การศึกษาประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุ ด้วยวิธีนอนพาราเมตริก โดยใช้สถิติทดสอบมัธยฐาน สถิติทดสอบคะแนนปกติ สถิติทดสอบผลรวมของลำดับที่ และสถิติทดสอบของพิลไล - บาร์ทเลท เทรซ

The Study of Efficiency of Nonparametric Multivariate Analysis of Variance using the Median Test, the Rank Sum Test, the Normal Scores Test and the Pillai – Bartlett Trace Test

กนกวรรณ โกนาคม[1] ไพรัตน์ วงษ์นาม[2] และประเสริฐ เรือนนะการ[3]
Kanokwan Konakom[1], Pairatana Wongnam[2] and Prasert Ruannakarn[3]
[1]นิสิตหลักสูตร ปร.ด. (สาขาการวิจัย วัดผลและสถิติการศึกษา) มหาวิทยาลัยบูรพา
[2]รองศาสตราจารย์ สาขาวิจัยและจิตวิทยาประยุกต์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิจัยและพัฒนาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
konakomaw@gmail.com, pairatan@yahoo.com, and drprasert_r@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุ ด้วยวิธีนอนพาราเมตริกโดยใช้สถิติทดสอบมัธยฐาน (MMT) สถิติทดสอบคะแนนปกติ (MNST) สถิติทดสอบผลรวมของลำดับที่ (MRST) และสถิติทดสอบของพิลไล- บาร์ทเลท เทรซ (MPBT) โดยอาศัยเทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Technique) ในการจำลองสถานการณ์ ผลการวิจัยพบว่า

1) กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 เมื่อ (1.1) ข้อมูลมีขนาดเล็ก ($n < 50$) สถิติทดสอบ MRST, MMT และ MNST สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และมีอำนาจการทดสอบสูง ภายใต้เงื่อนไขกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง ($n = 50$) สถิติทดสอบ MRST, MMT และ MNST สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และมีอำนาจการทดสอบสูง (1.2) เมื่อข้อมูลมีตัวแปรตาม 2, 3 และ 5 ตัว ส่วนสถิติทดสอบ MPBT สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และมีอำนาจการทดสอบสูง (1.3) เมื่อข้อมูลมีตัวแปรตาม 2 ตัว ภายใต้เงื่อนไขกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ ($n \geq 100$) สถิติทดสอบ MRST, MMT และ MNST สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และมีอำนาจการทดสอบสูง เมื่อข้อมูลมีตัวแปรตาม 2, 3 และ 5 ตัว ส่วนสถิติทดสอบ MPBT สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และมีอำนาจการทดสอบสูง เมื่อข้อมูลมีตัวแปรตาม 2, 3 ตัว ในขณะที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 สถิติทดสอบ MPBT สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และมีอำนาจการทดสอบสูง เมื่อข้อมูลมีขนาดใหญ่และมีตัวแปรตาม 5 ตัว

2) กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมไม่แตกต่างกัน และเงื่อนไขข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 และ .01 ไม่มีสถิติทดสอบใดที่สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และมีอำนาจการทดสอบสูงได้

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุ สถิตินอนพาราเมตริก สถิติทดสอบมัธยฐาน สถิติทดสอบคะแนนปกติ สถิติทดสอบผลรวมของลำดับที่ สถิติทดสอบของพิลไล - บาร์ทเลท เทรซ อำนาจการทดสอบ อัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

Abstract

The purpose of this research was to study the efficiency of nonparametric multivariate analysis of variance using the median test (MMT), the rank sum test (MRST), the normal scores test (MNST) and the Pillai – Bartlett trace test (MPBT) with Monte Carlo simulation technique. The findings could be summarized as follows:

1. In case of multivariate normal distribution and heterogeneity variance - covariance matrix at .05 significant level when, (1.1) for small sample size (n<50), the MRST, MMT and MNST could control rate of the type I error and have higher power, (1.2) for medium sample size (n=50), the MRST, MMT and MNST could control the rate of type I error and have higher power for the data set 2, 3 and 5 dependent variables however, the MPBT could control the rate of type I error and have higher power with 2 dependent variables, and (1.3) for large sample size (n ≥ 100), the MRST, MMT and MNST could control rate of the type I error and have higher power for data set with 2, 3 and 5 dependent variables, however, the MPBT could control the rate of type I error and have higher power with 2 and 3 dependent variables, Furthermore, at .01 significant level, the MPBT could control the rate of type I error and has higher power with large sample size and 5 dependent variables.

2. In case of non-multivariate normal distribution and homogeneity variance - covariance matrix and the case of non-multivariate normal distribution and heterogeneity variance - covariance matrix at .05 and .01 significant level, no statistical tests could control the rate of type I error and have higher powers.

Keywords : multivariate analysis of variance; Nonparametric Statistic; Median test, Rank sum test; Normal scores test; Pillai – Bartlett trace test; Power of the test; Type I error rate

1. บทนำ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุ (Multivariate Analysis of Variance ; MANOVA) เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มของตัวแปรตามตั้งแต่สองตัวขึ้นไป โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบตัวแปรตามทั้งหมดพร้อมๆ กัน [1] โดยซามูเอล เอส วิลคส์ (Samuel S. Wilks) ได้ปรับขยายวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรเดียว ของ เซอร์ โรนัลด์ ฟิชเชอร์ (Sir Ronald Aylmer Fisher) [2] โดยมีข้อตกลงเบื้องต้นที่คล้ายกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรเดียว คือ ค่าสังเกตได้ต้องมีความเป็นอิสระจากกัน ตัวแปรตามแต่ละตัวต้องมีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรพหุเมตริกซ์ความแปรปรวน – ความแปรปรวนร่วมของประชากรแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน [3] หากผลการทดสอบยอมรับสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis : H_A) ผู้วิจัยต้องทดสอบความแตกต่างรายคู่ (Post Hoc Test) โดยใช้สถิติโฮเทลลิ่งทีกำลังสอง (Hotelling's T^2 Statistics) [4] แต่หากข้อมูลมีการละเมิดข้อตกลงเบื้องต้น ผลการทดสอบอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ นักสถิติจึงแก้ไขปัญหาโดยพัฒนาสถิตินอนพาราเมตริก (Nonparametric Statistics) เพื่อใช้เป็นทางเลือกในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติเมื่อข้อมูลมีการละเมิดข้อตกลงเบื้องต้น [5] หรือใช้ทดสอบกับข้อมูลที่อยู่ในมาตราเรียงอันดับ (Ordinal Scale) หรือ นามบัญญัติ (Nominal Scale) [6] ซึ่งมีอำนาจในการทดสอบสูงและให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างจากสถิติพาราเมตริก [3]

ในปี ค.ศ. 1971 พูริและเซ็น (Puri and Sen) นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้สถิติทีกำลังสองของ ลอร์ลี่ - โฮเทลลิ่ง (Lawley – Hotelling's Generalized T^2) มาใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุ ด้วยวิธีนอนพาราเมตริก โดยใช้สถิติทดสอบ 3 วิธี คือ สถิติทดสอบ MMT โดยปรับขยายจากสถิติทดสอบมัธยฐานของ บราวน์ และ มูด (Brown and Mood) สถิติทดสอบ MRST ซึ่งพัฒนาจากสถิติทดสอบของครัสคอล และสถิติทดสอบ MNST ซึ่งพัฒนาจากสถิติทดสอบคะแนนปกติของแวน เดอ แวร์เดน (Van Der Waerden) นอกจากนั้นแล้ว เอิร์ดเฟลเดอร์ (Erdfelder) [7] ได้พัฒนาสถิติทดสอบ MPBT เพื่อใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุด้วยวิธีนอนพาราเมตริก เมื่อข้อมูลละเมิดข้อตกลงเบื้องต้น [8]

ด้วยความสามารถของสถิติทดสอบดังกล่าว นักสถิติได้มีการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของสถิติทดสอบแต่ละตัวในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ดังนี้ ซวิค (Zwick) [8] ศึกษา

ความสัมพันธ์ของสถิติทดสอบ MRST และสถิติทดสอบ MNST เมื่อข้อมูลเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น และละเมิดข้อตกลงเบื้องต้น พบว่า สถิติทดสอบ MRST และสถิติทดสอบ MNST ให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ เหมิง (Myung) [9] ศึกษาความแกร่งของสถิตินอนพาราเมตริกในการวิเคราะห์MANOVA ด้วยสถิติทดสอบ MRST สถิติทดสอบ MNST และสถิติทดสอบ MANOVA โดยใช้เทคนิคมอนติคาร์-โล พบว่า เมื่อข้อมูลมีการกระจายเป็นโค้งปกติ สถิติทดสอบ MRST และสถิติทดสอบ MNST มีความแกร่งใกล้เคียงกับสถิติทดสอบ MANOVA และในบางกรณีให้ผลการทดสอบที่ดีกว่า นอกจากนั้น สถิติทดสอบ MNST สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ดีกว่าสถิติทดสอบ MRST แต่สถิติทดสอบ MRST มีอำนาจของการทดสอบสูงกว่าสถิติทดสอบ MNST วิธีการวิเคราะห์แบบนอนพาราเมตริกมีความแกร่งมากกว่าสถิติทดสอบ MANOVA แม้ว่าสถิติทดสอบ MNST สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ดีกว่าสถิติทดสอบ MRST หากแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้ยังพบว่า งานวิจัยในปัจจุบัน บางครั้งผู้วิจัยไม่มีการทดสอบข้อมูลก่อนว่าเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นดังกล่าวหรือไม่ แต่จะสมมติว่าข้อมูลที่ได้เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น ดังนั้น ผลการทดสอบสมมติฐานจะถูกต้องหรือไม่ ย่อมขึ้นกับการสมมตินั้นเป็นสำคัญ กล่าวคือ ถ้าข้อมูลที่ได้จากการวัดเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้สถิติพาราเมตริก การทดสอบก็จะมีประสิทธิภาพแต่ถ้าไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นแล้วผลของการทดสอบที่ได้จะมีประสิทธิภาพต่ำ และงานวิจัยบางชิ้นยังมีความผิดพลาดอันเนื่องจากการเลือกวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลให้เหมาะสมกับชนิดของข้อมูลและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย [10] ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นจากการที่หลักสูตรให้เวลาเรียนรู้ระเบียบวิธีทางสถิติค่อนข้างจำกัด [11]

ดังนั้น เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาและนำเสนอแนวทางในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุ ด้วยวิธีนอนพารา-เมตริก ผู้วิจัยจึงศึกษาประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุ ด้วยวิธีนอนพาราเมตริกโดยใช้สถิติทดสอบ MMT สถิติทดสอบ MNST สถิติทดสอบ MRST และสถิติทดสอบ MPBT เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุ เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุ ด้วยวิธีนอนพาราเมตริก โดยใช้สถิติทดสอบมัธยฐาน (MMT) สถิติทดสอบคะแนนปกติ (MNST) สถิติทดสอบผลรวมของลำดับที่ (MRST) และสถิติทดสอบของพิลไล- บาร์ทเลท เทรซ (MPBT)

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ ประกอบด้วย

1. ขนาดตัวอย่าง ได้แก่ 25, 40, 50, 100, 200 และ 300
2. จำนวนกลุ่มของประชากร ได้แก่ 2, 3, 4 และ 5 กลุ่ม
3. จำนวนตัวแปรตาม ได้แก่ 2, 3, 4 และ 5 ตัว
4. ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลและเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วม ได้แก่ การแจกแจงปกติแบบตัวแปรพหุและมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน และ การแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุและมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมไม่แตกต่างกัน การแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุและมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน

ตัวแปรตาม ประสิทธิภาพของการทดสอบ

4. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถิตินอนพาราเมตริกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1710 โดยจอห์น อาร์บูธนอท (John Arbuthnot) นำมาใช้ในการศึกษาอัตราการเพิ่มของประชากรชายต่อประชากรหญิงในช่วงปี ค.ศ. 1629 – 1710 ต่อมาปี ค.ศ.1892 ฟรานซิส เกลตัน (Francis Galton) พัฒนามาตรวัดเพื่อประเมินความคิดเห็นที่ออกแบบให้มีจุดเริ่มต้นตรงกลาง แล้วแยกออกไปด้านซ้ายขวาโดยให้มีช่วงห่างของความคิดเห็นช่วงละ 1 เซนติเมตร ปี ค.ศ. 1900 คาร์ล เพียร์สัน (Karl Pearson) พัฒนาสถิติทดสอบไคกำลังสอง (Chi – Square Test) ที่สามารถใช้กับข้อมูลที่มีการแจกแจงทุกรูปแบบ และในปี ค.ศ. 1904 สเปียร์แมน (Spearman) ได้พัฒนาสถิติทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ (A Rank Correlation Coefficient) ส่งผลให้มีการศึกษาสถิตินอนพาราเมตริกอย่างกว้างขวางและเป็นระบบ ดังในช่วง ปี ค.ศ. 1931 – 1939 มีนักสถิติหลายคน เช่น อาร์. เอ. ฟิชเชอร์ (R.A. Fisher) อี. เจ. จี. พิทแมน (E.J.G. Pitman) บี.แอล เวลช์ (B.L. Welch) เฟรดแมน (Friedman) สมินอฟ (Smirnov) และคนอื่นๆ ได้ศึกษาสถิตินอนพาราเมตริกโดยใช้การจำลองข้อมูลให้มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ และใช้สถิติทดสอบข้อมูลลำดับที่ (Permutation Tests) การศึกษาในช่วงนี้ประสบปัญหาความไม่ทันสมัยของโปรแกรมทางสถิติ หลายปีต่อมา เอฟ. วิลคอกซัน และคนอื่นๆ (F. Wilcoxon and Other) พบว่า เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ การทดสอบลำดับที่ หรือการแปลง

ข้อมูลให้อยู่ในมาตราเรียงอันดับ (Ordinal Scale) ทำให้การทดสอบมีประสิทธิภาพดี ในช่วง ค.ศ. 1940–1949 การทดสอบด้วยวิธีนอนพาราเมตริก กลายเป็นสถิติที่ใช้ทดสอบข้อมูลที่อยู่ในมาตราเรียงอันดับ คำนวณง่าย มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยนำวิธีการของ แจ็คไนฟ์ (Jack – Knifing) และบูตสแตรพ (Bootstrap) มาใช้ในการศึกษา ส่งผลให้การทดสอบด้วยสถิตินอนพาราเมตริกเป็นที่แพร่หลายและได้รับความสนใจมากขึ้นมาจนถึงปัจจุบัน [12]

ในปี ค.ศ. 1972 พูริและเซ็น (Puri and Sen) [13] เสนอวิธีการใช้สถิติทีกำลังสองของลอร์ลี่ - โฮเทลลิ่ง (Lawley – Hotelling's Generalized T^2 ; L_N) มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุ ด้วยวิธีนอนพาราเมตริก ดังสมการ $L_N = \sum_{k=1}^{c} n_k \left[\left(T_N^{(k)} - \bar{E}_N\right) V^{-1}(R_N^*)\left(T_N^{(k)} - \bar{E}_N\right)'\right] \sim \chi^2$ มี df = p(k - 1) โดย $\bar{E}_N$ แทน เมตริกซ์คะแนนเฉลี่ยรวม $T_N^{(k)}$ แทน เมตริกซ์คะแนนเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม $V^{-1}(R_N^*)$ แทน เมตริกซ์ผกผันของเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วม ให้ n แทน ขนาดตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม และ p แทน จำนวนตัวแปรตาม โดยที่ p = 1,...,I และ k แทน จำนวนกลุ่ม โดยที่ k = 1,...,c

ในการใช้สถิติทีกำลังสองของลอร์ลี่ – โฮเทลลิ่ง วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุด้วยวิธีนอนพาราเมตริก ด้วยสถิติทดสอบ MRST ผู้วิจัยต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของข้อมูลลำดับที่ ในขณะที่สถิติทดสอบ MMT ผู้วิจัยต้องคำนวณตำแหน่งมัธยฐานกลาง (a) แล้วกำหนดค่าให้กับตำแหน่งของข้อมูลเมื่อเทียบกับตำแหน่ง a โดยให้ตำแหน่งที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับตำแหน่ง a มีค่าเป็น 1 นอกนั้นเป็น 0 ส่วนสถิติทดสอบ MNST ผู้วิจัยต้องแปลงคะแนนเรียงอันดับให้เป็นคะแนนปกติ แล้วจึงคำนวณตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) คำนวณเมตริกซ์คะแนนเฉลี่ยรวม โดยที่ $\bar{E}_N = \sum_{\alpha=1}^{N} E_{N,\alpha}^{(i)} / N$; i = 1,..., p เมื่อ $\sum_{\alpha=1}^{n} E_{N,R_\alpha^{(k)}}^{(i)}$ แทน ผลรวมของคะแนนของ ตัวแปรแต่ละตัว n แทน จำนวนตัวอย่างในแต่ละตัวแปร และ p แทน จำนวนตัวแปร

2) คำนวณเมตริกซ์คะแนนเฉลี่ยของตัวแปรกลุ่มที่ k โดยที่ $T_{N_i}^{(k)} = \left(1/n_k\right) \sum_{\alpha=1}^{n} E_{N,R_\alpha^{(k)}}^{(i)}$; i = 1,..., p เมื่อ $\sum_{\alpha=1}^{n} E_{N,R_\alpha^{(k)}}^{(i)}$ แทน ผลรวมคะแนนของตัวแปรตัวที่ k ในขณะที่ n_k แทน ขนาดตัวอย่างกลุ่มที่ k หากเป็นการวิเคราะห์ด้วยสถิติทดสอบ MNST ผู้วิจัยต้องแปลงคะแนนปกติที่คำนวณได้ให้มีค่า 0, 1 ทั้งนี้ขึ้นกับเงื่อนไขที่ว่า ถ้าต้องการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ i ให้แปลงคะแนนปกติทุกค่าในกลุ่มที่ i เป็น 1 กลุ่มอื่นๆ ให้เป็น 0

3) เมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วม โดยที่ $V\left(R_N^*\right) = \left(\left(\mathbf{v}_{ij}\left(R_N^*\right)\right)\right)_{i,j,...,p'}$; $\mathbf{v}_{ij}(R_N^*) = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{c}\sum_{\alpha=1}^{nk} E_{N_{\alpha,i}}^{(k)} E_{N,\alpha_j}^{(q)} - \bar{E}_N^{(i)}\bar{E}_N^{(j)}$ โดยที่ $E_{N_{\alpha,i}}^{(k)}$ แทน คะแนนตัวแปรตัวที่ i กลุ่มที่ k ส่วน $E_{N_{\alpha j}}^{(q)}$ แทน คะแนนตัวแปรตัวที่ j กลุ่มที่ q ในขณะที่ $\sum_{\alpha=1}^{n_k} E_{N_{\alpha,i}}^{(k)} E_{N,\alpha_j}^{(q)}$ แทน ผลรวมของผลคูณระหว่างคะแนนตัวแปรตัวที่ i กลุ่มที่ k และ คะแนนตัวแปรตัวที่ j กลุ่มที่ q ส่วน $\sum_{k=1}^{c}\sum_{\alpha=1}^{n_k} E_{N_{\alpha,i}}^{(k)} E_{N,\alpha_j}^{(q)}$ แทน ผลรวมของผลคูณระหว่างคะแนนตัวแปรตัวที่ i และตัวแปรตัวที่ j

หากเป็นการวิเคราะห์ด้วยสถิติทดสอบ MMT ค่าความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปร คำนวณได้โดย $\mathbf{v}_{ij}(R_N^*) = \left(a\left(N - a\right)\right)/N^2$ ในกรณีที่ตำแหน่ง i = j หากตำแหน่ง i ≠ j แล้วใช้ $\mathbf{v}_{ij}(R_N^*) = a_{N,ij} - \left(a/N\right)^2$ เมื่อ $a_{N,ij}$ แทน สัดส่วนของตัวแปรที่ i และ j ที่มีคะแนนน้อยกว่าหรือเท่ากับคะแนน ณ ตำแหน่งมัธยฐาน

ต่อมาในปี ค.ศ. 1981 เอิร์ดเฟลเดอร์ (Erdfelder) เสนอการใช้สถิติทดสอบ MPBT ในการวิเคราะห์ MANOVA ด้วยวิธีนอนพาราเมตริก โดยต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในมาตราเรียงอันดับก่อน แล้วจึงนำมาทดสอบด้วยสถิติทดสอบ MANOVA [8] นำค่าพิลไล –บาร์ทเลท เทรซ ที่ได้มาคำนวณ [7] ดังสมการ $\chi^2 = (n-1)\mathbf{V}$; df = p (k – 1) เมื่อ χ^2 แทน การทดสอบค่าพิลไล - บาร์ทเลท เทรซ ด้วยสถิติไคกำลังสอง V แทน ค่าของพิลไล - บาร์ทเลท เทรซที่ได้จากสถิติทดสอบ MANOVA

5. การทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยใช้โปรแกรม SAS ในการจำลองข้อมูล ได้กำหนดคุณลักษณะของประชากรในการศึกษาอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ดังนี้ 1) มีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน 2) มีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ (เบ้ขวา) และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมไม่แตกต่างกัน 3) มีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ (เบ้ขวา) และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน โดยทุกคุณลักษณะจะมีตัวแปรตาม 5 ตัว จำนวน 5 กลุ่ม และเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของประชากรมีความแตกต่างกัน 1 กลุ่ม โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ .05 และ .01 ทำซ้ำ 1,000 รอบ นับจำนวนครั้งที่ปฏิเสธสมมติฐานกลาง เมื่อสมมติฐานกลางเป็นจริง เพื่อประมาณค่าความน่าจะเป็นของการเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ 4 ตัว ทั้งกำหนดช่วงที่ยอมรับได้ของอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 โดยคำนวณจากสมการ [14] $.05 \pm \sqrt{.05\left(.95\right)/n_{rep}}$ ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 จะมีค่า น้อยกว่าหรือเท่ากับ .057 ส่วนที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ .013

กำหนดคุณลักษณะของประชากรเพื่อใช้ศึกษาอำนาจการทดสอบ ดังนี้ 1) ประชากรมีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน 2) ประชากรมีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ (เบ้ขวา) และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมไม่แตกต่างกัน 3) ประชากรมีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ (เบ้ขวา) และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน โดยทุกคุณลักษณะจะมีตัวแปร ตาม 5 ตัว และเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของประชากรทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ .05 และ .01 ทำซ้ำ 1,000 รอบ นับจำนวนครั้งที่ปฏิเสธสมมติฐานกลาง เมื่อสมมติฐานกลางเป็นเท็จ เพื่อประมาณค่าอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ 4 ตัว ผู้วิจัยกำหนดค่าอำนาจการทดสอบที่ยอมรับได้ต้องมีค่าอำนาจการทดสอบสูง คือ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ .80 ขึ้นไป

ประสิทธิภาพของสถิติทดสอบพิจารณาจากอำนาจการทดสอบ (Power of the test) และอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (The type I error rate) ซึ่งต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

อนึ่ง ผู้วิจัยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลในการจำลองข้อมูล เนื่องจากเป็นเทคนิควิธีที่นิยมใช้มากที่สุด [15] สามารถควบคุมเงื่อนไขต่างๆ ของการทดลองให้คงที่ได้ นอกจากนั้นยังได้สอบทานความถูกต้องของการทดสอบทั้ง 4 วิธี โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสุ่มจากประชากรที่สร้างขึ้น นำมาเปรียบเทียบผลการคำนวณจากการเขียนโปรแกรมกับการด้วยเครื่องคำนวณ พบว่าได้ผลตรงกัน

6. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ 1 อำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรพหุ มีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน

ขนาดตัวอย่าง	สถิติทดสอบ	จำนวนตัวแปรตาม (ตัว)							
		α = .05				α = .01			
		2	3	4	5	2	3	4	5
เล็ก (n<50)	MRST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MPBT	×	×	×	×	×	×	×	×
	MMT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MNST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
กลาง (n=50)	MRST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MPBT	×	×	×	×	×	×	×	×
	MMT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MNST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
มากกว่า (n>50)	MRST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MPBT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MMT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MNST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

จากตารางที่ 1 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 และ .01 สถิติทดสอบ MRST, MMT และ MNST มีอำนาจการทดสอบสูงทุกเงื่อนไข ในขณะที่สถิติทดสอบ MPBT มีอำนาจการทดสอบสูงเมื่อข้อมูลมีขนาดใหญ่

ตารางที่ 2 อำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ มีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมไม่แตกต่างกัน

ขนาดตัวอย่าง	สถิติทดสอบ	จำนวนตัวแปรตาม (ตัว)							
		α = .05				α = .01			
		2	3	4	5	2	3	4	5
เล็ก (n<50)	MRST	×	×	×	×	×	×	×	×
	MPBT	×	×	×	×	×	×	×	×
	MMT	×	×	×	×	×	×	×	×
	MNST	×	×	×	×	×	×	×	×
กลาง (n=50)	MRST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	MPBT	×	×	×	×	×	×	×	×
	MMT	×	×	×	×	×	×	×	×
	MNST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
มากกว่า (n>50)	MRST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MPBT	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓
	MMT	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	MNST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

จากตารางที่ 2 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 สถิติทดสอบ MRST และ MNST อำนาจการทดสอบสูงทุกเงื่อนไขเมื่อข้อมูลมีขนาดกลาง และสถิติทดสอบทั้ง 4 วิธี อำนาจการทดสอบสูงทุกเงื่อนไขเมื่อข้อมูลมีขนาดใหญ่ ในขณะที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 สถิติทดสอบ MRST และ MNST มีอำนาจการทดสอบสูงทุกเงื่อนไขเมื่อข้อมูลมีขนาดใหญ่

ตารางที่ 3 อำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ มีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน

ขนาดตัวอย่าง	สถิติทดสอบ	จำนวนตัวแปรตาม (ตัว)							
		α = .05				α = .01			
		2	3	4	5	2	3	4	5
เล็ก (n<50)	MRST	×	×	×	×	×	×	×	×
	MPBT	×	×	×	×	×	×	×	×
	MMT	×	×	×	×	×	×	×	×
	MNST	×	×	×	×	×	×	×	×
กลาง (n=50)	MRST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	MPBT	×	×	×	×	×	×	×	×
	MMT	×	×	×	×	×	×	×	×
	MNST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
มากกว่า (n>50)	MRST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MPBT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MMT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MNST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

จากตารางที่ 3 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 สถิติทดสอบ MRST และ MNST มีอำนาจการทดสอบสูงทุกเงื่อนไข เมื่อข้อมูลมีขนาดกลาง ในขณะที่เมื่อข้อมูลมีขนาดใหญ่ สถิติทดสอบทั้ง 4 วิธี อำนาจการทดสอบสูงทุกเงื่อนไข ทั้งที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 และ .01

ตารางที่ 4 อัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน

ขนาดตัวอย่าง	สถิติทดสอบ	จำนวนตัวแปรตาม (ตัว)							
		α = .05				α = .01			
		2	3	4	5	2	3	4	5
เล็ก (n<50)	MRST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	MPBT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×
	MMT	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	MNST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
กลาง (n=50)	MRST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	MPBT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MMT	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	MNST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
มากกว่า (n>50)	MRST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	MPBT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	MMT	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	MNST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×

จากตารางที่ 4 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 สถิติทดสอบทั้ง 4 วิธี สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดทุกเงื่อนไข ส่วนที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 สถิติทดสอบ MPBT สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดทุกเงื่อนไข เมื่อข้อมูลมีขนาดกลางและขนาดใหญ่ ส่วนข้อมูลขนาดเล็ก สถิติทดสอบ MPBT สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อมีจำนวนตัวแปรตาม ไม่เกิน 5 ตัว

นอกจากนั้นผลการศึกษา ยังพบว่าเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมไม่แตกต่างกัน และข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน สถิติทดสอบทั้ง 4 วิธี ไม่สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดทุกเงื่อนไข

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพของสถิติทดสอบเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน

ขนาดตัวอย่าง	สถิติทดสอบ	จำนวนตัวแปรตาม (ตัว)							
		α = .05				α = .01			
		2	3	4	5	2	3	4	5
เล็ก (n<50)	MRST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	MPBT	×	×	×	×	×	×	×	×
	MMT	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
	MNST	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×
กลาง (n=50)	MRST	✓	✓	×	✓	×	×	×	×
	MPBT	✓	×	×	×	×	×	×	×
	MMT	✓	✓	×	✓	×	×	×	×
	MNST	✓	✓	×	✓	×	×	×	×
มากกว่า (n>50)	MRST	✓	✓	×	✓	×	×	×	×
	MPBT	✓	✓	×	×	×	×	×	✓
	MMT	✓	✓	×	✓	×	×	×	×
	MNST	✓	✓	×	✓	×	×	×	×

จากตารางที่ 5 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 เมื่อข้อมูลมีขนาดเล็ก สถิติทดสอบ MRST, MMT และ MNST มีประสิทธิภาพการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ภายใต้เงื่อนไขกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง สถิติทดสอบ MRST, MMT และ MNST มีประสิทธิภาพการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อข้อมูลมีตัวแปรตาม 2, 3 และ 5 ตัว ส่วนสถิติทดสอบ MPBT มีประสิทธิภาพการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อข้อมูลมีตัวแปรตาม 2 ตัว ภายใต้เงื่อนไขกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ สถิติทดสอบ MRST, MMT และ MNST มีประสิทธิภาพการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อข้อมูลมีตัวแปรตาม 2, 3 และ 5 ตัว ส่วนสถิติทดสอบ MPBT มีประสิทธิภาพการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อข้อมูลมีตัวแปรตาม 2 และ 3 ตัว ในขณะที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 สถิติทดสอบ MPBT มีประสิทธิภาพการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อข้อมูลมีขนาดใหญ่และมีตัวแปรตาม 5 ตัว

นอกจากนั้นยังพบว่า เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 และ .01 ไม่มีสถิติทดสอบใดที่มีประสิทธิภาพการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยมีประเด็นสำคัญที่ควรนำมาอภิปราย ดังนี้

7.1 สถิติทดสอบทั้ง 4 วิธีมีอำนาจการทดสอบเพิ่มขึ้นเมื่อมีขนาดตัวอย่างและจำนวนตัวแปรตามเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าสถิติทดสอบทั้ง 4 วิธีมีความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะปฏิเสธ

สมมติฐานกลาง เมื่อสมมติฐานกลางนั้นเป็นเท็จ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ สอดคล้องกับ รันยอนและคนอื่นๆ [17] ที่กล่าวว่า ขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีความสำคัญต่อการประมาณค่าพารามิเตอร์ของประชากร กล่าวคือ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเพิ่มขึ้น การประมาณค่าพารามิเตอร์ของประชากรจะมีความแม่นยำมากขึ้น

7.2 เมื่อข้อมูลละเมิดข้อตกลงของเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมเพียงอย่างเดียว ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 สถิติทดสอบทั้ง 4 วิธีสามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดได้ทุกเงื่อนไข ในขณะที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 มีเพียงสถิติทดสอบ MPBT ที่สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดได้ทุกเงื่อนไข แสดงว่า สถิติทดสอบ MPBT สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานกลางเมื่อสมมติฐานกลางเป็นจริงได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของฟินน์ [7] ที่ศึกษาเปรียบเทียบวิธีนอนพาราเมตริกและพาราเมตริกในการวิเคราะห์ MANOVA เมื่อมีการละเมิดข้อตกลงเบื้องต้น ยังพบว่าเมื่อข้อมูลมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน สถิติทดสอบ MPBTจะมีอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ต่ำกว่าสถิติทดสอบ MANOVA

7.3 ภายใต้เงื่อนไขข้อมูลมีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 สถิติทดสอบ MRST, MMT และ MNST สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และมีอำนาจการทดสอบสูงทุกเงื่อนไข เมื่อข้อมูลมีขนาดเล็กและขนาดกลาง แสดงให้เห็นว่าสถิติทดสอบนอนพาราเมตริกเหมาะกับข้อมูลที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก สอดคล้องกับ สุวิมล ติรกานันท์ [16] กล่าวว่า สถิตินอนพาราเมตริก นิยมใช้กับข้อมูลขนาดเล็กที่มีการแจกแจงของประชากรไม่เป็นปกติ และข้อมูลที่อยู่ในมาตรานามบัญญัติและมาตราเรียงอันดับ ส่วนสถิติทดสอบ MPBT สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดและมีอำนาจการทดสอบสูง เมื่อข้อมูลมีตัวอย่างขนาดใหญ่ แสดงว่าขนาดตัวอย่างมีอิทธิพลต่อการควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่1 และอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ [17] นอกจากนั้นยังพบว่า สถิติทดสอบ MMT มีอำนาจการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด แต่ไม่สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เนื่องจากสถิติทดสอบ MMT จะให้อำนาจการทดสอบต่ำ เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรพหุ [19]

ภายใต้เงื่อนไขข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน และเงื่อนไขข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมไม่แตกต่างกัน พบว่า ไม่มีสถิติทดสอบใดที่สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และมีอำนาจการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดทุกเงื่อนไข แสดงว่า สถิติทดสอบทั้ง 4 วิธีไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ ที่มีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน และข้อมูลที่มีการแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุที่มีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมไม่แตกต่างกัน

8. ข้อเสนอแนะ

8.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรพหุ (เบ้ขวา) และมีเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมแตกต่างกัน ถ้ายอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ 5% ควรเลือกใช้สถิติทดสอบ MRST, MMT และ MNST ในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ นอกจากนั้นในการตัดสินใจเลือกใช้สถิติทดสอบ ควรพิจารณาอำนาจการทดสอบ และ อัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบควบคู่กัน

2. กรณีที่พบว่าสถิติทดสอบมีประสิทธิภาพไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด กล่าวคือ ไม่สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และให้อำนาจการทดสอบสูงได้พร้อมกัน ผู้วิจัยควรพิจารณาเลือกใช้สถิติทดสอบที่ให้อำนาจการทดสอบสูงในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

8.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบตัวแปรพหุ ด้วยวิธีนอนพาราเมตริก โดยใช้สถิติทดสอบ MMT สถิติทดสอบ MNST สถิติทดสอบ MRST และสถิติทดสอบ MPBT เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงในลักษณะอื่น เช่น การแจกแจงไม่ปกติแบบตัวแปรพหุ (เบ้ซ้าย), การแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม เป็นต้น

2. เนื่องจากการวิจัยนี้ใช้การจำลองข้อมูลเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงควรศึกษางานวิจัยครั้งต่อไปโดยใช้ข้อมูลจริง

เอกสารอ้างอิง

[1] Hair, Joseph F. 1995. **Multivariate Data Analysis with Readings**. 4th ed. New Jersey: Prentice – Hall, Inc.

[2] เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม. 2555. บทความปริทัศน์ แบบแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์. **วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม**. 11(2), น. 1-5.

[3] Gibbons, Jean D. and Subhabrata C. (2003). **Nonparametric Statistical Inference**. 4th ed. New York : Marcel Dekker, Inc.

[4] Stevens, J. 2002. **Applied Multivariate Statistics for the Social Science**. 4th ed. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

[5] ศูนย์พัฒนาทรัพยากรการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2554. **สถิตินอนพาราเมตริกคืออะไร**. ค้นเมื่อวันที่ 22 มกราคม 2554, จาก http://www.elearning.msu.ac.th/opencourse/0504%20854/unit1_5.html

[6] Sheskin, David J. 2004. **Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures**. 3rd ed. New York: Chapman & Hall.

[7] Finch, Holmes W. 2005. Comparison of the Performance of Nonparametric and Parametric MANOVA Test Statistics when Assumptions Are Violated. **Methodology**, 1(1), p. 27–38.

[8] Zwick, R. 1985, January. Nonparametric One-Way Multivariate Analysis of Variance: A Computational Approach Based on the Pillai-Bartlett Trace. **Psychological Bulletin**, 7(1), p.148-152.

[9] Myung, Geon Seek. 1986. **A Monte Carlo Investigation of Nonparametric Multivariate Analysis of Variance (Rank Transformation, Normal Scores, MANOVA Test, Robustness)**. Retrieved November 27, 2009 from http://www.proquest.umi.com/749573391.

[10] บุญชม ศรีสะอาด. 2554. **ลักษณะที่ดีและลักษณะที่บกพร่องของวิจัยเชิงปริมาณที่เป็นปริญญานิพนธ์ (วิทยานิพนธ์)**. ค้นเมื่อวันที่ 22 มกราคม 2554, จาก http://www.kroobannok.com/17032

[11] Warnwe and Rebecca M. 2008. **Applied Statistics: from Bivariate through Multivariate Technique**. California : Sage publication, Inc.

[12] Sprent, Peter and Nigel C. S. 2007. **Applied Nonparametric Statistical Method**. 4th ed. Florida: Taylor & Francis Group.

[13] Puri and Sen. 1972. **Nonparametric Method in Multivariate Method**. New York: John Wiley & Sons, Inc.

[14] Liu, Qian. 2011. **Item Purification in Differential Item Functioning using Generalized Linear Mixed Models. Dissertation of Educational Psychology and Learning Systems**. Florida: The Florida State University.

[15] อนุชา หิรัญวัฒน์. ม.ป.ป. **การจำลองแบบปัญหา**. ค้นเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2558, จาก http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:qmQ2Uq8wcWUJ:www.thaimht.net/knowledge_detail.php%3Fid%3D14+&cd=2&hl=th&ct=clnk&gl=th

[16] สุวิมล ติรกานันท์. 2553. **สถิตินันพาราเมตริก**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[17] Runyon, Richard P.; et al. 1996. **Fundamentals of Behavioral Statistics**. 8th ed. New York: McGraw – Hill.

[18] Taylor, Andrew D. (n.d.). **Mood's Median Test**. Retrieved November 30, 2014 from http://www2.hawaii.edu/~taylor/z631/moods.pdf.

[19] Taylor, Andrew D. (n.d.). **Mood's Median Test**. Retrieved November 30, 2014 from http://www2.hawaii.edu/~taylor/z631/moods.pdf.