การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม สำหรับข้อมูลหลายตัวแปร

วริศรา สำราญฤทธิ์

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ
ปีการศึกษา 2564

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม สำหรับข้อมูลหลายตัวแปร

วริศรา สำราญฤทธิ์

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ
ปีการศึกษา 2564

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่มสำหรับข้อมูลหลายตัวแปร"

ของ วริศรา สำราญฤทธิ์

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ศาสตราจารย์ ดร.เสาวณิต สุขภารังษี)

.... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี)

.... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ดร.สวพร หิญชีระนันทน์)

อนุมัติ

....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่มสำหรับข้อมูลหลายตัวแปร

ผู้วิจัย วริศรา สำราญฤทธิ์

ประธานที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี

ประเภทสารนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาสถิติ, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564

คำสำคัญ เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย, สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง, สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่ง, สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร, สถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม ได้แก่ สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง (HT) สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่ง (RH) สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร (S) และสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร (SR) เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร และการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร กำหนดจำนวนตัวแปร 2 และ 4 ตัว ขนาดตัวอย่าง 20, 30 และ 50 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 0.2, 0.5 และ 0.8 ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ทำการจำลองข้อมูลโดยทำซ้ำ 1,000 รอบในแต่ละสถานการณ์ เมื่อพิจารณากำลังการทดสอบ ผลการวิจัยพบว่า กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร เมื่อมีตัวแปร 2 ตัว S และ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อมีตัวแปร 4 ตัว RH และ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดเป็นส่วนใหญ่เมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็กและปานกลางตามลำดับ กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร S และ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดเป็นส่วนใหญ่

Title	A COMPARISON OF THE EFFICIENCY FOR MEAN VECTOR TEST IN ONE POPULATION FOR MULTIVARIATE DATA
Author	WARITSARA SUMRANRIT
Advisor	Associate Professor Katechan Jampachaisri, Ph.D.
Academic Paper	M.S. Thesis in Statistics - (Type A 2), Naresuan University, 2021
Keywords	Mean Vector, Hotelling T-square test, Robust Hotelling T-square test, Multivariate sign test, Multivariate signed rank test

ABSTRACT

The purpose of this research is to compare the efficiency of mean vector test statistics for one population: Hotelling T-square test (HT), Robust Hotelling T-square test (RH) Multivariate sign test (S) and Multivariate signed-rank test (SR) in multivariate normal, multivariate t and multivariate log-normal distributed data. The performance of test statistics is compared using the capability to control probability of type I error and power of the test. The study consists of 2 and 4 variables, three levels of sample size: 20, 30 and 50, three levels of correlation coefficient: 0.2, 0.5 and 0.8 and two levels of significance level: 0.01 and 0.05. Data are simulated and repeated 1,000 times in each situation. When considering power of the test, the result reveals that HT yields the highest power of the test in most cases for multivariate normal distribution. In multivariate *t*- distribution, S and SR yield the highest power of the test in most cases with 2 variables whereas RH and HT respectively yield the highest power of the test for small and moderate sample sizes in most cases with 4 variables. In multivariate log-normal distribution, S and SR mostly yield the highest power of the test.

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำ สละเวลาเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และชี้แนะแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทในครั้งนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย ศาสตราจารย์ ดร.เสาวณิต สุขภารังษี และดร. สวพร หิญชีระนันทน์ ที่ได้เสียสละเวลาและกรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการปรับปรุงงานวิจัยฉบับนี้ ให้ถูกต้องและเสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อน ๆ ที่คอยให้การสนับสนุน ช่วยให้กำลังใจเสมอมา ทำให้สามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่าง ๆ ไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอมอบคุณความดีทั้งหมดให้แก่ผู้มีพระคุณตลอดจนคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่านที่ประสิทธิ์ ประสาทความรู้ให้แก่ผู้วิจัย ผู้วิจัยจึงขอคุณพระศรีรัตนตรัย ปกปักรักษาท่านทั้งหลายที่มีพระคุณต่อผู้วิจัย

วริศรา สำราญฤทธิ์

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

หน้า

สารบัญภาพ

หน้า

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันงานวิจัยในหลายสาขามีการศึกษาตัวแปรหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายตัว โดยตัวแปรที่ศึกษาเหล่านี้อาจมีความสัมพันธ์กัน หากทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคของการวิเคราะห์ตัวแปรเดียว (Univariate analysis) อาจทำให้ได้ผลการศึกษาที่ไม่ถูกต้อง เนื่องจากการวิเคราะห์ตัวแปรเดียวไม่ได้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรร่วมในการวิเคราะห์ จึงต้องใช้เทคนิคของการวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate analysis) ซึ่งจะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรร่วมในการวิเคราะห์ด้วย เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้ สำหรับการวิเคราะห์หลายตัวแปรที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรมีค่าเป็นไปตามที่คาดว่าจะเป็นหรือไม่ ตัวอย่างข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์เช่น การเก็บตัวอย่างน้ำดื่มจากตู้กดน้ำภายในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง ทำการวัดสารในน้ำเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานว่ามีปริมาณสารสอดคล้องกับค่ามาตรฐานหรือไม่ ตัวสถิติที่นิยมใช้คือ สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง (Hotelling T-square test) ซึ่งจัดเป็นการทดสอบแบบอิงพารามิเตอร์ (Parametric statistics) โดยมีข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption) เกี่ยวกับประชากร คือ ประชากรต้องมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร (Multivariate normal distribution) หากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นแล้ว จะทำให้การทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงขาดความน่าเชื่อถือ จึงจำเป็นที่จะต้องหาสถิติทดสอบอื่น เช่น สถิติทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric statistics) มาใช้วิเคราะห์แทน เนื่องจากไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการแจกแจงของข้อมูล เช่น สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร (Multivariate sign test) (Bennett, 1962) และสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร (Multivariate signed-rank test) (Oja, 1999) เป็นต้น หรือใช้สถิติทดสอบที่มีความแกร่ง เช่น สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทที่มีความแกร่ง (Robust Hotelling T-square test) (Willems, et al., 2002) ซึ่งเป็นตัวสถิติที่พัฒนาต่อมาจากสถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่มในการวิเคราะห์หลายตัวแปรมีดังนี้ Hettmansperger, Möttönen and Oja (1997) ได้ศึกษาการทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปรของตัวอย่างหนึ่งกลุ่ม โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับสำหรับค่าคงที่-ฟังก์ชันเชิงเส้น (Affine-invariant signed-rank test) สถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับเชิงพื้นที่ (Spatial signed-rank test) และสถิติทดสอบเครื่องหมาย (Sign test) ภายใต้สถานการณ์ที่ประชากรมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร (Multivariate t distribution) กำหนดจำนวนตัวแปรเป็น 1, 2, 3, 4, 6 และ 10 องศาเสรี (Degrees of freedom) เป็น 3, 4, 6, 8, 10, 15 และ 20 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร สถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับสำหรับค่าคงที่-ฟังก์ชันเชิงเส้นและสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับเชิงพื้นที่จะมีประสิทธิภาพดีใกล้เคียงกัน Oja and Randles (2004) ได้ศึกษาการทดสอบสมมติฐานเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยหลายตัวแปรโดยใช้สถิติทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์สำหรับทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปรและสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร ภายใต้สถานการณ์ที่ประชากรมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร กำหนดจำนวนตัวแปรเป็น 1, 2, 4 และ 10 องศาความเป็นอิสระเป็น 3, 6 และ 8 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อจำนวนตัวแปรเพิ่มขึ้นและองศาความเป็นอิสระเล็กลง ประสิทธิภาพของสถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปรและสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปรจะมีประสิทธิภาพดีขึ้น Willems et al. (2002) ได้ศึกษาเทคนิคในการอนุมานเกี่ยวกับค่ากลางของประชากรที่มีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร โดยปรับปรุงแก้ไขจากสถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง โดยใช้วิธีการประมาณค่า MCD (Minimum Covariance Determinant) เพื่อแก้ปัญหาข้อมูลที่มีค่าผิดปรกติ ได้เป็นตัวสถิติทดสอบตัวใหม่คือ สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่ง (Robust Hotelling T-square) สำหรับทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม จากการศึกษาสถานการณ์ที่ประชากรมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร ที่ขนาดตัวอย่าง 10, 20, 30, 50, 70, 100, 140 และ 200 และจำนวนตัวแปร 2, 5 และ 10 ผลจากการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่า สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่งมีกำลังการทดสอบที่ดีกว่าสถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง ในกรณีที่ข้อมูลมีค่าผิดปกติ (Outliers)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่าภายใต้การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร สถิติทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีค่าองศาความเป็นอิสระน้อย และภายใต้การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปรที่ข้อมูลมีค่าผิดปกติ สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่งจะมีประสิทธิภาพสูงสุด จากที่กล่าวมาเป็นการศึกษาภายใต้การแจกแจงที่มีลักษณะสมมาตร แต่ในทางปฏิบัติอาจพบข้อมูลที่มีลักษณะไม่สมมาตร เช่น ข้อมูลจำนวนฟันน้ำนมอุด ผุ และถอน ในเด็กอายุน้อยกว่า 6 ปี (โชติกา ศรีนวล, 2563) เป็นข้อมูลที่มีลักษณะเบ้ขวา ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง สถิติทดสอบทีกำลังสองของ

โฮเทลลิงที่มีความแกร่ง สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร และสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงหลายตัวแปร ภายใต้สถานการณ์ที่ข้อมูลมีความสัมพันธ์และความแปรปรวนในระดับที่แตกต่างกัน โดยใช้ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I error) และกำลังการทดสอบ (Power of a test) ของสถิติทดสอบเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบสถิติทดสอบ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่มสำหรับข้อมูลหลายตัวแปร ได้แก่ สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่ง สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร และสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร และการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร โดยใช้ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบสถิติทดสอบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่มสำหรับข้อมูลหลายตัวแปร ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1. กำหนดสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ดังนี้

ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันน้อย	$(0.01 \le \rho \le 0.39)$
ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันปานกลาง	$(0.40 \le \rho \le 0.59)$
ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันมาก	$(0.60 \le \rho \le 1.00)$

2. กำหนดรูปแบบของเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยและเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมดังนี้

กรณี 2 ตัวแปร : $\underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix}, \ \boldsymbol{\Sigma} = \sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix}$

กรณี 4 ตัวแปร : $\underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \\ \mu_4 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\Sigma} = \sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho & \rho \\ \rho & 1 & \rho & \rho \\ \rho & \rho & 1 & \rho \\ \rho & \rho & \rho & 1 \end{bmatrix}$

2.1 กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร

- ภายใต้สมมติฐานหลัก (H_0)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix}$$

กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$ และ 5

- ภายใต้สมมติฐานรอง (H_1)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix}$$

กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$ และ 5

2.2 กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร

- ภายใต้สมมติฐานหลัก (H_0)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\mu = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix}$$

กรณี 2 ตัวแปร กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$ และ 5

กรณี 4 ตัวแปร กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 3$ และ 5

- ภายใต้สมมติฐานรอง (H_1)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\mu = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix}$$

กรณี 2 ตัวแปร กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$ และ 5

กรณี 4 ตัวแปร กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 3$ และ 5

2.3 กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร

- ภายใต้สมมติฐานหลัก (H_0)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\mu = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix}$$

กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 0.25$ และ 1

- ภายใต้สมมติฐานรอง (H_1)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\mu = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix}$$

กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 0.25$ และ 1

3. กำหนดขนาดตัวอย่างเป็น 20, 30 และ 50

4. กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบ (Level of significance) เป็น 0.01 และ 0.05

5. ทำการจำลองค่าตัวแปรสุ่มตามการแจกแจงของประชากรที่กำหนด มีการทำซ้ำจำนวน 1,000 รอบ ในแต่ละสถานการณ์ โดยใช้โปรแกรม RStudio (Version 3.6.3) ในการประมวลผล

6. พิจารณาความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ

1.4 เกณฑ์ในการตัดสินใจ

การวิจัยนี้จะพิจารณาความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และกำลังการทดสอบเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบสถิติทดสอบ

1.5 คำสำคัญของการวิจัย

ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I error) หมายถึง ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อสมมติฐานหลักนั้นเป็นจริง เขียนแทนด้วย α

กำลังของการทดสอบหรือกำลังการทดสอบ (Power of a test) หมายถึง ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง เขียนแทนด้วย $1-\beta$

การทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-parametric test) หมายถึง การทดสอบสมมุติฐานที่ไม่ใช้ข้อสมมุติเกี่ยวกับการแจกแจงของประชากร โดยทั่วไปตัวสถิติมักคำนวณจากค่าลำดับที่ เช่น สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร

ตัวสถิติแกร่ง (Robust statistic) หมายถึง ตัวสถิติที่มีสมบัติความแกร่ง ดู Robustness ประกอบ

ความแกร่ง (Robustness) หมายถึง สมบัติที่กระบวนการทางสถิติใดๆ ไม่ไวเมื่อมีการเบี่ยงเบนไปจากข้อสมมุติ เช่น เมื่อการแจกแจงประชากรเบี่ยงเบนไปค่อนข้างมากจากการแจกแจงปรกติ ซึ่งเป็นข้อสมมุติที่กำหนด แล้วค่าพีของการทดสอบเปลี่ยนน้อยมาก การทดสอบสมมุติฐานดังกล่าวจะมีความแกร่ง หรือตัวสถิติที่ยังคงสมบัติเดิมเมื่อข้อมูลมาจากการแจกแจงผสมระหว่างการ

แจกแจงปรกติสองการแจกแจงที่มีความแปรปรวนต่างกัน หรือเมื่อข้อมูลมีค่านอกเกณฑ์ผสมมาด้วย ตัวสถิติดังกล่าวจะมีความแกร่ง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสถิติทดสอบที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่มในการวิเคราะห์หลายตัวแปร กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร และการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร

2. เป็นแนวทางในการเลือกใช้สถิติทดสอบให้เหมาะสมกับสถานการณ์ต่าง ๆ

3. เป็นแนวทางในการศึกษาต่อการทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่มในการวิเคราะห์หลายตัวแปร ในกรณีที่มีจำนวนตัวแปรมากกว่า 4 ตัวขึ้นไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงหลายตัวแปร โดยมีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร

2.1.2 การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร

2.1.3 การแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร

2.1.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

2.1.5 สถิติทดสอบ

2.1.6 เกณฑ์การเปรียบเทียบสถิติทดสอบ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร (Multivariate normal distribution)

ให้ $\underline{\boldsymbol{x}}$ แทน เวกเตอร์ของตัวแปรสุ่ม p ตัวหรือ $\underline{\boldsymbol{x}}' = (X_1, X_2, ..., X_p)$ มีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร โดยมีฟังก์ชันหนาแน่นน่าจะเป็นดังนี้

$$f(\underline{\boldsymbol{x}}) = \frac{1}{\left(\sqrt{2\pi}\right)^p |\boldsymbol{\Sigma}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\underline{\boldsymbol{x}}-\boldsymbol{\mu})'\boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\underline{\boldsymbol{x}}-\boldsymbol{\mu})}, -\infty < \underline{\boldsymbol{x}} < \infty, -\infty < \underline{\boldsymbol{\mu}} < \infty, |\boldsymbol{\Sigma}| > 0 \tag{2.1}$$

หรือเขียนสั้น ๆ ได้ดังนี้ $\underline{\boldsymbol{x}} \sim N_p(\underline{\boldsymbol{\mu}}, \boldsymbol{\Sigma})$

เมื่อ $\underline{\boldsymbol{\mu}}$ แทน เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยประชากร

Σ แทน เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix)

2.1.2 การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร (Multivariate *t* distribution)

ให้ $\underline{\boldsymbol{x}}$ แทน เวกเตอร์ของตัวแปรสุ่ม p ตัว มีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร โดยมีฟังก์ชันหนาแน่นน่าจะเป็น ดังนี้

$$f(\underline{x}) = \frac{\Gamma\left[\frac{1}{2}(\nu+p)\right]}{(\pi\nu)^{p/2}\Gamma\left[\frac{1}{2}\nu\right]|\Sigma|^{1/2}}\left(1+\nu^{-1}\left(\underline{x}-\underline{\mu}\right)'\Sigma^{-1}\left(\underline{x}-\underline{\mu}\right)\right)^{-\frac{1}{2}(\nu+p)} \quad ; \begin{array}{c} -\infty < \underline{x} < \infty \\ -\infty < \underline{\mu} < \infty \\ |\Sigma| > 0 \end{array} \tag{2.2}$$

เมื่อ $\underline{\mu}$ แทน เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากร

Σ แทน เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม

ν แทน องศาความเป็นอิสระ

2.1.3 การแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร (Multivariate lognormal distribution)

ให้ $\underline{x}' = (X_1, X_2, ..., X_p)$ เป็นเวกเตอร์สุ่มที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร โดยมีฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นดังนี้

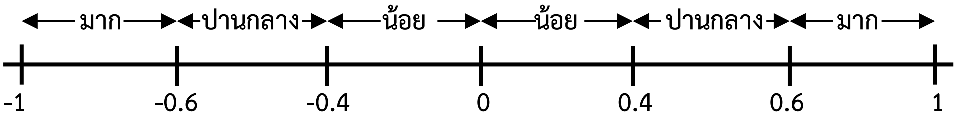
$$f(\underline{x}) = \frac{1}{\underline{x}(2\pi)^{p/2}|\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\ln \underline{x}-\underline{\mu})'\Sigma^{-1}(\ln \underline{x}-\underline{\mu})} \quad ; \begin{array}{c} 0 < \underline{x} < \infty \\ -\infty < \underline{\mu} < \infty \\ |\Sigma| > 0 \end{array} \tag{2.3}$$

เมื่อ $\underline{\mu}$ แทน เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากร

$\boldsymbol{\Sigma}$ แทน เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม

2.1.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นค่าที่บ่งบอกขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยปรกติมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง +1 โดยค่า 0 หมายความว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน ส่วนค่า -1 กับ +1 แสดงความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามและทิศทางเดียวกันโดยสมบูรณ์ตามลำดับ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีหลายตัว แต่ละตัวเหมาะสมกับข้อมูลลักษณะต่างๆ กัน โดยทั่วไปเมื่อไม่ระบุชื่อเฉพาะจะหมายถึงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน



ภาพ 1 ระดับความสัมพันธ์สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่าง ๆ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้กำหนดช่วงของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใช้สำหรับในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ใหม่ได้เป็น

0.00	แสดงว่า ตัวแปรสองตัวไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน
0.01 – 0.39	แสดงว่า ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันในระดับน้อย
0.40 – 0.59	แสดงว่า ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันในระดับปานกลาง
0.60 – 1.00	แสดงว่า ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันในระดับมาก

2.1.5 สถิติทดสอบ

2.1.5.1 สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง (Hotelling's T^2 test)

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงถูกคิดค้นโดย Harold Hotelling ในปี 1931 เป็นการขยายสถิติทดสอบที ในกรณีที่มีตัวแปรที่สนใจมากกว่า 1 ตัว โดยมีข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร (เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี, 2560) โดยสามารถกำหนดสมมติฐานหลัก (Null hypothesis) ของเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยประชากรว่ามีค่าเป็นไปตามที่คาดไว้ ได้ดังนี้

$$H_0 : \begin{bmatrix} \mu_{11} \\ \mu_{21} \\ \vdots \\ \mu_{p1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{10} \\ \mu_{20} \\ \vdots \\ \mu_{p0} \end{bmatrix} \qquad \text{หรือ} \qquad H_0 : \underline{\boldsymbol{\mu}} = \underline{\boldsymbol{\mu}}_0$$

สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$T^2 = n(\overline{\mathbf{X}} - \underline{\boldsymbol{\mu}}_0)' \boldsymbol{S}^{-1} (\overline{\mathbf{X}} - \underline{\boldsymbol{\mu}}_0) \qquad (2.4)$$

เมื่อ	T^2	แทน	สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง
	n	แทน	ขนาดตัวอย่าง
	$\boldsymbol{S}$	แทน	เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวอย่าง
	$\underline{\boldsymbol{\mu}}_0$	แทน	เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากร

$\bar{\mathbf{X}}$ แทน เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

โดย
$$\underset{(p\times 1)}{\bar{\mathbf{X}}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\mathbf{X}_i$$
$$\underset{(p\times p)}{\boldsymbol{S}} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\boldsymbol{X}_i - \bar{\mathbf{X}})(\boldsymbol{X}_i - \bar{\mathbf{X}})'$$

และจะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อ

$$T^2 > \frac{p(n-1)}{n-p}F_{p,n-p,\alpha}$$

เมื่อ $F_{p,n-p,\alpha}$ แทน ค่าวิกฤตของสถิติทดสอบ F ที่องศาเสรีเท่ากับ p และ $(n-p)$

p แทน จำนวนตัวแปร

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> กำหนดให้เมทริกซ์ $\underline{\boldsymbol{x}} = \begin{bmatrix} 6 & 9 \\ 10 & 6 \\ 8 & 3 \end{bmatrix}$ เป็นตัวอย่างสุ่มที่มาจากการแจกแจงแบบปรกติสองตัวแปร (Bivariate normal distribution) จงทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 9 \\ 5 \end{bmatrix}$ *vs.* $H_1 : \underline{\boldsymbol{\mu}} \neq \begin{bmatrix} 9 \\ 5 \end{bmatrix}$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 โดยใช้สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง

<u>วิธีทำ</u> $\bar{\mathbf{X}}_1 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\mathbf{X}_i \quad = \frac{1}{3}\left[6+10+8\right] \quad = 8$

$$\bar{\mathbf{X}}_2 = \frac{1}{3}\left[9+6+3\right] \quad = 6$$

$$\bar{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} 8 \\ 6 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{S}_{11} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\boldsymbol{X}_i - \bar{\mathbf{X}})(\boldsymbol{X}_i - \bar{\mathbf{X}})'$$

$$\boldsymbol{S}_{11} = \frac{1}{3-1}\left[(6-8)^2 + (10-8)^2 + (8-8)^2\right] \quad = 4$$

$$\boldsymbol{S}_{22} = \frac{1}{3-1}\left[(9-6)^2 + (6-6)^2 + (3-6)^2\right] \quad = 9$$

$$\boldsymbol{S}_{12} = \frac{1}{3-1}\left[(6-8)(9-6) + (10-8)(6-6) + (8-8)(3-6)\right] \quad = -3$$

$$\boldsymbol{S}_{12} = \boldsymbol{S}_{21}$$

$$\boldsymbol{S} = \begin{bmatrix} 4 & -3 \\ -3 & 9 \end{bmatrix}$$

$$T^2 = n(\bar{\mathbf{X}} - \underline{\boldsymbol{\mu}}_0)'\boldsymbol{S}^{-1}(\bar{\mathbf{X}} - \underline{\boldsymbol{\mu}}_0)$$

$$= 3\begin{bmatrix} 8-9 & 6-5 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 4 & -3 \\ -3 & 9 \end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix} 8-9 \\ 6-5 \end{bmatrix}$$

$$= 0.78$$

ค่าวิกฤต $\frac{p(n-1)}{n-p}F_{p,n-p,\alpha} = \frac{2(3-1)}{3-2}F_{2,3-2,0.10} = 198$

<u>สรุปผล</u> ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 เนื่องจาก

$T^2 < \frac{p(n-1)}{n-p}F_{2,3-2,0.10}$

2.1.5.2 สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่ง (Robust Hotelling's T^2 test)

สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่งถูกพัฒนาโดย Willems, et al. (2002) เป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากตัวสถิติทีกำลังสองของโฮเทลลิง โดยใช้วิธี MCD (Minimum Covariance Determinant) ซึ่งจะมีการถ่วงน้ำหนักของข้อมูลเพื่อใช้ในการประมาณค่า $\boldsymbol{T}^1$ และ $\boldsymbol{C}^1$ มีสูตรการคำนวณสถิติทดสอบโฮเทลลิ่งทีสแควร์ที่มีความแกร่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$T_R^2 = n(\boldsymbol{T}^1 - \underline{\boldsymbol{\mu}}_0)'(\boldsymbol{C}^1)^{-1}(\boldsymbol{T}^1 - \underline{\boldsymbol{\mu}}_0) \quad (2.5)$$

เมื่อ T_R^2 แทน สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่ง

และ
$$\boldsymbol{T^1} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \boldsymbol{x}_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (2.6)$$

$$\boldsymbol{C}^1 = c_\delta d_{n,p}\frac{\sum_{i=1}^{n} w_i(\boldsymbol{x}_i - \boldsymbol{T}^1)(\boldsymbol{x}_i - \boldsymbol{T}^1)'}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (2.7)$$

โดย w_i แทน ค่าถ่วงน้ำหนัก (Peter, Rousseeuw and Bert, 1990) หาได้จาก

$$w_i = \begin{cases} 1 & ; MD_i < \sqrt{\chi^2_{p,\alpha}} \\ 0 & ; MD_i \geq \sqrt{\chi^2_{p,\alpha}} \end{cases}$$

เมื่อ
$$MD_i = \sqrt{(\boldsymbol{X}_i - \underline{\boldsymbol{\mu}}_0)' \boldsymbol{S}^{-1} (\boldsymbol{X}_i - \underline{\boldsymbol{\mu}}_0)} \tag{2.8}$$

c_δ แทน ปัจจัยความมั่นคง (Consistency factor) ได้ค่าจาก Croux and Haesbroeck (1999)

$d_{n,p}$ แทน ปัจจัยความถูกต้องของตัวอย่างจำกัด (Finite-sample correction factor) ได้ค่าจาก Pison, Van Aelst and Willems (2001)

และจะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อ

$$T_R^2 > dF_{p,q,\alpha}$$

เมื่อ p แทน จำนวนตัวแปร

และ
$$q = \left[\frac{Var\left(T_R^2\right)}{\left(E\left(T_R^2\right)\right)^2} \frac{p}{2} - 1 \right]^{-1} (p+2) + 4 \tag{2.9}$$

$$d = E\left[T_R^2\right] \frac{q-2}{q} \tag{2.10}$$

โดยค่าของ $E\left(T_R^2\right)$ และ $Var\left(T_R^2\right)$ สามารถประมาณได้จากข้อมูลภายใต้สถานการณ์ที่ศึกษา

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> ข้อมูล X_1 และ X_2 สร้างโดยใช้โปรแกรม R มีการแจกแจงแบบปรกติสองตัวแปร

ตาราง 1 ข้อมูลสำหรับตัวอย่างที่ 2

ค่าสังเกตที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_1	-0.51	0.70	1.28	1.03	2.18	2.23	2.28	0.21	1.48	0.98
X_2	0.17	1.27	0.74	1.62	1.24	0.35	0.28	1.84	0.35	0.50

จงทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ $vs.$ $H_1 : \underline{\boldsymbol{\mu}} \neq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงมีความแกร่ง

<u>วิธีทำ</u> คำนวณหาค่า w_i ได้ผลดังนี้

ตาราง 2 แสดงค่า w_i

ค่าสังเกตที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MD	2.39	0.51	0.48	1.05	1.45	1.58	1.68	1.51	1.12	0.84
w	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

จะได้ว่า
$$\boldsymbol{T}^1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \boldsymbol{x}_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} = \begin{bmatrix} 1.19 \\ 0.84 \end{bmatrix}$$

เมื่อ $c_\delta = 3.259$ ได้มาจาก Croux and Haesbroeck (1999)

$d_{n,p} = 1.67$ ได้มาจาก Pison, Van Aelst and Willems (2001))

$$\boldsymbol{C}^1 = c_\delta d_{n,p} \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i (\boldsymbol{x}_i - \boldsymbol{T}^1)(\boldsymbol{x}_i - \boldsymbol{T}^1)'}{\sum_{i=1}^{n} w_i} = \begin{bmatrix} 1.46 & -0.19 \\ -0.19 & 0.65 \end{bmatrix}$$

ดังนั้น

$$T_R^2 = n(\boldsymbol{T}^1 - \underline{\boldsymbol{\mu}}_0)'(\boldsymbol{C}^1)^{-1}(\boldsymbol{T}^1 - \underline{\boldsymbol{\mu}}_0)$$

$$T_R^2 = 10\begin{bmatrix} 1.19-0 & 0.84-0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.46 & -0.19 \\ -0.19 & 0.65 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1.19-0 \\ 0.84-0 \end{bmatrix}$$

$$= 0.55$$

และค่าวิกฤต $dF_{2,4,0.05} = 1.75(6.94) = 12.14$

โดยค่า d และ q หาได้จากการจำลองสถานการณ์ (Simulation)

<u>สรุปผล</u> ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจาก $T_R^2 < dF_{2,4,0.05}$

2.1.5.3 สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร (Multivariate sign test)

สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปรถูกพัฒนาโดย Randles (1989) เป็นการใช้สถิติเครื่องหมายสำหรับแต่ละองค์ประกอบของเวกเตอร์ และรวมให้อยู่ในรูปกำลังสอง โดยมีสูตรดังนี้

$$S_n^* = \boldsymbol{S}'(n\hat{\boldsymbol{W}})^{-1}\boldsymbol{S} \qquad (2.11)$$

เมื่อ S_n^* แทน สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร

n แทน ขนาดตัวอย่าง

$\boldsymbol{S}$ แทน เวกเตอร์ผลรวมของเครื่องหมายแต่ละตัวแปร

$\hat{\boldsymbol{W}}$ แทน เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ $\boldsymbol{S}$

โดย
$$\underset{p\times 1}{\boldsymbol{S}} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_p \end{bmatrix}$$

เมื่อ
$$\boldsymbol{S}_i = \sum_{j=1}^{n} \operatorname{sgn}(\boldsymbol{x}_{ij} - \mu_{i0})$$

และ
$$\operatorname{sgn}(\boldsymbol{x}_{ij} - \mu_{i0}) = \begin{cases} -1 & ; \quad \boldsymbol{x}_{ij} - \mu_{i0} < 0 \\ 0 & ; \quad \boldsymbol{x}_{ij} - \mu_{i0} = 0 \\ 1 & ; \quad \boldsymbol{x}_{ij} - \mu_{i0} > 0 \end{cases} \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, \ldots, p \tag{2.12}$$

$$\underset{(p\times p)}{\hat{\boldsymbol{W}}} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1p} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2p} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ W_{p1} & W_{p2} & \cdots & W_{pp} \end{bmatrix}$$

เมื่อ
$$W_{lk} = n^{-1} \sum_{j=1}^{n} \operatorname{sgn}(x_{lj} - \mu_{l0}) \operatorname{sgn}(x_{kj} - \mu_{k0}) \quad , \; l, k = 1, 2, \ldots, p \tag{2.13}$$

และจะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อ

$$S_n^* > \chi^2_{p,\alpha}$$

เมื่อ p แทน จำนวนตัวแปร

<u>ตัวอย่างที่ 3</u> กำหนดให้เมทริกซ์ $\underline{\boldsymbol{x}} = \begin{bmatrix} 6 & 9 \\ 10 & 6 \\ 8 & 3 \end{bmatrix}$ เป็นตัวอย่างสุ่มที่มาจากการแจกแจงแบบปรกติสองตัวแปร (Bivariate normal distribution) จงทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 9 \\ 5 \end{bmatrix}$ *vs.* $H_1 : \underline{\boldsymbol{\mu}} \neq \begin{bmatrix} 9 \\ 5 \end{bmatrix}$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 โดยใช้สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร

<u>วิธีทำ</u>
$$S_i = \sum_{j=1}^{3} \operatorname{sgn}(X_{ij} - \mu_{i0})$$

$$S_1 = (-1)+(1)+(-1) = -1$$

$$S_2 = (1)+(1)+(-1) = 1$$

ดังนั้น $$\boldsymbol{S} = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$W_{lk} = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3} \operatorname{sgn}(x_{il} - \mu_0)\operatorname{sgn}(x_{ik} - \mu_0)$$

$$W_{11} = \frac{1}{3}\left[(-1)(-1)+(1)(1)+(-1)(-1)\right]$$

$$= 1$$

$$W_{22} = \frac{1}{3}\left[(1)(1)+(1)(1)+(-1)(-1)\right]$$

$$= 1$$

$$W_{12} = \frac{1}{3}\left[(-1)(1)+(1)(1)+(-1)(-1)\right]$$

$$= 0.33$$

$$= W_{21}$$

ดังนั้น $$\hat{\boldsymbol{W}} = \begin{bmatrix} 1 & 0.33 \\ 0.33 & 1 \end{bmatrix}$$

คำนวณค่าสถิติทดสอบ $$S_n^* = \boldsymbol{S}'(n\hat{\boldsymbol{W}})^{-1}\boldsymbol{S}$$

$$= \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}\left(3\begin{bmatrix} 1 & 0.33 \\ 0.33 & 1 \end{bmatrix}\right)^{-1}\begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= 1$$

ค่าวิกฤต $\chi^2_{2,0.10} = 4.61$

<u>สรุปผล</u> ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 เนื่องจาก $S_n^* < \chi^2_{2,0.10}$

2.1.5.4 สถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร (Multivariate signed-rank test)

สถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปรได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี 1997 โดย Thomas P, Hettmansperger, Jyrki Mottonen and Hannu Oja เป็นการนำเอาเครื่องหมายของผลต่างระหว่างค่าสังเกตกับค่าเฉลี่ยของประชากรและลำดับของผลต่างดังกล่าวมาคำนวณสถิติทดสอบโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณค่าความแตกต่างของค่าสังเกต x_{ij} กับค่าเฉลี่ย μ_{i0} นั่นคือ $d_{ij} = x_{ij} - \mu_{i0}$ เมื่อ $i = 1, 2, ..., p$ และ $j = 1, 2, ..., n$

2. เรียงลำดับ $|d_{ij}|$ จากน้อยไปมาก (โดยไม่สนใจเครื่องหมาย) ถ้า $|d_{ij}|$ มีค่าเท่ากันหลายตัวให้ใช้อันดับเฉลี่ย

3. ใส่เครื่องหมายให้แก่อันดับตามเครื่องหมายของ d_{ij} และให้ $Q(d_{ij})$ แทน อันดับที่มีเครื่องหมายของ d_{ij}

4. ให้ $\boldsymbol{T_{2n}}$ แทน เวกเตอร์ผลรวมของอันดับที่มีเครื่องหมาย $\underset{(p\times 1)}{\boldsymbol{T_{2n}}} = (T_1, T_2, ..., T_p)'$

เมื่อ
$$T_i = \sum_{j=1}^{n} Q(d_{ij}) \quad , \; i = 1, 2, ..., p \qquad (2.14)$$

5. หา $\boldsymbol{B}_{2n}$ แทน เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม

เมื่อ
$$\underset{(p\times p)}{\boldsymbol{B}_{2n}} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1p} \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & B_{2p} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ B_{p1} & B_{p2} & \cdots & B_{pp} \end{bmatrix}$$

$$B_{lk} = n^{-1} \sum_{j=1}^{n} Q(d_{lj}) Q(d_{kj}) \quad , \; l, k = 1, 2, ..., p \qquad (2.15)$$

6. คำนวณค่าสถิติทดสอบ $\boldsymbol{U = n^{-1} T'_{2n} B_{2n}^{-1} T_{2n}}$

และจะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อ

$$U > \chi^2_{p,\alpha}$$

เมื่อ p แทน จำนวนตัวแปร

ตัวอย่างที่ 4 กำหนดให้เมทริกซ์ $\underline{\boldsymbol{x}} = \begin{bmatrix} 2 & 12 \\ 8 & 9 \\ 6 & 9 \\ 8 & 10 \end{bmatrix}$ เป็นตัวอย่างสุ่มที่มาจากการแจกแจงแบบปรกติสองตัวแปร จงทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 7 \\ 11 \end{bmatrix}$ $VS.$ $H_1 : \underline{\boldsymbol{\mu}} \neq \begin{bmatrix} 7 \\ 11 \end{bmatrix}$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้สถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร

วิธีทำ

ตาราง 3 การคำนวณหาค่า $Q(d_{ij})$ ของตัวอย่างที่ 4

ตัวแปร	ค่าสังเกต	$d_{ij} = x_{ij} - \boldsymbol{\mu}_0$	ลำดับที่ของ d_{ij}	$Q(d_{ij})$
x_{11}	2	-5	4	-4
x_{12}	8	1	2	2
x_{13}	6	-1	2	-2
x_{14}	8	1	2	2
x_{21}	12	1	1.5	1.5
x_{22}	9	-2	3.5	-3.5
x_{23}	9	-2	3.5	-3.5
x_{24}	10	-1	1.5	-1.5

$$T_i = \sum_{j=1}^{4} Q(d_{ij})$$

$$T_1 = (-4) + (2) + (-2) + (2)$$

$$= -2$$

$$T_2 = (1.5) + (-3.5) + (-3.5) + (-1.5)$$

$$= -7$$

ดังนั้น $$\boldsymbol{T}_{2n} = \begin{bmatrix} -2 \\ -7 \end{bmatrix}$$

$$B_{lk} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{4} Q(d_{il}) Q(d_{ik})$$

$$B_{11} = \frac{1}{4}\left[(-4)(-4)+(2)(2)+(-2)(-2)+(2)(2)\right]$$

$$=1.75$$

$$B_{22} = \frac{1}{4}\left[(1.5)(1.5)+(-3.5)(-3.5)+(-3.5)(-3.5)+(-1.5)(-1.5)\right]$$

$$=7.25$$

$$B_{12} = \frac{1}{4}\left[(-4)(1.5)+(2)(-3.5)+(-2)(-3.5)+(2)(-1.5)\right]$$

$$=-2.25 \ = B_{21}$$

ดังนั้น $$\boldsymbol{B}_{2n} = \begin{bmatrix} 7.00 & -2.25 \\ -2.25 & 7.25 \end{bmatrix}$$

คำนวณค่าสถิติทดสอบ $$U = n^{-1}\boldsymbol{T}_{2n}^{T}\boldsymbol{B}_{2n}^{-1}\boldsymbol{T}_{2n}$$

$$=\frac{1}{4}\begin{bmatrix}-2 & -7\end{bmatrix}\begin{bmatrix} 7.00 & -2.25 \\ -2.25 & 7.25 \end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}-2 \\ -7\end{bmatrix}$$

$$=2.38$$

ค่าวิกฤต $\chi^2_{2,0.05} = 5.99$

<u>สรุปผล</u> ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจาก $U < \chi^2_{2,0.05}$

2.1.6 เกณฑ์การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบ

2.1.6.1 ความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบ

ในการทดสอบสมมติฐานเชิงสถิตินั้น เมื่อผลการทดสอบยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าสังเกตที่ได้จากตัวอย่างชุดนั้นชี้ให้เห็นว่าควรยอมรับ H_0 นั่นคือ มีความน่าจะเป็นสูงที่ H_0 จะเป็นจริง แต่ไม่ได้หมายความว่า H_0 เป็นจริงเสมอไป เพียงแต่มีความเป็นไปได้สูงที่ H_0 จะเป็นจริง และการปฏิเสธ H_0 ก็เช่นเดียวกัน ไม่ได้หมายความว่า H_0 ไม่จริงเสมอไป เพียงแต่มีความเป็นไปได้สูงที่ H_0 จะไม่จริง ดังนั้นในการตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 จึงมีความเสี่ยงสูงที่ผู้วิจัยจะตัดสินใจคลาดเคลื่อน แต่ก็คาดหวังว่าความคลาดเคลื่อนนี้มีค่าน้อย ๆ (เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี, 2559)

ตาราง 4 ประเภทของความคลาดเคลื่อนในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐาน	การตัดสินใจ	
(H_0)	ยอมรับ H_0	ปฏิเสธ H_0
จริง	ระดับความเชื่อมั่น $(1-\alpha)$	ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (α)
เท็จ	ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 2 (β)	กำลังการทดสอบ $(1-\beta)$

ความคลาดเคลื่อนทางสถิติมี 2 ประเภท ดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I error) คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อสมมติฐานหลักนั้นเป็นจริง ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เขียนแทนด้วย α นั่นคือ

$$\alpha = \Pr[\text{ปฏิเสธ } H_0 | H_0 \text{ เป็นจริง}]$$

2. ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 2 (Type II error) คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานหลัก เมื่อสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 2 เขียนแทนด้วย β นั่นคือ

$$\beta = \Pr[\text{ยอมรับ } H_0 | H_0 \text{ ไม่เป็นจริง}]$$

โดยกำลังการทดสอบหรือกำลังการทดสอบ (Power of a test) คือ ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง เขียนแทนด้วย $1-\beta$ นั่นคือ

$$1-\beta = \Pr[\text{ปฏิเสธ } H_0 | H_0 \text{ ไม่เป็นจริง}]$$

2.1.6.2 เกณฑ์ในการควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

งานวิจัยนี้จะพิจารณาว่าตัวสถิติทดสอบสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 นั้นสามารถควบคุมได้เมื่อความคลาดเคลื่อนมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด โดยใช้การทดสอบทวินาม (Binomial test) (อุมาพร จันทศร, 2542) ดังนี้

$$H_0 : \alpha \geq \alpha_0$$

$$H_1 : \alpha < \alpha_0$$

สถิติทดสอบคือ

$$Z = \frac{\alpha^* - \alpha_0}{\sqrt{\frac{\alpha_0(1-\alpha_0)}{N}}} \qquad (2.16)$$

กำหนดให้ α แทน ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

α^* แทน ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง

α_0 แทน ระดับนัยสำคัญที่กำหนด นั่นคือ 0.01 และ 0.05

N แทน จำนวนครั้งที่ทำการทดลองในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1,000 ครั้ง

ดังนั้น เกณฑ์ในการพิจารณาว่า α^* อยู่ในช่วงของการปฏิเสธ H_0 หรือสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ มีดังนี้

1. กรณี $\alpha = 0.01$ เกณฑ์ในการพิจารณา คือ

$$\alpha^* < 0.01 + z_\alpha \sqrt{\frac{(0.01)(0.99)}{1000}}$$

นั่นคือ $\alpha^* < 0.0173$ จะสรุปว่า ปฏิเสธ H_0

2. กรณี $\alpha = 0.05$ เกณฑ์ในการพิจารณา คือ

$$\alpha^* < 0.05 + z_\alpha \sqrt{\frac{(0.05)(0.95)}{1000}}$$

นั่นคือ $\alpha^* < 0.0613$ จะสรุปว่า ปฏิเสธ H_0

ดังนั้นสถิติทดสอบที่มีค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 อยู่ในช่วงดังกล่าว จะพิจารณาว่าสถิติทดสอบนั้นสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ณ ระดับนัยสำคัญนั้น ๆ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hettmansperger, Möttönen, and Oja (1997) ได้ศึกษาการทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปรของตัวอย่างหนึ่งกลุ่ม โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับสำหรับค่าคงที่-ฟังก์ชันเชิงเส้น (Affine-invariant signed-rank test) สถิติทดสอบเครื่องหมาย-อันดับเชิงพื้นที่ (Spatial signed-rank test) และสถิติทดสอบเครื่องหมาย (Sign test) ภายใต้สถานการณ์ที่ประชากรมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร (Multivariate-t distribution) กำหนดจำนวนตัวแปรเป็น 1, 2, 3, 4, 6 และ 10 องศาเสรีเป็น 3, 4, 5, 8, 10, 15 และ 20 โดย ∞ แทน การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร ผลการศึกษาพบว่าเมื่อองศาเสรีลดลง จะทำให้สถิติทดสอบทั้ง 3 ตัวมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนตัวแปรน้อย พบว่าสถิติทดสอบเครื่องหมาย

อันดับสำหรับค่าคงที่-ฟังก์ชันเชิงเส้น และสถิติทดสอบเครื่องหมาย-อันดับเชิงพื้นที่ จะมีประสิทธิภาพสูงสุด และเมื่อจำนวนตัวแปรเยอะ สถิติทดสอบเครื่องหมาย จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด

Möttönen, Oja, and Tienari (1997) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสถิติทดสอบเครื่องหมาย-อันดับเชิงพื้นที่หลายตัวแปร โดยเปรียบเทียบสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับเชิงพื้นที่หลายตัวแปรกับสถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร ในกรณีประชากรหนึ่งกลุ่ม ภายใต้สถานการณ์ที่ประชากรมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร กำหนดจำนวนตัวแปรเป็น 1, 2, 4, 6 และ 10 องศาเสรีเป็น 3, 4, 6, 8, 10, 15 และ 20 เมื่อ ∞ แทน การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร ผลการศึกษาพบว่าในสถานการณ์ที่ประชากรมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร สถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับเชิงพื้นที่หลายตัวแปรมีประสิทธิภาพมากกว่าสถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร สำหรับกรณีประชากรมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร เมื่อองศาเสรีน้อย สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปรจะมีประสิทธิภาพมากกว่าสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับเชิงพื้นที่หลายตัวแปร แต่เมื่อจำนวนตัวแปรเพิ่มขึ้นสถิติทดสอบทั้ง 2 ตัวมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Willems et al. (2002) ได้ศึกษาเทคนิคในการอนุมานค่าเฉลี่ยของประชากรที่มีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร โดยปรับปรุงพัฒนาต่อจากสถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง ใช้วิธีการประมาณค่า MCD (Minimum Covariance Determinant) เพื่อแก้ไขข้อมูลที่มีค่าผิดปรกติ ได้เป็นตัวสถิติทดสอบใหม่คือ สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่ง (Robust Hotelling T-square) สำหรับทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม ภายใต้สถานการณ์ที่ประชากรมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร กำหนดจำนวนตัวแปรเป็น 2, 5 และ 10 ขนาดตัวอย่างเป็น 10, 20, 30, 50, 70, 100, 140 และ 200 ผลจากการจำลองข้อมูลแสดงให้เห็นว่า สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่ง มีกำลังการทดสอบมากกว่าสถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงในทุกสถานการณ์ ซึ่งสถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่งจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นในกรณีที่มีข้อมูลผิดปรกติ

Oja and Randles (2004) ได้ศึกษาสถิติไม่อิงพารามิเตอร์สำหรับทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่มในการวิเคราะห์หลายตัวแปร โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร และสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร ภายใต้สถานการณ์ที่ประชากรมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร กำหนดจำนวนตัวแปรเป็น 1, 2, 4 และ 10 องศาเสรีเป็น 3 และ 6 เมื่อ ∞ แทน การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร ผลการศึกษาพบว่า เมื่อจำนวนตัวแปรเพิ่มขึ้นและมีองศาความเป็นอิสระเล็กลง ประสิทธิภาพของสถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปรและสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปรจะมีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่เมื่อจำนวนตัวแปรเพิ่มขึ้นสถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปรมีประสิทธิภาพดีกว่าสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร

Jurečková and Kalina (2012) ได้ศึกษาเปรียบเทียบสถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงและสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับของวิลคอกซันหลายตัวแปร (Multivariate Wilcoxon signed-rank test) สำหรับทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระกัน ใช้กำลังการทดสอบเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ ภายใต้สถานการณ์ที่ประชากรมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปรและการแจกแจงแบบโคชี (Cauchy distribution) กำหนดขนาดตัวอย่างเป็น 10, 25, 100 และ 1,000 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของประชากรกลุ่มที่หนึ่งเป็น $N_p(\boldsymbol{\mu}_1, \boldsymbol{\Sigma}_1)$ และประชากรกลุ่มที่ 2 เป็น $N_p(\boldsymbol{\mu}_2, \boldsymbol{\Sigma}_2)$ ทำการเปรียบเทียบโดยเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เป็นดังนี้ กรณีที่ 1 เป็น $\boldsymbol{\mu}_1 = \boldsymbol{\mu}_2, \boldsymbol{\Sigma}_1 = \boldsymbol{\Sigma}_2$ กรณีที่ 2 เป็น $\boldsymbol{\mu}_1 \neq \boldsymbol{\mu}_2, \boldsymbol{\Sigma}_1 = \boldsymbol{\Sigma}_2$ กรณีที่ 3 เป็น $\boldsymbol{\mu}_1 = \boldsymbol{\mu}_2, \boldsymbol{\Sigma}_1 \neq \boldsymbol{\Sigma}_2$ และกรณีที่ 4 เป็น $\boldsymbol{\mu}_1 \neq \boldsymbol{\mu}_2, \boldsymbol{\Sigma}_1 \neq \boldsymbol{\Sigma}_2$ ผลการศึกษาภายใต้สถานการณ์ที่ประชากรมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปรพบว่าในกรณีที่ 3 สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปรมีกำลังการทดสอบมากกว่าสถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง แต่ในกรณีอื่น ๆ สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงมีกำลังการทดสอบสูงสุด และภายใต้สถานการณ์ที่ประชากรมีการแจกแจงโคชี สถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับของวิลคอกซันหลายตัวแปรมีกำลังการทดสอบมากกว่าสถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง ในทุกกรณีที่ศึกษา

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงหลายตัวแปร ซึ่งเป็นการศึกษาในลักษณะของการจำลองสถานการณ์ โดยเนื้อหาในบทนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

3.1 ขอบเขตของการวิจัย
3.2 ขั้นตอนการวิจัย
3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

3.1 ขอบเขตของการวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่มสำหรับข้อมูลหลายตัวแปร ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1. กำหนดสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ดังนี้

ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันน้อย $(0.01 \le \rho \le 0.39)$
ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันปานกลาง $(0.40 \le \rho \le 0.59)$
ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันมาก $(0.60 \le \rho \le 1.00)$

2. กำหนดรูปแบบของเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยและเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมดังนี้

กรณี 2 ตัวแปร : $\underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\Sigma} = \sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix}$

กรณี 4 ตัวแปร : $\underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \\ \mu_4 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\Sigma} = \sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho & \rho \\ \rho & 1 & \rho & \rho \\ \rho & \rho & 1 & \rho \\ \rho & \rho & \rho & 1 \end{bmatrix}$

2.1 กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร

- ภายใต้สมมติฐานหลัก (H_0)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix}$$

กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$ และ 5

- ภายใต้สมมติฐานรอง (H_1)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix}$$

กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$ และ 5

2.2 กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร

- ภายใต้สมมติฐานหลัก (H_0)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\mu = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix}$$

กรณี 2 ตัวแปร กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$ และ 5

กรณี 4 ตัวแปร กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 3$ และ 5

- ภายใต้สมมติฐานรอง (H_1)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\mu = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix}$$

กรณี 2 ตัวแปร กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$ และ 5

กรณี 4 ตัวแปร กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 3$ และ 5

2.3 กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร

- ภายใต้สมมติฐานหลัก (H_0)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\mu = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \\ 1.0 \end{bmatrix}$$

กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 0.25$ และ 1

- ภายใต้สมมติฐานรอง (H_1)

กำหนดค่าเฉลี่ยของ 2 และ 4 ตัวแปร ตามลำดับดังนี้

$$\mu = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{\boldsymbol{\mu}} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \\ 2.0 \end{bmatrix}$$

กำหนดความแปรปรวน $\sigma^2 = 0.25$ และ 1

3. กำหนดขนาดตัวอย่างเป็น 20, 30 และ 50

4. กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบ (Level of significance) เป็น 0.01 และ 0.05

5. ทำการจำลองค่าตัวแปรสุ่มตามการแจกแจงของประชากรที่กำหนด มีการทำซ้ำจำนวน 1,000 รอบ ในแต่ละสถานการณ์ โดยใช้โปรแกรม RStudio (Version 3.6.3) ในการประมวลผล

6. พิจารณาความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบสถิติทดสอบ

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยผู้วิจัยใช้โปรแกรม RStudio (Version 3.6.3) ในการประมวลผล แบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนในการคำนวณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

1. กำหนดจำนวนตัวแปร

2. กำหนดขนาดตัวอย่าง

3. กำหนดเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยและเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของประชากรตามสถานการณ์ที่กำหนด

4. สร้างข้อมูลตามการแจกแจงของประชากรภายใต้ H_0

5. ตรวจสอบการแจกแจงของประชากร

6. คำนวณค่าสถิติทดสอบทั้ง 4 วิธี แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤต

7. สรุปผลการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก

8. ทำข้อ 1-7 จำนวน 1,000 ครั้ง เมื่อครบแล้วให้นับจำนวนครั้งของการปฏิเสธสมมติฐานหลัก แล้วคำนวณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากนั้นพิจารณาเปรียบเทียบค่าที่ได้กับเกณฑ์ในการควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 แล้วจึงนำวิธีที่สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ไปคำนวณกำลังการทดสอบต่อไป

การคำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ทำได้ดังนี้

$$\alpha = \frac{(\text{จำนวนครั้งของการปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง})}{1{,}000}$$

9. กลับไปทำซ้ำข้อที่ 1-8 จนครบทุกสถานการณ์ที่กำหนด

3.2.2 ขั้นตอนในการคำนวณกำลังการทดสอบ

1. กำหนดจำนวนตัวแปร

2. กำหนดขนาดตัวอย่าง

3. กำหนดเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยและเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของประชากร

4. สร้างข้อมูลตามการแจกแจงของประชากรภายใต้ H_1

5. ตรวจสอบการแจกแจงของประชากร

6. คำนวณค่าสถิติทดสอบทั้ง 4 วิธีแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤต

7. สรุปผลการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก

8. ทำข้อ 1-7 จำนวน 1,000 ครั้ง เมื่อครบแล้วให้นับจำนวนครั้งของการปฏิเสธสมมติฐานหลัก แล้วคำนวณกำลังการทดสอบ

$$1-\beta = \frac{\text{(จำนวนครั้งของการปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักไม่จริง)}}{1{,}000}$$

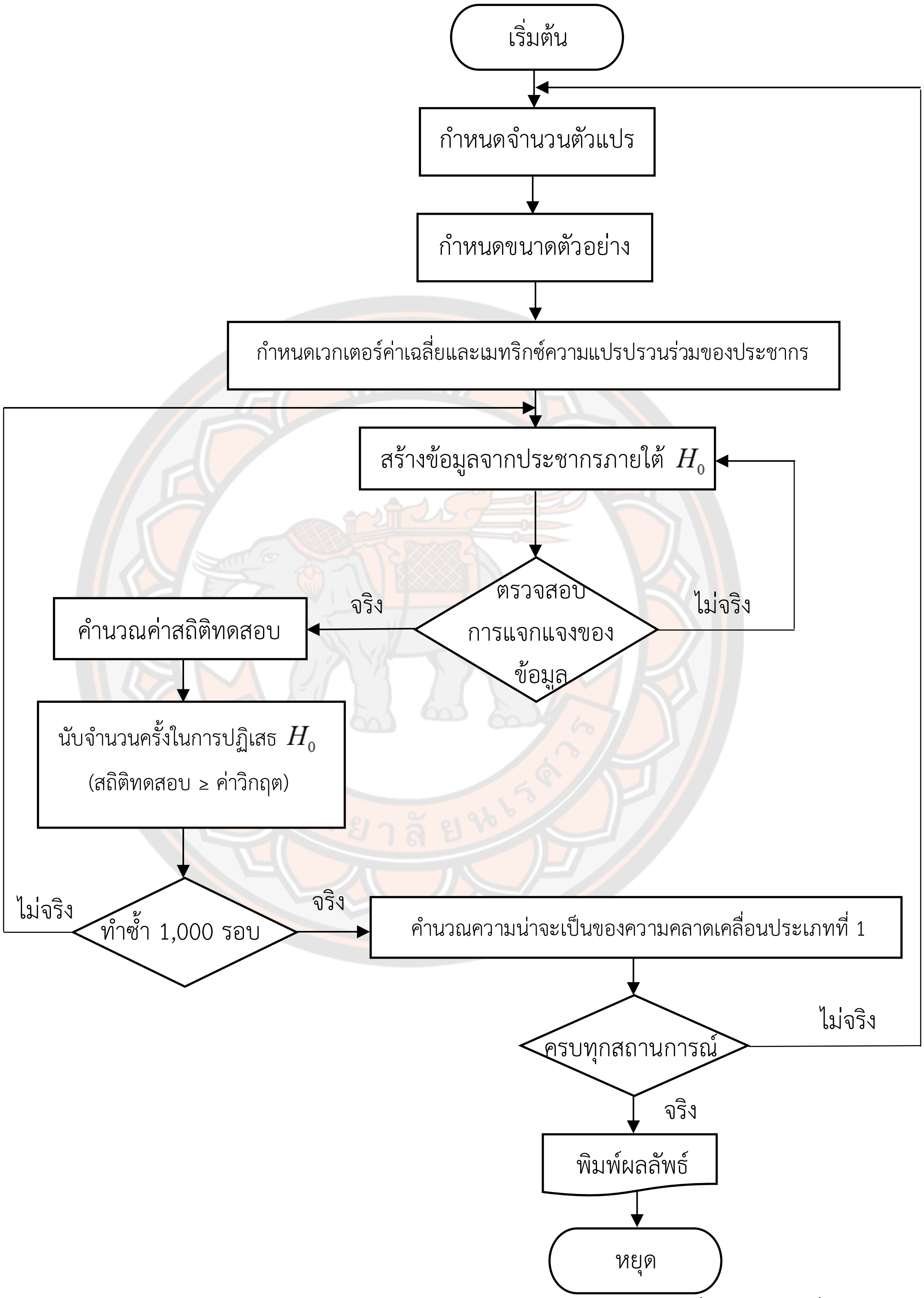
จากนั้นพิจารณาเปรียบเทียบกำลังการทดสอบในแต่ละสถานการณ์

9. กลับไปทำซ้ำข้อที่ 1-8 จนครบทุกสถานการณ์ที่กำหนด

3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

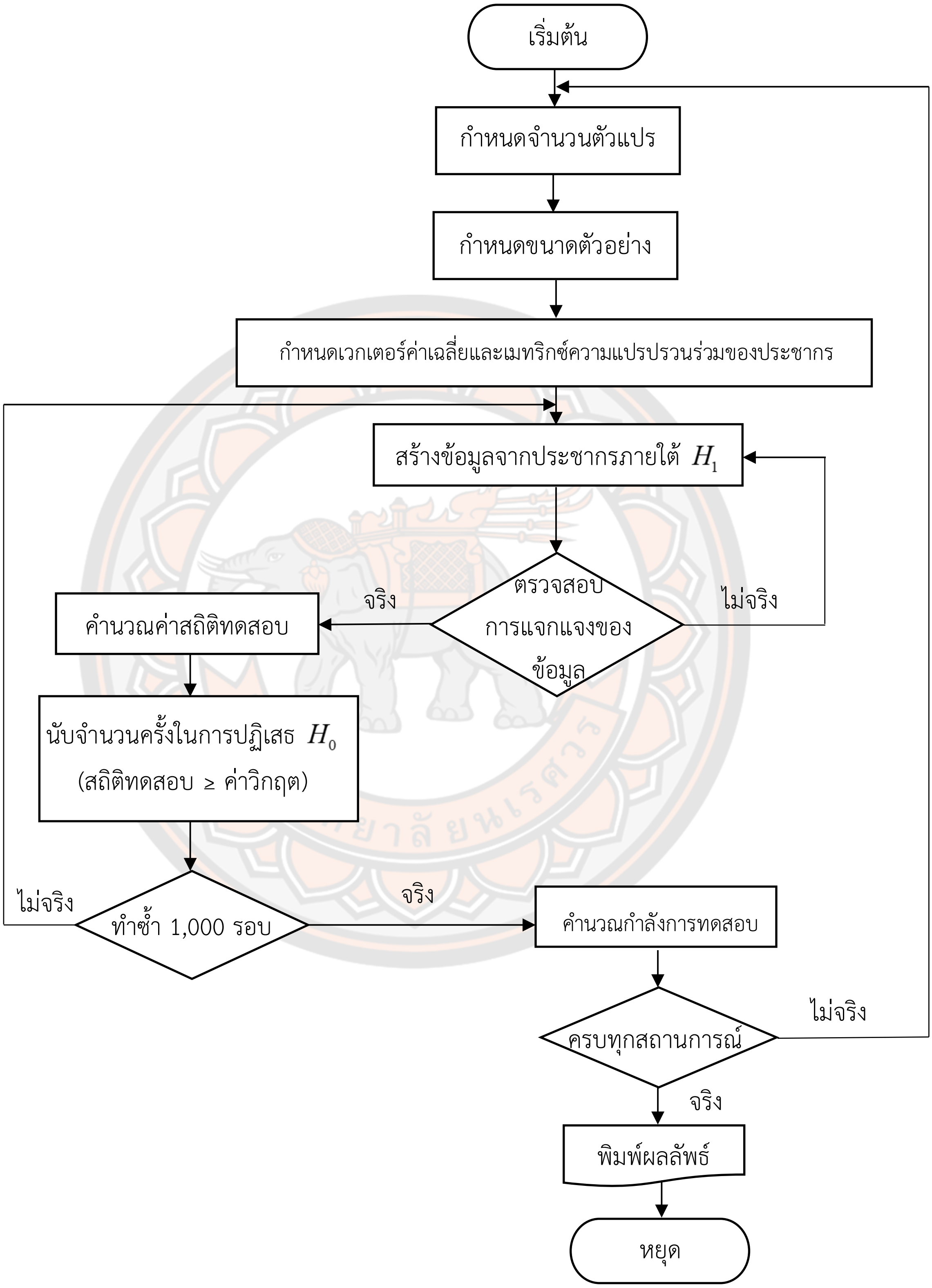
ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของผังงาน (Flowchart) ได้ดังนี้

3.3.1 ขั้นตอนการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1



ภาพ 2 ผังงานการคำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

3.3.2 ขั้นตอนการคำนวณกำลังการทดสอบ



ภาพ 3 ผังงานการคำนวณกำลังการทดสอบ

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม ได้แก่ สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่ง สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร และสถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร และการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร โดยทำการจำลองข้อมูลและทำซ้ำจำนวน 1,000 รอบ เกณฑ์การเปรียบเทียบพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ

การนำเสนอผลการวิจัย แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

4.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร

4.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร

4.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร

4.4 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม

การนำเสนอผลการวิจัยในที่นี้ ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ดังนี้

n	แทน ขนาดตัวอย่าง
ρ	แทน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
σ^2	แทน ค่าความแปรปรวนของประชากร
$\underline{\mu}$	แทน ค่าเฉลี่ยของประชากร
α	แทน ระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบ
HT	แทน สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิง
RH	แทน สถิติทดสอบทีกำลังสองของโฮเทลลิงที่มีความแกร่ง
S	แทน สถิติทดสอบเครื่องหมายหลายตัวแปร
SR	แทน สถิติทดสอบเครื่องหมายอันดับหลายตัวแปร
Type I error	แทน ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1
Power of a test	แทน กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ

4.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปร

4.1.1 ผลการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ

4.1.1.1 กรณี 2 ตัวแปร

ตาราง 5 ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 2 ตัว

α	n	ρ	$\sigma^2=1$				$\sigma^2=5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
0.01	20	0.2	0.011*	0.005*	0.009*	0.006*	0.012*	0.002*	0.005*	0.007*
		0.5	0.006*	0.002*	0.008*	0.004*	0.005*	0.001*	0.004*	0.004*
		0.8	0.011*	0.005*	0.001*	0.003*	0.017*	0.004*	0.005*	0.008*
	30	0.2	0.010*	0.002*	0.005*	0.004*	0.007*	0.003*	0.008*	0.006*
		0.5	0.008*	0.000*	0.008*	0.007*	0.006*	0.000*	0.008*	0.005*
		0.8	0.013*	0.002*	0.004*	0.007*	0.009*	0.002*	0.003*	0.008*
	50	0.2	0.017*	0.000*	0.006*	0.012*	0.009*	0.000*	0.010*	0.008*
		0.5	0.013*	0.000*	0.013*	0.011*	0.008*	0.001*	0.013*	0.007*
		0.8	0.006*	0.001*	0.002*	0.006*	0.007*	0.001*	0.004*	0.003*
0.05	20	0.2	0.039*	0.040*	0.030*	0.037*	0.042*	0.041*	0.040*	0.042*
		0.5	0.040*	0.036*	0.025*	0.037*	0.040*	0.033*	0.028*	0.033*
		0.8	0.045*	0.041*	0.022*	0.031*	0.048*	0.042*	0.027*	0.039*
	30	0.2	0.051*	0.031*	0.051*	0.048*	0.040*	0.038*	0.045*	0.042*
		0.5	0.034*	0.034*	0.044*	0.034*	0.041*	0.034*	0.040*	0.032*
		0.8	0.050*	0.036*	0.051*	0.051*	0.051*	0.052*	0.051*	0.049*
	50	0.2	0.043*	0.039*	0.046*	0.045*	0.043*	0.039*	0.046*	0.045*
		0.5	0.050*	0.027*	0.044*	0.050*	0.050*	0.027*	0.044*	0.050*
		0.8	0.046*	0.034*	0.043*	0.038*	0.046*	0.034*	0.043*	0.038*

หมายเหตุ : * หมายถึง สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

จากตาราง 5 พบว่าภายใต้การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร กรณีที่มีตัวแปร 2 ตัว ความแปรปรวนเท่ากับ 1 และ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 สำหรับขนาดตัวอย่าง 20, 30 และ 50

สถิติทดสอบ HT, RH, S และ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ในทุกสถานการณ์ที่ศึกษา

4.1.1.2 กรณี 4 ตัวแปร

ตาราง 6 ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 4 ตัว

α	n	ρ	$\sigma^2 = 1$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
0.01	20	0.2	0.003*	0.011*	0.000*	0.000*	0.002*	0.013*	0.004*	0.001*
		0.5	0.006*	0.012*	0.004*	0.001*	0.001*	0.012*	0.000*	0.001*
		0.8	0.014*	0.015*	0.000*	0.001*	0.016*	0.005*	0.000*	0.003*
	30	0.2	0.009*	0.009*	0.006*	0.004*	0.005*	0.008*	0.005*	0.000*
		0.5	0.004*	0.014*	0.001*	0.000*	0.002*	0.009*	0.003*	0.002*
		0.8	0.012*	0.009*	0.000*	0.006*	0.007*	0.007*	0.000*	0.005*
	50	0.2	0.012*	0.008*	0.008*	0.008*	0.002*	0.009*	0.009*	0.003*
		0.5	0.006*	0.014*	0.002*	0.004*	0.008*	0.012*	0.004*	0.003*
		0.8	0.010*	0.009*	0.002*	0.006*	0.011*	0.011*	0.006*	0.004*
0.05	20	0.2	0.024*	0.052*	0.033*	0.017*	0.024*	0.051*	0.027*	0.018*
		0.5	0.023*	0.040*	0.024*	0.015*	0.021*	0.047*	0.021*	0.019*
		0.8	0.057*	0.055*	0.005*	0.031*	0.059*	0.048*	0.006*	0.024*
	30	0.2	0.031*	0.041*	0.032*	0.023*	0.024*	0.046*	0.026*	0.021*
		0.5	0.028*	0.049*	0.036*	0.025*	0.024*	0.044*	0.029*	0.016*
		0.8	0.061*	0.055*	0.021*	0.036*	0.047*	0.058*	0.015*	0.029*
	50	0.2	0.028*	0.044*	0.041*	0.030*	0.040*	0.051*	0.052*	0.036*
		0.5	0.042*	0.045*	0.050*	0.035*	0.050*	0.054*	0.045*	0.045*
		0.8	0.045*	0.048*	0.032*	0.038*	0.043*	0.057*	0.028*	0.039*

หมายเหตุ : * หมายถึง สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

จากตาราง 6 พบว่าภายใต้การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 4 ตัว ความแปรปรวนเท่ากับ 1 และ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 สำหรับขนาดตัวอย่าง 20, 30 และ 50

สถิติทดสอบ HT, RH, S และ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ในทุกสถานการณ์ที่ศึกษา

4.1.2 ผลการเปรียบเทียบกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ

4.1.2.1 กรณี 2 ตัวแปร

ตาราง 7 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 2 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2=1$				$\sigma^2=5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
1.5	20	**0.2**	**<u>0.403</u>**	0.249	0.234	0.286	**<u>0.055</u>**	0.019	0.038	0.034
		0.5	**<u>0.275</u>**	0.112	0.178	0.189	**<u>0.036</u>**	0.010	0.022	0.020
		0.8	**<u>0.177</u>**	0.091	0.100	0.130	**<u>0.026</u>**	0.006	0.011	0.013
	30	**0.2**	**<u>0.663</u>**	0.343	0.422	0.604	**<u>0.102</u>**	0.028	0.059	0.085
		0.5	**<u>0.507</u>**	0.183	0.316	0.427	**<u>0.056</u>**	0.006	0.033	0.043
		0.8	**<u>0.356</u>**	0.113	0.202	0.307	**<u>0.045</u>**	0.008	0.020	0.033
	50	**0.2**	**<u>0.941</u>**	0.716	0.784	0.920	**<u>0.217</u>**	0.033	0.129	0.181
		0.5	**<u>0.839</u>**	0.485	0.653	0.808	**<u>0.130</u>**	0.020	0.096	0.125
		0.8	**<u>0.692</u>**	0.262	0.502	0.646	**<u>0.106</u>**	0.010	0.070	0.089
2.0	20	**0.2**	**<u>0.989</u>**	0.974	0.915	0.977	**<u>0.300</u>**	0.174	0.165	0.228
		0.5	**<u>0.956</u>**	0.828	0.847	0.912	**<u>0.182</u>**	0.089	0.114	0.137
		0.8	**<u>0.828</u>**	0.684	0.666	0.760	**<u>0.117</u>**	0.034	0.073	0.082
	30	**0.2**	<u>1</u>	0.997	0.985	<u>1</u>	**<u>0.553</u>**	0.306	0.318	0.481
		0.5	<u>1</u>	0.971	0.973	0.996	**<u>0.411</u>**	0.136	0.246	0.356
		0.8	**<u>0.989</u>**	0.894	0.891	0.976	**<u>0.267</u>**	0.095	0.140	0.226
	50	**0.2**	<u>1</u>	<u>1</u>	0.999	<u>1</u>	**<u>0.878</u>**	0.556	0.659	0.836
		0.5	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	**<u>0.710</u>**	0.300	0.504	0.675
		0.8	<u>1</u>	0.998	0.998	<u>1</u>	**<u>0.568</u>**	0.158	0.367	0.532

หมายเหตุ : **<u>ตัวหนาและขีดเส้นใต้</u>** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 7 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 1 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดในทุกขนาดตัวอย่างและทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดในทุกขนาดตัวอย่างและทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 5 ที่ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 และ 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดในทุกขนาดตัวอย่างและทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตาราง 8 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 2 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2=1$				$\sigma^2=5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
1.5	20	**0.2**	**<u>0.691</u>**	0.620	0.502	0.654	**<u>0.148</u>**	0.123	0.117	0.146
		0.5	**<u>0.528</u>**	0.440	0.395	0.502	**<u>0.118</u>**	0.112	0.095	0.105
		0.8	**<u>0.411</u>**	0.332	0.295	0.386	**<u>0.120</u>**	0.088	0.065	0.107
	30	**0.2**	**<u>0.886</u>**	0.800	0.732	0.874	**<u>0.259</u>**	0.184	0.197	0.238
		0.5	**<u>0.768</u>**	0.656	0.618	0.751	**<u>0.196</u>**	0.165	0.160	0.194
		0.8	**<u>0.670</u>**	0.506	0.526	0.641	**<u>0.152</u>**	0.098	0.131	0.146
	50	**0.2**	**<u>0.987</u>**	0.950	0.911	0.988	**<u>0.431</u>**	0.333	0.326	0.243
		0.5	**<u>0.954</u>**	0.884	0.869	0.951	**<u>0.430</u>**	0.354	0.349	0.194
		0.8	**<u>0.886</u>**	0.772	0.746	0.883	**<u>0.436</u>**	0.345	0.327	0.128
2.0	20	**0.2**	**<u>0.998</u>**	0.996	0.980	0.996	**<u>0.580</u>**	0.488	0.409	0.533
		0.5	**<u>0.994</u>**	0.982	0.957	0.992	**<u>0.472</u>**	0.396	0.345	0.439
		0.8	**<u>0.968</u>**	0.941	0.880	0.965	**<u>0.363</u>**	0.271	0.237	0.346
	30	**0.2**	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	**<u>0.785</u>**	0.672	0.616	0.767
		0.5	<u>1</u>	<u>1</u>	0.996	<u>1</u>	**<u>0.647</u>**	0.543	0.507	0.631
		0.8	**<u>0.999</u>**	0.988	0.984	0.997	**<u>0.562</u>**	0.385	0.424	0.527

ตาราง 8 (ต่อ)

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 1$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
		0.2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	**<u>0.968</u>**	0.903	0.856	0.963
	50	**0.5**	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	**<u>0.907</u>**	0.781	0.782	0.892
		0.8	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	**<u>0.819</u>**	0.677	0.691	0.801

หมายเหตุ : **<u>ตัวหนาและขีดเส้นใต้</u>** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 8 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 1 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดในทุกขนาดตัวอย่างและทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดในทุกขนาดตัวอย่างและทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2, 0.5 และที่ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2, 0.5 และที่ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 5 ที่ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 และ 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดในทุกขนาดตัวอย่างและทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

4.1.2.2 กรณี 4 ตัวแปร

ตาราง 9 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 4 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 1$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
		0.2	0.423	**<u>0.623</u>**	0.178	0.173	0.040	**<u>0.085</u>**	0.012	0.006
1.5	**20**	**0.5**	0.151	**<u>0.281</u>**	0.112	0.067	0.006	**<u>0.039</u>**	0.007	0.001
		0.8	**<u>0.062</u>**	0.053	0.013	0.024	**<u>0.026</u>**	0.006	0.001	0.003

ตาราง 9 (ต่อ)

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 1$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
		0.2	0.784	**0.792**	0.548	0.678	0.094	**0.130**	0.055	0.057
	30	**0.5**	0.396	**0.510**	0.268	0.302	0.040	**0.066**	0.023	0.021
		0.8	**0.186**	0.142	0.115	0.133	0.026	**0.030**	0.005	0.010
		0.2	**0.989**	0.978	0.914	0.976	0.265	**0.304**	0.140	0.200
	50	**0.5**	0.799	**0.852**	0.668	0.748	0.094	**0.103**	0.061	0.073
		0.8	**0.494**	0.478	0.331	0.442	0.045	**0.046**	0.042	0.043
		0.2	**1**	**1**	0.945	0.985	0.281	**0.477**	0.132	0.103
	20	**0.5**	0.909	**0.957**	0.767	0.726	0.096	**0.253**	0.065	0.032
		0.8	**0.560**	0.531	0.318	0.316	**0.060**	0.020	0.010	0.015
		0.2	**1**	**1**	**1**	**1**	0.654	**0.733**	0.410	0.513
2.0	**30**	**0.5**	0.999	**1**	0.990	0.998	0.289	**0.414**	0.214	0.199
		0.8	**0.929**	0.868	0.804	0.875	0.124	**0.128**	0.068	0.082
		0.2	**1**	**1**	**1**	**1**	0.955	**0.959**	0.823	0.939
	50	**0.5**	**1**	**1**	**1**	**1**	0.689	**0.703**	0.524	0.639
		0.8	**1**	**1**	0.993	**1**	**0.381**	0.377	0.272	0.334

หมายเหตุ : **ตัวหนาและขีดเส้นใต้** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 9 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 1 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.8 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.2 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการ

ทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 5 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.8 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตาราง 10 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 4 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2=1$				$\sigma^2=5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
1.5	20	**0.2**	0.732	**0.757**	0.554	0.648	0.124	**0.212**	0.104	0.087
		0.5	0.404	**0.460**	0.360	0.347	0.069	**0.097**	0.068	0.052
		0.8	**0.214**	0.193	0.148	0.186	**0.088**	0.074	0.020	0.053
	30	**0.2**	**0.934**	0.928	0.829	0.911	0.249	**0.297**	0.187	0.213
		0.5	0.906	**0.907**	0.777	0.886	0.138	**0.177**	0.137	0.131
		0.8	**0.439**	0.384	0.345	0.410	0.092	**0.109**	0.065	0.076
	50	**0.2**	1	0.997	0.981	0.999	**0.528**	0.469	0.411	0.491
		0.5	**0.947**	0.920	0.881	0.941	**0.261**	0.237	0.222	0.245
		0.8	**0.776**	0.678	0.670	0.759	0.175	**0.194**	0.141	0.159
2.0	20	**0.2**	1	1	0.997	1	0.622	**0.715**	0.461	0.519
		0.5	0.984	**0.988**	0.955	0.976	0.303	**0.357**	0.266	0.253
		0.8	**0.883**	0.841	0.783	0.837	**0.197**	0.161	0.110	0.168
	30	**0.2**	1	1	1	1	0.886	**0.894**	0.742	0.851
		0.5	1	1	1	1	0.591	**0.607**	0.506	0.572
		0.8	**0.990**	0.977	0.957	**0.990**	**0.337**	0.334	0.278	0.306

ตาราง 10 (ต่อ)

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 1$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
		0.2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	**<u>0.994</u>**	0.989	0.951	0.992
	50	**0.5**	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	**<u>0.876</u>**	0.830	0.770	0.848
		0.8	<u>1</u>	<u>1</u>	0.999	<u>1</u>	**<u>0.673</u>**	0.597	0.523	0.636

หมายเหตุ : **<u>ตัวหนาและขีดเส้นใต้</u>** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 10 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 1 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.2 และ 0.8 และขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.2 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 5 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 ในทุกสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบสำหรับ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5

4.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ

4.2.1.1 กรณี 2 ตัวแปร

ตาราง 11 ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 2 ตัว

α	n	ρ	$\sigma^2=1$				$\sigma^2=5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
0.01	20	0.2	0.006*	0.000*	0.005*	0.007*	0.129	0.000*	0.112	0.126
		0.5	0.011*	0.003*	0.009*	0.013*	0.002*	0.005*	0.004*	0.002*
		0.8	0.018	0.001*	0.005*	0.008*	0.016*	0.005*	0.005*	0.007*
	30	0.2	0.026	0.000*	0.011*	0.022	0.009*	0.000*	0.010*	0.010*
		0.5	0.011*	0.000*	0.008*	0.023	0.006*	0.002*	0.007*	0.005*
		0.8	0.026	0.000*	0.003*	0.016*	0.019	0.003*	0.009*	0.010*
	50	0.2	0.099	0.000*	0.010*	0.041	0.015*	0.000*	0.008*	0.013*
		0.5	0.039	0.000*	0.017*	0.029	0.012*	0.000*	0.004*	0.010*
		0.8	0.015*	0.000*	0.006*	0.017*	0.014*	0.001*	0.002*	0.010*
0.05	20	0.2	0.078	0.030*	0.044*	0.069	0.046*	0.034*	0.038*	0.053*
		0.5	0.060*	0.040*	0.045*	0.055*	0.038*	0.037*	0.041*	0.046*
		0.8	0.083	0.054*	0.027*	0.064	0.058*	0.042*	0.022*	0.044*
	30	0.2	0.144	0.032*	0.071	0.098	0.053*	0.029*	0.037*	0.046*
		0.5	0.101	0.031*	0.042*	0.082	0.043*	0.038*	0.038*	0.051*
		0.8	0.075	0.030*	0.045*	0.066	0.076	0.038*	0.046*	0.067
	50	0.2	0.232	0.025*	0.069*	0.150	0.097	0.032*	0.056*	0.068
		0.5	0.178	0.024*	0.047*	0.104	0.070	0.032*	0.047*	0.066
		0.8	0.109	0.029*	0.045*	0.092	0.063*	0.035*	0.046*	0.060*

หมายเหตุ : * หมายถึง สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

จากตาราง 11 กรณีค่าระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 1 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5

และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ RH และสถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 5 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ RH และ สถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กรณีค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 1 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ RH สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 5 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ RH และสถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง แลในะทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8

4.2.1.2 กรณี 4 ตัวแปร

ตาราง 12 ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร กรณีจำนวนตัวแปร 4 ตัว

α	n	ρ	$\sigma^2 = 3$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
0.01	20	0.2	0.003*	0.013*	0.002*	0.001*	0.001*	0.013*	0.002*	0.001*
		0.5	0.003*	0.010*	0.001*	0.000*	0.002*	0.007*	0.001*	0.001*
		0.8	0.021	0.007*	0.000*	0.003*	0.024	0.010*	0.000*	0.001*
	30	0.2	0.003*	0.007*	0.009*	0.003*	0.007*	0.015*	0.003*	0.003*
		0.5	0.000*	0.007*	0.001*	0.000*	0.002*	0.009*	0.003*	0.003*
		0.8	0.024	0.012*	0.002*	0.011*	0.028	0.007*	0.000*	0.008*
	50	0.2	0.014*	0.004*	0.006*	0.005*	0.016*	0.010*	0.004*	0.010*
		0.5	0.010*	0.011*	0.006*	0.006*	0.012*	0.013*	0.007*	0.012*
		0.8	0.015*	0.011*	0.005*	0.003*	0.019	0.012*	0.003*	0.011*
0.05	20	0.2	0.018*	0.056*	0.027*	0.022*	0.013*	0.042*	0.021*	0.018*
		0.5	0.018*	0.042*	0.021*	0.012*	0.017*	0.046*	0.016*	0.021*
		0.8	0.084	0.054*	0.009*	0.038*	0.086	0.048*	0.009*	0.035*
	30	0.2	0.044*	0.054*	0.051*	0.032*	0.038*	0.054*	0.038*	0.043*
		0.5	0.036*	0.048*	0.037*	0.040*	0.034*	0.050*	0.034*	0.022*
		0.8	0.091	0.046*	0.024*	0.056*	0.087	0.041*	0.014*	0.034*
	50	0.2	0.123	0.040*	0.055*	0.083	0.058*	0.049*	0.036*	0.043*
		0.5	0.043*	0.049*	0.033*	0.044*	0.051*	0.046*	0.032*	0.040*
		0.8	0.065	0.050*	0.038*	0.069	0.074	0.053*	0.044*	0.056*

หมายเหตุ : * หมายถึง สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

จากตาราง 12 กรณีค่าระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 3 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ RH สถิติทดสอบ S และสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อความ

แปรปรวนเท่ากับ 5 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ RH สถิติทดสอบ S และสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กรณีค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 3 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ RH และสถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 5 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ RH สถิติทดสอบ S และสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

4.2.2 ผลการเปรียบเทียบกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ

4.2.2.1 กรณี 2 ตัวแปร

ตาราง 13 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 2 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 1$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
1.5	20	0.2	**0.425**	0.046	0.253	0.406	-	0	-	-
		0.5	0.216	0.039	0.156	**0.230**	0.025	**0.028**	0.023	0.024
		0.8	0.062	0.009	0.090	**0.131**	**0.024**	0.006	0.011	0.016
	30	0.2	-	0.066	**0.479**	-	**0.119**	0.011	0.061	0.108
		0.5	**0.553**	0.049	0.321	-	**0.067**	0.008	0.040	0.064
		0.8	-	0.047	0.215	**0.380**	-	0.006	0.016	**0.033**

ตาราง 13 (ต่อ)

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 1$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
		0.2	-	0.108	**<u>0.838</u>**	-	**<u>0.346</u>**	0.014	0.157	0.315
	50	**0.5**	-	0.157	**<u>0.697</u>**	-	0.153	0.022	0.092	**<u>0.151</u>**
		0.8	0.535	0.113	0.556	**<u>0.811</u>**	0.082	0.006	0.060	**<u>0.108</u>**
		0.2	0.968	0.604	0.896	**<u>0.981</u>**	-	**<u>0.001</u>**	-	-
	20	**0.5**	0.865	0.511	0.762	**<u>0.901</u>**	0.129	**<u>0.139</u>**	0.112	0.126
		0.8	0.458	0.232	0.648	**<u>0.796</u>**	0.056	0.011	0.057	**<u>0.082</u>**
		0.2	-	0.814	**<u>0.985</u>**	-	0.553	0.151	0.357	**<u>0.560</u>**
2.0	**30**	**0.5**	**<u>0.993</u>**	0.743	0.960	-	0.343	0.079	0.225	**<u>0.348</u>**
		0.8	-	0.656	0.903	**<u>0.985</u>**	-	0.037	0.114	**<u>0.210</u>**
		0.2	-	0.977	**<u>1</u>**	-	**<u>0.898</u>**	0.309	0.309	0.891
	50	**0.5**	-	0.974	**<u>0.999</u>**	-	**<u>0.736</u>**	0.170	0.535	0.734
		0.8	0.961	0.949	0.999	**<u>1</u>**	0.408	0.072	0.377	**<u>0.542</u>**

หมายเหตุ : **<u>ตัวหนาและขีดเส้นใต้</u>** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 13 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 1 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 5 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8

ตาราง 14 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 2 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2=1$				$\sigma^2=5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
1.5	20	0.2	-	**<u>0.558</u>**	0.535	-	0.212	0.153	0.148	**<u>0.224</u>**
		0.5	-	0.384	**<u>0.409</u>**	-	0.113	0.069	0.089	**<u>0.122</u>**
		0.8	-	0.168	**<u>0.276</u>**	-	0.089	0.051	0.049	**<u>0.097</u>**
	30	0.2	-	**<u>0.738</u>**	0.746	-	**<u>0.352</u>**	0.212	0.229	0.343
		0.5	-	0.568	**<u>0.632</u>**	-	**<u>0.237</u>**	0.130	0.149	0.231
		0.8	-	0.354	**<u>0.464</u>**	-	0.161	0.070	0.111	**<u>0.170</u>**
	50	0.2	-	**<u>0.967</u>**	0.954	-	-	0.321	**<u>0.362</u>**	-
		0.5	-	0.878	**<u>0.889</u>**	-	-	0.200	**<u>0.255</u>**	-
		0.8	-	0.765	**<u>0.787</u>**	-	0.275	0.123	0.191	**<u>0.283</u>**
2.0	20	0.2	-	**<u>0.993</u>**	0.982	-	0.557	0.428	0.426	**<u>0.573</u>**
		0.5	-	**<u>0.942</u>**	0.938	-	0.402	0.291	0.325	**<u>0.429</u>**
		0.8	-	0.806	**<u>0.860</u>**	-	0.255	0.141	0.201	**<u>0.312</u>**
	30	0.2	-	**<u>1</u>**	**<u>1</u>**	-	**<u>0.815</u>**	0.656	0.649	0.809
		0.5	-	0.996	**<u>0.997</u>**	-	0.663	0.460	0.527	**<u>0.679</u>**
		0.8	-	0.981	**<u>0.983</u>**	-	-	0.235	**<u>0.365</u>**	-

ตาราง 14 (ต่อ)

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 1$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
		0.2	-	**<u>1</u>**	**<u>1</u>**	-	-	0.879	**<u>0.889</u>**	-
	50	**0.5**	-	**<u>1</u>**	**<u>1</u>**	-	-	0.741	**<u>0.788</u>**	-
		0.8	-	**<u>1</u>**	**<u>1</u>**	-	0.729	0.481	0.610	**<u>0.788</u>**

หมายเหตุ : **<u>ตัวหนาและขีดเส้นใต้</u>** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 14 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 1 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20, 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 สำหรับสถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20, 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 5 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8

4.2.2.2 กรณี 4 ตัวแปร

ตาราง 15 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 4 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 3$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
1.5	20	**0.2**	0.045	**0.107**	0.025	0.028	0.022	**0.080**	0.012	0.006
		0.5	0.006	**0.026**	0.012	0.002	0.003	**0.011**	0.003	0.001
		0.8	-	**0.001**	0	**0.001**	-	**0.001**	**0.001**	0
	30	**0.2**	**0.256**	0.251	0.120	0.190	0.101	**0.156**	0.067	0.078
		0.5	0.036	**0.069**	0.027	0.034	0.016	**0.040**	0.013	0.015
		0.8	-	0.009	0.007	**0.015**	-	0.005	0.002	**0.006**
	50	**0.2**	**0.760**	0.465	0.364	0.620	**0.440**	0.285	0.195	0.338
		0.5	**0.150**	0.116	0.077	0.145	**0.066**	0.036	0.044	0.061
		0.8	0.042	0.054	0.061	**0.111**	-	0.022	0.036	**0.059**
2.0	20	**0.2**	0.487	**0.618**	0.283	0.306	0.211	**0.433**	0.153	0.119
		0.5	0.065	**0.188**	0.081	0.044	0.020	**0.076**	0.031	0.018
		0.8	-	0.007	**0.026**	**0.025**	-	**0.007**	0.005	0.005
	30	**0.2**	**0.914**	0.903	0.672	0.883	0.652	**0.701**	0.416	0.563
		0.5	0.311	**0.415**	0.252	0.296	0.156	**0.231**	0.118	0.147
		0.8	-	0.072	0.147	**0.179**	-	0.015	0.025	**0.033**
	50	**0.2**	0.999	0.996	0.983	**1**	**0.968**	0.936	0.833	0.967
		0.5	**0.868**	0.780	0.670	0.846	**0.536**	0.349	0.369	0.495
		0.8	0.313	0.524	0.555	**0.714**	-	0.193	0.223	**0.343**

หมายเหตุ : **ตัวหนาและขีดเส้นใต้** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 15 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 3 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20, 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์เป็น 0.8 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.8

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 5 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8

ตาราง 16 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 4 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 3$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
1.5	20	**0.2**	0.263	0.261	0.207	**0.269**	0.137	**0.182**	0.146	0.149
		0.5	0.053	**0.089**	0.072	0.072	0.048	**0.080**	0.043	0.050
		0.8	-	0.039	0.015	**0.064**	-	**0.051**	0.011	**0.051**
	30	**0.2**	0.611	0.476	0.367	**0.557**	**0.344**	0.280	0.253	0.317
		0.5	0.175	0.092	0.132	**0.182**	0.086	**0.097**	0.079	0.092
		0.8	-	0.034	0.068	**0.118**	-	0.041	0.035	**0.074**

ตาราง 16 (ต่อ)

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 3$				$\sigma^2 = 5$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
		0.2	**0.900**	0.745	0.670	0.877	**0.710**	0.526	0.443	0.637
	50	**0.5**	**0.468**	0.277	0.315	0.414	**0.246**	0.167	0.165	0.234
		0.8	-	0.087	**0.203**	-	-	0.069	0.112	**0.171**
		0.2	**0.838**	0.804	0.695	0.827	0.592	**0.597**	0.460	0.549
	20	**0.5**	0.308	0.328	0.322	**0.355**	0.172	0.184	0.181	**0.198**
		0.8	-	0.101	0.124	**0.185**	-	0.058	0.067	**0.097**
		0.2	**0.989**	0.973	0.944	0.983	**0.893**	0.819	0.748	0.883
2.0	**30**	**0.5**	**0.722**	0.521	0.601	0.720	0.423	0.353	0.365	**0.425**
		0.8	-	0.195	0.383	**0.484**	-	0.107	0.177	**0.234**
		0.2	**1**	0.999	**1**	**1**	**0.998**	0.980	0.956	0.993
	50	**0.5**	**0.982**	0.915	0.915	0.976	**0.832**	0.623	0.673	0.813
		0.8	-	0.669	**0.802**	-	-	0.393	0.519	**0.651**

หมายเหตุ : **ตัวหนาและขีดเส้นใต้** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 16 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 3 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังจการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 5 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20, 30 และ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8

4.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร

4.3.1 ผลการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ

4.3.1.1 กรณี 2 ตัวแปร

ตาราง 17 ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 2 ตัว

α	n	ρ	$\sigma^2 = 0.25$				$\sigma^2 = 1$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
0.01	20	**0.2**	0.014*	0.000*	0.004*	0.006*	0.016*	0.000*	0.009*	0.013*
		0.5	0.007*	0.002*	0.007*	0.010*	0.013*	0.000*	0.002*	0.014*
		0.8	0.012*	0.001*	0.001*	0.006*	0.004*	0.005*	0.004*	0.015*
	30	**0.2**	0.027	0.000*	0.004*	0.014*	0.104	0.001*	0.013*	0.044
		0.5	0.011*	0.000*	0.004*	0.007*	0.039	0.000*	0.005*	0.027
		0.8	0.009*	0.001*	0.004*	0.011*	0.012*	0.000*	0.010*	0.021
	50	**0.2**	0.124	0.000*	0.008*	0.035	0.480	0.000*	0.010*	0.093
		0.5	0.055	0.000*	0.007*	0.020	0.248	0.000*	0.008*	0.060
		0.8	0.032	0.000*	0.004*	0.019	0.088	0.000*	0.001*	0.059

ตาราง 17 (ต่อ)

α	n	ρ	$\sigma^2 = 0.25$				$\sigma^2 = 1$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
		0.2	0.076	0.037*	0.044*	0.047*	0.169	0.024*	0.043*	0.090
	20	**0.5**	0.067	0.034*	0.041*	0.058*	0.111	0.030*	0.040*	0.093
		0.8	0.060*	0.033*	0.028*	0.051*	0.079	0.036*	0.034*	0.110
		0.2	0.157	0.027*	0.036*	0.072	0.430	0.095	0.053*	0.159
0.05	**30**	**0.5**	0.099	0.031*	0.046*	0.067	0.295	0.020*	0.035*	0.137
		0.8	0.075	0.039*	0.042*	0.054*	0.128	0.022*	0.047*	0.121
		0.2	0.330	0.030*	0.048*	0.108	0.832	0.001*	0.060*	0.289
	50	**0.5**	0.240	0.026*	0.041*	0.086	0.687	0.255	0.050*	0.241
		0.8	0.193	0.026*	0.040*	0.104	0.422	0.155	0.054*	0.187

หมายเหตุ : * หมายถึง สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

จากตาราง 17 กรณีค่าระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 0.25 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 สถิติทดสอบ RH และสถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 1 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ RH และสถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กรณีค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อความแปรปรวน 0.25 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ RH และสถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความ

คลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 1 พบว่า สถิติทดสอบ RH สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 สำหรับสถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

4.3.1.2 กรณี 4 ตัวแปร

ตาราง 18 ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 4 ตัว

α	n	ρ	$\sigma^2 = 0.25$				$\sigma^2 = 1$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
0.01	20	0.2	0.006*	0.013*	0.002*	0.002*	0.012*	0.011*	0.003*	0.004*
		0.5	0.003*	0.013*	0.000*	0.000*	0.003*	0.001*	0.003*	0.005*
		0.8	0.010*	0.011*	0.000*	0.000*	0.015*	0.008*	0.001*	0.002*
	30	0.2	0.020	0.001*	0.003*	0.006*	0.099	0.001*	0.006*	0.022
		0.5	0.005*	0.011*	0.001*	0.006*	0.006*	0.003*	0.003*	0.009*
		0.8	0.008*	0.008*	0.002*	0.006*	0.005*	0.014*	0.004*	0.019
	50	0.2	0.148	0.003*	0.007*	0.026	0.617	0.000*	0.008*	0.093
		0.5	0.022	0.005*	0.002*	0.008*	0.119	0.000*	0.002*	0.040
		0.8	0.014*	0.010*	0.003*	0.015*	0.006*	0.009*	0.007*	0.031
0.05	20	0.2	0.039*	0.040*	0.031*	0.016*	0.102	0.041*	0.025*	0.053*
		0.5	0.028*	0.047*	0.021*	0.034*	0.030*	0.026*	0.026*	0.057*
		0.8	0.046*	0.044*	0.006*	0.027*	0.034*	0.050*	0.021*	0.056*
	30	0.2	0.142	0.045*	0.039*	0.064*	0.410	0.018*	0.029*	0.122
		0.5	0.057*	0.057*	0.037*	0.043*	0.124	0.034*	0.033*	0.106
		0.8	0.065	0.056*	0.027*	0.068	0.044*	0.041*	0.026*	0.104

ตาราง 18 (ต่อ)

α	n	ρ	$\sigma^2 = 0.25$				$\sigma^2 = 1$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
		0.2	0.376	0.024*	0.034*	0.111	0.340	0.044*	0.030*	0.300
	50	**0.5**	0.142	0.047*	0.050*	0.082	0.377	0.043*	0.034*	0.189
		0.8	0.088	0.049*	0.026*	0.075	0.233	0.042*	0.035*	0.144

หมายเหตุ : * หมายถึง สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

จากตาราง 18 กรณีค่าระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 0.25 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ RH และสถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 1 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ RH และสถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5

กรณีค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 0.25 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ RH และสถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความ

คลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 1 พบว่า สถิติทดสอบ HT สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ RH และสถิติทดสอบ S สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง และในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

4.3.2 ผลการเปรียบเทียบกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ

4.3.2.1 กรณี 2 ตัวแปร

ตาราง 19 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 2 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 0.25$				$\sigma^2 = 1$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
1.5	**20**	**0.2**	<u>**0.964**</u>	0.414	0.699	0.920	0.492	0.021	0.134	<u>**0.977**</u>
		0.5	<u>**0.846**</u>	0.299	0.599	0.825	0.190	0.001	0.100	<u>**0.284**</u>
		0.8	0.570	0.116	0.446	<u>**0.674**</u>	0.046	0.003	0.068	<u>**0.173**</u>
	30	**0.2**	-	0.650	0.914	<u>**0.998**</u>	-	0.011	<u>**0.252**</u>	-
		0.5	<u>**0.996**</u>	0.475	0.844	0.985	-	0.012	<u>**0.147**</u>	-
		0.8	0.933	0.345	0.701	<u>**0.950**</u>	<u>**0.242**</u>	0	0.122	-
	50	**0.2**	-	0.907	<u>**0.998**</u>	-	-	0	<u>**0.498**</u>	-
		0.5	-	0.870	<u>**0.987**</u>	-	-	0	<u>**0.392**</u>	-
		0.8	-	0.716	<u>**0.957**</u>	-	-	0	<u>**0.303**</u>	-
2.0	**20**	**0.2**	<u>1</u>	0.977	0.995	<u>1</u>	0.777	0.039	0.495	<u>**0.861**</u>
		0.5	0.998	0.928	0.993	<u>**0.999**</u>	0.495	0.016	0.417	<u>**0.717**</u>
		0.8	0.961	0.755	0.967	<u>**0.998**</u>	0.182	0.035	0.324	<u>**0.608**</u>

ตาราง 19 (ต่อ)

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 0.25$				$\sigma^2 = 1$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
		0.2	1	1	1	1	-	0.133	**0.775**	-
	30	**0.5**	1	0.991	0.999	1	-	0.156	**0.639**	-
		0.8	0.998	0.972	0.999	1	**0.577**	0.012	0.555	-
		0.2	-	1	1	-	-	0	**0.977**	-
	50	**0.5**	-	1	1	-	-	0	**0.944**	-
		0.8	-	1	1	-	-	0.010	**0.895**	-

หมายเหตุ : หมายเหตุ : **ตัวหนาและขีดเส้นใต้** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 19 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 1 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 0.25 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.8 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาด

ตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตาราง 20 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 2 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 0.25$				$\sigma^2 = 1$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
1.5	**20**	**0.2**	-	0.965	0.900	**0.993**	-	**0.354**	0.332	-
		0.5	-	0.915	0.864	**0.980**	-	0.195	**0.249**	-
		0.8	0.912	0.709	0.713	**0.934**	-	0.127	**0.199**	-
	30	**0.2**	-	0.999	0.978	**1**	-	-	**0.534**	-
		0.5	-	0.988	0.969	**0.999**	-	**0.460**	0.450	-
		0.8	-	0.942	0.910	**0.993**	-	0.284	**0.357**	-
	50	**0.2**	-	**1**	**1**	**1**	-	0.489	**0.746**	-
		0.5	-	**1**	0.999	**1**	-	-	0.655	-
		0.8	-	0.998	0.995	**1**	-	-	0.545	-
2.0	**20**	**0.2**	-	**1**	**1**	**1**	-	**0.814**	0.789	-
		0.5	-	**1**	**1**	**1**	-	0.656	**0.699**	-
		0.8	**1**	**1**	**1**	**1**	-	0.416	**0.587**	-
	30	**0.2**	-	**1**	**1**	**1**	-	-	**0.936**	-
		0.5	-	**1**	**1**	**1**	-	**0.920**	0.900	-
		0.8	-	**1**	**1**	**1**	-	0.775	**0.822**	-
	50	**0.2**	-	**1**	**1**	**1**	-	0.977	**0.999**	-
		0.5	-	**1**	**1**	**1**	-	-	0.988	-
		0.8	-	**1**	**1**	**1**	-	-	0.972	-

หมายเหตุ : **ตัวหนาและขีดเส้นใต้** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 20 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 1 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 30

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 0.25 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20, 30 และ 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ RH สถิติทดสอบ S และสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20, 30 และ 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

4.3.2.1 กรณี 4 ตัวแปร

ตาราง 21 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 4 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 0.25$				$\sigma^2 = 1$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
1.5	20	**0.2**	**<u>0.995</u>**	0.991	0.722	0.896	**<u>0.354</u>**	0.103	0.082	0.190
		0.5	0.592	**<u>0.771</u>**	0.460	0.400	0.031	0.010	0.047	**<u>0.058</u>**
		0.8	0.151	0.081	0.238	**<u>0.262</u>**	0.010	0.001	0.031	**<u>0.048</u>**
	30	**0.2**	-	**<u>1</u>**	0.974	**<u>1</u>**	-	0.159	**<u>0.244</u>**	-
		0.5	**<u>0.986</u>**	0.963	0.836	0.965	0.406	0.049	0.144	**<u>0.465</u>**
		0.8	0.609	0.539	0.609	**<u>0.833</u>**	0.043	0.006	**<u>0.068</u>**	-
	50	**0.2**	-	**<u>1</u>**	**<u>1</u>**	-	-	0.001	**<u>0.638</u>**	-
		0.5	-	**<u>1</u>**	0.994	**<u>1</u>**	-	0.060	**<u>0.377</u>**	-

ตาราง 21 (ต่อ)

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 0.25$				$\sigma^2 = 1$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
		0.8	0.993	0.974	0.939	**0.998**	**0.369**	0.271	0.235	-
	20	**0.2**	**1**	**1**	**1**	**1**	**0.825**	0.482	0.474	0.757
		0.5	0.999	**1**	0.983	0.999	0.215	0.038	0.308	**0.417**
		0.8	0.670	0.582	0.835	**0.896**	0.038	0.002	0.168	**0.234**
2.0	30	**0.2**	-	**1**	**1**	**1**	-	0.681	**0.868**	-
		0.5	**1**	**1**	**1**	**1**	0.869	0.401	0.656	**0.936**
		0.8	0.993	0.993	0.996	**1**	0.207	0.100	**0.464**	-
	50	**0.2**	-	**1**	**1**	**-**	-	0.133	**0.998**	-
		0.5	-	**1**	**1**	**1**	-	0.557	**0.945**	-
		0.8	**1**	**1**	**1**	**1**	0.775	**0.865**	0.841	-

หมายเหตุ : **ตัวหนาและขีดเส้นใต้** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 21 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 0.25 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50

ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 1 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.8 รวมทั้งที่ขนาดตัวอย่าง 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 รวมทั้งที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5

ตาราง 22 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ภายใต้การแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร กรณีตัวแปร 4 ตัว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 0.25$				$\sigma^2 = 1$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
1.5	20	0.2	<u>1</u>	0.993	0.944	0.996	-	0.398	0.344	**<u>0.697</u>**
		0.5	**<u>0.955</u>**	0.751	0.819	0.940	0.379	0.071	0.218	**<u>0.494</u>**
		0.8	0.553	0.274	0.603	**<u>0.761</u>**	0.091	0.004	0.138	**<u>0.354</u>**
	30	0.2	-	<u>1</u>	0.998	<u>1</u>	-	**<u>0.653</u>**	0.544	-
		0.5	<u>1</u>	0.978	0.970	0.998	-	0.261	**<u>0.382</u>**	-
		0.8	-	0.632	**<u>0.862</u>**	-	**<u>0.302</u>**	0.038	0.268	-
	50	0.2	-	<u>1</u>	<u>1</u>	-	-	**<u>0.611</u>**	0.419	-
		0.5	-	<u>1</u>	0.998	-	-	**<u>0.586</u>**	0.432	-
		0.8	-	**<u>0.988</u>**	0.986	-	-	**<u>0.517</u>**	0.385	-

ตาราง 22 (ต่อ)

$\underline{\mu}$	n	ρ	$\sigma^2 = 0.25$				$\sigma^2 = 1$			
			HT	RH	S	SR	HT	RH	S	SR
2.0	**20**	**0.2**	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	-	0.875	0.842	**<u>0.986</u>**
		0.5	<u>1</u>	0.998	0.998	<u>1</u>	0.850	0.336	0.691	**<u>0.914</u>**
		0.8	0.959	0.865	0.986	**<u>0.998</u>**	0.245	0.028	0.485	**<u>0.748</u>**
	30	**0.2**	-	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	-	**<u>0.987</u>**	0.978	-
		0.5	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	-	0.744	**<u>0.864</u>**	-
		0.8	-	0.993	<u>1</u>	-	0.671	0.278	**<u>0.746</u>**	-
	50	**0.2**	-	<u>1</u>	<u>1</u>	-	-	**<u>0.947</u>**	0.933	-
		0.5	-	<u>1</u>	<u>1</u>	-	-	**<u>0.916</u>**	0.895	-
		0.8	-	<u>1</u>	<u>1</u>	-	-	**<u>0.884</u>**	0.867	-

หมายเหตุ : **<u>ตัวหนาและขีดเส้นใต้</u>** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 22 กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 1 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 และ 0.8 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กรณีความแปรปรวนเท่ากับ 0.25 ค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 1.5 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 ขนาดตัวอย่าง 50 ค่า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 เมื่อค่าเฉลี่ยประชากรเป็น 2.0 พบว่า สถิติทดสอบ HT มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.5 สถิติทดสอบ RH มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5 ขนาดตัวอย่าง 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สถิติทดสอบ S มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สำหรับสถิติทดสอบ SR มีกำลังการทดสอบสูงสุดที่ขนาดตัวอย่าง 20 ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ขนาดตัวอย่าง 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.2 และ 0.5

4.4 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม

4.4.1 กรณี 2 ตัวแปร

จากผลการเปรียบกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ สำหรับกรณี 2 ตัวแปร สามารถสรุปได้ดังแสดงในตาราง 23 และ 24 ดังนี้

ตาราง 23 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบ กรณีตัวแปร 2 ตัว

n	$\underline{\mu}$	ρ	Multivariate normal				Multivariate t				Multivariate lognormal			
			$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$	
			$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 0.25$	$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 0.25$	$\sigma^2 = 1$
20	1.5	0.2	HT	HT	HT	HT	HT	-	RH	SR	HT	SR	SR	RH
		0.5	HT	HT	HT	HT	SR	RH	S	SR	HT	SR	SR	S
		0.8	HT	HT	HT	HT	SR	HT	S	SR	SR	SR	SR	S

ตาราง 23 (ต่อ)

n	$\underline{\mu}$	ρ	Multivariate normal				Multivariate t				Multivariate lognormal			
			$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$	
			$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 0.25$	$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 0.25$	$\sigma^2 = 1$
	2.0	0.2	HT	HT	HT	HT	SR	RH	RH	SR	HT,SR	SR	RH,S,SR	RH
		0.5	HT	HT	HT	HT	SR	RH	RH	SR	SR	SR	RH,S,SR	S
		0.8	HT	HT	HT	HT	SR	SR	S	SR	SR	SR	HT,RH,S,SR	S
30	1.5	0.2	HT	HT	HT	HT	S	HT	RH	HT	SR	S	SR	S
		0.5	HT	HT	HT	HT	HT	HT	S	HT	HT	S	SR	RH
		0.8	HT	HT	HT	HT	SR	SR	S	SR	SR	HT	SR	S
	2.0	0.2	HT	HT	HT	HT	S	SR	RH,S	HT	HT,RH,S,SR	S	RH,S,SR	S
		0.5	HT	HT	HT	HT	HT	SR	S	SR	HT,SR	S	RH,S,SR	RH
		0.8	HT	HT	HT	HT	SR	SR	S	S	SR	S	RH,S,SR	S
50	1.5	0.2	HT	HT	HT	HT	S	HT	RH	S	S	S	RH,S,SR	S
		0.5	HT	HT	HT	HT	S	SR	S	S	S	S	RH,SR	S
		0.8	HT	HT	HT	HT	SR	SR	S	SR	S	S	SR	S
	2.0	0.2	HT	HT	HT	HT	S	HT	RH,S	S	S	S	RH,S,SR	S
		0.5	HT	HT	HT	HT	S	HT	RH,S	S	S	S	RH,S,SR	S
		0.8	HT	HT	HT	HT	SR	SR	RH,S	SR	S	S	RH,S,SR	S

ตาราง 24 สรุปผลร้อยละการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบ กรณีตัวแปร 2 ตัว

n	Multivariate normal				Multivariate t				Multivariate lognormal			
	$\sigma^2 = 1$		$\sigma^2 = 5$		$\sigma^2 = 1$		$\sigma^2 = 5$		$\sigma^2 = 0.25$		$\sigma^2 = 1$	
20	**HT**	**100**	**HT**	**100**	HT	8.3	HT	16.7	HT	41.7	HT	-
	RH	-	RH	8.3	RH	25.0	RH	25.0	RH	25.0	RH	16.7
	S	-	S	-	S	25.0	S	8.3	S	33.3	S	33.3
	SR	25.0	SR	8.3	**SR**	**41.7**	**SR**	**66.7**	**SR**	**83.3**	**SR**	**50.0**
30	**HT**	**100**	**HT**	**100**	HT	16.7	HT	50.0	HT	16.7	HT	16.7
	RH	16.7	RH	-	RH	33.3	RH	-	RH	33.3	RH	16.7
	S	8.3	S	-	**S**	**58.3**	S	8.3	S	33.3	**S**	**66.7**
	SR	33.3	SR	8.3	SR	16.7	**SR**	**66.7**	**SR**	**91.7**	SR	-
50	**HT**	**100**	**HT**	**100**	HT	-	HT	33.3	HT	-	HT	-
	RH	41.7	RH	-	RH	33.3	RH	-	RH	66.7	RH	-
	S	33.3	S	-	**S**	**75.0**	S	33.3	**S**	**83.3**	**S**	**100**
	SR	75.0	SR	8.3	SR	16.7	**SR**	**58.3**	SR	50.0	SR	-

หมายเหตุ : **ตัวหนา** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 23 และ 24 สรุปได้ว่ากรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร พบว่า สถิติทดสอบ HT มีประสิทธิภาพสูงสุดในทุกกรณี กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 1 พบว่า ที่ขนาดตัวอย่าง 20 สถิติทดสอบ SR จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ สำหรับขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 สถิติทดสอบ S จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 5 พบว่า ในทุกขนาดตัวอย่าง สถิติทดสอบ SR จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 0.25 พบว่า ที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 สถิติทดสอบ SR จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ สำหรับขนาดตัวอย่าง 50 สถิติทดสอบ S จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 1 พบว่า ที่ขนาดตัวอย่าง 20 สถิติทดสอบ SR จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ สำหรับขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 สถิติทดสอบ S จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่

4.4.2 กรณี 4 ตัวแปร

จากผลการเปรียบกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ สำหรับกรณี 4 ตัวแปร สามารถสรุปได้ดังแสดงในตาราง 25 และ 26

ตาราง 25 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบ กรณีตัวแปร 4 ตัว

n	$\underline{\mu}$	ρ	Multivariate normal				Multivariate t				Multivariate lognormal			
			$\alpha=0.01$		$\alpha=0.05$		$\alpha=0.01$		$\alpha=0.05$		$\alpha=0.01$		$\alpha=0.05$	
			$\sigma^2=1$	$\sigma^2=5$	$\sigma^2=1$	$\sigma^2=5$	$\sigma^2=3$	$\sigma^2=5$	$\sigma^2=3$	$\sigma^2=5$	$\sigma^2=0.25$	$\sigma^2=1$	$\sigma^2=0.25$	$\sigma^2=1$
20	1.5	0.2	RH	RH	RH	RH	RH	RH	SR	RH	HT	HT	HT	SR
		0.5	RH	RH	RH	RH	RH	RH	RH	RH	RH	SR	HT	SR
		0.8	HT	HT	HT	HT	RH	RH, SR	SR	RH, SR	SR	SR	SR	SR
	2.0	0.2	HT, RH	RH	HT,RH,SR	RH	RH	RH	HT	RH	HT,RH,S,SR	HT	HT,RH,S,SR	SR
		0.5	RH	RH	RH	RH	RH	RH	SR	SR	RH	SR	HT,SR	SR
		0.8	HT	HT	HT	HT	S,SR	RH	SR	SR	SR	SR	SR	SR
30	1.5	0.2	RH	RH	HT	RH	HT	RH	SR	HT	RH,SR	S	RH,SR	RH
		0.5	RH	RH	RH	RH	RH	RH	SR	RH	HT	SR	HT	S
		0.8	HT	RH	HT	RH	SR	SR	SR	SR	SR	S	S	HT
	2.0	0.2	HT,RH,S,SR	RH	HT,RH,S,SR	RH	HT	RH	HT	HT	RH, S,SR	S	RH, S,SR	RH
		0.5	RH	RH	HT,RH, S,SR	RH	RH	RH	HT	SR	HT,RH,S,SR	SR	HT,RH,S,SR	S
		0.8	HT	RH	HT,SR	HT	SR	SR	SR	SR	SR	S	S	S

ตาราง 25 (ต่อ)

n	$\underline{\mu}$	ρ	Multivariate normal				Multivariate t				Multivariate lognormal			
			$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$	
			$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 3$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 5$	$\sigma^2 = 0.25$	$\sigma^2 = 1$	$\sigma^2 = 0.25$	$\sigma^2 = 1$
50	1.5	0.2	HT	RH	HT	HT	HT	HT	HT	HT	RH.S	S	RH,S	RH
		0.5	RH	RH	HT	HT	HT	HT	HT	HT	RH,SR	S	RH	RH
		0.8	HT	RH	HT	RH	SR	SR	S	SR	SR	HT	RH	RH
	2.0	0.2	HT,RH ,S,SR	RH	HT,RH, S,SR	HT	SR	HT	HT, S,SR	HT	RH.S	S	RH,SR	RH
		0.5	HT,RH ,S,SR	RH	HT,RH, S,SR	HT	HT	HT	HT	HT	all-HT	S	RH,SR	RH
		0.8	HT,RH ,SR	HT	HT,RH, SR	HT	SR	SR	S	SR	HT,RH ,S,SR	RH	RH,SR	RH

ตาราง 26 สรุปผลร้อยละการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบ กรณีตัวแปร 4 ตัว

n	Multivariate normal				Multivariate t				Multivariate lognormal			
	$\sigma^2 = 1$		$\sigma^2 = 5$		$\sigma^2 = 3$		$\sigma^2 = 5$		$\sigma^2 = 0.25$		$\sigma^2 = 1$	
20	HT	58.3	HT	25.0	HT	16.7	HT	8.3	HT	50.0	HT	16.7
	RH	**66.7**	**RH**	**66.7**	**RH**	**58.3**	**RH**	**83.3**	RH	41.7	RH	8.7
	S	-	S	-	S	8.3	S	16.7	S	16.7	S	-
	SR	8.3	SR	-	SR	50.0	SR	33.3	**SR**	**58.3**	**SR**	**83.3**
30	**HT**	**75.0**	HT	16.7	HT	33.3	HT	25.0	HT	33.3	HT	8.3
	RH	58.3	**RH**	**75.0**	RH	25.0	**RH**	**50.0**	RH	50.0	RH	16.7
	S	25.0	S	-	S	-	S	8.3	S	50.0	**S**	**58.3**
	SR	33.3	SR	-	**SR**	**41.7**	**SR**	**50.0**	**SR**	**66.7**	SR	16.7
50	**HT**	**91.7**	**HT**	**66.7**	**HT**	**58.3**	**HT**	**66.7**	HT	16.7	HT	8.3
	RH	66.7	RH	50.0	RH	-	RH	-	**RH**	**91.7**	**RH**	**58.3**
	S	33.3	S	8.3	S	25.0	S	-	S	75.0	S	33.3
	SR	66.7	SR	16.7	SR	33.3	SR	58.3	SR	16.7	SR	-

หมายเหตุ : **ตัวหนา** หมายถึง มีกำลังการทดสอบสูงสุด

จากตาราง 25 และ 26 สรุปได้ว่ากรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 1 พบว่า ที่ขนาดตัวอย่าง 20 สถิติทดสอบ RH มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ สำหรับขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 สถิติทดสอบ HT มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 5 พบว่า ที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 สถิติทดสอบ RH มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ สำหรับขนาดตัวอย่าง 50 สถิติทดสอบ HT และสถิติทดสอบ RH มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 3 พบว่าที่ขนาดตัวอย่าง 20 สถิติทดสอบ RH มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ ที่ขนาดตัวอย่าง 30 สถิติทดสอบ SR มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ สำหรับขนาดตัวอย่าง 50 สถิติทดสอบ HT จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 5 พบว่า ที่ขนาดตัวอย่าง 20 สถิติทดสอบ RH จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ ที่ขนาดตัวอย่าง 30 สถิติทดสอบ RH และสถิติทดสอบ SR มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ และที่ขนาดตัวอย่าง 50 สถิติทดสอบ HT มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 0.25 พบว่า ที่ขนาดตัวอย่าง 20 และ 30 สถิติทดสอบ SR มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ ที่ขนาดตัวอย่าง 50 สถิติทดสอบ RH มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 1 พบว่า ที่ขนาดตัวอย่าง 20 สถิติทดสอบ SR มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ ขนาดตัวอย่าง 30 สถิติทดสอบ S มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ และที่ขนาดตัวอย่าง 50 สถิติทดสอบ RH มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม สำหรับข้อมูลหลายตัวแปร โดยพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และเปรียบเทียบกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ เมื่อกำหนดขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20, 30 และ 50 ในการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปรกำหนดความแปรปรวนเท่ากับ 1 และ 5 การแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร เมื่อมีตัวแปร 2 ตัว กำหนดความแปรปรวนเท่ากับ 1 และ 5 เมื่อมีตัวแปร 4 ตัว กำหนดความแปรปรวนเท่ากับ 3 และ 5 การแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปรกำหนดความแปรปรวนเท่ากับ 0.25 และ 1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ทำการจำลองข้อมูลจำนวน 1,000 ชุด ในแต่ละสถานการณ์ โดยใช้โปรแกรม RStudio ในการประมวลผล ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล รวมทั้งข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม สำหรับข้อมูลหลายตัวแปร สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 กรณี 2 ตัวแปร

เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร พบว่าสถิติทดสอบ HT มีประสิทธิภาพสูงสุดในทุกกรณี เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร พบว่าสถิติทดสอบ S และสถิติทดสอบ SR มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร พบว่าที่ขนาดตัวอย่าง 20 สถิติทดสอบ SR มีประสิทธิภาพสูงสุด และที่ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 สถิติทดสอบ S มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่

5.1.2 กรณี 4 ตัวแปร

เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวพบว่าสถิติทดสอบ HT มีประสิทธิภาพสูงสุดในทุกกรณี กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร พบว่าที่ขนาดตัวอย่าง 20 สถิติทดสอบ RH มีประสิทธิภาพสูงสุด ที่ขนาดตัวอย่าง 30 และ 50 สถิติทดสอบ HT มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร พบว่าสถิติทดสอบ S และสถิติทดสอบ SR มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น กำลังของการทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความแปรปรวนของข้อมูลเพิ่มขึ้นทำให้กำลังของการทดสอบมีแนวโน้มลดลง และเมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคู่ของตัวแปรเพิ่มขึ้น กำลังของการทดสอบมีแนวโน้มลดลง

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัย กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร พบว่าสถิติทดสอบ HT มีประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดของการวิเคราะห์ที่ระบุว่า ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีการแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบทีหลายตัวแปร กรณี 4 ตัวแปร พบว่า สถิติทดสอบ HT มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ เมื่อขนาดตัวอย่างเป็น 50 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีขีดจำกัดกลาง (The Central Limit Theorem) ที่ว่าเมื่อขนาดตัวอย่างใหญ่ จะทำให้ข้อมูลลู่เข้าสู่การแจกแจงแบบปรกติหลายตัวแปร ซึ่งสอดคล้องข้อตกลงของตัวสถิติทดสอบ HT ดังนั้นจึงทำให้สถิติทดสอบ HT มีประสิทธิภาพสูงสุด กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มัลหลายตัวแปร พบว่าสถิติทดสอบ SR และสถิติทดสอบ S มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากสถิติทดสอบ SR และสถิติทดสอบ S ไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการแจกแจงของข้อมูล ดังนั้นจึงทำให้สถิติทั้งสองตัวมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะสมมาตร สถิติทดสอบ HT และ RH มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะเบ้ขวา สถิติทดสอบ S และ SR มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นส่วนใหญ่

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เป็นแนวทางในการศึกษาสถิติทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม สำหรับข้อมูลหลายตัวแปร โดยอาจทำการศึกษาตัวสถิติทดสอบอื่นเพิ่มเติมนอกจากสถิติทดสอบ 4 ตัว ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

2. เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาการทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม สำหรับข้อมูลหลายตัวแปร ซึ่งในการศึกษานี้มีจำนวนตัวแปร 2 และ 4 ซึ่งในโอกาสต่อไปอาจศึกษาในกรณีที่มีจำนวนตัวแปรเพิ่มขึ้น

3. ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทดสอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรเพียงหนึ่งกลุ่มเท่านั้นซึ่งในโอกาสต่อไปอาจศึกษาในกรณีที่มีประชากร 2 กลุ่ม หรือมากกว่า 2 กลุ่ม

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี. (2559). เอกสารประกอบการสอนวิชาทฤษฏีสถิติ 2 (Statistical Theory II). ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี. (2560). เอกสารประกอบการสอนวิชาการวิเคราะห์หลายตัวแปร. ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

โชติกา ศรีนวล. (2563). ความชุกและปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดฟันผุในเด็กที่มีภาวะปากแหว่งและ/เพดานโหว่. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

อุมาพร จันทศร. (2542). สถิติที่ไม่ใช้พารามิเตอร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

Bennett, B. (1962). On multivariate sign tests. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 24*(1), 159-161.

Croux, C., & Haesbroeck, G. (1999). Influence function and efficiency of the minimum covariance determinant scatter matrix estimator. *Journal of Multivariate Analysis, 71*(2), 161-190.

Estimator, D. (1999). A Fast Algorithm for the Minimum Covariance. *Technometrics, 41*(3), 212.

Hallin, M., & Paindaveine, D. (2004). Multivariate signed-rank tests in vector autoregressive order identification. *Statistical science, 19*(4), 697-711.

Hardin, J., & Rocke, D. M. (2005). The distribution of robust distances. *Journal of Computational and Graphical Statistics, 14*(4), 928-946.

Hettmansperger, T. P., Möttönen, J., & Oja, H. (1997). Affine-invariant multivariate one-sample signed-rank tests. *Journal of the American Statistical Association, 92*(440), 1591-1600.

Hettmansperger, T. P., Möttönen, J., & Oja, H. (1998). Affine invariant multivariate rank tests for several samples. *Statistica Sinica*, 785-800.

Jurečková, J., & Kalina, J. (2012). Nonparametric multivariate rank tests and their unbiasedness. *Bernoulli*, 229-251.

Kakizawa, Y., & Iwashita, T. (2008). Hotelling's one-sample and two-sample T2 tests and the multivariate Behrens–Fisher problem under nonnormality. *Journal of statistical planning and inference, 138*(11), 3379-3404.

Möttönen, J., Oja, H., & Tienari, J. (1997). On the efficiency of multivariate spatial sign and rank tests. *The Annals of Statistics, 25*(2), 542-552.

Oja, H. (1999). Affine invariant multivariate sign and rank tests and corresponding estimates: a review. *Scandinavian Journal of Statistics, 26*(3), 319-343.

Oja, H., & Randles, R. H. (2004). Multivariate nonparametric tests. *Statistical science, 19*(4), 598-605.

Peters, D., & Randles, R. H. (1990). A multivariate signed-rank test for the one-sample location problem. *Journal of the American Statistical Association, 85*(410), 552-557.

Pison, G., Van Aelst, S., & Willems, G. (2002). Small sample corrections for LTS and MCD. *Metrika, 55*(1-2), 111-123.

Randles, R. H. (1989). A distribution-free multivariate sign test based on interdirections. *Journal of the American Statistical Association, 84*(408), 1045-1050.

Randles, R. H. (2000). A simpler, affine-invariant, multivariate, distribution-free sign test. *Journal of the American Statistical Association, 95*(452), 1263-1268.

Tyler, D. E. (1987). A distribution-free M-estimator of multivariate scatter. *The Annals of Statistics*, 234-251.

Willems, G., Pison, G., Rousseeuw, P., & Van Aelst, S. (2002). A robust Hotelling test. *Metrika, 55*(1-2), 125-138.