = 4.00) มีลักษณะดังภาพที่ 2

การสร้างตัวแปรสุ่มที่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ จำนวน 2 ลักษณะ โดยใช้วิธีของ Ramberg *et al*., (1979) ซึ่งเสนอวิธีการสร้างตัวแปรสุ่มที่ขึ้นอยู่กับความเบ้และความโด่ง ซึ่งตัวแปรสุ่มนี้



ภาพที่ 1 การแจกแจงแบบเบ้ซ้ายและความโด่งต่ำกว่าปกติ (S_k = -0.50, K = 2.60)



ภาพที่ 2 การแจกแจงแบบเบ้ขวาและความโด่งสูงกว่าปกติ (S_k = 0.50, K = 4.00)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ถูกกำหนดจากค่าพารามิเตอร์ 4 ค่า ดังนี้

$$x = \lambda_1 + \frac{[R^{\lambda_3} - (1 - R)^{\lambda_4}}{\lambda_2}$$

โดยที่ x คือ ตัวแปรที่มีการแจงแจกตามที่กำหนด

R คือ ตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปในช่วง (0, 1)

λ_1 คือ พารามิเตอร์ที่กำหนดตำแหน่ง (Location parameter)

λ_2 คือ พารามิเตอร์ที่กำหนดสเกล (Scale parameter)

λ_3,λ_4คือ พารามิเตอร์ที่กำหนดรูปร่าง (Shape parameter) ซึ่งขึ้นกับค่าความเบ้และความโด่งที่กำหนด ถ้าการแจกแจงเป็นแบบสมมาตร จะได้ว่า $\lambda_3 = \lambda_4$

สำหรับค่า $\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3$ และ λ_4 อ่านจากตารางการแจกแจงของ Ramberg *et al*. (1979) ตามค่าความเบ้และค่าความโด่งที่กำหนด โดยที่ค่า λ_1,λ_2 ที่ได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1 แต่ถ้าค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 จะต้องแปลงค่า λ_1,λ_2 จากตาราง ดังนี้

$\lambda_1(\mu, \sigma^2) = \lambda_1(0,1)\,\sigma + \mu$

$\lambda_2(\mu, \sigma^2) = \lambda_2(0,1) / \sigma$

2. สร้างข้อมูลตัวแปรตาม (Y) ให้มีลักษณะอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น (Linear Model) ดังนี้

$$Y_{ijk} = \gamma_{000} + \gamma_{001}W_k + \beta_{010}X_{jk} + \pi_{100}a_{ijk} + \varepsilon_{ijk} + r_{0jk} + u_{00}k$$

โดยที่ i คือ ระดับที่ 1, j คือ ระดับที่ 2 และ k คือ ระดับที่ 3

$i = 1,2,\ldots,n_{jk}$

$j = 1,2,\ldots,J_k$

$k = 1,2,\ldots,K$

โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย คือ $\gamma_{000} = 3$, $\gamma_{001} = 5$, $\beta_{010} = 6$ และ $\pi_{100} = 7$ และกำหนดค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน ดังนี้

a	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ	7	ความแปรปรวนเท่ากับ 3
X	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ	10	ความแปรปรวนเท่ากับ 3
W	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ	13	ความแปรปรวนเท่ากับ 3
ε	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ	0	ความแปรปรวนเท่ากับ 3
r	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ	0	ความแปรปรวนเท่ากับ 3
u	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ	0	ความแปรปรวนขึ้นอยู่กับค่า ICC = 0.01 และ 0.20

3. กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

ระดับที่ 1 จำนวน 3 ขนาด คือ 5, 15 และ 25

ระดับที่ 2 จำนวน 3 ขนาด คือ 5, 15 และ 25

ระดับที่ 3 จำนวน 3 ขนาด คือ 5, 15 และ 25

4. วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบกัน ประกอบด้วย วิธี FML วิธี RML และวิธี EB

5. ในแต่ละสถานการณ์จำลองชุดข้อมูลจำนวน 1,000 ชุด โดยใช้เทคนิคมอนติ คาร์โล

6. พิจารณาประสิทธิภาพของวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก สิ่งที่พิจารณา คือ ค่าของ $\underline{\hat{\theta}}$ แตกต่างจากค่าพารามิเตอร์เพียงไร ทั้งนี้เพราะถ้าค่าส่วนใหญ่ของ $\underline{\hat{\theta}}$ มีความแตกต่างจากค่า $\underline{\theta}$ น้อย ก็แสดงว่าโอกาสที่ค่าประมาณจะตกอยู่ใกล้ค่าจริงย่อมจะมาก ตัวประมาณที่มีลักษณะเช่นนี้ย่อมจะดีกว่าตัวประมาณที่มีค่าที่เป็นไปได้กระจายออกจากค่าที่ต้องการประมาณมาก ดังนั้นเกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คือ ค่าความเอนเอียง (Bias) และวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด คือ วิธีประมาณค่าที่มีค่าความเอนเอียงต่ำที่สุด ดังนั้นเกณฑ์การตัดสินประสิทธิภาพคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

ค่าความเอนเอียงของตัวประมาณค่า คือ

$$Bias(\hat{\theta}) = \frac{\sum_{t=1}^{1,000}\hat{\theta}_t}{1,000} - \theta$$

เมื่อ $Bias(\hat{\theta})$ คือ ค่าความเอนเอียงของตัวประมาณค่า

θ คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณ

$\hat{\theta}_t$ คือ ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ θ ในการทำซ้ำรอบที่ t

t คือ จำนวนรอบของการทำซ้ำ

7. การเปรียบเทียบค่าความเอนเอียงของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์

การเปรียบเทียบค่าความเอนเอียงของอิทธิพลแบบคงที่ (FB) และอิทธิพลแบบสุ่ม (RB) ซึ่งมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$FB = \frac{\sum_{i=1}^{P} Bias(\hat{\theta}_i)}{P}$$

เมื่อ *FB* คือ ค่าความเอนเอียงของอิทธิพลแบบคงที่

$Bias(\hat{\theta}_i)$ คือ ค่าความเอนเอียงของอิทธิพลแบบคงที่ตัวที่ i

P คือ จำนวนพารามิเตอร์ที่ประมาณค่าของอิทธิพลแบบคงที่

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^{P} Bias(\hat{\theta}_i)}{P}$$

เมื่อ *RB* คือ ค่าความเอนเอียงของอิทธิพลแบบสุ่ม

$Bias(\hat{\theta}_i)$ คือ ค่าความเอนเอียงของอิทธิพลแบบสุ่มตัวที่ i

P คือ จำนวนพารามิเตอร์ที่ประมาณค่าของอิทธิพลแบบสุ่ม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำหรับสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบทางเดียว (One way MANOVA) เมื่อพบนัยสำคัญทางสถิติทดสอบต่อด้วย Univariate Tests และวิธี Scheffe ทั้งนี้ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ผลการวิจัย

1. ผลการเปรียบเทียบค่าความเอนเอียงของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก กรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้ายและความโด่งต่ำกว่าปกติ รายละเอียด ได้ผลดังตารางที่ 1 - 3

ตารางที่ 1 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบทางเดียวเพื่อเปรียบเทียบค่าความเอนเอียงของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก กรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้ายและความโด่งต่ำกว่าปกติ

Dependent Var.	Independent Var.	Pillai's Trace	F	Hypothesis df	Error df	P-value
FB,RB	Method	0.6671	39.7901**	4	318	0.0000

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 1 พบว่า วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 วิธี มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบคงที่ และอิทธิพลแบบสุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 วิเคราะห์ต่อด้วย Univariate Tests ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ Univariate Tests เพื่อเปรียบเทียบค่าความเอนเอียงของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก กรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้ายและความโด่งต่ำกว่าปกติ

Dependent Var.	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-value
FB	Contrast	0.7979	2	0.3990	111.3796**	0.0000
	Error	0.5695	159	0.0036		
RB	Contrast	4.6539	2	2.3270	60.3820**	0.0000
	Error	6.1275	159	0.0385		

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ Univariate Tests พบว่า วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 วิธี มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบคงที่ และอิทธิพลแบบสุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 วิเคราะห์ต่อด้วยวิธี Scheffe ได้ผลดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 พบว่า วิธี FML กับวิธี RML มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบคงที่ต่ำกว่าวิธี EB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และวิธี FML กับวิธี RML มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบคงที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

วิธี EB มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบสุ่มต่ำกว่า วิธี FML กับวิธี RML อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และวิธี FML กับวิธี RML มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบสุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล แสดงว่า กรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้ายและความโด่งต่ำกว่าปกติ วิธี FML และวิธี RML มีประสิทธิภาพสูงสุดในการประมาณค่าอิทธิพลแบบคงที่ และวิธี EB มีประสิทธิภาพสูงสุดในการประมาณค่าอิทธิพลแบบสุ่ม

2. ผลการเปรียบเทียบค่าความเอนเอียงของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก กรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ขวาและความโด่งสูงกว่าปกติ รายละเอียด ได้ผลดังตารางที่ 4-6

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์รายคู่ด้วยวิธี Scheffe เพื่อเปรียบเทียบค่าความเอนเอียงของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก กรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้ายและความโด่งต่ำกว่าปกติ

Dependent Var.	Independent Var. (Method)	$\bar{X}$	วิธี FML 0.0175	วิธี RML 0.0175	วิธี EB 0.1664
FB	วิธี FML	**0.0175**	-	0.0000	-0.1489**
	วิธี RML	**0.0175**		-	-0.1489**
	วิธี EB	**0.1664**			-
		$\bar{X}$	**0.8017**	**0.7293**	**0.4115**
RB	วิธี FML	**0.8017**	-	0.0724	-0.3902**
	วิธี RML	**0.7293**		-	-0.3178**
	วิธี EB	**0.4115**			-

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณแบบทางเดียวเพื่อเปรียบเทียบค่าความเอนเอียงของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก กรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ขวาและความโด่งสูงกว่าปกติ

Dependent Var.	Independent Var.	Pillai's Trace	F	Hypothesis df	Error df	P-value
FB,RB	Method	0.8425	57.8659**	4	318	0.0000

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 4 พบว่า วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 วิธี มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบคงที่ และอิทธิพลแบบสุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 วิเคราะห์ต่อด้วย Univariate Tests ได้ผลดังตาราง 5

ตารางที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ Univariate Tests เพื่อเปรียบเทียบค่าความเอนเอียงของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก กรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ขวาและความโด่งสูงกว่าปกติ

Dependent Var.	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-value
FB	Contrast	0.8158	2	0.4079	119.3309**	0.0000
	Error	0.5435	159	0.0034		
RB	Contrast	17.3486	2	8.6743	214.3694**	0.0000
	Error	6.4338	159	0.0405		

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ Univariate Tests พบว่า วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 วิธี มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบคงที่ และอิทธิพลแบบสุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 วิเคราะห์ต่อด้วยวิธี Scheffe ได้ผลดังตารางที่ 6

จากตารางที่ 6 พบว่า วิธี FML กับวิธี RML มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบคงที่ต่ำกว่าวิธี EB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และวิธี FML กับวิธี RML มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบคงที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์รายคู่ด้วยวิธี Scheffe เพื่อเปรียบเทียบค่าความเอนเอียงของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก กรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ขวาและความโด่งสูงกว่าปกติ

Dependent Var.	Independent Var. (Method)	$\bar{X}$	วิธี FML 0.0175	วิธี RML 0.0175	วิธี EB 0.1664
FB	วิธี FML	**0.0178**	-	-0.0001	-0.1506**
	วิธี RML	**0.0179**		-	-0.1505**
	วิธี EB	**0.1684**			-
		$\bar{X}$	**1.1380**	**1.0811**	**0.4171**
RB	วิธี FML	1.1380	-	0.0569	-0.7209**
	วิธี RML	1.0811		-	-0.6640**
	วิธี EB	0.4171			-

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

วิธี EB มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบสุ่มต่ำกว่าวิธี FML กับวิธี RML อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และวิธี FML กับวิธี RML มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบสุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล แสดงว่า กรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ขวาและความโด่งสูงกว่าปกติ วิธี FML และวิธี RML มีประสิทธิภาพสูงสุดในการประมาณค่าอิทธิพลแบบคงที่ และวิธี EB มีประสิทธิภาพสูงสุดในการประมาณค่าอิทธิพลแบบสุ่ม

สรุปผลและวิจารณ์ผล

การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก มีประเด็นที่น่าสนใจอภิปรายผลดังนี้

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์พหุระดับ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก กรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้ายและความโด่งต่ำกว่าปกติ ผลการวิจัยสอดคล้องกับกรณีประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ขวาและความโด่งสูงกว่าปกติ คือ วิธี FML กับวิธี RML มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบคงที่ต่ำกว่าวิธี EB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และวิธี EB มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบสุ่มต่ำกว่าวิธี FML กับวิธี RML อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 สำหรับวิธี FML กับวิธี RML มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบคงที่และอิทธิพลแบบสุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการประมาณค่าอิทธิพลแบบคงที่นั้น วิธี FML และวิธี RML มีรากฐานการคำนวณเดียวกัน จึงมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Longford (1993) พบว่า วิธี RML จะมีความเอนเอียงต่ำกว่าวิธี FML โดยเฉพาะกรณีที่สมาชิกในแต่ละกลุ่มเท่ากัน การประมาณค่าโดยวิธี RML จะให้ค่าประมาณที่มีความแม่นยำมากกว่าวิธี FML (Searle, Casella & McCulloch, 1992) แต่ในทางปฏิบัติเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปส่วนใหญ่แล้วค่าประมาณในระดับที่ 2 จะแตกต่างกันน้อยมากเพียงทศนิยมในตำแหน่งที่สอง (Browne, 1998) โดยวิธี FML จะมีข้อได้เปรียบในการนำไปใช้ คือ ความยุ่งยากในการคำนวณน้อยกว่า และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจะใช้ฟังก์ชันความควรจะเป็นสูงสุดทั้งหมด นอกจากนั้นการที่วิธี FML และวิธี RML มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าอิทธิพลแบบคงที่ได้สูงสุดนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Terhorst (2007) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ของปฏิสัมพันธ์ในโมเดลพหุระดับ โดยได้ทำการศึกษาในกรณี 2 ระดับ สำหรับวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่นำมาศึกษาประกอบด้วย วิธี FML วิธี RML วิธีประมาณค่าอิทธิพลแบบคงที่ วิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนักแบบที่ 1 (Weight Least Square 1) วิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนักแบบที่ 2 (Weight Least Square 2) วิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนักแบบที่ 3 (Weight Least Square 3) โดยกำหนดขนาดตัวอย่างในระดับที่ 2 จำนวน 3 ขนาด คือ 20, 50 และ 100 กำหนดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น จำนวน 2 ขนาด คือ 0.10 และ 0.20 โดยระดับที่ 1 กำหนดตัวแปรอิสระจำนวน 1 ตัวแปร และระดับที่ 2 จำนวน 3 ตัวแปร ผลการศึกษา พบว่า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วิธี FML วิธี RML เป็นวิธีการประมาณค่าที่มีความเอนเอียงน้อยที่สุด โดยวิธี FML และ RML เป็นวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่มีค่า RMSD ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 6 วิธี สำหรับการประมาณค่าอิทธิพลแบบสุ่มนั้น วิธี EB มีค่าความเอนเอียงในการประมาณค่าของอิทธิพลแบบสุ่ม (RB) ต่ำกว่าวิธี FML และวิธี RML อาจเนื่องมาจากวิธี EB ในการประมาณค่าพารามิเตอร์นั้นมีการถ่วงน้ำหนักค่าพารามิเตอร์เพื่อให้มีความเที่ยง ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถใช้ในการปรับปรุงการประมาณค่าพารามิเตอร์และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น จึงมีผลให้มีค่าความเอนเอียงต่ำกว่าวิธีอื่น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย และขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาตรวจสอบให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงต้นฉบับบทความวิจัยดังกล่าวนี้

เอกสารอ้างอิง

Browne, W.J. (1998). *Applying MCMC methods to multilevel models*. University of Bath, UK.

Busing, F. (1993). *Distribution characteristics of variance estimates in two-level models*. Unpublished manuscript, Department of Psychometrics and Research Methodology, Leiden University.

Delpish, A.N. (2006). *A Comparison of estimators in hierarchical linear modeling: Restricted maximum likelihood versus Bootstrap via minimum norm quadratic unbiased estimators*. A dissertation submitted to the Department of Statistics in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, The Florida State University.

Hox, J.J. (2002). *Multilevel Analysis: Techniques and Applications*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Kreft, I.G.G. (1996). *Are Multilevel Techniques Necessary*?. An Overview, Including Simulation Studies, California State University, Los Angeles.

Longford, N. (1993). *Random coefficient models*. Oxford: Clarendon.

Maas, C. J. M., & Hox, J.J. (2001). *Robustness of multilevel parameter estimates against non-normality and small sample sizes*. In J. Blasius, J. Hox, E. de Leeuw and P.Schmidt (Eds.), Social science methodology in the new millennium. Proceedings of the Fifth International conference on logic and methodology. Opladen, FRG: Leske+Budrich.

Maas, C.J.M., & Hox, J.J., (2004). *Robustness of multilevel parameter estimates against small sample sizes*. Department of Methodology and Statistics, Utrecht University.

Mok, M. (1995). *Sample size requirements for 2-level designs in educational research*. Unpublished manuscript, London: Multilevel Models Project, Institute of education, University of London. from http://multilevel.ioe.ac.uk.

Ramberg, J.S., Dudewicz, E.J., Tadikamalla, P.R., & Mykytka, E.F. (1979). A probability distribution and its uses in fitting data. *Technometrics, 21*, 201-214.

Raudenbush, S.W., & Bryk, A.S. (2002). *A Hierarchical Linear Mode : Applications and Data Analysis Methods. 2nd Ed*. California: Sage Publications.

Searle, S.R., Casella, G., & McCulloch, C.E. (1992). *Variance components*. New York: Wiley.

Terhorst, L. (2007). *A Comparison of estimation methods when an interaction is omitted form multilevel model*. Submitted to the Graduate Faculty of the School of Education in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. University of Pittsburgh.

Van der Leeden, R., & Busing, F. (1994). *First iteration versus IGLS/RIGLS estimates in two-level model: A Monte Carlo study with ML 3*. Unpublished manuscript, Department of Psychometrics and Research Methodology, Leiden University.

Van der Leeden, R., Busing, F., & Meijer, E., (1997). *Applications of bootstrap methods for two-level models. Paper*, Multilevel Conference, Amsterdam, April 1-2.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University