ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ)

ปริญญา

สถิติ	สถิติ
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การเปรียบเทียบวิธีทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์แผนการทดลองวัดซ้ำ

Comparison of the Statistical Methods for the Analysis of Repeated Measures Designs

นามผู้วิจัย นางสาวจิตรลดา ชุมภูทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ ....

(รองศาสตราจารย์อนันต์ชัย เขื่อนธรรม, M.S.)

กรรมการ ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญอ้อม โฉมที, Ph.D.)

กรรมการ ....

(รองศาสตราจารย์ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(อาจารย์อำไพ ทองธีรภาพ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบวิธีทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์แผนการทดลองวัดซ้ำ

Comparison of the Statistical Methods for the Analysis of Repeated Measures Designs

โดย

นางสาวจิตรลดา ชุมภูทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ)
พ.ศ. 2552

จิตรลดา ชุมภูทอง 2552: การเปรียบเทียบวิธีทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์แผนการทดลองวัดซ้ำ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ) สาขาสถิติ ภาควิชาสถิติ ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์อนันต์ชัย เขื่อนธรรม, M.S. 128 หน้า

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของแผนการทดลองวัดซ้ำ 4 วิธี ได้แก่ F ปกติ F ปรับค่าองศาเสรี การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ และตัวแบบพหุระดับ โดยทำการศึกษาทั้งกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี และไม่เป็นสเฟียริซิตี ซึ่งมีจำนวนทรีทเมนต์ (r) เป็น 4, 6, 8 ทรีทเมนต์ จำนวนหน่วยทดลอง (n) เป็น 10 ความแปรปรวนเป็น 1, 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (ρ=0.3) ระดับกลาง (ρ=0.6) ระดับสูง (ρ=0.9) และศึกษาที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.01, 0.05 โดยการจำลองข้อมูลแต่ละสถานการณ์ด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล จำนวน 1,000 ครั้ง โดยพิจารณาจากอำนาจการทดสอบ และความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ซึ่งผลการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. การเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบเมื่อความแปรปรวนเป็น 1 อำนาจการทดสอบแต่ละวิธีไม่แตกต่างกัน และเมื่อความแปรปรวนมีค่ามากเป็น 20 ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และทรีทเมนต์ต่างกัน วิธีการวิเคราะห์มีอำนาจการทดสอบแตกต่างกัน

2. ความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อความแปรปรวนเป็น 1 วิธีตัวแบบพหุระดับเท่านั้นที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และเมื่อความแปรปรวนเป็น 20 วิธี F ปรับค่าองศาเสรี และวิธีตัวแบบพหุระดับสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้พบว่าสถิติทดสอบตัวแบบพหุระดับมีอำนาจการทดสอบสูงและสามารถควาบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทั้งกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีและไม่เป็นสเฟียริซิตี

________________ ________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Chitlada Chumphutong 2009: Comparison of the Statistical Methods for the Analysis of Repeated Measures Designs. Master of Science (Statistics), Major Field: Statistics, Department of Statistics. Thesis Advisor: Associate Professor Ananchai Khuantham, M.S. 128 pages.

The objective of this study was to compare four statistical methods for the analysis of repeated measures designs, i.e. conventional F, adjusted degrees of freedom F, multivariate analysis of variance (MANOVA) and multi-level modeling methods (MLM). Both sphericity and asphericity covariance matrix of which treatments were 4, 6, 8 treatments (r), 10 subjects (n), with variance equal to 1 and 20, three levels of correlation coefficient which were low level (ρ = 0.3), moderate level (ρ = 0.6), high level (ρ = 0.9) and level of significance 0.01, 0.05 were studied by simulating data of each situation by Monte Carlo Simulation 1,000 times via the consideration of power of the test and the ability to control type I error. The study was divided into two parts as follows:

1. The comparison of power of the test when variance was low (1) which meant that power of the test of each method was not different and when variance was large (20) at different correlation coefficient and treatment, analysis methods provided different power of the test.

2. For type I error, when variance was low (1), Only multi-level modeling method could control type I error and when variance was large (20), adjusted degrees of freedom F and multi-level modeling method could control type I error.

Therefore, from this study it was found that multi-level modeling method had high power of the test and could control Type I error for both sphericity and asphericity covariance matrix.

____________________ ____________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ ด้วยการได้รับคำปรึกษาแนะนำ การสนับสนุน และตรวจแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ จากรองศาสตราจารย์อนันต์ชัย เขื่อนธรรม ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญอ้อม โฉมที กรรมการสาขาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร. ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา กรรมการสาขาวิชารอง และกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. อำไพ ทองธีรภาพ และอาจารย์ประจำภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขนทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ครอบครัว ที่คอยสนับสนุนการศึกษา ทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ต่อผู้วิจัยเรื่อยมา และเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคนโดยเฉพาะพี่รักมณี บุตรชน ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

จิตรลดา ชุมภูทอง

เมษายน 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		**หน้า**

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

สารบัญภาพ

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

สารบัญภาพ (ต่อ)

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ρ	=	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
$\sum$	=	เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม
θ	=	ค่าเอปไซลอน ของ Greenhouse Geisser
*	=	สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1
•	=	ไม่มีวิธีใดควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1
d.f.	=	องศาเสรี

การเปรียบเทียบวิธีทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์แผนการทดลองวัดซ้ำ

Comparison of the Statistical Methods for the Analysis of Repeated Measures Designs

คำนำ

การวางแผนการทดลอง (Experimental Design) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ผลสรุปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ซึ่งการวางแผนการทดลองมีหลายชนิด สิ่งหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดว่าควรเลือกใช้แผนการทดลองแบบใดนั่นก็คือความผันแปรของหน่วยทดลอง เช่น แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design: CRD) สนใจเพียงปัจจัยเดียว หน่วยทดลองมีลักษณะสม่ำเสมอกัน (Homogenous) ความผันแปรภายในหน่วยทดลองมีน้อย แต่ถ้าหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันมาก จะทำให้ความผันแปรภายในหน่วยทดลองมีมาก ส่งผลให้การทดสอบของทรีทเมนต์มีอำนาจการทดสอบน้อยลง วิธีที่ช่วยลดความแปรปรวนของหน่วยทดลองให้เล็กลงโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบรูณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design: RCBD) นั่นคือให้หน่วยทดลองสม่ำเสมออยู่ในบล็อกเดียวกัน อย่างไรก็ดีในบางกรณีการจัดหาหน่วยทดลองให้มีความสม่ำเสมอกันในบล็อกอาจทำได้ยาก วิธีหนึ่งที่สามารถกระทำได้ คือ ใช้หน่วยทดลองแต่ละหน่วยเป็นบล็อกด้วยตัวของมันเอง (Self Blocking) ดังนั้นหน่วยทดลองแต่ละหน่วยจะได้รับทรีทเมนต์หลายทรีทเมนต์ ในบางกรณีผู้วิจัยอาจต้องการวัดความเปลี่ยนแปลงของหน่วยทดลองในช่วงเวลาต่างๆ กัน จึงใช้วิธีวัดค่าของหน่วยทดลองหน่วยเดียวกันซ้ำหลายๆ ครั้งในช่วงเวลาต่างๆ กัน ทำให้เกิดเป็นแผนการทดลองวัดซ้ำ (Repeated Measures Designs)

แผนการทดลองวัดซ้ำเป็นการบันทึกค่าหน่วยทดลองโดยแต่ละหน่วยทดลองวัดซ้ำกันหลายๆ ครั้ง ในเวลาต่างๆ กัน นั่นคือการให้หน่วยทดลองเดิมได้รับทุกทรีทเมนต์ ซึ่งส่งผลให้ช่วยลดความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลอง และช่วยลดขนาดตัวอย่างในการทดลอง เพื่อแก้ปัญหาจำนวนตัวอย่างที่ผู้วิจัยไม่สามารถหาให้มีลักษณะเหมือนกันได้ และช่วยลดงบประมาณในการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งแผนการทดลองวัดซ้ำได้รับความนิยมสำหรับการวิจัยทางด้านการศึกษา การวิจัยทางด้านการเกษตร การวิจัยทางด้านการแพทย์ และในการทดลองแต่ละครั้งจะต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเบื้องต้น เหมือนกับแผนการทดลองอื่น ๆ คือ การสุ่มตัวอย่างแต่ละชุดจะต้องสุ่มอย่าง

เป็นอิสระกัน โดยสุ่มตัวอย่างจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ ที่มีความแปรปรวนเท่ากัน และอิทธิพลเชิงบวก (Additive) ระหว่างหน่วยทดลอง (บล็อก) กับทรีทเมนต์ นั่นคืออิทธิพลของหน่วยทดลองและอิทธิพลของทรีทเมนต์ต้องเป็นอิสระต่อกัน แต่ถึงแม้ว่าตัวแปรสุ่มเป็นอิสระกัน แต่ค่าหน่วยทดลองถูก วัดซ้ำย่อมมีความสัมพันธ์ (Corriration) กัน นั่นคือเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมมีสหสัมพันธ์กันระหว่างหน่วยทดลองเดียวกันที่มีการวัดซ้ำหลายครั้ง เช่น การวิจัยทางการแพทย์ เมื่อต้องการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ยาพาราเซตามอล 3 ยี่ห้อ ให้ผู้ป่วยหนึ่งคนรับยาพาราเซตามอลทั้ง 3 ยี่ห้อ ในช่วงเวลาต่างกัน และเมื่อมีการวัดผลของยาพาราเซตามอลทั้ง 3 ยี่ห้อ ซึ่งฤทธิ์ของยายี่ห้อที่ได้รับก่อนตกค้างอยู่ ทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อน นั่นเป็นปัญหาที่ตัวแปรตามไม่เป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากผลตกค้างจากทรีทเมนต์เก่า (Carry Over Effect) และไม่สามารถสุ่มทรีทเมนต์ (ช่วงเวลา) ให้กับหน่วยทดลองได้ เช่น ในการวัดประสิทธิภาพการใช้ยาพาราเซตามอลที่ช่วงเวลา เดือนที่ 1, 3, 5 การทดลองไม่สามารถวัดผลในเดือนที่ 5 ได้ก่อนเดือนที่ 1 นั่นคืออิทธิพลของ ทรีทเมนต์เป็นแบบกำหนด (Fixed Effect Model) ทำให้โอกาสที่หน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ไม่เท่ากัน ส่งผลให้มีความลำเอียง (Bias) และอาจส่งผลต่อข้อกำหนดของความคลาดเคลื่อนที่ต้องเป็นโดยสุ่มและอิสระต่อกัน

แผนการทดลองวัดซ้ำอาจมีปัญหาตัวแปรตามไม่เป็นอิสระต่อกัน และค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นโดยสุ่มและไม่อิสระต่อกัน ดังนั้นแผนการทดลองวัดซ้ำสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นหรือไม่ ได้จากเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance Matrix) ซึ่งในเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมจะแสดงค่าความแปรปรวนในเส้นแนวทแยงมุมของเมทริกซ์ และค่าความแปรปรวนร่วมบนเส้นแนวทแยงมุม ที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามแต่ละทรีทเมนต์ว่าเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ แต่สำหรับการพิจารณาเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมขอเพียงมีเงื่อนให้ผลต่างของความแปรปรวนแต่ละคู่ของทรีทเมนต์เท่ากัน ซึ่งเรียกเมทริกซ์ที่มีเงื่อนไขดังกล่าวว่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี (Sphericity) และสำหรับการทดลองที่เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี ตัวสถิติทดสอบ F ก็เพียงพอในการทดสอบ แต่ถ้าเมเทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี (Asphericity) ส่งผลให้ตัวสถิติทดสอบ F จะปฏิเสธสมมติฐานหลักบ่อยเกินความเป็นจริง

ดังนั้นในการวิจัยจะต้องคำนึงถึงเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของแผนการทดลองวัดซ้ำ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาในกรณีแผนการทดลองวัดซ้ำเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีและไม่เป็นสเฟียริซิตี โดยศึกษาเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบ (Power of the Test) และความคลาด เคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I Error) ของแผนการทดลองวัดซ้ำ 4 วิธี คือ วิธี F ปกติ (Conventional F) วิธี F ปรับค่าองศาเสรี (Adjusted Degrees of Freedom F) วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ (Multivariate Analysis of Variance: MANOVA) และวีธีตัวแบบพหุระดับ (Multi - Level Modeling: MLM)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบและความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของวิธี F ปกติ วิธี F ปรับค่าองศาเสรี วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ และตัวแบบพหุระดับ สำหรับแผนการทดลองวัดซ้ำเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี และไม่เป็นสเฟียริซิตี

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อจะได้วิธีการทดสอบอำนาจการทดสอบและความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่เหมาะสมสำหรับแผนการทดลองวัดซ้ำเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี และไม่เป็นสเฟียริซิตี

2. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาสำหรับการหาวิธีการทดสอบอำนาจการทดสอบและความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่เหมาะสมในแผนการทดลองวัดซ้ำเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี และไม่เป็นสเฟียริซิตี

ขอบเขตการศึกษา

ในการวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาแผนการทดลองวัดซ้ำปัจจัยทางเดียวที่ครอบคลุมเฉพาะการให้ทรีทเมนต์มากกว่าหรือเท่ากับ 2 ทรีทเมนต์กับหน่วยทดลองเดิม ภายใต้ขอบเขตต่อไปนี้

1. ศึกษาอำนาจการทดสอบและความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบ F สำหรับวิธี F ปกติ และ วิธี F ปรับค่าองศาเสรี ตัวสถิติทดสอบ t สำหรับตัวแบบพหุระดับ และตัวสถิติทดสอบ Hotelling's T^2 สำหรับวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ

2. กำหนดให้การวัดซ้ำในหน่วยทดลองเป็น 4 ทรีทเมนต์ 6 ทรีทเมนต์ และ 8 ทรีทเมนต์

3. ในการศึกษาความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 กำหนดให้ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ ทุกทรีทเมนต์มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และการศึกษาอำนาจการทดสอบกำหนดให้ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ยแต่ละทรีทเมนต์เพิ่มขึ้นทีละ 2

4. กำหนดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ($\rho = 0.3$) ระดับกลาง ($\rho = 0.6$) ระดับสูง ($\rho = 0.9$)

5. กำหนดให้หน่วยทดลองมีความแปรปรวนเป็น 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ เป็น 1 และดับสูง เป็น 20

6. กำหนดให้หน่วยทดลองทุกทรีทเมนต์มีขนาดเท่ากันเป็น 10

7. กำหนดการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05

8. สร้างข้อมูลโดยใช้เทคนิคการจำลองมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) ทำซ้ำ 1,000 ครั้ง ในแต่ละกรณี

การตรวจเอกสาร

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งเนื้อหาของการตรวจเอกสารออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการเสนอผลงานการวิจัยที่มีผู้ทำการศึกษาไว้แล้ว ส่วนที่สองเป็นการอธิบายรายละเอียดของวิธีการทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผจงจิต (2539) ได้ศึกษาสำหรับข้อมูลที่มีหน่วยทดลองหน่วยเดียวซ้ำ ในแต่ละทรีทเมนต์ทำให้ข้อมูลไม่เป็นอิสระต่อกัน จะส่งผลให้เกิดความไม่เป็นเอกภาพของความแปรปรวน (Heterogeneity of Variances) และความแปรปรวนร่วมในแผนการทดลองวัดซ้ำจึงก่อให้เกิดความลำเอียงทางบวก (Positive Bias) ในการทดสอบ F และ Box ได้พบว่าการแจกแจงที่แท้จริงของสถิติ F ปกติ สามารถประมาณได้ด้วยสถิติ F ตัวใหม่ ที่มีการปรับค่าองศาเสรีให้น้อยลง ทำให้สถิติ F ตัวใหม่ มีระดับนัยสำคัญที่ถูกต้องในการทดสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์

Steven (1996) ได้กล่าวว่าถ้าตัวสถิติ $T^2 = n(\mathbf{C}\overline{\mathbf{y}})'(\mathbf{CSC})^{-1}(\mathbf{C}\overline{\mathbf{y}})$ ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม นั่นคือเป็นไปตามเงื่อนไขข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นเอกภาพของความแปรปรวน แล้ววิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนหนึ่งตัวแปรมีอำนาจการทดสอบสูงกว่าวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ

Quene′ and Bergh (2004) ศึกษาแผนการทดลองวัดซ้ำเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี การทดสอบด้วยวิธีตัวแบบพหุระดับ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนหนึ่งตัวแปร และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ มีอำนาจการทดสอบไม่ต่างกัน แต่ถ้าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี แล้วอำนาจการทดสอบทั้ง 3 วิธี ต่างกัน คือ วิธีตัวแบบพหุระดับมีอำนาจการทดสอบสูงกว่าวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุมีอำนาจการทดสอบสูงกว่าวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนหนึ่งตัวแปร

วิธีการทางสถิติ

แผนการทดลองวัดซ้ำเป็นการบันทึกค่าหน่วยทดลองแต่ละหน่วยทดลองซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง ในเวลาต่าง ๆ กัน โดยให้หน่วยทดลองเดิมได้รับทุกทรีทเมนต์ตามลำดับช่วงเวลา ซึ่งอาจส่งผลให้ตัวแปรตามไม่เป็นอิสระต่อกัน และทำให้โอกาสที่หน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ไม่เท่ากัน ส่งผลให้มีความลำเอียง โดยอาจส่งผลต่อข้อกำหนดของความคลาดเคลื่อนที่ต้องเป็นอย่างสุ่มและอิสระต่อกัน

ผจงจิต (2549); อวยพร (2525) ได้ให้ความหมายของแผนการทดลองวัดซ้ำครอบคลุมแผนการทดลองหลายลักษณะดังนี้

1. การวัดก่อนและหลังการให้ทรีทเมนต์ (หน่วยการทดลองเดิมถูกวัด 2 ครั้ง) หรือการให้ทรีทเมนต์ 2 ทรีทเมนต์ กับหน่วยทดลองเดียวกันหรือหน่วยทดลองที่เหมือนกัน (Identical)

2. การให้ทรีทเมนต์มากกว่า 2 ทรีทเมนต์ กับหน่วยทดลองเดิม

3. เมื่อให้ทรีทเมนต์กับหน่วยทดลองแล้ววัดตัวแปรตามต่อเนื่องกันเป็นลำดับหลายครั้ง

Davis (2002) and Winer (1971) ได้กล่าวว่าแผนการทดลองวัดซ้ำเป็นการกำหนดทรีทเมนต์ไว้ล่วงหน้าว่าหน่วยทดลองใดควรได้รับทรีทเมนต์ก่อน นั่นคืออิทธิพลของทรีทเมนต์เป็นแบบกำหนด โดยการสุ่มหน่วยทดลองให้กับทรีทเมนต์ นั่นคืออิทธิพลของหน่วยทดลองเป็นแบบสุ่ม ดังนั้นรูปแบบของแผนการทดลองวัดซ้ำเป็นรูปแบบผสม (Mixed Effect Model)

รูปแบบเชิงเส้นตรงของแผนการทดลองวัดซ้ำ

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ Y_{ij} แทนค่าสังเกตของหน่วยทดลองในทรีทเมนต์ (ซ้ำ) ที่ i หน่วยทดลองที่ j

μ แทนค่าเฉลี่ยของประชากร

α_i แทนอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ i ; i = 1, 2, ..., r โดย $\sum \alpha_i = 0$

β_j แทนอิทธิพลของหน่วยทดลองที่ j ; j = 1, 2, ..., n โดย $\beta_j \sim N\left(0, \sigma_\beta^2\right)$

ε_{ij} แทนความคลาดเคลื่อนของการทดลอง โดย $\varepsilon_{ij} \sim N\left(0, \sigma_\varepsilon^2\right)$

การพิจารณาข้อสมมติฐานเบื้องต้นสำหรับแผนการทดลองวัดซ้ำ ขอเพียงเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมให้ผลต่างของความแปรปรวนแต่ละคู่ของทรีทเมนต์เท่ากัน ซึ่งเรียกเมทริกซ์ที่มีเงื่อนไขดังกล่าวว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี และตัวสถิติทดสอบ F ก็เพียงพอในการทดสอบ

Kirk (1995) กล่าวถึงการแจกแจง F ที่สมมติฐานหลัก (H_0) เป็นจริง ไม่จำเป็นที่ความแปรปรวน และความแปรปรวนร่วมต้องเท่ากันขอเพียง

$$\sigma^2_{Y_j - Y_{j'}} = \sigma^2_{Y_j} + \sigma^2_{Y_{j'}} - 2\sigma_{jj'} = \text{ค่าคงที่} \qquad \text{ทุก } j \text{ และ } j' \text{ เมื่อ } j \neq j'$$

ซึ่ง Kirk ได้อ้างถึง Rouanet and Lépine (1970) ว่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี ก็ต่อเมื่อ

$$C^{*'}_{(p-1)\times p} \sum\nolimits_{p\times p} C^{*}_{p\times(p-1)} = \lambda_{(p-1)\times(p-1)} I$$

เมื่อ $C^{*'}$ = เป็นเมทริกซ์สัมประสิทธิ์ออร์โธนอมอล (Orthonormal Coefficient Matrix) ที่สมมติฐานหลัก

Σ = เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของประชากร

λ = เป็นค่าคงที่ และ $\lambda > 0$

I = เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ (Identity Matrix)

p = จำนวนทรีทเมนต์

หรือทดสอบเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีด้วยสถิติทดสอบ V^*

$$V^* = \frac{(r-1)(n-1)}{2}\left\{\frac{(n-1)\mathrm{trace}(C^{*'}\hat{\sum}C^*)^2}{\left[\mathrm{trace}(C^{*'}\hat{\sum}C^*)\right]^2}-1\right\}$$

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $V^* > V^*_{\alpha,(p-1),n}$

เมื่อ r = จำนวนทรีทเมนต์

n = จำนวนหน่วยทดลอง

$C^{*'}$ = เป็นเมทริกซ์สัมประสิทธิ์ออร์โธนอมอล

$\hat{\sum}$ = เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวอย่าง

Davis (2002) ได้กล่าวถึงเงื่อนไขของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี ดังนี้

1. ผลต่างของความแปรปรวนแต่ละคู่ของทรีทเมนต์มีค่าเท่ากัน

2. $\theta = 1$ เมื่อ

$$\theta = \frac{r^2(\bar{\sigma}_{ii}-\bar{\sigma}_{..})^2}{(r-1)(\sum\sigma_{ij}^2 - 2r\sum\bar{\sigma}_{i.}^2 + r^2\bar{\sigma}_{..}^2)}$$

เมื่อ $\bar{\sigma}_{..}$ ค่าเฉลี่ยของทุกสมาชิก

$\bar{\sigma}_{ii}$ ค่าเฉลี่ยของสมาชิกที่อยู่ในเส้นทแยง

$\bar{\sigma}_{i.}$ ค่าเฉลี่ยของสมาชิกในแถวนอนที่ i

σ_{ij} เป็นสมาชิกของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม

แต่ถ้าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นเมทริทซ์สมมาตรเชิงประกอบ (Compound Symmetry Matrix) แล้วเงื่อนไขข้อที่ 1 ก็เพียงพอ

Maxwell and Delaney (2004) อ้างถึง Huynh and Feldt (1970); Rouanet and Lépine (1970) ความเป็นอิสระถูกแสดงที่ข้อตกลงเบื้องต้นที่เท่ากันของผลต่างของความแปรปรวนแต่ละคู่ของทรีทเมนต์ คือเป็นการกำหนดการเท่ากันของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมในประชากรที่มีรูปแบบแน่นอน ซึ่งรูปแบบของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมนี้เรียกว่า สเฟียริซิตี หรือ อินเตอร์เชนเจียบลิ (Interchangeably) หรือ เซอคูลาริตี (Circularity) นั่นคือ

$$\sigma^2_{Y_j - Y_{j'}} = \sigma^2_{Y_j} + \sigma^2_{Y_{j'}} - 2\sigma_{jj'} = \text{ค่าคงที่} \qquad \text{ทุก } j \text{ และ } j' \text{ เมื่อ } j \neq j'$$

และเมทริทซ์สมมาตรเชิงประกอบเป็นกรณีหนึ่งในสเฟียริซิตี ที่มีความแปรปรวนทุกทรีทเมนต์เท่ากัน และทุกความแปรปรวนร่วมมีค่าเท่ากัน นั่นคือถ้าความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเท่ากันแล้วค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างทรีทเมนต์ย่อมเท่ากันด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นได้ดังนี้

สมมติให้ค่าสังเกตในหน่วยทดลองทรีทเมนต์ที่ i มีความแปรปรวนเป็น

$$\sigma^2_{Y_i} = \sigma^2_Y \qquad \text{สำหรับทุก } i$$

และให้ความแปรปรวนร่วม (Covariance) เป็น

$$\sigma_{Y_i Y_{i'}} = \text{ค่าคงที่} \quad \text{สำหรับทุกคู่ } i, i' \quad \text{เมื่อ } i \neq i'$$

เนื่องจาก $\rho = \dfrac{\sigma_{Y_i Y_{i'}}}{\sigma^2_Y}$

ดังนั้น $\sigma_{Y_iY_{i'}} = \rho\sigma^2_Y$

เมื่อ $\sigma^2_{Y_j - Y_{j'}} = \sigma^2_{Y_j} + \sigma^2_{Y_{j'}} - 2\sigma_{jj'}$ แล้วค่าความแปรปรวน (σ^2_Y) ความแปรปรวนร่วม ($\sigma_{Y_iY_{i'}}$) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) ทุกทรีทเมนต์มีค่าเท่ากัน จะได้ว่า

$$\sigma^2_{Y_j - Y_{j'}} = \sigma^2_{Y_j} + \sigma^2_{Y_{j'}} - 2\sigma_{Y_jY_{j'}} = \sigma^2_Y + \sigma^2_Y - 2\rho\sigma^2_Y = 2\sigma^2_Y(1-\rho)$$

นั่นคือแสดงได้ว่าเมทริกซ์สมมาตรเชิงประกอบเป็นสมาชิกในเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี ซึ่งแสดงด้วยเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมดังนี้

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma^2_Y & \rho\sigma^2_Y & \cdots & \rho\sigma^2_Y \\ \rho\sigma^2_Y & \sigma^2_Y & \cdots & \rho\sigma^2_Y \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \rho\sigma^2_Y & \rho\sigma^2_Y & \cdots & \sigma^2_Y \end{bmatrix} = \sigma^2_Y \begin{bmatrix} 1 & \rho & \cdots & \rho \\ \rho & 1 & \cdots & \rho \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \rho & \rho & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

และเมทริกซ์สมมาตรเชิงประกอบเป็นเงื่อนไขที่เพียงพอสำหรับความถูกต้องในแผนการทดลองที่มีรูปแบบผสม แต่ไม่เป็นเงื่อนไขที่จำเป็นเพราะว่าเมทริกซ์สมมาตรเชิงประกอบเป็นสมาชิกของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่เป็นสเฟียริซิตี ซึ่งขอเพียงเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่เป็น สเฟียริซิตีก็พอ แต่ในตัวอย่างของ Maxwell and Delaney (2004) แสดงถึงความแตกต่างในการนำ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี และเมทริกซ์สมมาตรเชิงประกอบไปใช้ คือ เมื่อมีทรีทเมนต์ 2 ทรีทเมนต์ของการวัดซ้ำ ซึ่งทำให้มีความแตกต่างของความแปรปรวนเพียงคู่เดียว จึงไม่ต้องทำการเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์คู่อื่น ดังนั้นเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีก็เพียงพอ แต่สำหรับทรีทเมนต์มากกว่า 2 ทรีทเมนต์ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของหน่วยทดลองที่เป็นสเฟียริซิตีอาจทำให้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมมีค่าสูงกว่าปกติ ดังนั้นในทางปฏิบัติเมทริกซ์สมมาตรเชิงประกอบจำเป็นในการวิเคราะห์แผนการทดลองรูปแบบผสมในปัจจัยเดียวของแผนการทดลองวัดซ้ำ

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะข้อมูลในแผนการทดลองวัดซ้ำมี r ทรีทเมนต์ (ซ้ำ) โดยใช้จำนวนหน่วยทดลองเท่ากับ n จะได้ข้อมูลดังนี้

Subjects (j)	Treatment(i)			
	1	2	…	r
1	Y_{11}	Y_{21}	…	Y_{r1}
2	Y_{12}	Y_{22}	…	Y_{r2}
3	Y_{13}	Y_{23}	…	Y_{r3}
⋮	⋮	⋮		⋮
n	Y_{1n}	Y_{2n}	…	Y_{rn}

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแผนการทดลองวัดซ้ำ

SOV	df	SS	MS	E(MS)	F
Treatment	r-1	SS_{Tr}	$\frac{SS_{Tr}}{r-1}$	$\sigma^2 + n\sigma_\alpha^2$	$\frac{MS_{Tr}}{MS_E}$
Subjects	n-1	SS_{Sub}	$\frac{SS_{Sub}}{n-1}$	$\sigma^2 + r\sigma_\beta^2$	$\frac{MS_{Sub}}{MS_E}$
Error	(r-1)(n-1)	SS_E	$\frac{SS_E}{(r-1)(n-1)}$	σ^2	
Total	nr-1	SS_T			

วิธี F ปกติ และวิธี F ปรับค่าองศาเสรี

ทั้งวิธี F ปกติ และวิธี F ปรับค่าองศาเสรีเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนหนึ่งตัวแปรซึ่งมีข้อตกลงเบื้องต้นดังนี้

พิสมัย (2545) ได้ให้ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนหนึ่งตัวแปรดังนี้

1. การสุ่มตัวอย่างแต่ละชุดจะต้องสุ่มอย่างเป็นอิสระกัน

2. สุ่มตัวอย่างจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ

3. ค่าความแปรปรวนของแต่ละประชากรต้องเท่ากัน

สมมติฐานเพื่อการทดสอบ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_r$$

$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$; $i, j = 1, 2, \ldots, r$

ตัวสถิติทดสอบ H_0 คือ F

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $F > F_{\alpha, d.f.}$ โดยที่ d.f. เท่ากับองศาเสรีของการวัดซ้ำ และองศาเสรีของความคลาดเคลื่อน

ผจงจิต (2539) ได้กล่าวถึงเมื่อหน่วยทดลองมีความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมไม่เท่ากัน นั่นคือเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตีให้ใช้สถิติทดสอบ F ที่มีการปรับค่าองศาเสรีด้วยเอปไซลอน (θ) ซึ่งสามารถประมาณด้วยสถิติ F ตัวใหม่ (Conventional F) ที่มีค่าองศาเสรีน้อยลงเป็น θ(r-1) และ θ(r-1)(n-1) เมื่อ r แทนจำนวนของการวัดซ้ำ และ n แทนจำนวนหน่วยทดลอง และต่อมาวิธีของ Greenhouse – Geisser แสดงให้เห็นว่าเมื่อความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมไม่เท่ากัน ค่าเอปไซลอนจะลดลง และค่าต่ำสุดของเอปไซลอน คือ

$\frac{1}{(r-1)}$ และให้สถิติ F ที่มีค่าองศาเสรีต่ำสุด โดยสมมติให้ $\theta = \frac{1}{(r-1)}$ ดังนั้นค่าองศาเสรีสำหรับสถิติทดสอบ F เป็น 1 และ (n-1) แต่เมื่อมีความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมเท่ากัน นั่นคือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นเมทริทซ์สมมาตรเชิงประกอบ ค่าเอปไซลอนมีค่าเป็น 1

เมื่อ θ เป็นค่า Greenhouse-Geisser epsilon และ θ อยู่ในช่วง $\frac{1}{r-1} < \theta < 1$ ซึ่งประมาณค่า θ ได้ดังนี้

$$\hat{\theta} = \frac{r^2(\bar{\sigma}_{ii} - \bar{\sigma}_{..})^2}{(r-1)(\sum \sigma_{ij}^2 - 2r\sum \bar{\sigma}_{i.}^2 + r^2\bar{\sigma}_{..}^2)}$$

เมื่อ $\bar{\sigma}_{..} = \frac{\sum_{ij} \sigma_{ij}}{r^2} =$ ค่าเฉลี่ยของทุกสมาชิก

$\bar{\sigma}_{ii} = \frac{\sum_{ii} \sigma_{ii}}{r} =$ ค่าเฉลี่ยของสมาชิกที่อยู่ในเส้นทแยง

$\bar{\sigma}_{i.} = \frac{\sum_{j} \sigma_{ij}}{r} =$ ค่าเฉลี่ยของสมาชิกในแถวนอนที่ i

σ_{ij} เป็นสมาชิกของเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม ของการวัดซ้ำ (r x r matrix) เฉลี่ยจากทุกซ้ำ (Pooled Matrix , $\sum$pooled) ดังนี้

$$\sum_{pooled} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1r} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2r} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sigma_{r1} & \sigma_{r2} & \cdots & \sigma_{rr} \end{bmatrix}$$

ในการทดสอบสมมติฐานจะเริ่มทำการทดสอบด้วยสถิติ F ปกติ ที่มีองศาเสรีเป็น (r-1) และ (r-1)(n-1) ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปได้ 2 ทาง คือ ถ้ายอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) ให้สรุปได้ทันทีว่า ค่าทดสอบ F ไม่มีนัยสำคัญ แต่ถ้าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ให้ทำการทดสอบด้วยสถิติ F ที่มีการปรับค่าองศาเสรี

อนันต์ชัย (2542) ได้พิจารณาค่าองศาเสรีในแผนการทดลองวัดซ้ำ ที่เหมาะสมในการกำหนดค่าวิกฤต F ซึ่งพิจารณาจากค่าองศาเสรีของการวัดซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อน สามารถกำหนดค่าได้ 3 ลักษณะ คือ

1. apparent d.f. เป็นค่าองศาเสรีที่ปรากฏจริงในการทดลอง ซึ่งจะทำให้ได้ค่าทดสอบ F ที่มีนัยสำคัญบ่อยครั้งกว่าความเป็นจริง ซึ่งเป็นการทดสอบด้วยสถิติ F ปกติ

2. exact d.f. เป็นค่าองศาเสรีที่ถูกต้องที่คำนวณโดยนำโครงสร้างความสัมพันธ์ในค่าความคลาดเคลื่อนมาพิจารณาด้วย

3. conservative d.f. เป็นค่าองศาเสรีที่เกิดจากการใช้ค่าองศาเสรีของการวัดซ้ำ ไปหารค่าองศาเสรีของการวัดซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อน ค่าองศาเสรีที่ได้เมื่อนำไปใช้หาค่าวิกฤต F จะมีผลทำให้ได้ค่าทดสอบ F ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญน้อยครั้งกว่าความเป็นจริง (Too Few Significant F Ratio)

ตารางที่ 3 แสดงค่าองศาเสรีของ apparent , exact และ conservative

SOV	apparent d.f.	exact d.f.	conservative d.f.
Treatment	r -1	(r-1) θ	1
Error	(r-1)(n-1)	(r-1)(n-1) θ	n-1

การทดสอบสมมติฐานอาจสรุปผลการทดสอบสถิติ F โดยพิจารณาจาก apparent d.f. และ conservative d.f. ได้ดังนี้

1. เมื่อใช้ apparent d.f. ในการหาค่าวิกฤตของวิธี F ปกติ แล้วพบว่า ค่าทดสอบ F มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต F ให้สรุปได้ทันทีว่า ค่าทดสอบ F ไม่มีนัยสำคัญ

2. เมื่อใช้ conservative d.f. ในการหาค่าวิกฤตของวิธี F ปรับค่าองศาเสรี แล้วพบว่าค่าทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤต F ให้สรุปได้ทันทีว่า ค่าทดสอบ F มีนัยสำคัญ

3. เมื่อใช้ apparent d.f. ในการหาค่าวิกฤต F แล้วพบว่า ค่าทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤต F แต่เมื่อใช้ conservative d.f. ในการหาค่าวิกฤต F กลับพบว่าค่าทดสอบ F มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต F กรณีเช่นนี้จะต้องประมาณค่า θ เพื่อให้หา exact d.f. และใช้วิธี F ปรับค่าองศาเสรีในการทดสอบ จึงสามารถสรุปผลได้

วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ

วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุเป็นการศึกษาตัวแปรเชิงปริมาณที่มีตัวแปรตามหลายๆ ตัวพร้อมกัน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความถดถอย และการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมกัน โดยตัวแปรเชิงกลุ่มจะแบ่งประชากรเป็นกลุ่มย่อย ๆ โดยทั่วไปตัวแปรอิสระอาจจะเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มและตัวแปรเชิงปริมาณก็ได้

กัลยา (2544, 2548); สำเริง (2540); Krzanowski and Marriott (1994) ได้กล่าวถึงข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ

1. มีการสุ่มตัวอย่างเป็นอิสระกัน

2. เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของทุกกลุ่มต้องเท่ากัน

3. ค่าสังเกตได้จากกลุ่มตัวอย่าง ต้องมีการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปร (Multivariate Normal Distribution)

สมมติฐานเพื่อการทดสอบ

$$H_0 : \begin{bmatrix} \mu_{11} \\ \mu_{21} \\ \vdots \\ \mu_{r1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{12} \\ \mu_{22} \\ \vdots \\ \mu_{r2} \end{bmatrix} = \ldots = \begin{bmatrix} \mu_{1n} \\ \mu_{2n} \\ \vdots \\ \mu_{rn} \end{bmatrix}$$

$$H_1 : \begin{bmatrix} \mu_{1j} \\ \mu_{2j} \\ \vdots \\ \mu_{rj} \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} \mu_{1k} \\ \mu_{2k} \\ \vdots \\ \mu_{rk} \end{bmatrix}$$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $j \neq k$; $j, k = 1, 2, \ldots, n$

โดยที่ μ_{ij} เป็นค่าเฉลี่ยของของกลุ่มที่ i ตัวแปรตามตัวที่ j

เมื่อ $i = 1, 2, \ldots, r$

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

ตัวสถิติทดสอบ H_0 คือ Hotelling ’ s T^2

$$T^2 = n(\mathbf{C}\overline{\mathbf{y}})'(\mathbf{CSC})^{-1}(\mathbf{C}\overline{\mathbf{y}})$$

เมื่อ n แทนจำนวนหน่วยทดลอง

C แทนเมทริกซ์คู่เปรียบเทียบ (contrast)

$\overline{\mathbf{y}}$ แทนเมทริกซ์ค่าเฉลี่ยของแต่ละการวัดซ้ำ

S แทนเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของข้อมูลตัวอย่าง

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $T^2 > \frac{(n-1)(r-1)}{(n-r-1)} F_{\alpha,d.f.}$ โดยที่ d.f. $= r-1$ และ $n-r+1$

วิธีตัวแบบพหุระดับ

ศิริชัย (2548) ได้อธิบายวิธีตัวแบบพหุระดับเป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรอิสระหลายระดับที่มีต่อตัวแปรตาม ซึ่งตัวแปรอิสระมีโครงสร้างเป็นระดับลดหลั่น (Hierarchical) อย่างน้อย 2 ระดับ โดยตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่อยู่ระดับล่าง (ระดับ 1) ต่างมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และได้รับอิทธิพลร่วมกันจากตัวแปรอิสระที่อยู่ระดับบน (ระดับ 2)

ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาวิธีตัวแบบพหุระดับในรูปแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบมีอิทธิพลสุ่ม (One Way ANOVA with Random Effect) ตัวแปรตาม 1 ตัว และไม่มีตัวแปรอิสระโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Square : OLS)

รูปแบบเชิงเส้นตรงของวิธีตัวแบบพหุระดับ

รูปแบบระดับที่ 1 (Micro Model)

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}X_{1j} + R_{ij}$$

รูปแบบระดับที่ 2 (Macro Model)

$$\beta_{0j} = \Gamma_{00} + \Gamma_{01}Z_j + U_{0j}$$

$$\beta_{1j} = \Gamma_{10} + \Gamma_{11}Z_j + U_{1j}$$

เมื่อ Y_{ij} แทนค่าสังเกตของหน่วยทดลองของระดับ 1 ที่ i ภายในระดับ 2 ที่ j

β_{0j} แทนค่าเฉลี่ยในระดับ 2 ที่ j

β_{1j} แทนสัมประสิทธิ์การถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่าง Y_{ij} กับ X_{1j} ของระดับ 2

X_{1j} แทนตัวแปรอิสระระดับ 1 ภายในระดับ 2 ที่ j

R_{ij} แทนค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งมีการแจกแจงปกติ $R_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Γ_{00} แทนค่าเฉลี่ยรวม (Grand Mean) ของ Y_{ij}

Γ_{01} แทนค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแสดงผลของ Z_j ต่อ B_{0j}

Γ_{10} แทนค่าเฉลี่ยของ B_{1j}

Γ_{11} แทนค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแสดงผลของ Z_j ต่อ B_{1j}

U_{0j} แทนค่าความคลาดเคลื่อนของ B_{0j}

U_{1j} แทนค่าความคลาดเคลื่อนของ B_{1j}

เนื่องจากในการวิจัยศึกษากรณีไม่มีตัวแปรอิสระ ดังนั้น $\beta_{1j} = 0$ และ $\Gamma_{01} = 0$ ซึ่งรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูล 2 ระดับ คือ

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + R_{ij} \qquad (1)$$

$$\beta_{0j} = \Gamma_{00} + U_{0j} \qquad (2)$$

เรียกสมการ (1) และ (2) ว่ารูปแบบไม่มีเงื่อนไขอย่างสมบรูณ์ (Fully Unconditional Model) หรือ Null Model และ แทนสมการ (2) ลงในสมการ (1) จะได้รูปแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบมีอิทธิพลสุ่ม ดังนี้

$$Y_{ij} = \Gamma_{00} + U_{0j} + R_{ij}$$

จะได้ความแปรปรวนของ Y_{ij} ดังนี้

$$\begin{aligned} V(Y_{ij}) &= Var(\Gamma_{00} + U_{0j} + R_{ij}) \\ &= Var(U_{0j}) + Var(R_{ij}) \\ &= \tau^2 + \sigma^2 \end{aligned}$$

นั่นคือความแปรปรวนของ Y_{ij} ถูกแยกส่วนเป็นความแปรปรวนภายในทรีทเมนต์ (σ^2) และความแปรปรวนระหว่างทรีทเมนต์ (τ^2) เมื่อ

$$\tau^2 = S^2_{between} - \frac{S^2_{within}}{n}$$

สมมติฐานเพื่อการทดสอบ

$$H_0 : \Gamma_{00} = 0$$

$$H_1 : \Gamma_{00} \neq 0$$

Leyland and Goldstein (2001); Snijders and Bosker (1999) แสดงการคำนวณค่าสถิติ ดังนี้

ค่าเฉลี่ยของระดับ 2 ที่ j : $\overline{Y}_{.j} = \frac{1}{r_j}\sum_{i=1}^{r_j} Y_{ij}$

ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดของหน่วยทดลอง : $\overline{Y}_{..} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{r_j} Y_{ij} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{n} r_j \overline{Y}_{.j}$

ความแปรปรวนทั้งหมดของแผนการทดลอง

$$S_{total}^2 = \frac{1}{(N-1)} \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{r_i} (Y_{ij} - \overline{Y}_{..})^2$$

$$= \frac{N-r}{N-1} S_{within}^2 + \frac{\overline{n}(r-1)}{N-1} S_{between}^2$$

เมื่อ $\overline{n} = \frac{N}{r}$

ความแปรปรวนระหว่างทรีทเมนต์ : $S_{between}^2 = \frac{1}{(r-1)} \sum_{j=1}^{n} (\overline{Y}_{.j} - \overline{Y}_{..})^2$

ดังนั้น ความแปรปรวนภายในทรีทเมนต์ : $S_{within}^2 = (S_{total}^2 - \frac{\overline{n}(n-1)}{N-1} S_{between}^2)(\frac{N-1}{N-r})$

เมื่อ r แทนจำนวนการวัดซ้ำ (ทรีทเมนต์)

n แทนจำนวนหน่วยทดลอง

N แทนค่าสังเกตในหน่วยทดลองทั้งหมด

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น คือ สัดส่วนของความแปรปรวนระหว่างหน่วย (ระดับ 2) จากผลรวมของความแปรปรวนภายในทรีทเมนต์และความแปรปรวนระหว่างทรีทเมนต์ สามารถคำนวณดังนี้

$$\rho = \frac{\tau^2}{\tau^2 + \sigma^2}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error : S.E.)

$$\text{S.E.} = \frac{\text{S}}{\sqrt{\text{N}_{\text{effective}}}}$$

เมื่อ S เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\text{N}_{\text{effective}}$ เป็นขนาดตัวอย่าง เท่ากับ $\dfrac{\text{N}}{1+(\text{r}-1)\,\rho}$

ตัวสถิติทดสอบ H_0 คือ $\text{t} = \dfrac{\hat{\text{Y}}}{\text{S.E.}}$

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $\text{t} > \text{t}_{\alpha,\,\text{d.f.}}$ โดยที่ d.f. = N – r - 1

เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการประมาณ

คำจำกัดความในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

1. ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I error) คือ ความน่าจะเป็นที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Null hypothesis) เมื่อสมมติฐานหลักนั้นเป็นจริง

2. ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 2 (Type II error) คือ ความน่าจะเป็นที่ยอมรับสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักนั้นเป็นเท็จ

3. อำนาจการทดสอบ (Power of the test) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักนั้นเป็นเท็จ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1-\beta$ เมื่อ β คือ ค่าความน่าจะเป็นที่เกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 2

ในการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของแผนการทดลองวัดซ้ำ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีและไม่เป็นสเฟียริซิตีในการวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาจาก

1. ความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ซึ่งจะวัดจากสัดส่วนของจำนวนครั้งที่ปฏิเสธสมมติหลักเมื่อสมมติหลักนั้นเป็นจริง

ในการพิจารณาว่าตัวสถิติทดสอบสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้หรือไม่ จะพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (α) ของตัวสถิติทดสอบซึ่งควรมีค่าไม่มากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด (α_0) โดยใช้การทดสอบทวินาม (Binomial Test) ในการวิจัยครั้งนี้กำหนดให้ระดับนัยสำคัญของการทดสอบทวินาม (α^*) เท่ากับ 0.05

สมมติฐานของการทดสอบ คือ

$$H_0 \quad : \quad \alpha \le \alpha_0$$

$$H_1 \quad : \quad \alpha > \alpha_0$$

โดยใช้ทฤษฎีบทลิมิตสู่ส่วนกลาง (Central Limit Theorem) ความน่าจะเป็นที่ยอมรับสมมติฐาน H_0 เท่ากับ

$$P\left[Z_{\alpha^*} \ge \frac{\hat{\alpha}-\alpha_0}{\frac{\sqrt{\alpha_0\left(1-\alpha_0\right)}}{n*}} \right] = 1-\alpha^*$$

หรือ

$$P\left[Z_{\alpha^*} \frac{\sqrt{\alpha_0\left(1-\alpha_0\right)}}{n*} + \alpha_0 \ge \hat{\alpha} \right] = 1-\alpha^*$$

ดังนั้น ช่วงของการยอมรับค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบ คือ

$$\left[0, Z_{\alpha^*} \frac{\sqrt{\alpha_0\left(1-\alpha_0\right)}}{n*} + \alpha_0 \right]$$

เมื่อ

α แทนความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

$\hat{\alpha}$ แทนค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง มีค่าเท่ากับจำนวนครั้งของการปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานว่างนั้นเป็นจริง หารด้วยจำนวนครั้งของการทดลอง (n *)

α_0 แทนระดับนัยสำคัญที่กำหนดในการศึกษา มี 2 ระดับ คือ 0.01 และ 0.05

α^* แทนระดับนัยสำคัญของการทดสอบ เท่ากับ 0.05

n* แทนจำนวนครั้งของการทดลอง เท่ากับ 1,000 ครั้ง

ตัวสถิติทดสอบจะสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ถ้า $\hat{\alpha}$ อยู่ในช่วงของการยอมรับ ดังต่อไปนี้

กรณีที่ควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (α_0) เท่ากับ 0.01 ตัวสถิติทดสอบจะสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ถ้า $\hat{\alpha}$ อยู่ในช่วง [0 , 0.0137]

กรณีที่ควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (α_0) เท่ากับ 0.05 ตัวสถิติทดสอบจะสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ถ้า $\hat{\alpha}$ อยู่ในช่วง [0 , 0.0580]

2. อำนาจการทดสอบ จะวัดจากสัดส่วนของจำนวนครั้งที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อสมมติฐานหลักเป็นเท็จ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

2. โปรแกรม Matlab รุ่น R2006a

วิธีการ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบและความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ในแผนการทดลองวัดซ้ำเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีและเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตีระหว่าง 4 วิธี คือ วิธี F ปกติ วิธี F ปรับค่าองศาเสรี วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ และวิธีตัวแบบพหุระดับ สำหรับการวิจัยจะใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ขึ้นมาโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลด้วยโปรแกรม Matlab รุ่น R2006a ซึ่งหลักการของเทคนิคมอนติคาร์โลเป็นการนำตัวเลขสุ่ม (Random Number) มาช่วยในการหาคำตอบของปัญหาที่ต้องการศึกษาตามขั้นตอนดั้งนี้

1. สร้างค่าความคลาดเคลื่อน และอิทธิพลของหน่วยทดลองให้มีการแจกแจงแบบปกติค่าเฉลี่ยเป็น 0 และความแปรปรวนตามที่กำหนดด้วยโปรแกรม Matlab รุ่น R2006a

$$\varepsilon_{ij} \sim N\left(0\ ,\sigma^2_{\varepsilon}\right): \quad 0 + \mathrm{sqrt}(\sigma^2_{\varepsilon})*\mathrm{randn}(1,1)$$
$$\beta_{j} \sim N\left(0\ ,\sigma^2_{\beta}\right): \quad 0 + \mathrm{sqrt}(\sigma^2_{\beta})*\mathrm{randn}(1,1)$$

2. การประยุกต์ปัญหาที่ต้องการศึกษามาใช้กับเลขสุ่ม ซึ่งในขั้นตอนนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา

3. การทดลองกระทำเมื่อประยุกต์ปัญหาให้ใช้กับตัวเลขสุ่มได้แล้วก็ทำการทดลองซ้ำ ๆ กัน (Replication) เพื่อหาคำตอบของปัญหา

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดแผนการดำเนินการ และขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

1. การสร้างข้อมูลในงานวิจัย

สร้างข้อมูลด้วยเทคนิคการจำลองมอนติคาร์โลซ้ำกัน 1,000 ครั้ง โดยแต่ละครั้งมีการกำหนดค่าต่าง ๆ เป็นดังนี้

1.1 การศึกษาความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 กำหนดให้ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ ทุกทรีทเมนต์มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และการศึกษาอำนาจการทดสอบกำหนดให้ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์เพิ่มขึ้นทีละ 2

1.2 กำหนดแผนการทดลองวัดซ้ำเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตีซึ่งกำหนดความแปรปรวนดังนี้

แผนการทดลองที่มี 4 ทรีทเมนต์ ให้ทรีทเมนต์ที่ 1, 3 มีค่าความแปรปรวนเป็น 1, 20 ทรีทเมนต์ที่ 2, 4 มีค่าความแปรปรวนเป็น 5, 100

แผนการทดลองที่มี 6 ทรีทเมนต์ ให้ทรีทเมนต์ที่ 1, 3, 5 มีค่าความแปรปรวนเป็น 1, 20 ทรีทเมนต์ที่ 2, 4, 6 มีค่าความแปรปรวนเป็น 5, 100

แผนการทดลองที่มี 8 ทรีทเมนต์ ให้ทรีทเมนต์ที่ 1, 3, 5, 7 มีค่าความแปรปรวนเป็น 1,20 ทรีทเมนต์ที่ 2, 4, 6, 8 มีค่าความแปรปรวนเป็น 5, 100

และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ($\rho = 0.3$) ระดับกลาง ($\rho = 0.6$) และระดับสูง ($\rho = 0.9$)

ซึ่ง $$\rho_{Y_iY_{i'}} = \frac{\sigma_{Y_iY_{i'}}}{\sigma_{Y_i}\sigma_{Y_{i'}}}$$ สำหรับทุกคู่ i, i' เมื่อ $i \neq i'$

เมื่อ $\rho_{Y_iY_{i'}}$ แทนสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ของทรีมเมนต์ที่ i และของทรีมเมนต์ที่ i'

$\sigma_{Y_iY_{i'}}$ แทนความแปรปรวนร่วมของทรีทเมนต์ที่ i และของทรีมเมนต์ที่ i'

σ_{Y_i} แทนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทรีทเมนต์ที่ i

$\sigma_{Y_{i'}}$ แทนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทรีมเมนต์ที่ i'

ดังนั้น $$\sigma_{Y_iY_{i'}} = \rho_{Y_iY_{i'}}\sigma_{Y_i}\sigma_{Y_{i'}}$$

ซึ่งจะได้เมทริทซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีและไม่เป็นสเฟียริซิตีดังนี้

กรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี ที่ความแปรปรวนเป็น 1

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 4 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 1 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 1 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 1 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 1 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 1 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 1 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 0.9 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 1 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 1 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 0.9 & 1 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 6 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 1 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 1 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 1 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 1 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 1 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 1 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 1 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 1 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 1 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 1 & 0.9 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 0.9 & 1 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 1 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 1 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 8 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 1 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 1 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 1 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 1 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 1 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 1 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 1 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 1 & 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 1 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 1 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 1 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 1 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 0.9 & 1 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 1 & 0.9 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 1 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 1 & 0.9 \\ 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 1 \end{bmatrix}$$

กรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี ที่ความแปรปรวนเป็น 20

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 4 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 20 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 20 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 20 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 20 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 20 & 12 & 12 & 12 \\ 12 & 20 & 12 & 12 \\ 12 & 12 & 20 & 12 \\ 12 & 12 & 12 & 20 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 20 & 18 & 18 & 18 \\ 18 & 20 & 18 & 18 \\ 18 & 18 & 20 & 18 \\ 18 & 18 & 18 & 20 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 6 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 20 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 20 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 20 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 20 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 20 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 20 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 20 & 12 & 12 & 12 & 12 & 12 \\ 12 & 20 & 12 & 12 & 12 & 12 \\ 12 & 12 & 20 & 12 & 12 & 12 \\ 12 & 12 & 12 & 20 & 12 & 12 \\ 12 & 12 & 12 & 12 & 20 & 12 \\ 12 & 12 & 12 & 12 & 12 & 20 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 20 & 18 & 18 & 18 & 18 & 18 \\ 18 & 20 & 18 & 18 & 18 & 18 \\ 18 & 18 & 20 & 18 & 18 & 18 \\ 18 & 18 & 18 & 20 & 18 & 18 \\ 18 & 18 & 18 & 18 & 20 & 18 \\ 18 & 18 & 18 & 18 & 18 & 20 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 8 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 20 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 20 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 20 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 20 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 20 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 20 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 20 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 20 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\sum=\begin{bmatrix} 20 & 12 & 12 & 12 & 12 & 12 & 12 & 12 \\ 12 & 20 & 12 & 12 & 12 & 12 & 12 & 12 \\ 12 & 12 & 20 & 12 & 12 & 12 & 12 & 12 \\ 12 & 12 & 12 & 20 & 12 & 12 & 12 & 12 \\ 12 & 12 & 12 & 12 & 20 & 12 & 12 & 12 \\ 12 & 12 & 12 & 12 & 12 & 20 & 12 & 12 \\ 12 & 12 & 12 & 12 & 12 & 12 & 20 & 12 \\ 12 & 12 & 12 & 12 & 12 & 12 & 12 & 20 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\sum=\begin{bmatrix} 20 & 18 & 18 & 18 & 18 & 18 & 18 & 18 \\ 18 & 20 & 18 & 18 & 18 & 18 & 18 & 18 \\ 18 & 18 & 20 & 18 & 18 & 18 & 18 & 18 \\ 18 & 18 & 18 & 20 & 18 & 18 & 18 & 18 \\ 18 & 18 & 18 & 18 & 20 & 18 & 18 & 18 \\ 18 & 18 & 18 & 18 & 18 & 20 & 18 & 18 \\ 18 & 18 & 18 & 18 & 18 & 18 & 20 & 18 \\ 18 & 18 & 18 & 18 & 18 & 18 & 18 & 20 \end{bmatrix}$$

กรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี ที่ความแปรปรวนเป็น 1, 5

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 4 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 0.67 & 0.3 & 0.67 \\ 0.67 & 5 & 0.67 & 1.5 \\ 0.3 & 0.67 & 1 & 0.67 \\ 0.67 & 1.5 & 0.67 & 5 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 1.34 & 0.6 & 1.34 \\ 1.34 & 5 & 1.34 & 3 \\ 0.6 & 1.34 & 1 & 1.34 \\ 1.34 & 3 & 1.34 & 5 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 2.01 & 0.9 & 2.01 \\ 2.01 & 5 & 2.01 & 4.5 \\ 0.9 & 2.01 & 1 & 2.01 \\ 2.01 & 4.5 & 2.01 & 5 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 6 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 0.67 & 0.3 & 0.67 & 0.3 & 0.67 \\ 0.67 & 5 & 0.67 & 1.5 & 0.67 & 1.5 \\ 0.3 & 0.67 & 1 & 0.67 & 0.3 & 0.67 \\ 0.67 & 1.5 & 0.67 & 5 & 0.67 & 1.5 \\ 0.3 & 0.67 & 0.3 & 0.67 & 1 & 0.67 \\ 0.67 & 1.5 & 0.67 & 1.5 & 0.67 & 5 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 1.34 & 0.6 & 1.34 & 0.6 & 1.34 \\ 1.34 & 5 & 1.34 & 3 & 1.34 & 3 \\ 0.6 & 1.34 & 1 & 1.34 & 0.6 & 1.34 \\ 1.34 & 3 & 1.34 & 5 & 1.34 & 3 \\ 0.6 & 1.34 & 0.6 & 1.34 & 1 & 1.34 \\ 1.34 & 3 & 1.34 & 3 & 1.34 & 5 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 2.01 & 0.9 & 2.01 & 0.9 & 2.01 \\ 2.01 & 5 & 2.01 & 4.5 & 2.01 & 4.5 \\ 0.9 & 2.01 & 1 & 2.01 & 0.9 & 2.01 \\ 2.01 & 4.5 & 2.01 & 5 & 2.01 & 4.5 \\ 0.9 & 2.01 & 0.9 & 2.01 & 1 & 2.01 \\ 2.01 & 4.5 & 2.01 & 4.5 & 2.01 & 5 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 8 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 0.67 & 0.3 & 0.67 & 0.3 & 0.67 & 0.3 & 0.67 \\ 0.67 & 5 & 0.67 & 1.5 & 0.67 & 1.5 & 0.67 & 1.5 \\ 0.3 & 0.67 & 1 & 0.67 & 0.3 & 0.67 & 0.3 & 0.67 \\ 0.67 & 1.5 & 0.67 & 5 & 0.67 & 1.5 & 0.67 & 1.5 \\ 0.3 & 0.67 & 0.3 & 0.67 & 1 & 0.67 & 0.3 & 0.67 \\ 0.67 & 1.5 & 0.67 & 1.5 & 0.67 & 5 & 0.67 & 1.5 \\ 0.3 & 0.67 & 0.3 & 0.67 & 0.3 & 0.67 & 1 & 0.67 \\ 0.67 & 1.5 & 0.67 & 1.5 & 0.67 & 1.5 & 0.67 & 5 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 1 & 1.34 & 0.6 & 1.34 & 0.6 & 1.34 & 0.6 & 1.34 \\ 1.34 & 5 & 1.34 & 3 & 1.34 & 3 & 1.34 & 3 \\ 0.6 & 1.34 & 1 & 1.34 & 0.6 & 1.34 & 0.6 & 1.34 \\ 1.34 & 3 & 1.34 & 5 & 1.34 & 3 & 1.34 & 3 \\ 0.6 & 1.34 & 0.6 & 1.34 & 1 & 1.34 & 0.6 & 1.34 \\ 1.34 & 3 & 1.34 & 3 & 1.34 & 5 & 1.34 & 3 \\ 0.6 & 1.34 & 0.6 & 1.34 & 0.6 & 1.34 & 1 & 1.34 \\ 1.34 & 3 & 1.34 & 3 & 1.34 & 3 & 1.34 & 5 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\sum=\begin{bmatrix} 1 & 2.01 & 0.9 & 2.01 & 0.9 & 2.01 & 0.9 & 2.01 \\ 2.01 & 5 & 2.01 & 4.5 & 2.01 & 4.5 & 2.01 & 4.5 \\ 0.9 & 2.01 & 1 & 2.01 & 0.9 & 2.01 & 0.9 & 2.01 \\ 2.01 & 4.5 & 2.01 & 5 & 2.01 & 4.5 & 2.01 & 4.5 \\ 0.9 & 2.01 & 0.9 & 2.01 & 1 & 2.01 & 0.9 & 2.01 \\ 2.01 & 4.5 & 2.01 & 4.5 & 2.01 & 5 & 2.01 & 4.5 \\ 0.9 & 2.01 & 0.9 & 2.01 & 0.9 & 2.01 & 1 & 2.01 \\ 2.01 & 4.5 & 2.01 & 4.5 & 2.01 & 4.5 & 2.01 & 5 \end{bmatrix}$$

กรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี ที่ความแปรปรวนเป็น 20, 100

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 4 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\sum=\begin{bmatrix} 20 & 13.42 & 6 & 13.42 \\ 13.42 & 100 & 13.42 & 30 \\ 6 & 13.42 & 20 & 13.42 \\ 13.42 & 30 & 13.42 & 100 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\sum=\begin{bmatrix} 20 & 26.83 & 12 & 26.83 \\ 26.83 & 100 & 26.83 & 60 \\ 12 & 26.83 & 20 & 26.83 \\ 26.83 & 60 & 26.83 & 100 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 20 & 40.25 & 18 & 40.25 \\ 40.25 & 100 & 40.25 & 90 \\ 18 & 40.25 & 20 & 40.25 \\ 40.25 & 90 & 40.25 & 100 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 6 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 20 & 13.42 & 6 & 13.42 & 6 & 13.42 \\ 13.42 & 100 & 13.42 & 30 & 13.42 & 30 \\ 6 & 13.42 & 20 & 13.42 & 6 & 13.42 \\ 13.42 & 30 & 13.42 & 100 & 13.42 & 30 \\ 6 & 13.42 & 6 & 13.42 & 20 & 13.42 \\ 13.42 & 30 & 13.42 & 30 & 13.42 & 100 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 20 & 26.83 & 12 & 26.83 & 12 & 26.83 \\ 26.83 & 100 & 26.83 & 60 & 26.83 & 60 \\ 12 & 26.83 & 20 & 26.83 & 12 & 26.83 \\ 26.83 & 60 & 26.83 & 100 & 26.83 & 60 \\ 12 & 26.83 & 12 & 26.83 & 20 & 26.83 \\ 26.83 & 60 & 26.83 & 60 & 26.83 & 100 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 20 & 40.25 & 18 & 40.25 & 18 & 40.25 \\ 40.25 & 100 & 40.25 & 90 & 40.25 & 90 \\ 18 & 40.25 & 20 & 40.25 & 18 & 40.25 \\ 40.25 & 90 & 40.25 & 100 & 40.25 & 90 \\ 18 & 40.25 & 18 & 40.25 & 20 & 40.25 \\ 40.25 & 90 & 40.25 & 90 & 40.25 & 100 \end{bmatrix}$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของ 8 ทรีทเมนต์ เมื่อ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.3

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 20 & 13.42 & 6 & 13.42 & 6 & 13.42 & 6 & 13.42 \\ 13.42 & 100 & 13.42 & 30 & 13.42 & 30 & 13.42 & 30 \\ 6 & 13.42 & 20 & 13.42 & 6 & 13.42 & 6 & 13.42 \\ 13.42 & 30 & 13.42 & 100 & 13.42 & 30 & 13.42 & 30 \\ 6 & 13.42 & 6 & 13.42 & 20 & 13.42 & 6 & 13.42 \\ 13.42 & 30 & 13.42 & 30 & 13.42 & 100 & 13.42 & 30 \\ 6 & 13.42 & 6 & 13.42 & 6 & 13.42 & 20 & 13.42 \\ 13.42 & 30 & 13.42 & 30 & 13.42 & 30 & 13.42 & 100 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.6

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 20 & 26.83 & 12 & 26.83 & 12 & 26.83 & 12 & 26.83 \\ 26.83 & 100 & 26.83 & 60 & 26.83 & 60 & 26.83 & 60 \\ 12 & 26.83 & 20 & 26.83 & 12 & 26.83 & 12 & 26.83 \\ 26.83 & 60 & 26.83 & 100 & 26.83 & 60 & 26.83 & 60 \\ 12 & 26.83 & 12 & 26.83 & 20 & 26.83 & 12 & 26.83 \\ 26.83 & 60 & 26.83 & 60 & 26.83 & 100 & 26.83 & 60 \\ 12 & 26.83 & 12 & 26.83 & 12 & 26.83 & 20 & 26.83 \\ 26.83 & 60 & 26.83 & 60 & 26.83 & 60 & 26.83 & 100 \end{bmatrix}$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเป็น 0.9

$$\Sigma=\begin{bmatrix} 20 & 40.25 & 18 & 40.25 & 18 & 40.25 & 18 & 40.25 \\ 40.25 & 100 & 40.25 & 90 & 40.25 & 90 & 40.25 & 90 \\ 18 & 40.25 & 20 & 40.25 & 18 & 40.25 & 18 & 40.25 \\ 40.25 & 90 & 40.25 & 100 & 40.25 & 90 & 40.25 & 90 \\ 18 & 40.25 & 18 & 40.25 & 20 & 40.25 & 18 & 40.25 \\ 40.25 & 90 & 40.25 & 90 & 40.25 & 100 & 40.25 & 90 \\ 18 & 40.25 & 18 & 40.25 & 18 & 40.25 & 20 & 40.25 \\ 40.25 & 90 & 40.25 & 90 & 40.25 & 90 & 40.25 & 100 \end{bmatrix}$$

ตารางที่ 4 ศึกษาความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 กรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี

จำนวนทรีทเมนต์	ทรีทเมนต์ที่	ความแปรปรวน
4	1	1, 20
	2	5, 100
	3	1, 20
	4	5, 100
6	1	1, 20
	2	5, 100
	3	1, 20
	4	5, 100
	5	1, 20
	6	5, 100
8	1	1, 20
	2	5, 100
	3	1, 20
	4	5, 100
	5	1, 20
	6	5, 100
	7	1, 20
	8	5, 100

ตารางที่ 5 ศึกษาอำนาจการทดสอบกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี

จำนวนทรีทเมนต์	ทรีทเมนต์ที่	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
4	1	2	1, 20
	2	4	5, 100
	3	6	1, 20
	4	8	5, 100
6	1	2	1, 20
	2	4	5, 100
	3	6	1, 20
	4	8	5, 100
	5	10	1, 20
	6	12	5, 100
8	1	2	1, 20
	2	4	5, 100
	3	6	1, 20
	4	8	5, 100
	5	10	1, 20
	6	12	5, 100
	7	14	1, 20
	8	16	5, 100

2. คำนวณค่าตัวสถิติทดสอบ

เมื่อสร้างข้อมูล Y_{ij} ที่เป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้นแล้ว นำข้อมูลเหล่านี้ไปคำนวณหาค่าสถิติทดสอบด้วยวิธีต่าง ๆ ต่อไปนี้

2.1 วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนหนึ่งตัวแปร

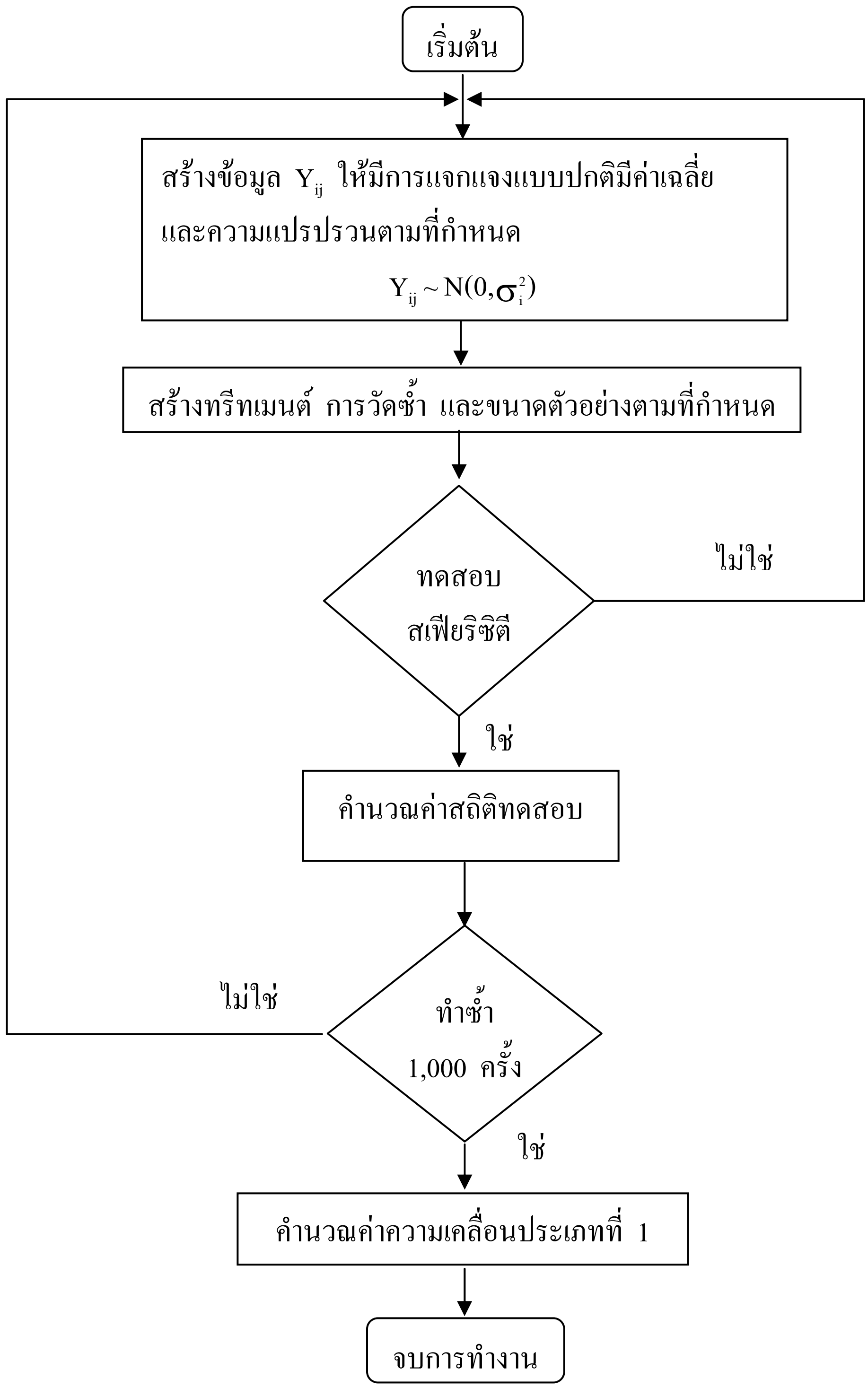
ตัวสถิติทดสอบ $$F = \frac{MS_{Tr}}{MS_E}$$

2.2 วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ

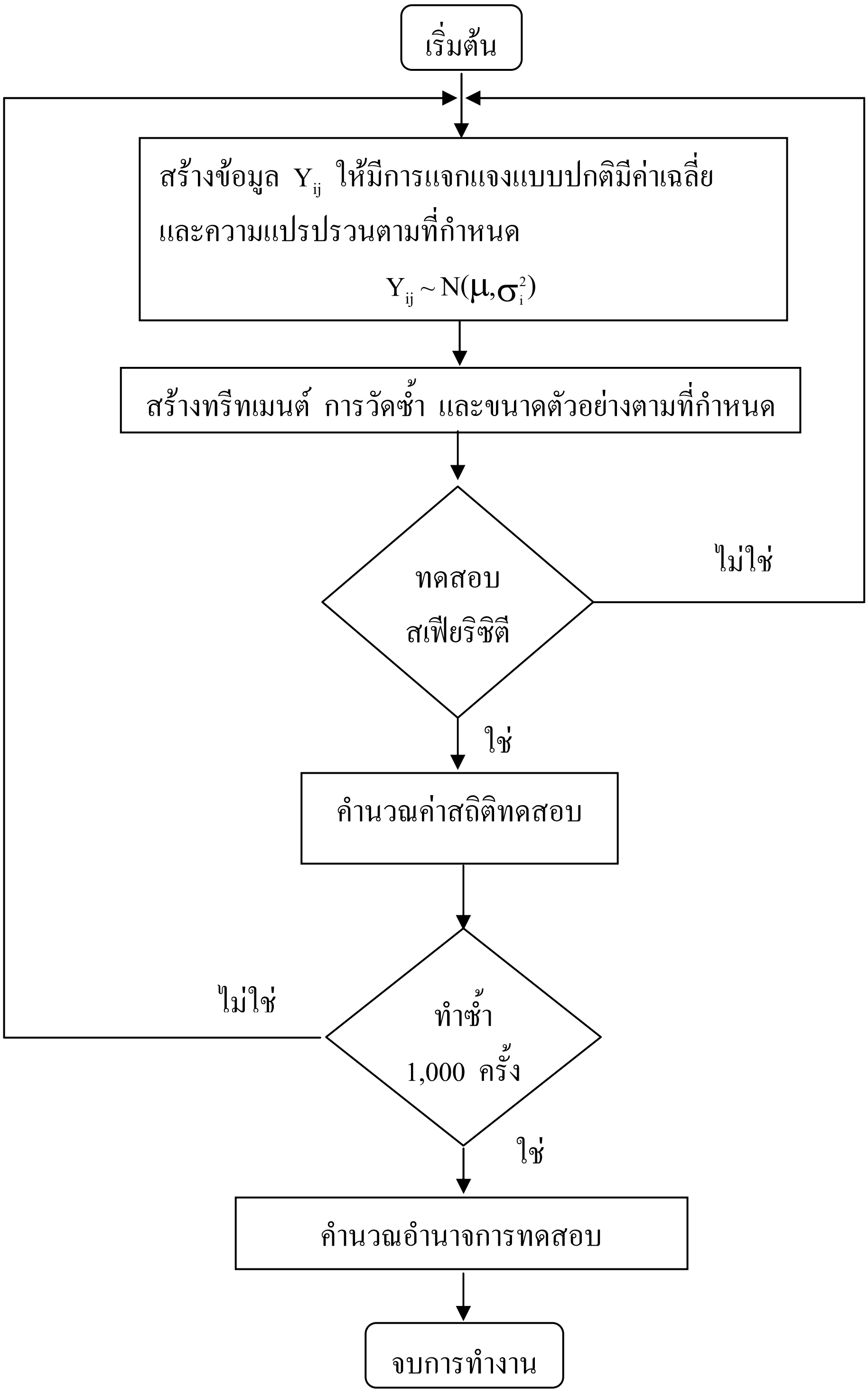
ตัวสถิติทดสอบ $$T^2 = n(\mathbf{C}\overline{\mathbf{y}})'(\mathbf{CSC})^{-1}(\mathbf{C}\overline{\mathbf{y}})$$

2.3 วิธีตัวแบบพหุระดับ

ตัวสถิติทดสอบ $$t = \frac{\hat{Y}}{S.E.}$$



ภาพที่ 1 แสดงการคำนวณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1



ภาพที่ 2 แสดงการคำนวณอำนาจการทดสอบ

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัยครั้งนี้คือ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระยะเวลาในการวิจัยตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2549 ถึง เมษายน 2552

ผลและวิจารณ์

ผล

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบและความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของวิธี F ปกติ วิธี F ปรับค่าองศาเสรี วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุและวิธีตัวแบบพหุระดับ สำหรับแผนการทดลองวัดซ้ำเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีและไม่เป็นสเฟียริซิตี โดยทำการศึกษาลักษณะข้อมูลตามขอบเขตการศึกษาจำนวน 1,000 ครั้ง

การเสนอผลงานศึกษาอำนาจการทดสอบที่สูงที่สุดของการทดสอบ และความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 สำหรับแผนการทดลองวัดซ้ำ โดยศึกษาและเปรียบเทียบทั้งกรณีที่เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีและไม่เป็นสเฟียริซิตี

รายละเอียดผลการศึกษา

1. ค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทดสอบที่ให้ค่าสูงสุด โดยจำแนกตามทรีทเมนต์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ความแปรปรวนและระดับนัยสำคัญ

2. ความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบที่ดีที่สุด และจากผลการทดสอบเมื่อวิธีการทดสอบใดมีค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 อยู่ในช่วงที่กำหนด จะสรุปว่าวิธีการทดสอบนั้นสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ในแต่ละระดับนัยสำคัญที่กำหนด

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี

1. อำนาจการทดสอบ

การเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบของแผนการทดลองวัดซ้ำทั้ง 4 วิธี เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี

ตารางที่ 6 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1
0.05	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1

ตารางที่ 7 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.822	0.688	0.421	0.795
	0.6	0.818	0.685	0.431	0.636
	0.9	0.831	0.677	0.448	0.479
0.05	0.3	0.96	0.927	0.794	0.935
	0.6	0.953	0.91	0.806	0.889
	0.9	0.953	0.924	0.787	0.812

ตารางที่ 8 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1
0.05	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1

ตารางที่ 9 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

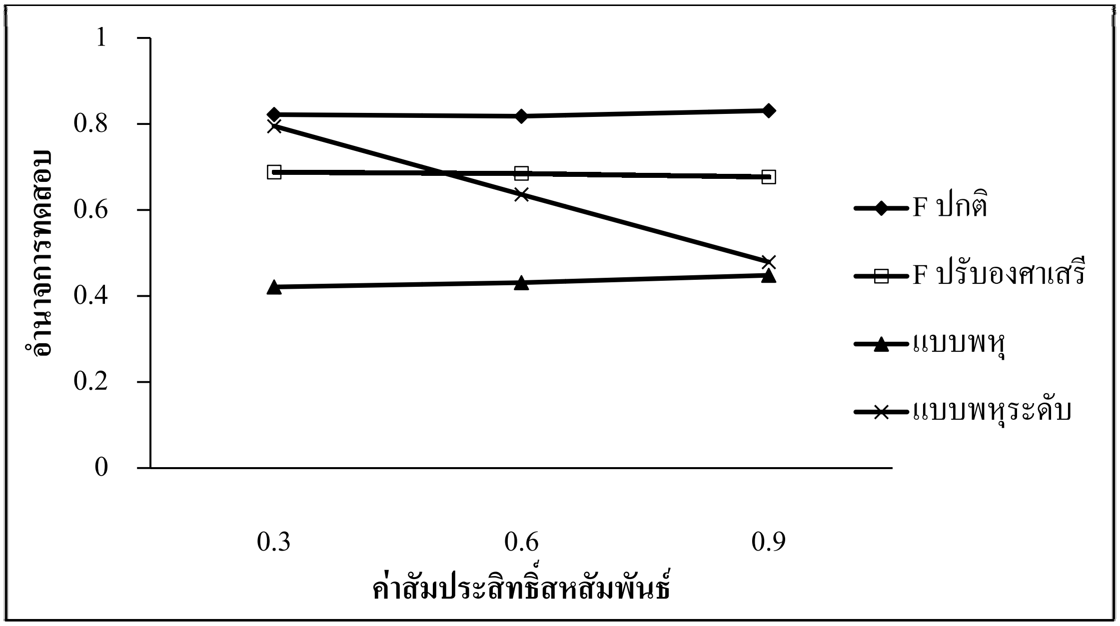
ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.999	0.993	0.447	0.981
	0.6	0.996	0.991	0.453	0.929
	0.9	1	0.995	0.448	0.824
0.05	0.3	1	1	0.875	0.998
	0.6	1	0.999	0.866	0.991
	0.9	1	1	0.888	0.973

ตารางที่ 10 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

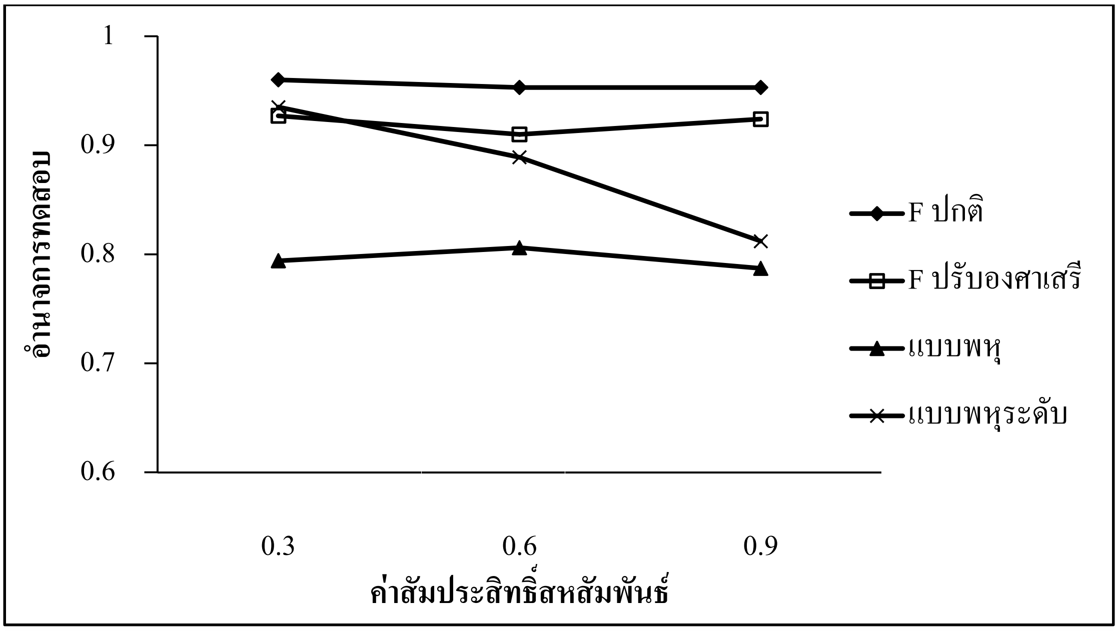
ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1
0.05	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1

ตารางที่ 11 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

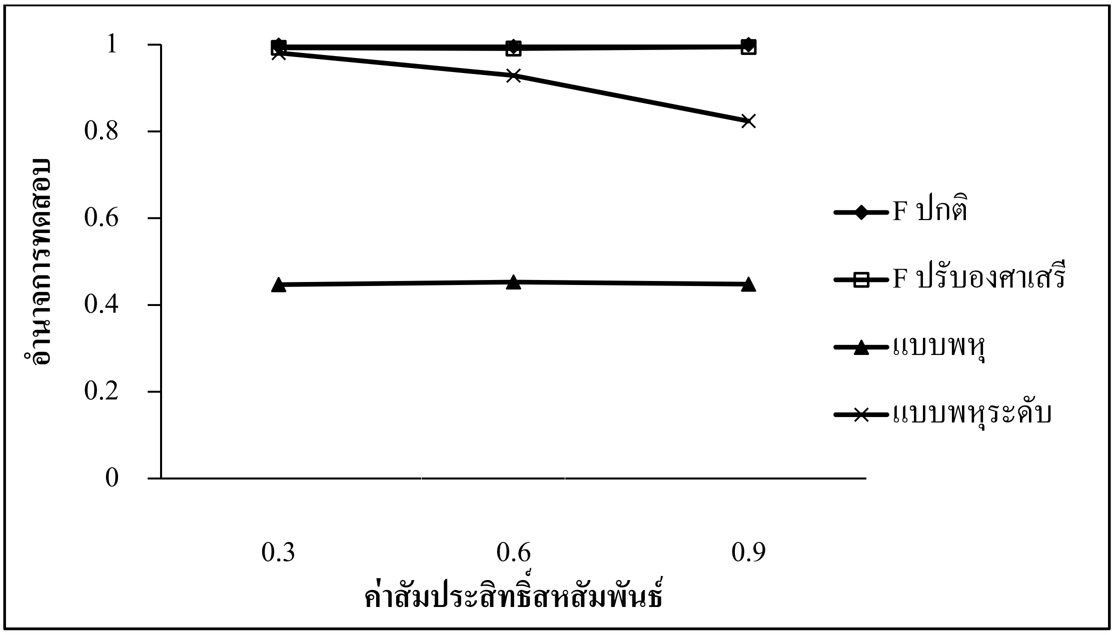
ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	1	1	0.373	0.997
	0.6	1	1	0.39	0.994
	0.9	1	1	0.385	0.965
0.05	0.3	1	1	0.864	1
	0.6	1	1	0.874	1
	0.9	1	1	0.861	0.999



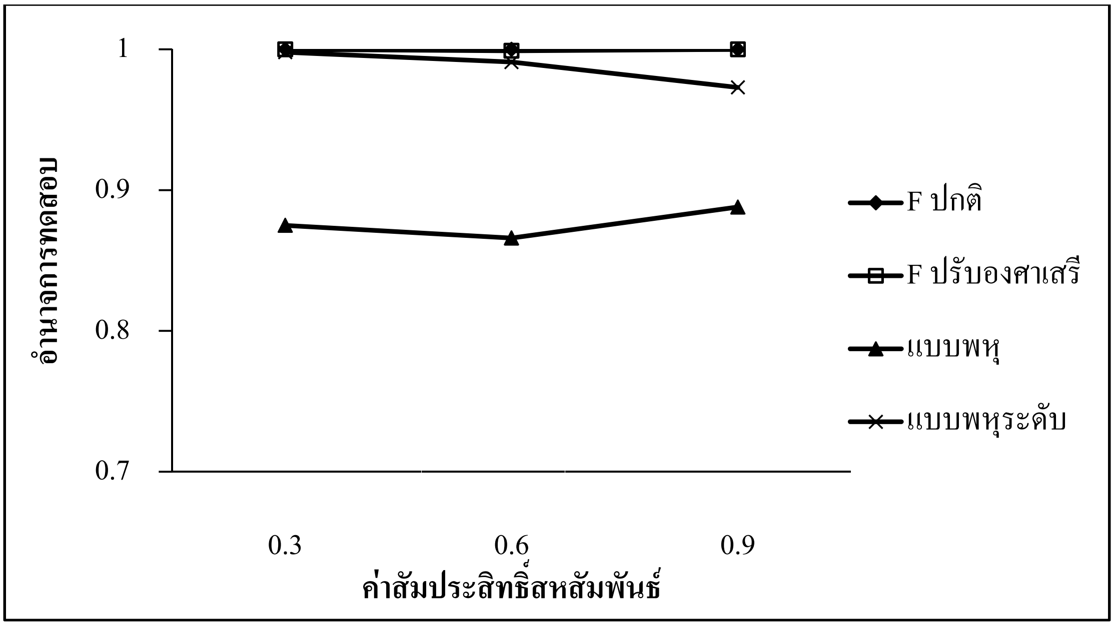
ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



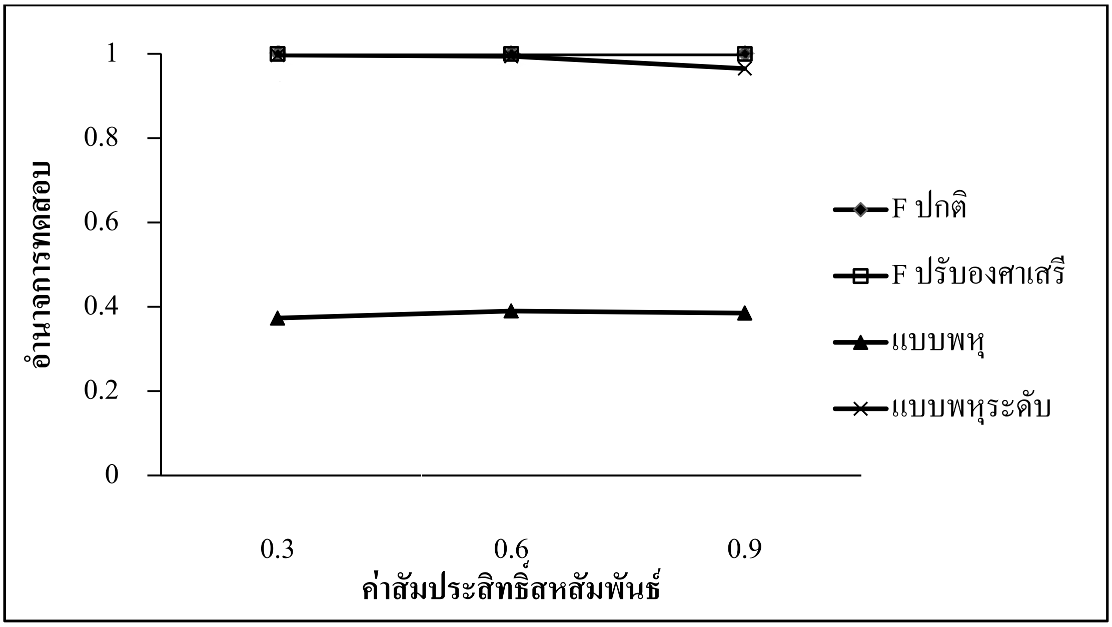
ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05



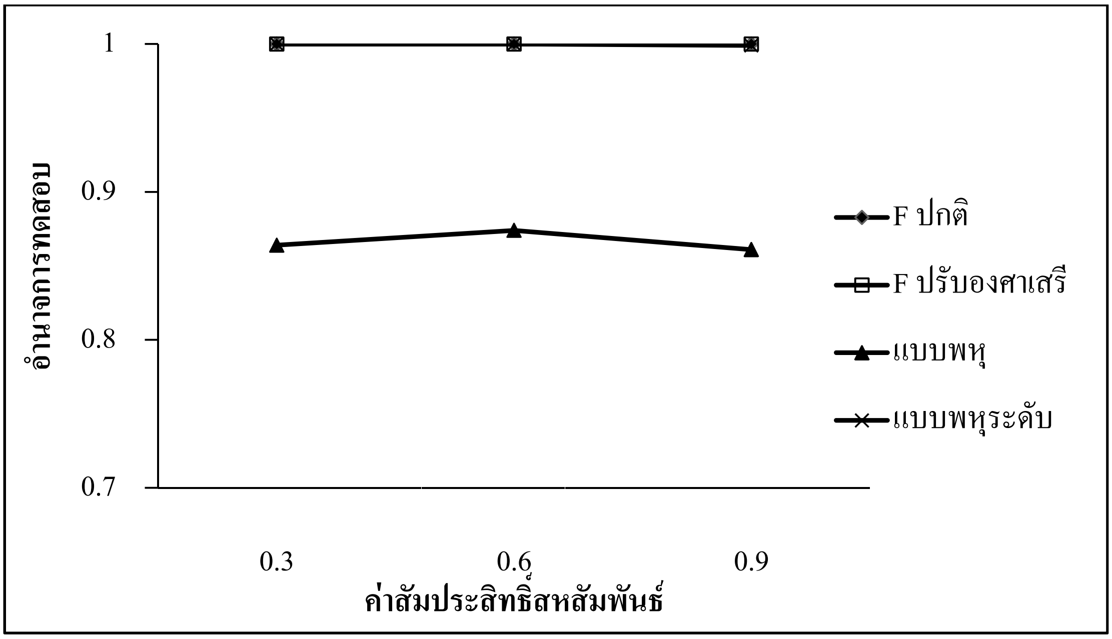
ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



ภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



ภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

เกณฑ์ที่ใช้พิจารณาความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 โดยกำหนดให้วิธีการทดสอบที่สามารถควบคุมค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ก็ต่อเมื่อค่าที่ได้จากการทดลองอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งถือว่าวิธีการทดสอบนั้นมีค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เท่ากับระดับนัยสำคัญที่กำหนด และสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 โดยแบ่งเกณฑ์ออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่เกิดจากการทดลอง อยู่ในช่วง [0, 0.0137] ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

กรณีที่ 2 ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่เกิดจากการทดลอง อยู่ในช่วง [0, 0.0580] ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 12 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.994	0.98	0.839	0.017
	0.6	0.994	0.98	0.838	0.004*
	0.9	0.994	0.98	0.838	0.001*
0.05	0.3	1	0.999	0.985	0.07
	0.6	1	0.999	0.985	0.039*
	0.9	1	0.999	0.985	0.019*

หมายเหตุ * หมายถึง สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

ตารางที่ 13 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.051	0.026	0.017	0.049
	0.6	0.066	0.027	0.028	0.013*
	0.9	0.059	0.024	0.021	0.006*
0.05	0.3	0.172	0.113	0.091	0.163
	0.6	0.201	0.137	0.119	0.082
	0.9	0.163	0.12	0.098	0.048*

ตารางที่ 14 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	1	0.998	0.53	0.011*
	0.6	1	0.999	0.534	0.002*
	0.9	0.999	0.995	0.52	0.001*
0.05	0.3	1	1	0.908	0.087
	0.6	1	0.992	0.936	0.036*
	0.9	1	0.999	0.891	0.016*

หมายเหตุ * หมายถึง สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

ตารางที่ 15 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.067	0.023	0.013*	0.061
	0.6	0.065	0.021	0.031	0.015
	0.9	0.069	0.027	0.017	0.002*
0.05	0.3	0.195	0.149	0.077	0.173
	0.6	0.205	0.119	0.101	0.082
	0.9	0.206	0.159	0.092	0.046

ตารางที่ 16 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

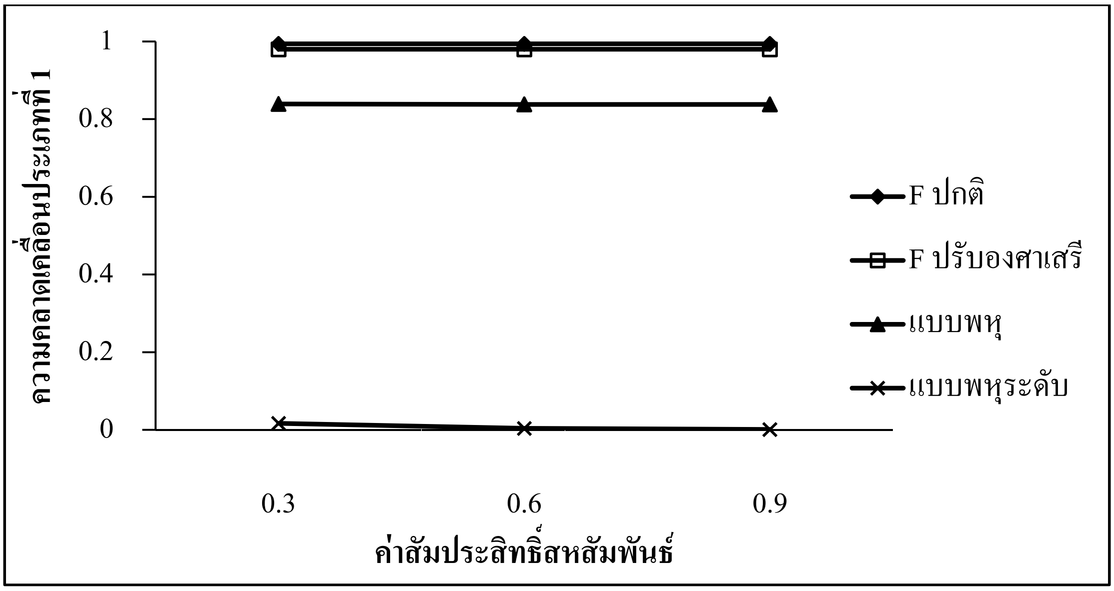
ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	1	1	0.24	0.017
	0.6	1	1	0.253	0.001*
	0.9	1	1	0.254	0*
0.05	0.3	1	1	0.711	0.106
	0.6	1	1	0.704	0.039*
	0.9	1	1	0.714	0.017*

หมายเหตุ * หมายถึง สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

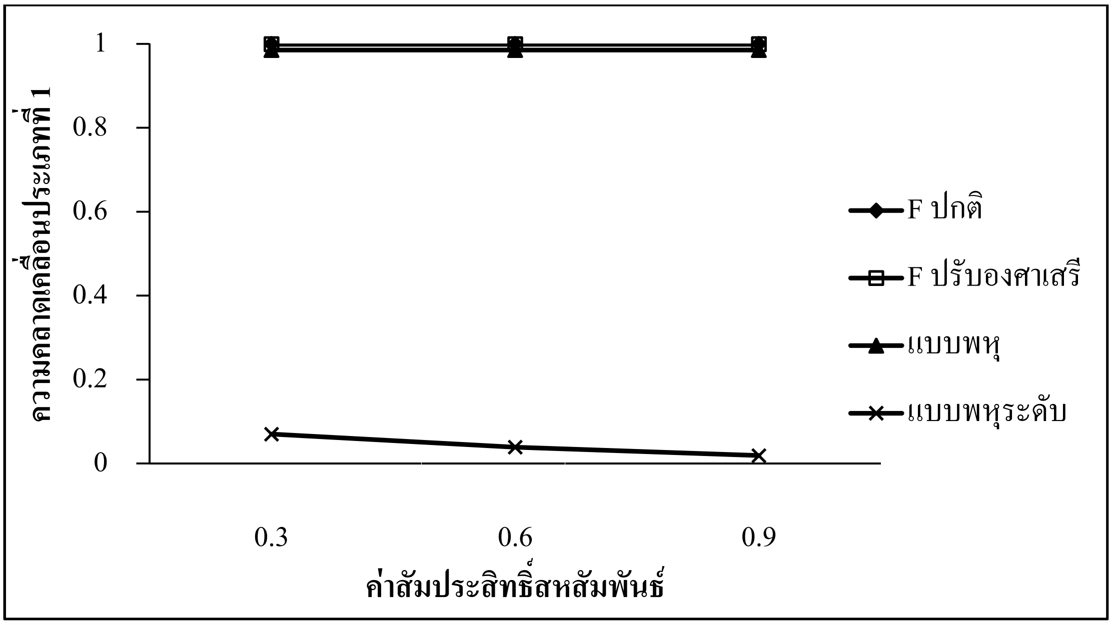
ตารางที่ 17 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.088	0.028	0.016	0.052
	0.6	0.076	0.018	0.026	0.016
	0.9	0.088	0.025	0.015	0.004*
0.05	0.3	0.231	0.129	0.073	0.155
	0.6	0.216	0.114	0.084	0.087
	0.9	0.244	0.133	0.081	0.055*

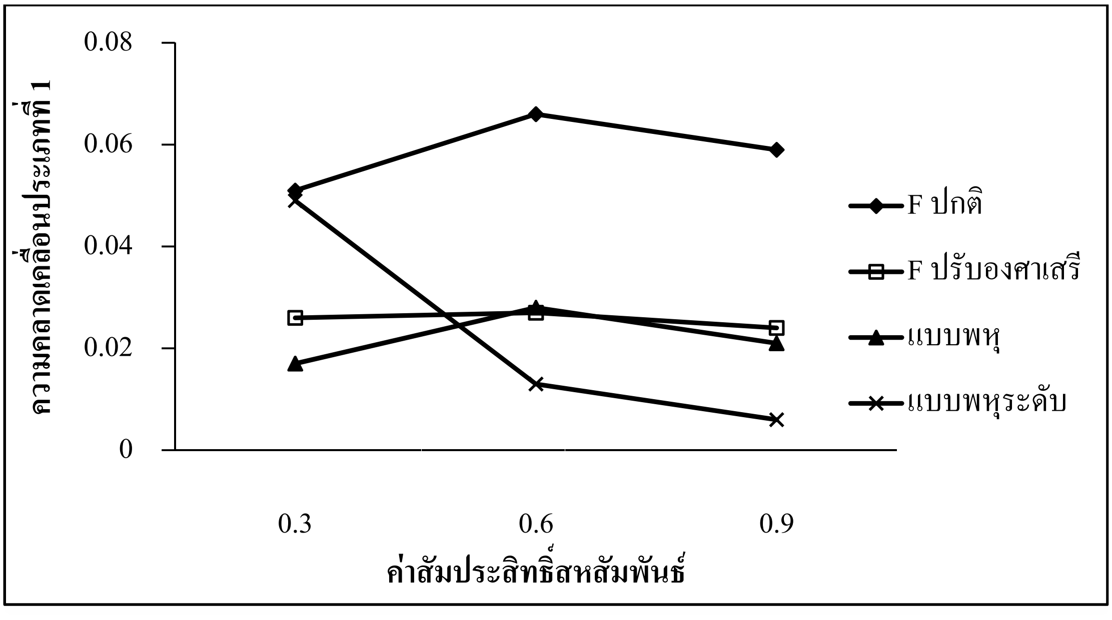
หมายเหตุ * หมายถึง สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้



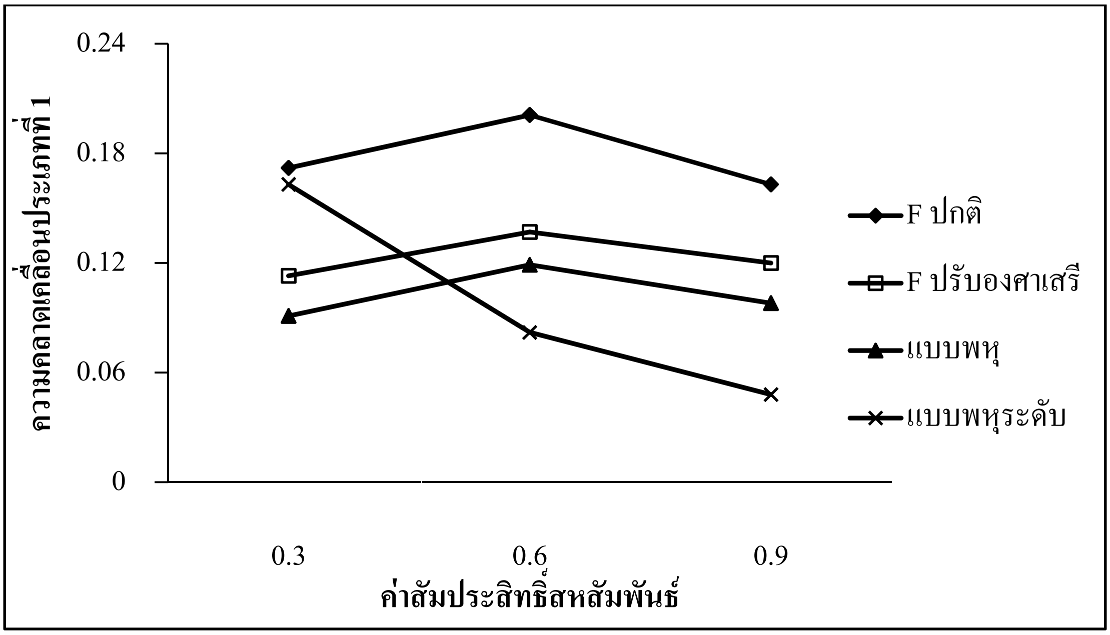
ภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.01



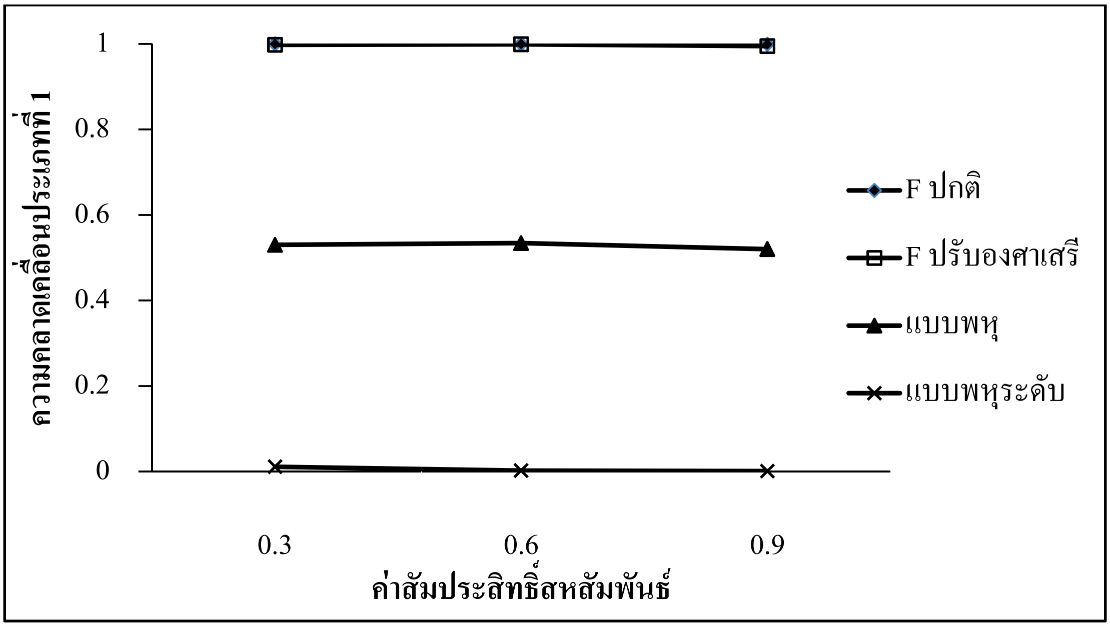
ภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.05



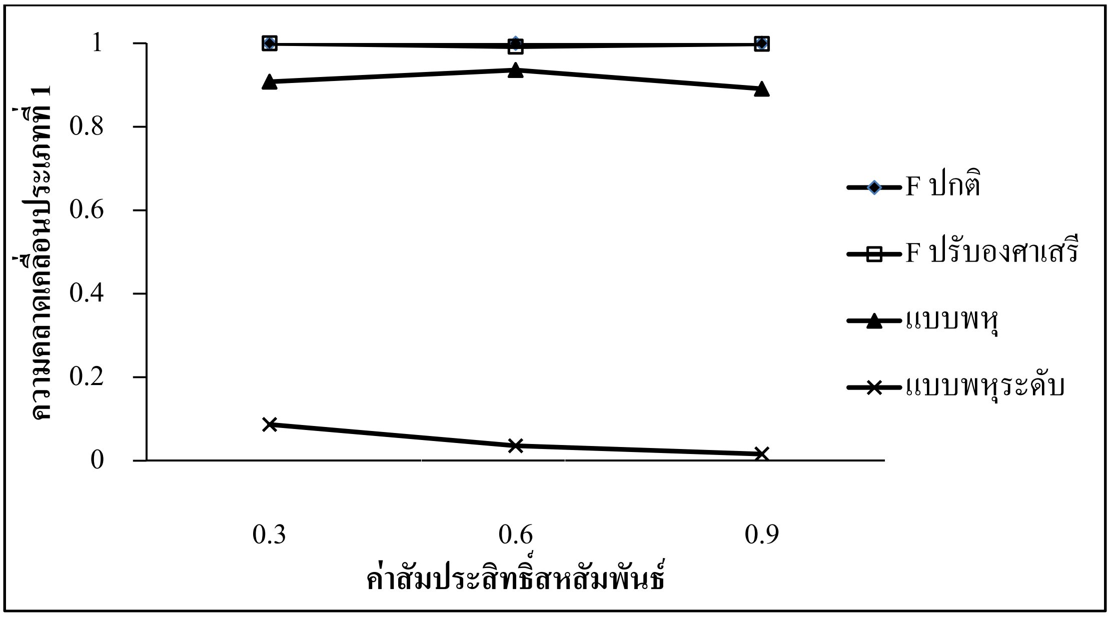
ภาพที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



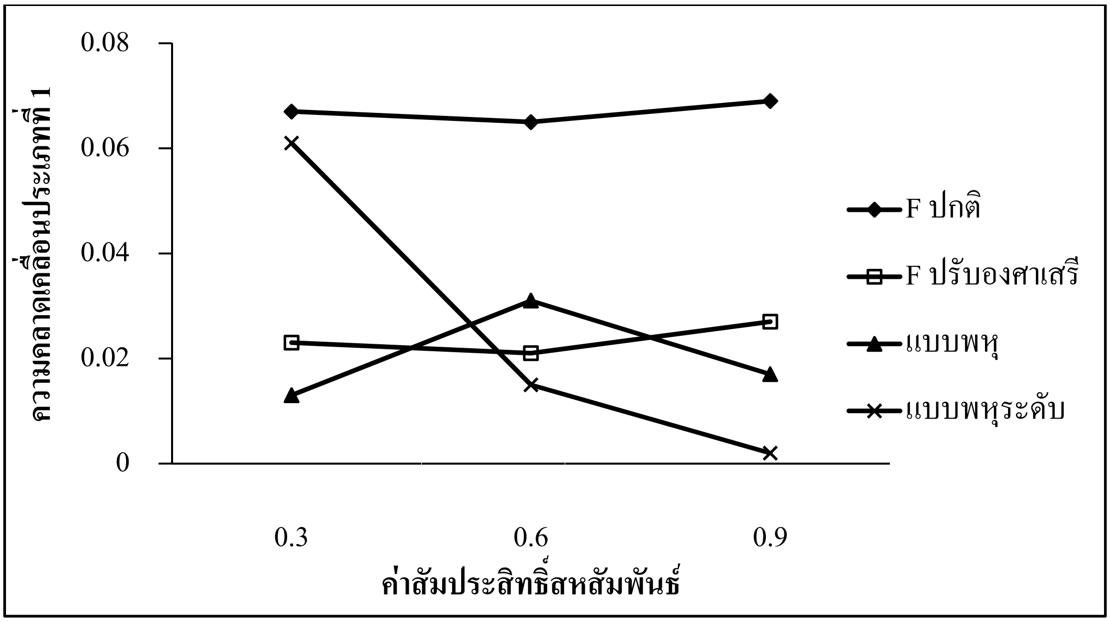
ภาพที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05



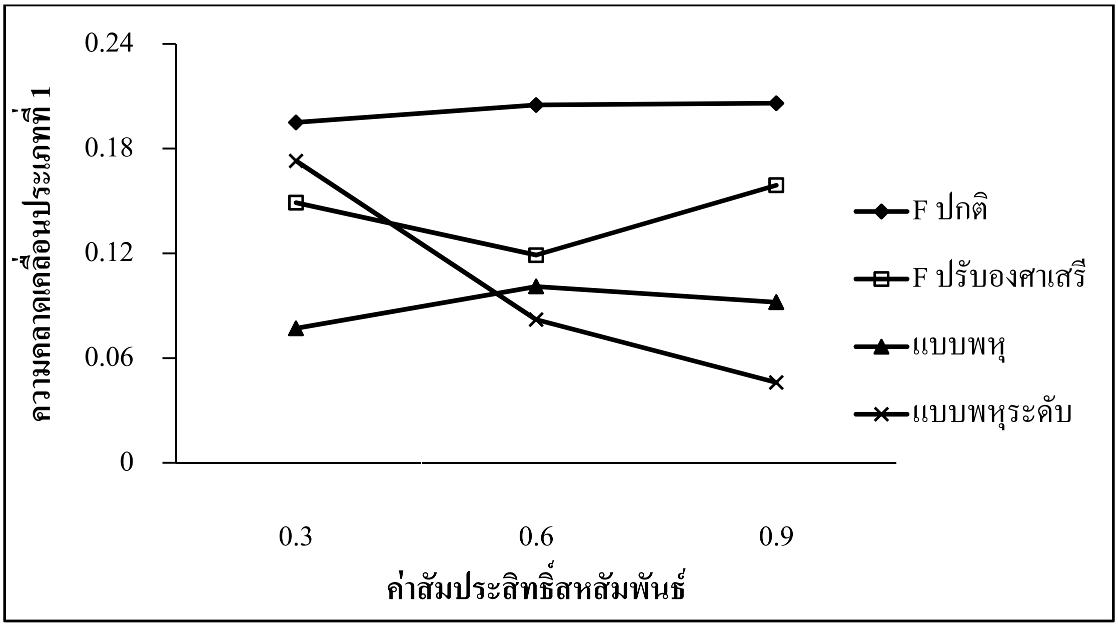
ภาพที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.01



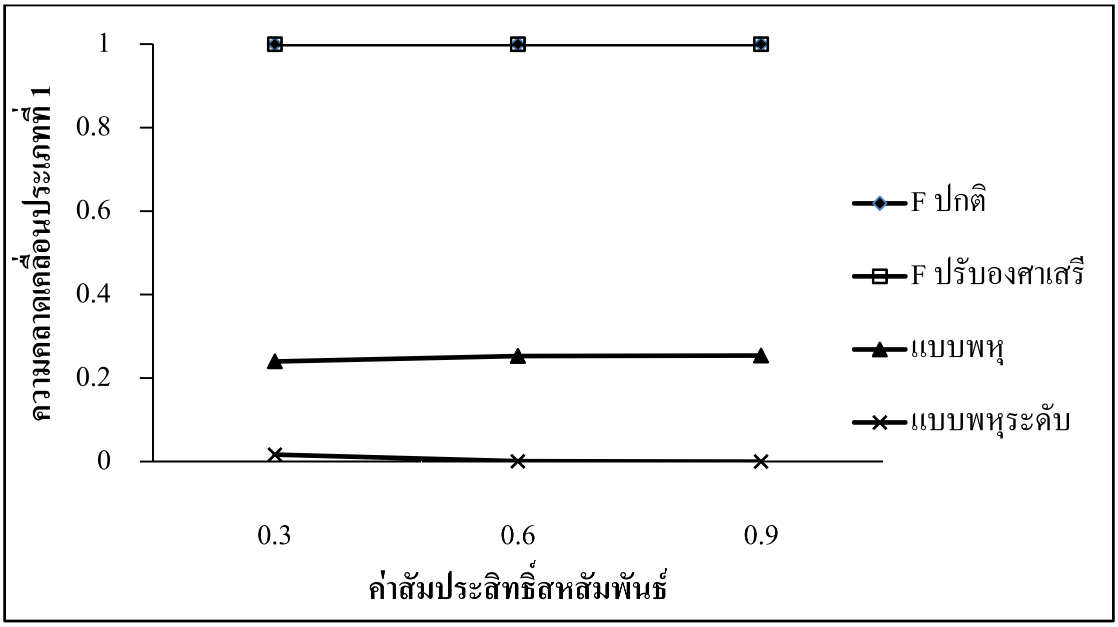
ภาพที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.05



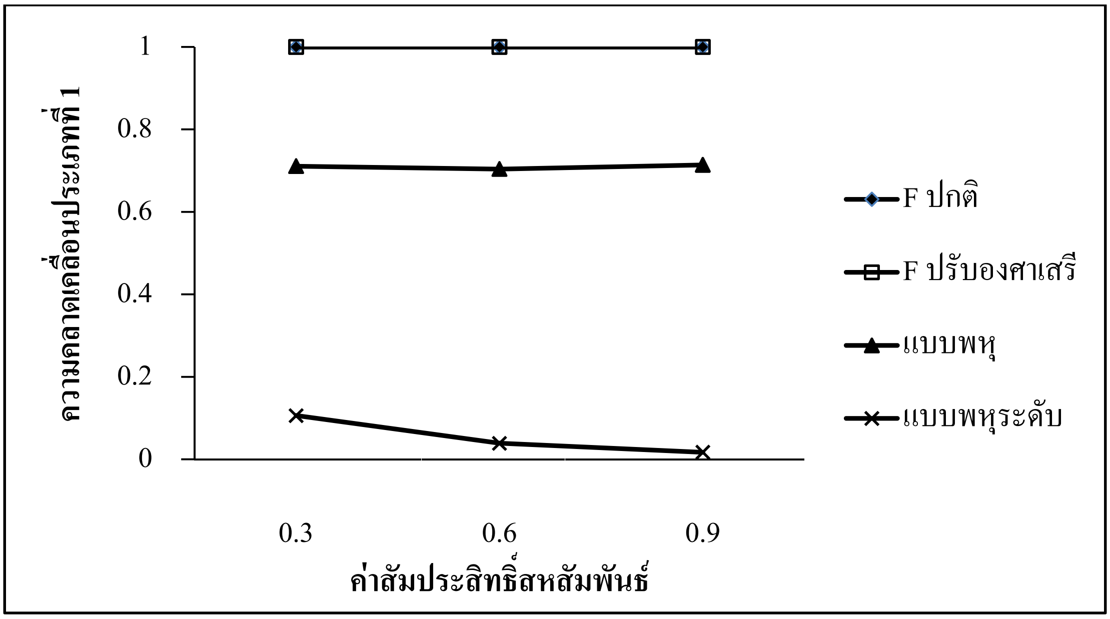
ภาพที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



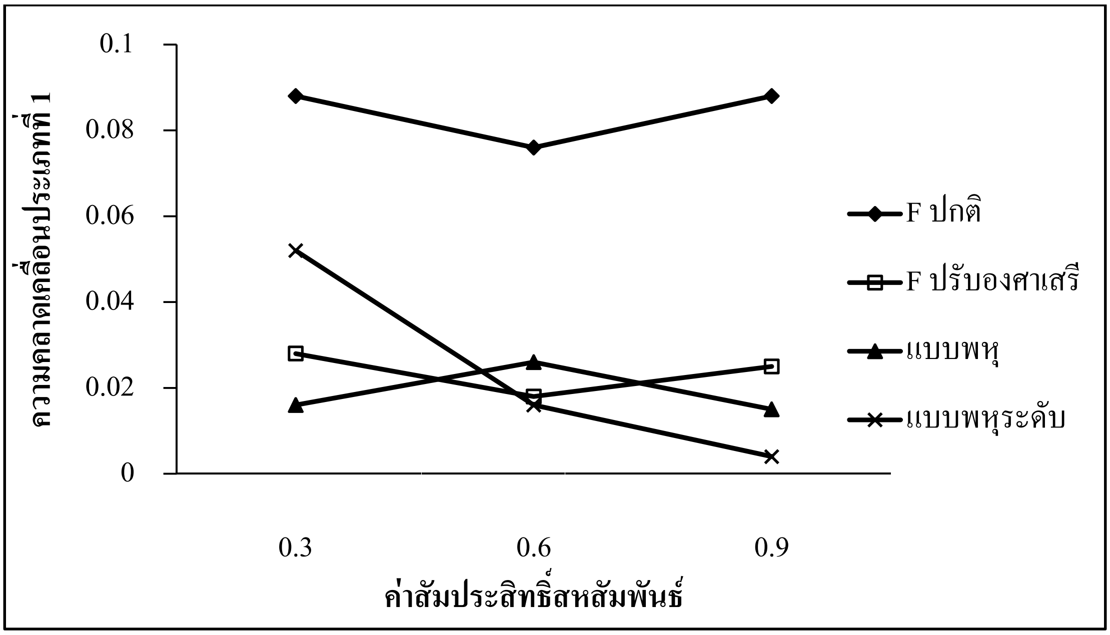
ภาพที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05



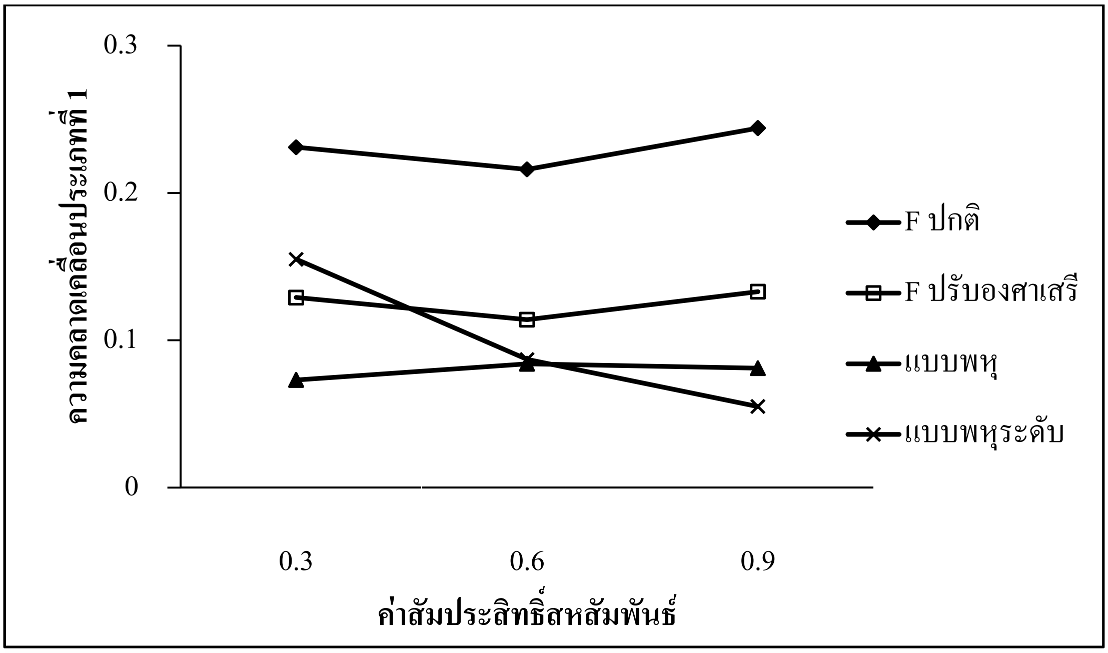
ภาพที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.01



ภาพที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



ภาพที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 18 แสดงสรุปผลการวิเคราะห์สถิติทดสอบทั้ง 4 วิธี ที่เหมาะสมในกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิติ

ความแปรปรวน	ทรีทเมนต์	ρ	อำนาจการทดสอบ		ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1	
			$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$
1	4	0.3	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	•	•
		0.6	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
		0.9	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
	6	0.3	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	•
		0.6	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
		0.9	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
	8	0.3	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	•	•
		0.6	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
		0.9	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
20	4	0.3	F ปกติ	F ปกติ	•	•
		0.6	F ปกติ	F ปกติ	พหุระดับ	•
		0.9	F ปกติ	F ปกติ	พหุระดับ	พหุระดับ
	6	0.3	F ปกติ	F ปกติ F ปรับ d.f. พหุระดับ	แบบพหุ	•
		0.6	F ปกติ	F ปกติ F ปรับ d.f.	•	•
		0.9	F ปกติ F ปรับ d.f.	F ปกติ F ปรับ d.f.	พหุระดับ	•

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ความแปรปรวน	ทรีทเมนต์	ρ	อำนาจการทดสอบ		ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1	
			$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$
20	8	0.3	F ปกติ F ปรับ d.f. พหุระดับ	F ปกติ F ปรับ d.f. พหุระดับ	•	•
		0.6	F ปกติ F ปรับ d.f.	F ปกติ F ปรับ d.f. พหุระดับ	•	•
		0.9	F ปกติ F ปรับ d.f.	F ปกติ F ปรับ d.f. พหุระดับ	พหุระดับ	พหุระดับ

หมายเหตุ • หมายถึง ไม่มีวิธีใดควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี

1. อำนาจการทดสอบ

การเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบของแผนการทดลองวัดซ้ำทั้ง 4 วิธี เพื่อหาวิธีการทดสอบที่เหมาะสมสำหรับเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี

ตารางที่ 19 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	0.999
	0.9	1	1	1	0.996
0.05	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1

ตารางที่ 20 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.207	0.11	0.285	0.369
	0.6	0.231	0.117	0.291	0.251
	0.9	0.218	0.119	0.298	0.147
0.05	0.3	0.434	0.316	0.622	0.625
	0.6	0.465	0.386	0.631	0.533
	0.9	0.457	0.38	0.614	0.426

ตารางที่ 21 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1
0.05	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1

ตารางที่ 22 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

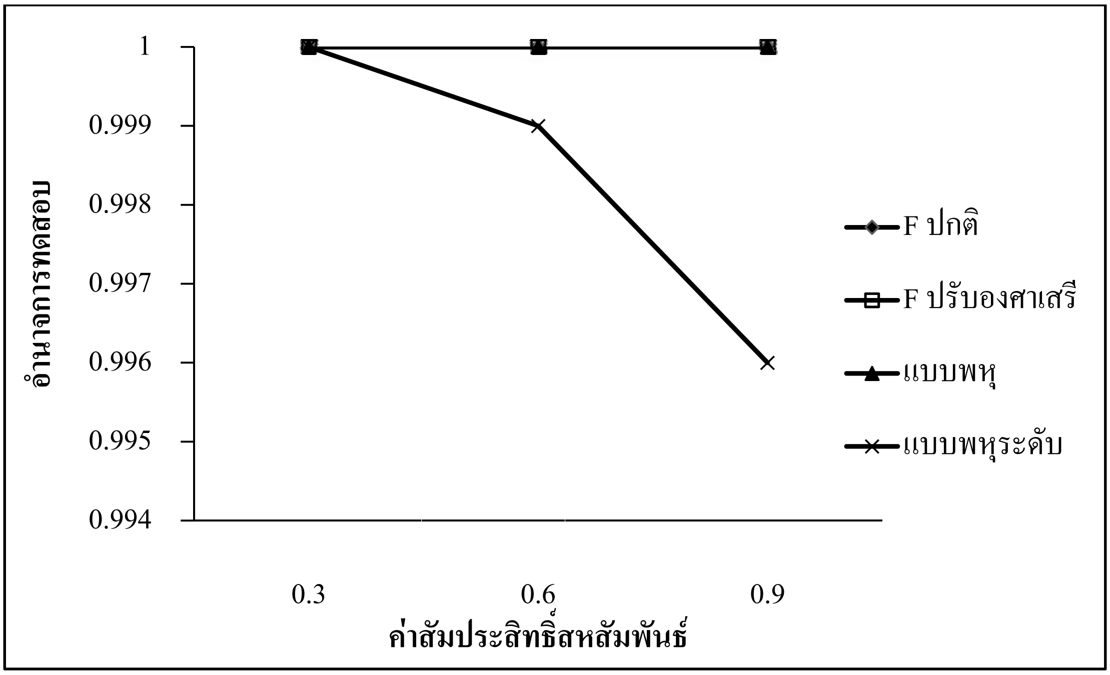
ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.644	0.379	0.33	0.688
	0.6	0.623	0.394	0.313	0.483
	0.9	0.647	0.419	0.335	0.305
0.05	0.3	0.845	0.717	0.747	0.866
	0.6	0.837	0.724	0.742	0.779
	0.9	0.847	0.731	0.732	0.63

ตารางที่ 23 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

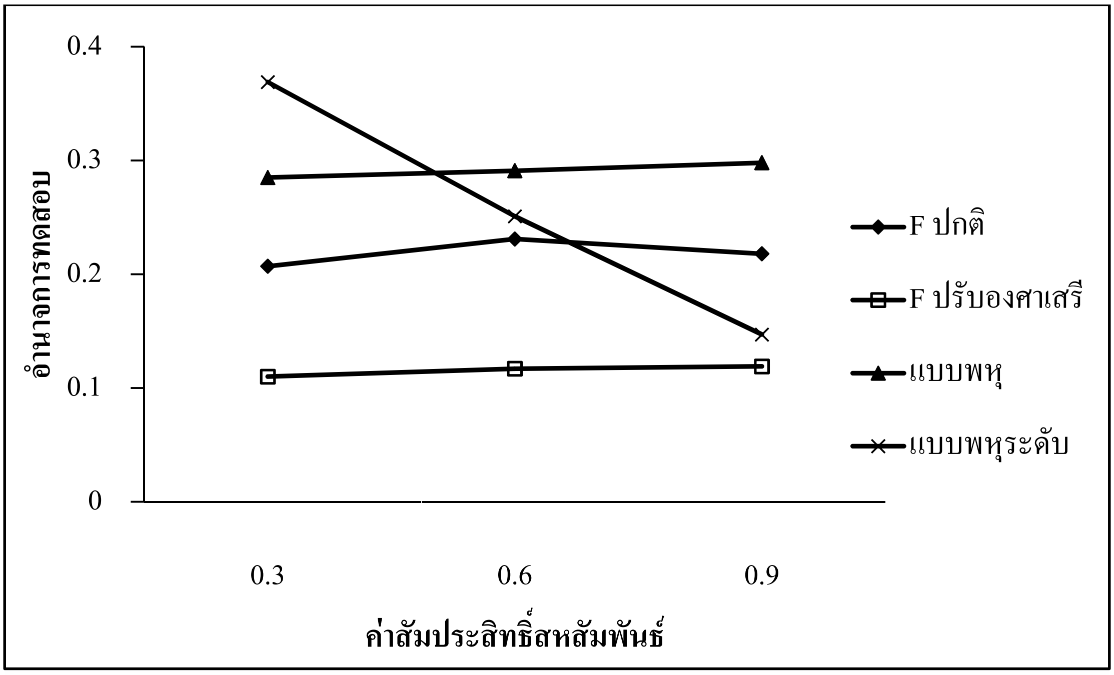
ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1
0.05	0.3	1	1	1	1
	0.6	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1

ตารางที่ 24 แสดงอำนาจการทดสอบกรณี มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

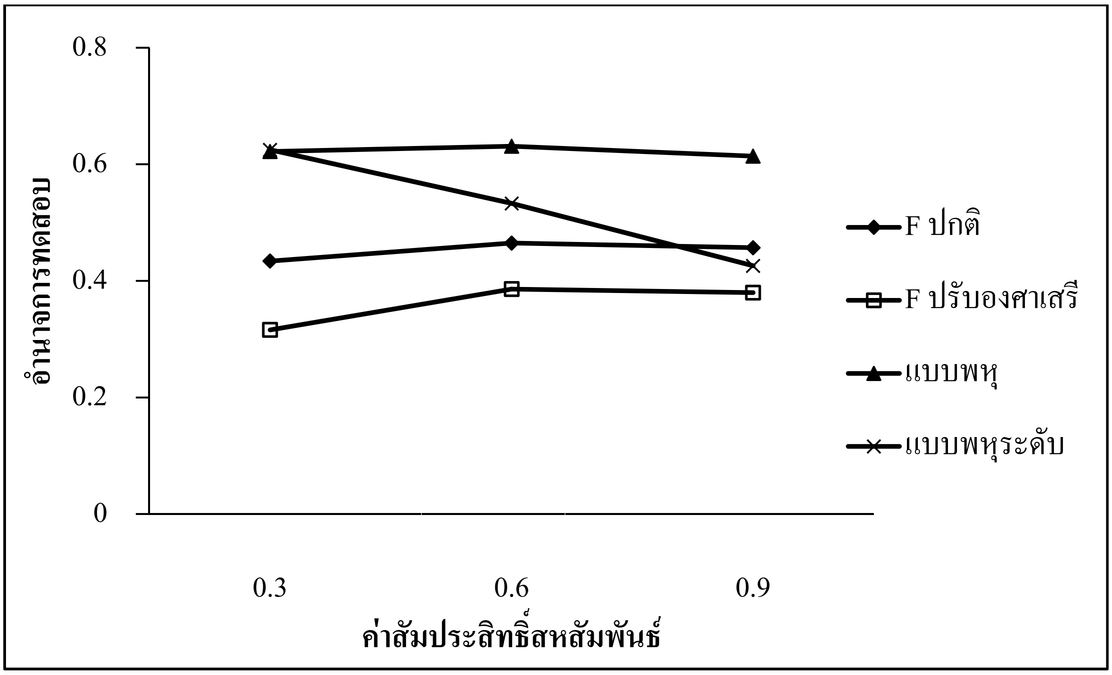
ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.989	0.865	0.235	0.878
	0.6	0.983	0.877	0.26	0.72
	0.9	0.99	0.859	0.262	0.59
0.05	0.3	0.999	0.994	0.692	0.973
	0.6	0.997	0.988	0.721	0.927
	0.9	0.998	0.996	0.691	0.868



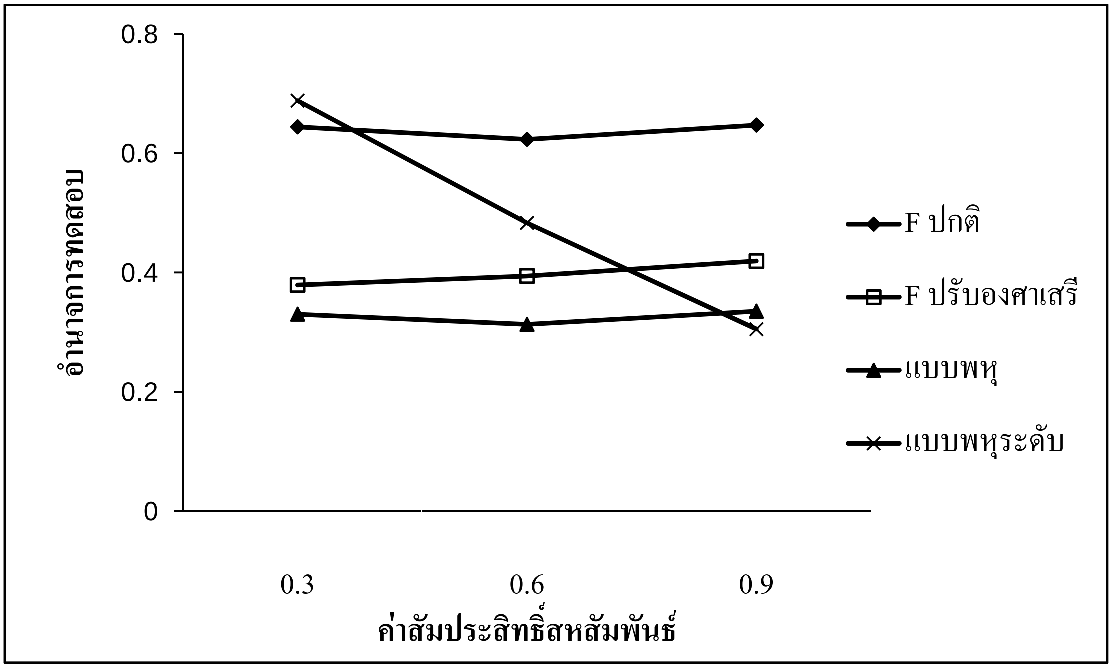
ภาพที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.01



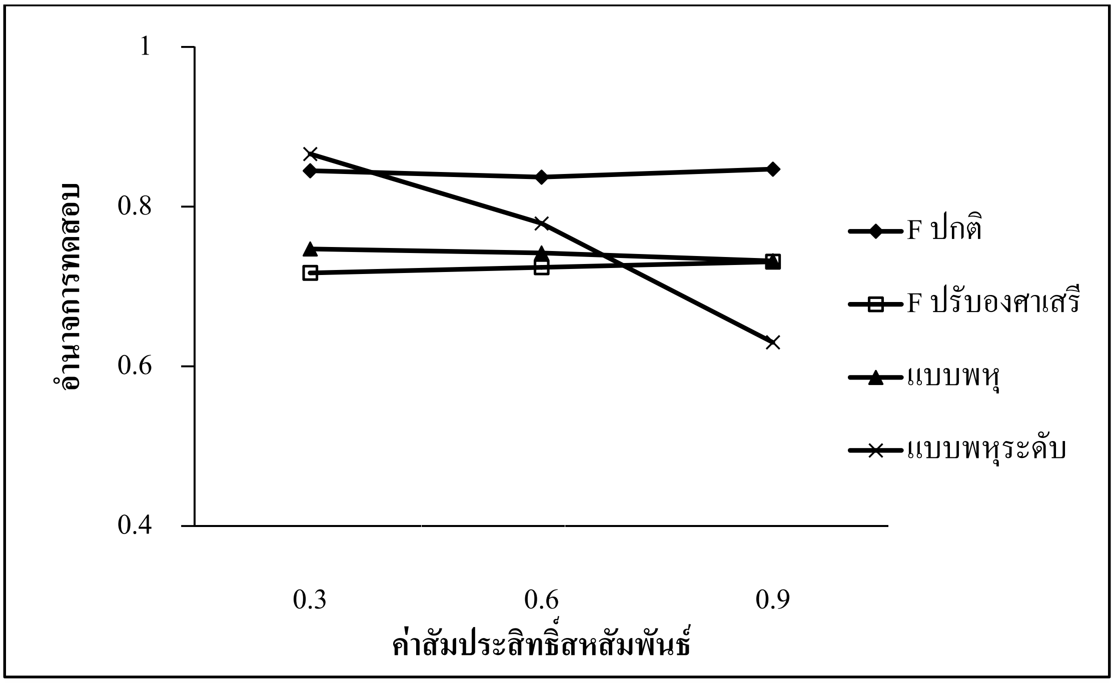
ภาพที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



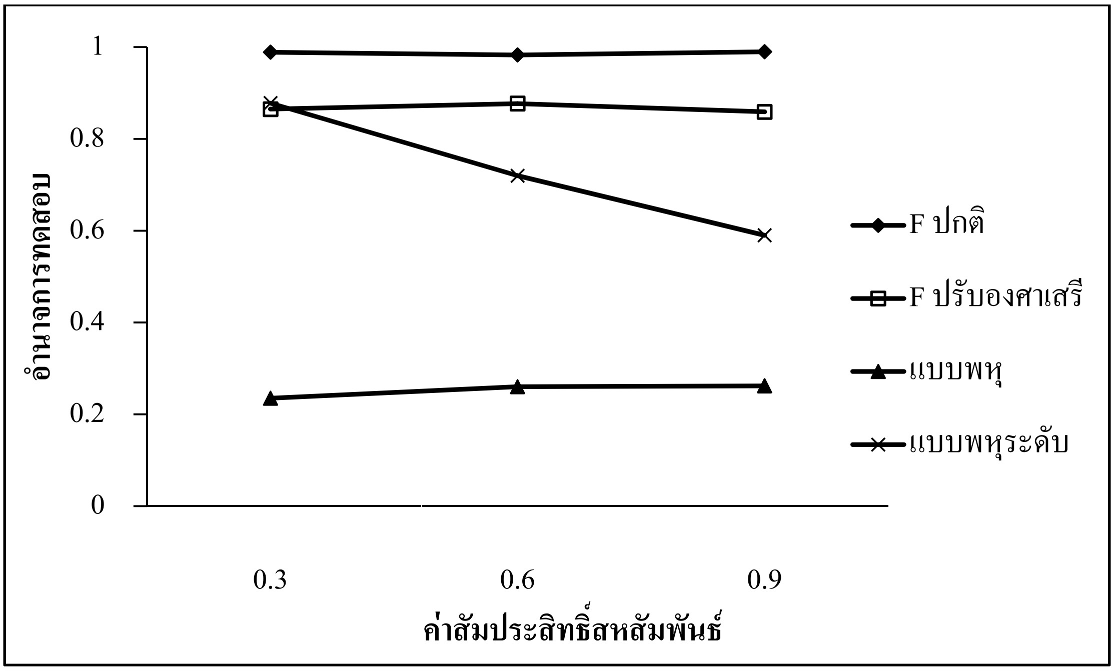
ภาพที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05



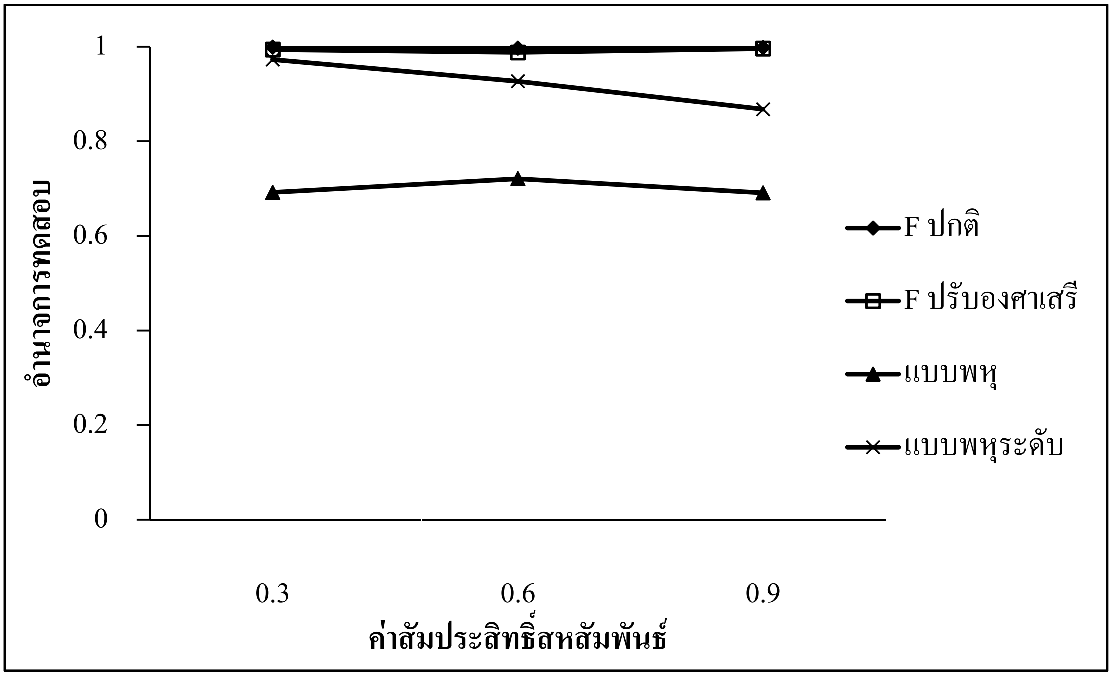
ภาพที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



ภาพที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



ภาพที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

เกณฑ์ที่ใช้พิจารณาความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 โดยกำหนดให้วิธีการทดสอบที่สามารถควบคุมค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ก็ต่อเมื่อค่าที่ได้จากการทดลองอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งถือว่าวิธีการทดสอบนั้นมีค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เท่ากับระดับนัยสำคัญที่กำหนด และสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 โดยแบ่งเกณฑ์ออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่เกิดจากการทดลอง อยู่ในช่วง [0, 0.0137] ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

กรณีที่ 2 ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่เกิดจากการทดลอง อยู่ในช่วง [0, 0.0580] ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 25 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.524	0.336	0.628	0.028
	0.6	0.553	0.365	0.651	0.004*
	0.9	0.553	0.364	0.651	0.002*
0.05	0.3	0.81	0.7	0.905	0.129
	0.6	0.798	0.706	0.916	0.051*
	0.9	0.797	0.706	0.916	0.03*

ตารางที่ 26 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.031	0.01*	0.023	0.041
	0.6	0.031	0.01*	0.023	0.012*
	0.9	0.031	0.01*	0.023	0.003*
0.05	0.3	0.097	0.057*	0.117	0.15
	0.6	0.097	0.078	0.117	0.08
	0.9	0.097	0.078	0.117	0.044*

หมายเหตุ * หมายถึง สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

ตารางที่ 27 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.681	0.429	0.347	0.037
	0.6	0.706	0.444	0.336	0.007*
	0.9	0.668	0.436	0.35	0.002*
0.05	0.3	0.888	0.774	0.736	0.151
	0.6	0.888	0.79	0.774	0.069
	0.9	0.879	0.757	0.767	0.032*

ตารางที่ 28 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.033	0.009*	0.022	0.06
	0.6	0.028	0.009*	0.019	0.013*
	0.9	0.036	0.007*	0.016	0.003*
0.05	0.3	0.105	0.058*	0.095	0.187
	0.6	0.112	0.058*	0.086	0.085
	0.9	0.118	0.064	0.076	0.044*

หมายเหตุ * หมายถึง สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

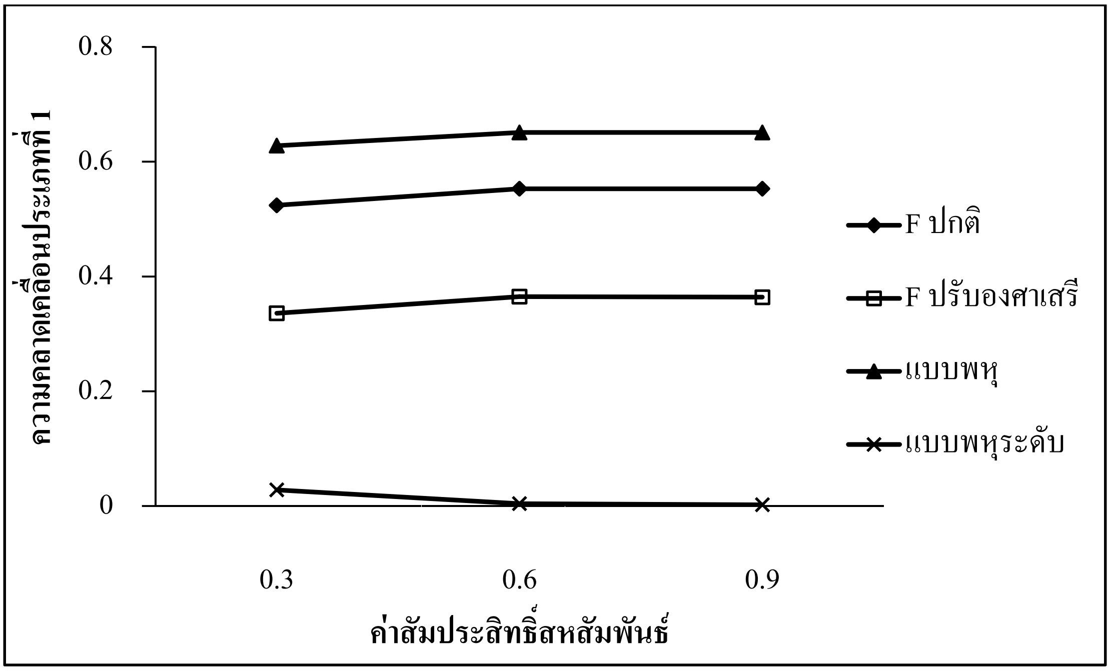
ตารางที่ 29 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.863	0.525	0.169	0.048
	0.6	0.859	0.52	0.15	0.008*
	0.9	0.885	0.547	0.173	0.001*
0.05	0.3	0.966	0.906	0.552	0.148
	0.6	0.961	0.908	0.533	0.063
	0.9	0.976	0.918	0.552	0.024*

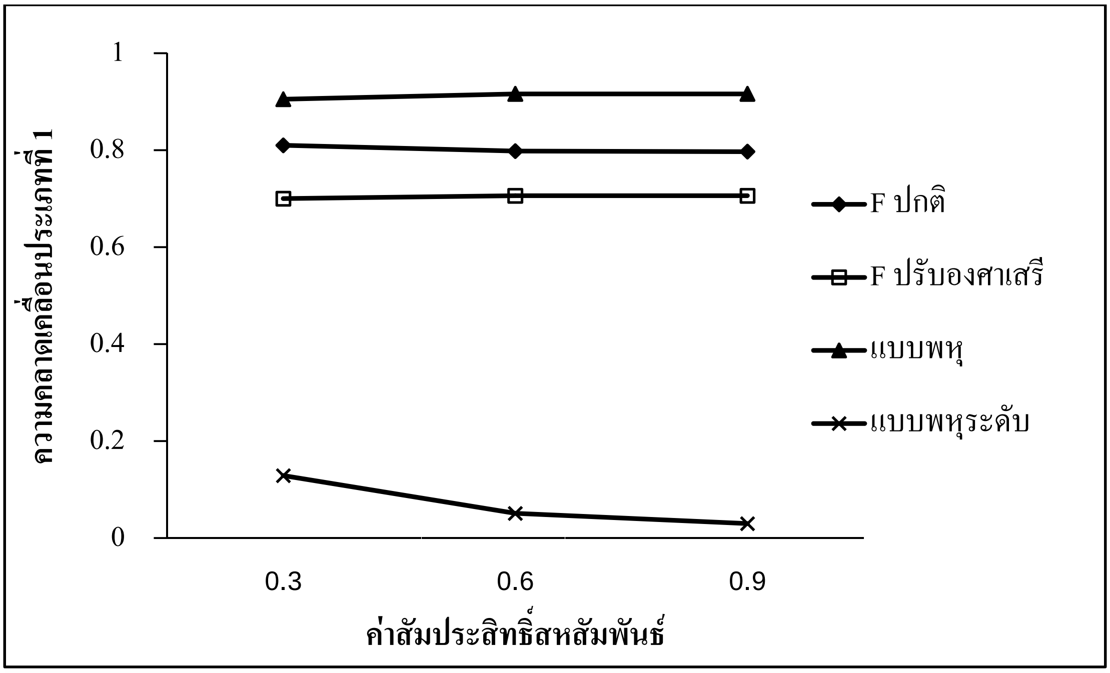
ตารางที่ 30 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20

ระดับนัยสำคัญ	ρ	สถิติทดสอบ			
		F ปกติ	F ปรับองศาเสรี	แบบพหุ	แบบพหุระดับ
0.01	0.3	0.036	0.004*	0.021	0.052
	0.6	0.035	0.003*	0.018	0.014
	0.9	0.046	0.002*	0.018	0.006
0.05	0.3	0.104	0.047*	0.082	0.165
	0.6	0.101	0.049*	0.076	0.087
	0.9	0.122	0.059	0.088	0.051*

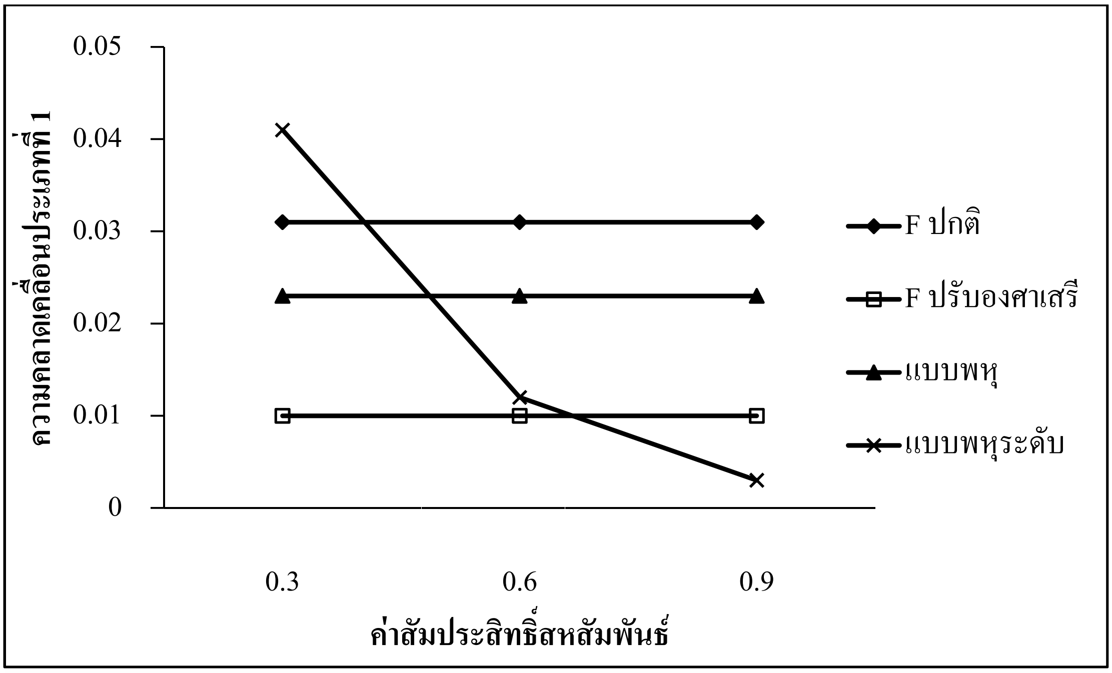
หมายเหตุ * หมายถึง สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้



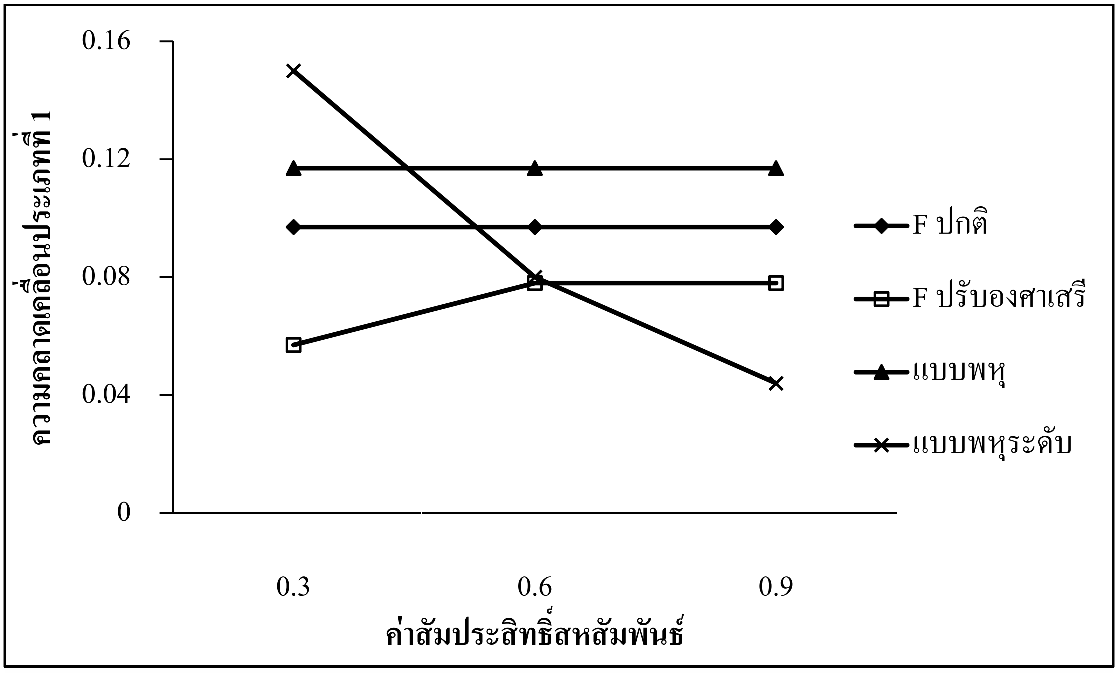
ภาพที่ 28 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.01



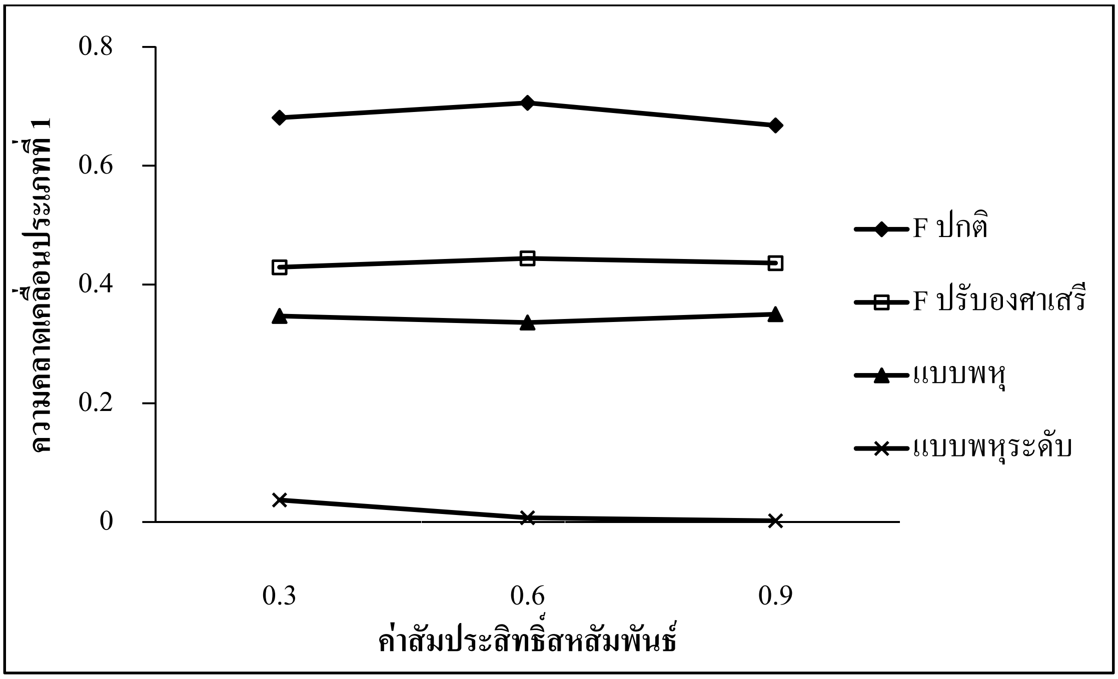
ภาพที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.05



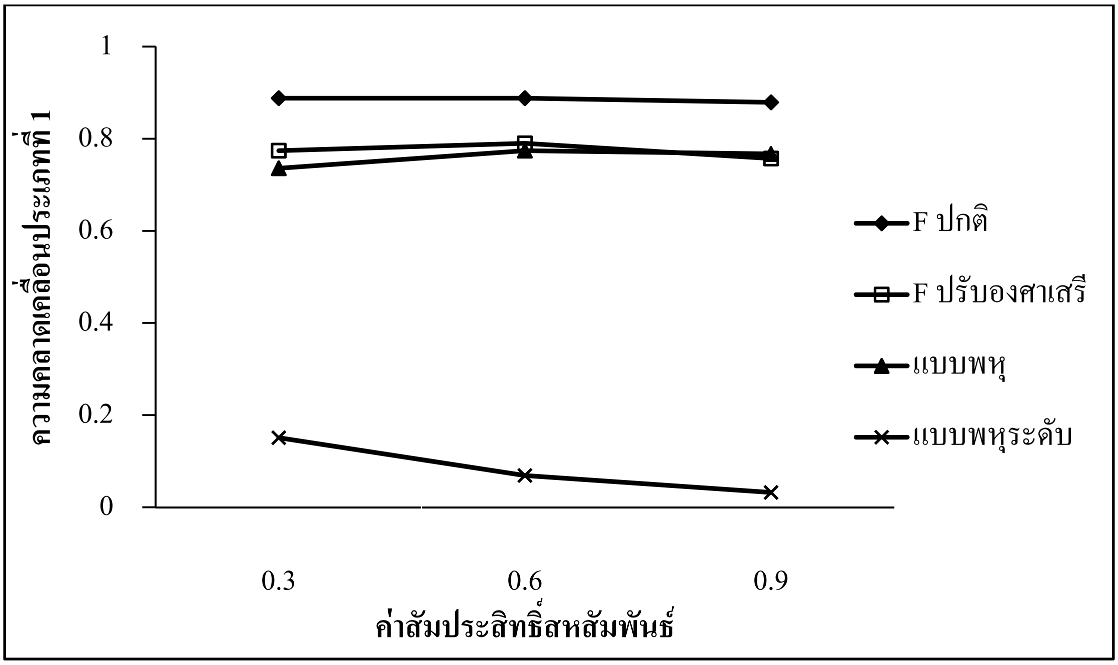
ภาพที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



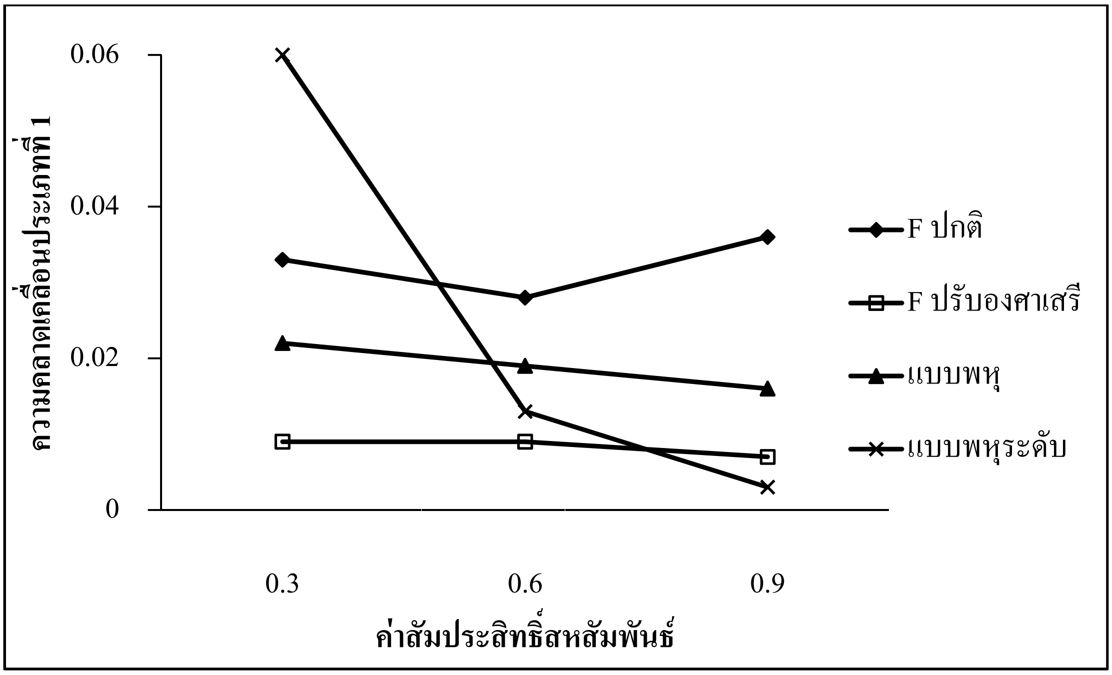
ภาพที่ 31 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05



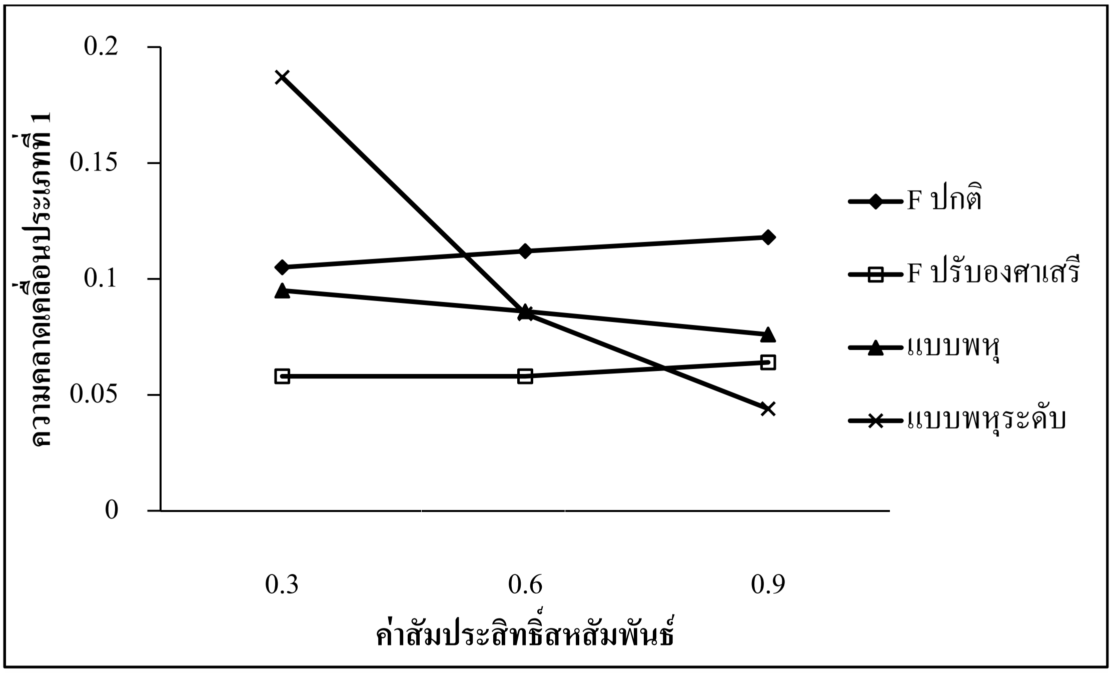
ภาพที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.01



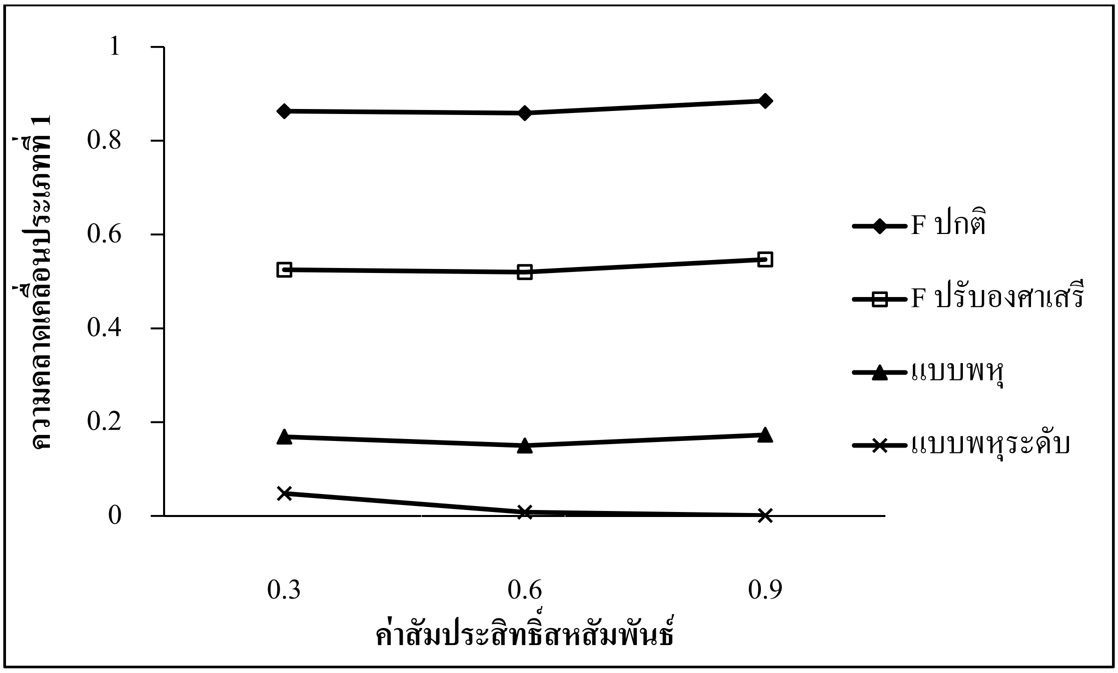
ภาพที่ 33 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.05



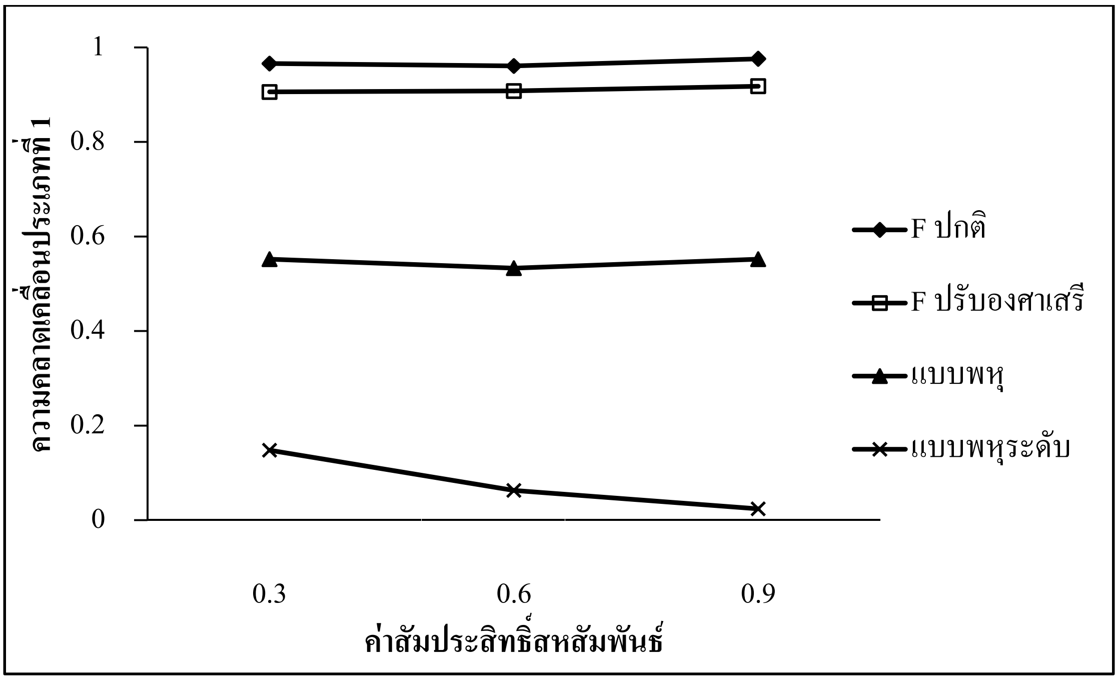
ภาพที่ 34 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



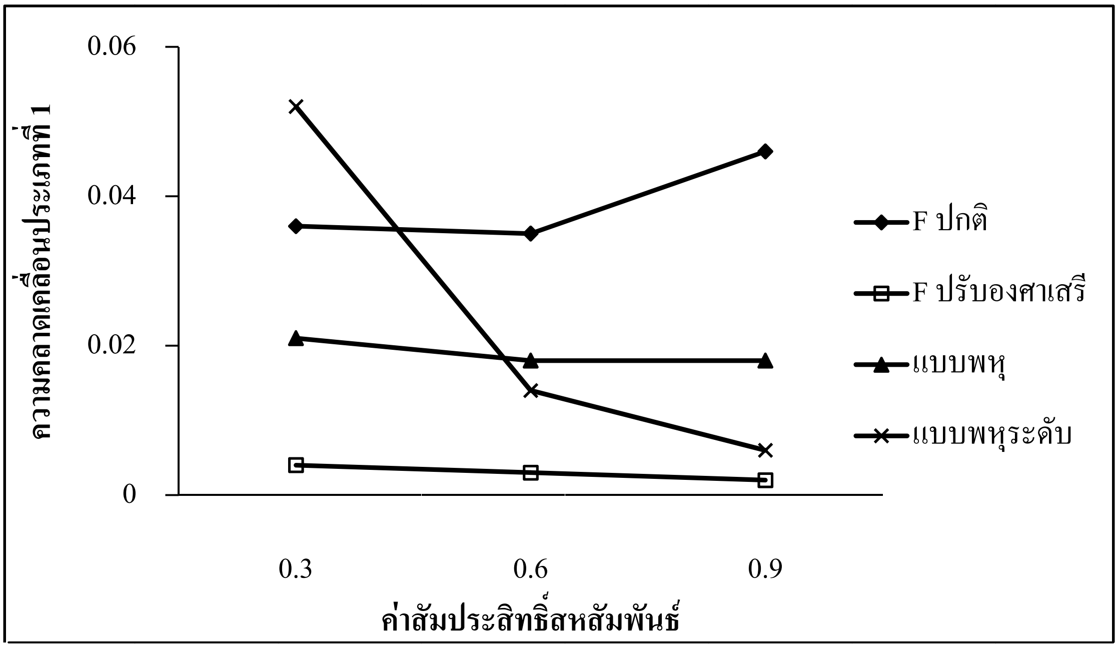
ภาพที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 6 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05



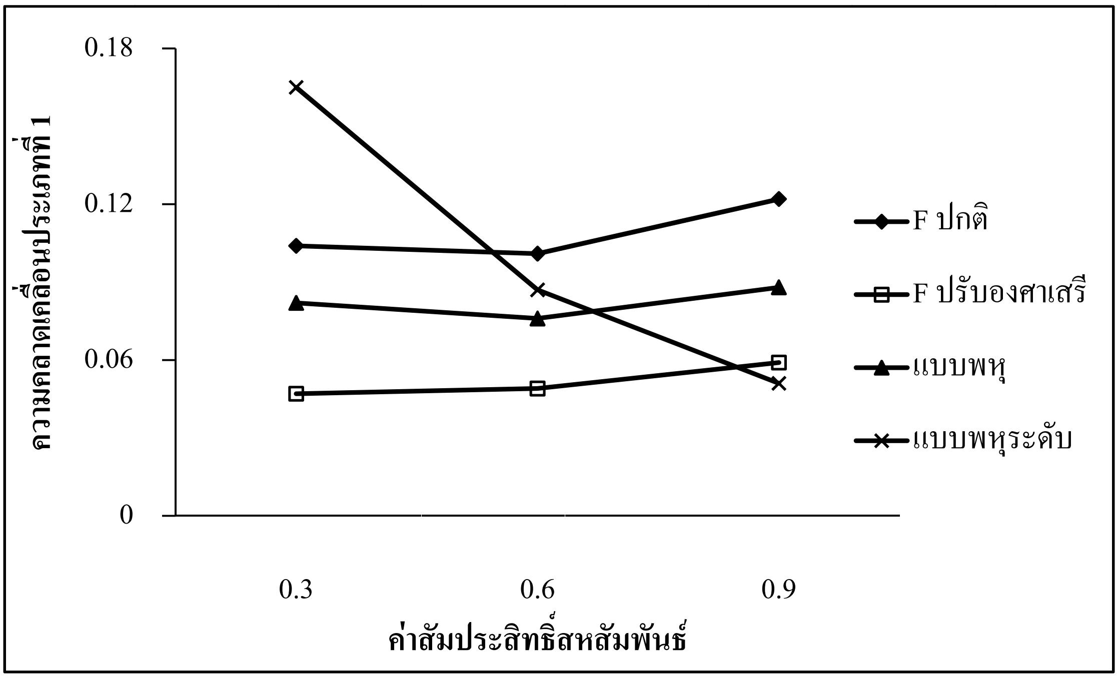
ภาพที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.01



ภาพที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 1 และระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 38 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.01



ภาพที่ 39 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของสถิติทดสอบ มี 8 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวน 20 และระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 31 แสดงสรุปผลการวิเคราะห์สถิติทดสอบทั้ง 4 วิธี ที่เหมาะสมในกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี

ความแปรปรวน	ทรีทเมนต์	ρ	อำนาจการทดสอบ $\alpha = 0.01$	อำนาจการทดสอบ $\alpha = 0.05$	ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 $\alpha = 0.01$	ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 $\alpha = 0.05$
1	4	0.3	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	•	•
		0.6	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
		0.9	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
	6	0.3	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	•	•
		0.6	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	•
		0.9	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
	8	0.3	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	•	•
		0.6	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	•
		0.9	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
20	4	0.3	พหุระดับ	พหุระดับ	F ปรับ d.f.	F ปรับ d.f.
		0.6	แบบพหุ	แบบพหุ	F ปรับ d.f. พหุระดับ	•
		0.9	แบบพหุ	แบบพหุ	F ปรับ d.f. พหุระดับ	พหุระดับ
	6	0.3	พหุระดับ	พหุระดับ	F ปรับ d.f.	F ปรับ d.f.
		0.6	F ปกติ	F ปกติ	F ปรับ d.f. พหุระดับ	F ปรับ d.f.
		0.9	F ปกติ	F ปกติ	F ปรับ d.f. พหุระดับ	พหุระดับ
	8	0.3	F ปกติ	F ปกติ	F ปรับ d.f.	F ปรับ d.f.
		0.6	F ปกติ	F ปกติ	F ปรับ d.f.	F ปรับ d.f.
		0.9	F ปกติ	F ปกติ	F ปรับ d.f.	พหุระดับ

หมายเหตุ • หมายถึง ไม่มีวิธีใดควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

ตารางที่ 32 แสดงสรุปผลการวิเคราะห์สถิติทดสอบทั้ง 4 วิธี

ความแปรปรวน	ทรีทเมนต์	ρ	เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี				เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี			
			อำนาจการทดสอบ		ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1		อำนาจการทดสอบ		ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1	
			$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$
1	4	0.3	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	•	•	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	•	•
		0.6	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
		0.9	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
	6	0.3	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	•	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	•	•
		0.6	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	•
		0.9	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ
	8	0.3	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	•	•	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	•	•
		0.6	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	•
		0.9	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ	ทั้ง 4 วิธี	ทั้ง 4 วิธี	พหุระดับ	พหุระดับ

ตารางที่ 32 (ต่อ)

ความแปรปรวน	ทรีทเมนต์	ρ	เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี				เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี			
			อำนาจการทดสอบ		ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1		อำนาจการทดสอบ		ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1	
			$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$
20	4	0.3	F ปกติ	F ปกติ	•	•	พหุระดับ	พหุระดับ	F ปรับ d.f.	F ปรับ d.f.
		0.6	F ปกติ	F ปกติ	พหุระดับ	•	แบบพหุ	แบบพหุ	F ปรับ d.f. พหุระดับ	•
		0.9	F ปกติ	F ปกติ	พหุระดับ	พหุระดับ	แบบพหุ	แบบพหุ	F ปรับ d.f. พหุระดับ	พหุระดับ
	6	0.3	F ปกติ	F ปกติ F ปรับ d.f. พหุระดับ	แบบพหุ	•	พหุระดับ	พหุระดับ	F ปรับ d.f.	F ปรับ d.f.
		0.6	F ปกติ	F ปกติ F ปรับ d.f.	•	•	F ปกติ	F ปกติ	F ปรับ d.f. พหุระดับ	F ปรับ d.f.
		0.9	F ปกติ F ปรับ d.f.	F ปกติ F ปรับ d.f.	พหุระดับ	•	F ปกติ	F ปกติ	F ปรับ d.f. พหุระดับ	พหุระดับ

ตารางที่ 32 (ต่อ)

ความแปรปรวน	ทรีทเมนต์	ρ	เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี				เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี			
			อำนาจการทดสอบ		ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1		อำนาจการทดสอบ		ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1	
			$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$
20	8	0.3	F ปกติ F ปรับ d.f. พหุระดับ	F ปกติ F ปรับ d.f. พหุระดับ	•	•	F ปกติ	F ปกติ	F ปรับ d.f.	F ปรับ d.f.
		0.6	F ปกติ F ปรับ d.f.	F ปกติ F ปรับ d.f. พหุระดับ	•	•	F ปกติ	F ปกติ	F ปรับ d.f.	F ปรับ d.f.
		0.9	F ปกติ F ปรับ d.f.	F ปกติ F ปรับ d.f. พหุระดับ	พหุระดับ	พหุระดับ	F ปกติ	F ปกติ	F ปรับ d.f.	พหุระดับ

หมายเหตุ • หมายถึง ไม่มีวิธีใดควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

วิจารณ์

จากภาพที่ 3-8, 21-27 และตารางที่ 32 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของแผนการทดลองวัดซ้ำ 4 วิธี ได้แก่สถิติทดสอบ F ปกติ F ปรับค่าองศาเสรี การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ และตัวแบบพหุระดับ โดยทำการศึกษาทั้งกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีและไม่เป็นสเฟียริซิตี ซึ่งมีจำนวนทรีทเมนต์เป็น 4, 6, 8 ทรีทเมนต์ จำนวนหน่วยทดลองเป็น 10 ความแปรปรวนเป็น 1, 20 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ($\rho = 0.3$) ระดับกลาง ($\rho = 0.6$) ระดับสูง ($\rho = 0.9$) และศึกษาที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 โดยการจำลองข้อมูลแต่ละสถานการณ์ด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล จำนวน 1,000 ครั้ง ในกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีผลการวิจัยได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Steven (1996) นั่นคือการวิเคราะห์ความแปรปรวนหนึ่งตัวแปร (F ปกติ, F ปรับค่าองศาเสรี) มีอำนาจการทดสอบสูงกว่าการวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ และถ้าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตีผลการวิจัยได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Quene′ Hugo and Bergh (2004) นั่นคือวิธีตัวแบบพหุระดับมีอำนาจการทดสอบสูงกว่าวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ แต่บางเงื่อนไขได้ขอสรุปแตกต่างจากงานวิจัยของ Quene′ Hugo and Bergh (2004) ซึ่งจะสรุปการวิจัยครั้งนี้ได้ดังนี้

ในการทดลองที่ความแปรปรวนเป็น 1 สถิติทดสอบทั้ง 4 วิธี มีอำนาจการทดสอบไม่แตกต่างกัน และสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้เฉพาะวิธีตัวแบบพหุระดับ ดังนั้นจะสรุปความแตกต่างของผลการวิจัยที่มีความแปรปรวนเป็น 20 ได้ดังนี้

1. สถิติทดสอบ F ปกติ ในกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีมีอำนาจการทดสอบสูงสุด และในกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตีมีอำนาจการทดสอบสูงสุดเฉพาะที่มี 6, 8 ทรีทเมนต์ แต่ทั้ง 2 กรณีไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์เพิ่มขึ้น

2. สถิติทดสอบ F ปรับค่าองศาเสรี ในกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีมีอำนาจการทดสอบสูงใกล้เคียงกับสถิติทดสอบ F ปกติ และไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และในกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตีมีอำนาจการทดสอบต่ำสุดในการทดลอง 4 ทรีทเมนต์ แต่ในการทดลอง 8 ทรีทเมนต์ที่มีอำนาจการทดสอบมากกว่า 0.8 และสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ซึ่งอำนาจการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์เพิ่มขึ้น

3. สถิติทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ ในกรณีเมทริกซ์ความ แปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีมีอำนาจการทดสอบต่ำสุด และสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้เฉพาะในการทดลองที่มี 6 ทรีทเมนต์ ที่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.3 ระดับนัยสำคัญ 0.01 เท่านั้น และในกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตีมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกับสถิติทดสอบ F ปรับค่าองศาเสรี แต่ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และอำนาจการทดสอบเพิ่มขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์เพิ่มขึ้น แต่อำนาจการทดสอบที่เพิ่มขึ้นนั้นมีค่าไม่มาก

4. สถิติทดสอบตัวแบบพหุระดับ ในกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกับสถิติทดสอบ F ปกติ และ F ปรับค่าองศาเสรี และในกรณี เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตีมีอำนาจการทดสอบส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับสถิติทดสอบ F ปกติ และทั้ง 2 กรณีส่วนใหญ่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และอำนาจการทดสอบมีค่าลดลงเมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพิ่มขึ้น

ดังนั้นพิจารณาได้ว่าระดับสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ไม่มีผลต่อการศึกษาอำนาจการทดสอบของวิธี F ปกติ และ F ปรับค่าองศาเสรี แต่มีผลต่อวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ และตัวแบบพหุระดับ

และเมื่อพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 อำนาจการทดสอบของแต่ละวิธีไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้กรณีมากกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของแผนการทดลองวัดซ้ำ 4 วิธี ได้แก่สถิติทดสอบ F ปกติ F ปรับค่าองศาเสรี การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ และตัวแบบพหุระดับโดยทำการศึกษาทั้งกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีและไม่เป็นสเฟียริซิตี ซึ่งมีจำนวนทรีทเมนต์เป็น 4, 6, 8 ทรีทเมนต์ จำนวนหน่วยทดลองเป็น 10 ความแปรปรวนเป็น 1, 20 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ($\rho = 0.3$) ระดับกลาง ($\rho = 0.6$) ระดับสูง ($\rho = 0.9$) และศึกษาที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 โดยการจำลองข้อมูลแต่ละสถานการณ์ด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล จำนวน 1,000 ครั้ง ผลการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. การเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบในกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี สถิติทดสอบ F ปกติ และ F ปรับค่าองศาเสรีเหมาะสมในการทดลอง แต่กรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี ที่สัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ 0.3 (สัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ในหน่วยทดลองระดับต่ำ) สถิติทดสอบตัวแบบพหุระดับเหมาะสมในการทดลองที่มี 4, 6 ทรีทเมนต์ และสถิติทดสอบ F ปกติเหมาะสมในการทดลองที่มี 8 ทรีทเมนต์ สำหรับสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ 0.6, 0.9 (สัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ในหน่วยทดลองระดับกลางและระดับสูง) สถิติทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุเหมาะสมสำหรับในการทดลองที่มี 4 ทรีทเมนต์ และสถิติทดสอบ F ปกติเหมาะสมสำหรับในการทดลองที่มี 6, 8 ทรีทเมนต์

2. ความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 กรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี ส่วนใหญ่สถิติทดสอบที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้คือ สถิติทดสอบตัวแบบพหุระดับ สำหรับกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี ที่ความแปรปรวนเป็น 1 สถิติทดสอบที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้คือ สถิติทดสอบตัวแบบพหุระดับ และที่ความแปรปรวนเป็น 20 สถิติทดสอบที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้คือ สถิติทดสอบ F ปรับค่าองศาเสรี และสถิติทดสอบตัวแบบพหุระดับ

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ในกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตีสถิติทดสอบที่มีอำนาจการทดสอบสูงสุดคือ สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนหนึ่งตัวแปร (F ปกติ, F ปรับค่าองศาเสรี) แต่ไม่สามารถควบคุมอำนาจการทดสอบได้ สำหรับกรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม

ไม่เป็นสเฟียริซิตีอำนาจการทดสอบขึ้นอยู่กับแต่ละเงื่อนไขในการทดลอง แต่ในภาพรวมสถิติทดสอบที่เหมาะสม คือ สถิติทดสอบตัวแบบพหุระดับ เพราะมีอำนาจการทดสอบสูงและสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยเกี่ยวกับแผนการทดลองวัดซ้ำมีน้อยในสาขาสถิติอาจเพราะว่ามีหนังสือและวิทยานิพนธ์ที่กล่าวถึงแผนการทดลองวัดซ้ำมีจำนวนน้อย ทั้งๆ ที่หลายสาขาวิชาที่ใช้แผนการทดลองวัดซ้ำทำการวิจัย และผู้วิจัยเองคิดว่าการเก็บข้อมูลไม่ยุ่งยากเพราะไม่ต้องจัดบล็อกที่เหมือนกันให้หน่วยทดลอง และขนาดตัวอย่างที่ใช้ไม่มาก การวิจัยครั้งนี้ควรมีการพัฒนาและปรับปรุง ดังนี้

1. ควรมีการทดสอบการแจกแจงปกติหลายตัวแปรในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุของข้อมูลที่ทำการจำลอง

2. ในการวิจัยครั้งนี้ทำการจำลองข้อมูลเพียง 1,000 ครั้ง เพื่อหาอำนาจการทดสอบ และความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ซึ่งค่าที่ได้อาจจะไม่คงที่ ดังนั้นควรมีการจำลองข้อมูลหลายๆ ชุดที่มีจำนวนครั้งต่างกัน (จำนวนครั้งในการทดลองควรมากกว่าหลักพัน)

3. การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในกลุ่มระดับต่ำ เป็น 0.3 อาจจะไปครอบคลุมช่วงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในกลุ่มปานกลางที่กำหนดให้เป็น 0.6 ดังนั้นควรลดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใช้เป็นตัวแทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในกลุ่มระดับต่ำ

4. ควรเพิ่มเงื่อนไขในการทดลองมากกว่านี้ เช่น มีการวัดซ้ำหลายครั้งในแต่ละทรีทเมนต์ แต่อาจลดจำนวนทรีทเมนต์ลงเพราะในการทดลองจริงนักวิจัยคงไม่มีวิธีต่างๆ (ทรีทเมนต์) มากถึง 8 วิธี หรือเพิ่มจำนวนหน่วยทดลอง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2544. **การวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วย SPSS for Window.** โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

_______2548. **การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร**. บริษัทธรรมสาร จำกัด, กรุงเทพฯ.

ผจงจิต อินทรสุวรรณ. 2539. **แบบแผนเชิงสถิติของการทดลอง**. สถาบันวิจัยพฤติกรรมสาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, กรุงเทพฯ.

_______2549**. การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปร.** พ.ศ.พัฒนา, กรุงเทพฯ.

พิสมัย หาญมงคลพิพัฒน์. 2545. **สถิติและการวางแผนการทดลองทางเกษตร**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริชัย กาญจนวาสี. 2548. **การวิเคราะห์พหุระดับ.** พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สำเริง บุญเรืองรัตน์. 2540**. เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรพหูคูณ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. ต้นอ้อแกรมมี่, กรุงเทพฯ.

อวยพร จุฑานนท์. 2525. **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวัดซ้ำและการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสุ่มภายในบล็อกเมื่อใช้ตัวแปรร่วม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อนันต์ชัย เขื่อนธรรม. 2542. **หลักการวางแผนการทดลอง.** พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Davis, C. S. 2002. **Statistical methods for the analysis of repeated measurements**. Springer, New York.

Kirk, Roger E. 1995. **Experimental design: procedures for the behavioral sciences**. 3rd ed. Brooks/Cole, Pacific Grove.

Krzanowski, W. J. and F. H. C. Marriott. 1994. **Multivariate analysis**. Edward Arnold, London.

Leyland A.H. and H. Goldstein. 2001. **Multilevel modeling of health statistics**. John Wiley & Sons, Ltd., New York.

Maxwell Scott E. and D. Delaney Harold. 2004. **Designing experiments and analyzing data: a model comparison perspective**. Lawrence Erlbaum Associates, London.

Quene′ Hugo and Bergh Huub van den. 2004. On multi-level modeling of data from repeated measures designs: a tutorial. **Repeated measures designs**. Available Source: http://www.sciencedidirect.com. March 15, 2006.

Snijders Tom A. B. and J. Bosker Roel. 1999**. Multilevel analysis an introduction to basic and advanced multilevel modeling**. SAGE, London.

Stevens, J. 1996. **Applied multivariate statistics for the social sciences**. 3rd ed. Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey.

Winer, B. J. 1971. **Statistical principles in experimental design**. 2nd ed. McGraw-Hill, Inc., USA.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวสถิติทดสอบสเฟียริซิตี

สถิติทดสอบสเฟียริซิตี

$$V^* = \frac{(r-1)(n-1)}{2}\left\{\frac{(n-1)\mathrm{trace}(C^{*'}\hat{\Sigma}C^*)^2}{\left[\mathrm{trace}(C^{*'}\hat{\Sigma}C^*)\right]^2}-1\right\}$$

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $V^* > V^*_{\alpha,(n-1),r}$

เมื่อ r = จำนวนทรีทเมนต์

n = จำนวนหน่วยทดลอง

$C^{*'}$ = เป็นเมทริกซ์สัมประสิทธ์ออร์โธนอมอล (Orthonormal Coefficient Matrix)

$\hat{\Sigma}$ = เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม

Kirk (1995) สำหรับค่า $V^*_{\alpha,(n-1),r}$ ในตาราง Locally Best Invariant Test for Sphericity ที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ดีสำหรับจำนวนหน่วยทดลองมีขนาดเล็กควรใช้ระดับนัยสำคัญ 0.25 แต่ถ้าจำนวนหน่วยทดลองมีขนาดมากกว่า 10 ควรใช้ระดับนัยสำคัญ 0.15

ตัวอย่าง เมื่อมีจำนวน 4 ทรีทเมนต์ (r) และ 8 หน่วยทดลอง (n)

หน่วยทดลอง	ทรีทเมนต์ (i)			
(j)	1	2	3	4
1	3	4	4	3
2	2	4	4	5
3	2	3	3	6
4	3	3	3	5
5	1	2	4	7
6	3	3	6	6
7	4	4	5	10
8	6	5	5	8

สมมติฐาน

H_0: $\mu_{.1} - \mu_{.2} = 0$ H_1: $\mu_{.1} - \mu_{.2} \neq 0$

$\mu_{.3} - \mu_{.4} = 0$ $\mu_{.3} - \mu_{.4} \neq 0$

$\frac{\mu_{.1} + \mu_{.2}}{2} - \frac{\mu_{.3} - \mu_{.4}}{2} = 0$ $\frac{\mu_{.1} + \mu_{.2}}{2} - \frac{\mu_{.3} - \mu_{.4}}{2} \neq 0$

เมื่อความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมคำนวณได้จาก

$$\hat{\sigma}_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n} Y_{ij}^2 - \frac{\left(\sum_{j=1}^{n} Y_{ij}\right)^2}{n}}{n-1}$$

$$\hat{\sigma}_{ii'} = \frac{\sum_{j=1}^{n} Y_{ij} Y_{i'j} - \frac{\left(\sum_{j=1}^{n} Y_{ij}\right)\left(\sum_{j=1}^{n} Y_{i'j}\right)}{n}}{n-1}$$

จะได้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 2.28571 & 1.14286 & 0.71429 & 1.28571 \\ 1.14286 & 0.85714 & 0.28571 & 0.28571 \\ 0.71429 & 0.28571 & 1.07143 & 0.92857 \\ 1.28571 & 0.28571 & 0.92857 & 4.50000 \end{bmatrix}$$

และเมทริกซ์สัมประสิทธิ์ออร์โธกอนอล (Orthogonal Coefficient Matrix)

$$C' = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0.5 & 0.5 & -0.5 & -0.5 \end{bmatrix}$$

คำนวณ length ($\| \ \|$)ของ C'

$$\|C_1'\| = \sqrt{1^2 + (-1)^2 + 0^2 + 0^2} = \sqrt{2}$$

$$\|C_2'\| = \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2 + (-1)^2} = \sqrt{2}$$

$$\|C_3'\| = \sqrt{(0.5)^2 + (0.5)^2 + (-0.5)^2 + (-0.5)^2} = \sqrt{1} = 1$$

ดังนั้นจะได้เมทริกซ์สัมประสิทธิ์ออร์โธนอมอล (Orthonormal Coefficient Matrix)

$$C^{*'} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 0.5/\sqrt{1} & 0.5/\sqrt{1} & -0.5/\sqrt{1} & -0.5/\sqrt{1} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.7071 & -0.7071 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7071 & -0.7071 \\ 0.5000 & 0.5000 & -0.5000 & -0.5000 \end{bmatrix}$$

จะได้ว่า

$$C^{*'} \sum C^{*} = \begin{bmatrix} 0.7071 & -0.7071 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7071 & -0.7071 \\ 0.5000 & 0.5000 & -0.5000 & -0.5000 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} 2.28571 & 1.14286 & 0.71429 & 1.28571 \\ 1.14286 & 0.85714 & 0.28571 & 0.28571 \\ 0.71429 & 0.28571 & 1.07143 & 0.92857 \\ 1.28571 & 0.28571 & 0.92857 & 4.50000 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.7071 & 0 & 0.5000 \\ -0.7071 & 0 & 0.5000 \\ 0 & 0.7071 & -0.5000 \\ 0 & -0.7071 & -0.5000 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.4286 & -0.2857 & 0.0000 \\ -0.2857 & 1.8571 & 1.0101 \\ 0.0000 & 1.0101 & 1.9286 \end{bmatrix}$$

$$(C^{*'} \sum C^{*})^2 = \begin{bmatrix} 0.2653 & -0.6530 & -0.2886 \\ -0.6530 & 4.5507 & 3.8239 \\ -0.2886 & 3.8239 & 4.7398 \end{bmatrix}$$

การคำนวณค่า V^*

$$V^* = \frac{(r-1)(n-1)}{2}\left\{\frac{(n-1)\text{trace}(C^{*'}\hat{\sum}C^*)^2}{\left[\text{trace}(C^{*'}\hat{\sum}C^*)\right]^2} - 1\right\}$$

$$\text{trace}(C^{*'}\hat{\sum}C^*)^2 \quad = \quad (0.2653)^2 + (4.5507)^2 + (4.7398)^2 \; = \; 9.556$$

$$\left[\text{trace}(C^{*'}\hat{\sum}C^*)\right]^2 \quad = \quad (0.4286 + 1.8571 + 1.9286)^2 \; = \; 17.760$$

$$V^* \quad = \quad \frac{(4-1)(8-1)}{2}\left\{\frac{(4-1)(9.5560)}{17.760} - 1\right\} \; = \; 6.45$$

$$V^*_{\alpha,(n-1),r} \quad = \quad V^*_{0.25,3,8} \quad = \quad 5.886$$

ดังนั้น $V^* > V^*_{0.25,3,8}$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี

ตารางผนวกที่ ก1 แสดงค่า Percentage Points of the Locally Best Invariant Test for Sphericity

		Numerator Degrees of Freedom (v1)										
n	α	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	0.25	1.873										
	0.15	1.954										
	0.05	1.995										
4	0.25	2.254	5.335									
	0.15	2.550	6.145									
	0.05	2.849	7.348									
5	0.25	2.414	5.540	9.745								
	0.15	2.866	6.519	11.191								
	0.05	3.454	8.165	13.856								
6	0.25	2.509	5.684	9.974	15.317							
	0.15	3.080	6.764	11.466	17.238							
	0.05	3.886	8.678	14.380	21.052							

ที่มา: Kirk (1995)

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

		Numerator Degrees of Freedom (v1)										
n	α	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	0.25	2.552	5.810	10.177	15.572	22.020						
	0.15	3.196	6.949	11.732	17.569	24.458						
	0.05	4.197	9.031	14.795	21.442	29.176						
8	0.25	2.578	5.886	10.319	15.770	22.265	29.696					
	0.15	3.268	7.048	11.890	17.794	24.750	32.591					
	0.05	4.412	9.254	14.994	21.732	29.573	38.268					
9	0.25	2.624	5.979	10.430	15.879	22.394	29.896	38.400				
	0.15	3.359	7.155	12.030	17.952	24.874	32.816	41.731				
	0.05	4.609	9.469	15.218	22.014	29.730	38.477	48.118				
10	0.25	2.630	6.040	10.536	16.024	22.581	30.055	38.552	48.093			
	0.15	3.387	7.230	12.168	18.083	25.095	32.971	41.972	51.835			
	0.05	4.735	9.613	15.318	22.139	29.932	38.597	48.344	59.198			

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

		Numerator Degrees of Freedom (v1)										
n	α	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	0.25	2.663	6.163	10.692	16.199	22.785	30.266	38.859	48.382	58.951	70.492	
	0.15	3.466	7.387	12.382	18.307	25.297	33.264	42.262	52.159	63.191	75.077	
	0.05	4.957	9.824	15.577	22.445	30.162	38.850	48.653	59.281	71.186	83.869	
14	0.25	2.671	6.227	10.788	16.307	22.941	30.415	39.093	48.623	59.264	70.720	83.362
	0.15	3.506	7.460	12.486	18.452	25.464	33.405	42.554	52.422	63.467	75.424	88.369
	0.05	5.094	9.954	15.784	22.566	30.388	39.153	48.988	59.566	71.409	84.035	97.762
16	0.25	2.701	6.264	10.832	16.459	22.960	30.588	39.138	48.816	59.466	70.959	83.603
	0.15	3.558	7.547	12.549	18.609	25.556	33.559	42.562	52.588	63.685	75.563	88.635
	0.05	5.219	10.117	15.953	22.722	30.529	39.181	49.070	59.627	71.504	84.094	97.814
18	0.25	2.698	6.316	10.931	16.508	23.094	30.674	39.360	48.882	59.457	71.165	83.661
	0.15	3.574	7.614	12.684	18.649	25.672	33.684	42.711	52.734	63.735	75.777	88.
	0.05	5.318	10.210	16.130	22.820	30.581	39.342	49.079	59.908	71.656	84.336	97.881

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

n	α	Numerator Degrees of Freedom (v1) 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20	0.25	2.703	6.349	10.972	16.564	23.149	30.788	39.440	48.927	59.643	71.308	83.789
	0.15	3.593	7.680	12.699	18.718	25.744	33.811	42.849	52.781	63.837	75.946	88.804
	0.05	5.354	10.249	16.128	22.946	30.694	39.436	49.182	59.960	71.726	84.480	98.114
30	0.25	2.723	6.455	11.103	16.783	23.400	31.015	39.671	49.358	59.895	71.578	84.285
	0.15	3.658	7.832	12.927	18.957	25.999	34.043	43.078	53.154	64.011	76.197	89.218
	0.05	5.581	10.530	16.390	23.171	30.930	39.705	49.398	60.092	71.706	84.684	98.228
40	0.25	2.750	6.489	11.185	16.817	23.521	31.185	39.842	49.483	60.136	71.766	84.482
	0.15	3.705	7.900	13.008	19.032	26.137	34.188	43.264	53.273	64.405	76.371	89.446
	0.05	5.678	10.633	16.490	23.306	31.008	39.825	49.529	60.276	72.043	84.550	98.413
60	0.25	2.752	6.520	11.230	19.925	23.615	31.239	39.911	49.662	60.281	71.841	84.586
	0.15	3.719	7.945	13.100	19.168	26.261	34.268	43.347	53.442	64.465	76.374	89.472
	0.05	5.746	10.760	16.625	23.415	31.174	39.879	49.561	60.335	72.002	84.680	98.397

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

		Numerator Degrees of Freedom (v1)										
n	α	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
80	0.25	2.757	6.551	11.286	16.976	23.689	31.334	40.004	49.734	60.348	72.049	84.650
	0.15	3.742	7.978	13.150	19.215	26.302	34.373	43.414	53.480	64.444	76.604	89.518
	0.05	5.825	10.805	16.695	23.460	31.186	39.941	49.655	60.269	71.917	84.775	98.292
100	0.25	2.762	6.562	11.302	17.007	23.710	31.386	40.111	49.741	60.365	72.086	84.655
	0.15	3.758	8.030	13.180	19.257	26.323	34.417	43.490	53.537	64.522	76.577	89.518
	0.05	5.871	10.888	16.729	23.532	31.234	40.107	49.662	60.362	71.967	84.618	98.342
∞	0.25	2.773	6.626	11.389	17.117	23.828	31.528	40.223	49.913	60.600	72.285	84.968
	0.15	3.794	8.115	13.288	19.406	26.498	34.574	43.640	53.700	64.755	76.807	89.857
	0.05	5.992	11.070	16.919	23.685	31.410	40.113	49.802	60.481	72.153	84.821	98.484

ภาคผนวก ข

โปรแกรม Matlab รุ่น R2006a ที่ใช้ในการวิจัย

กรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นสเฟียริซิตี

```
*****************************************************************************
          การทดสอบอำนาจการทดสอบ กรณี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวนเป็น 1
*****************************************************************************

clear all;
nrep=1000;
for i=1:nrep
RHO=0.3;
COV=0.3;
VAR=COV/RHO;
e11=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e12=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e13=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e14=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e15=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e16=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e17=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e18=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e19=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e110=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e21=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e22=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e23=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e24=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e25=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e26=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
```

```
e27=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e28=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e29=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e210=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e31=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e32=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e33=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e34=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e35=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e36=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e37=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e38=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e39=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e310=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e41=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e42=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e43=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e44=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e45=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e46=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e47=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e48=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e49=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e410=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
u1=2;
u2=4;
u3=6;
u4=8;
```

```
t1=-1;
t2=-1;
t3=1;
t4=1;
b1=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b2=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b3=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b4=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b5=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b6=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b7=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b8=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b9=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b10=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
x11=u1+t1+b1+e11;
x12=u1+t1+b2+e12;
x13=u1+t1+b3+e13;
x14=u1+t1+b4+e14;
x15=u1+t1+b5+e15;
x16=u1+t1+b6+e16;
x17=u1+t1+b7+e17;
x18=u1+t1+b8+e18;
x19=u1+t1+b9+e19;
x110=u1+t1+b10+e110;
x21=u2+t2+b1+e21;
x22=u2+t2+b2+e22;
x23=u2+t2+b3+e23;
x24=u2+t2+b4+e24;
```

```
x25=u2+t2+b5+e25;
x26=u2+t2+b6+e26;
x27=u2+t2+b7+e27;
x28=u2+t2+b8+e28;
x29=u2+t2+b9+e29;
x210=u2+t2+b10+e210;
x31=u3+t3+b1+e31;
x32=u3+t3+b2+e32;
x33=u3+t3+b3+e33;
x34=u3+t3+b4+e34;
x35=u3+t3+b5+e35;
x36=u3+t3+b6+e36;
x37=u3+t3+b7+e37;
x38=u3+t3+b8+e38;
x39=u3+t3+b9+e39;
x310=u3+t3+b10+e310;
x41=u4+t4+b1+e41;
x42=u4+t4+b2+e42;
x43=u4+t4+b3+e43;
x44=u4+t4+b4+e44;
x45=u4+t4+b5+e45;
x46=u4+t4+b6+e46;
x47=u4+t4+b7+e47;
x48=u4+t4+b8+e48;
x49=u4+t4+b9+e49;
x410=u4+t4+b10+e410;
X=[x11 x21 x31 x41,
   x12 x22 x32 x42,
```

```
  x13 x23 x33 x43,
  x14 x24 x34 x44,
  x15 x25 x35 x45,
  x16 x26 x36 x46,
  x17 x27 x37 x47,
  x18 x28 x38 x48,
  x19 x29 x39 x49,
  x110 x210 x310 x410,];
S=cov(X);
n=10;
r=4;
```

****

การทดสอบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 กรณี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวนเป็น 1

****

```
clear all;
nrep=1000;
for i=1:nrep
RHO=0.3;
COV=0.3;
VAR=COV/RHO;
e11=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e12=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e13=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e14=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e15=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e16=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
```

```
e17=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e18=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e19=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e110=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e21=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e22=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e23=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e24=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e25=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e26=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e27=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e28=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e29=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e210=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e31=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e32=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e33=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e34=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e35=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e36=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e37=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e38=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e39=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e310=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e41=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e42=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e43=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e44=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
```

```
e45=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e46=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e47=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e48=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e49=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
e410=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
u1=0;
u2=0;
u3=0;
u4=0;
t1=-1;
t2=-1;
t3=1;
t4=1;
b1=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b2=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b3=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b4=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b5=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b6=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b7=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b8=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b9=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
b10=0+sqrt(VAR)*randn(1,1);
x11=u1+t1+b1+e11;
x12=u1+t1+b2+e12;
x13=u1+t1+b3+e13;
x14=u1+t1+b4+e14;
```

```
x15=u1+t1+b5+e15;

x16=u1+t1+b6+e16;

x17=u1+t1+b7+e17;

x18=u1+t1+b8+e18;

x19=u1+t1+b9+e19;

x110=u1+t1+b10+e110;

x21=u2+t2+b1+e21;

x22=u2+t2+b2+e22;

x23=u2+t2+b3+e23;

x24=u2+t2+b4+e24;

x25=u2+t2+b5+e25;

x26=u2+t2+b6+e26;

x27=u2+t2+b7+e27;

x28=u2+t2+b8+e28;

x29=u2+t2+b9+e29;

x210=u2+t2+b10+e210;

x31=u3+t3+b1+e31;

x32=u3+t3+b2+e32;

x33=u3+t3+b3+e33;

x34=u3+t3+b4+e34;

x35=u3+t3+b5+e35;

x36=u3+t3+b6+e36;

x37=u3+t3+b7+e37;

x38=u3+t3+b8+e38;

x39=u3+t3+b9+e39;

x310=u3+t3+b10+e310;

x41=u4+t4+b1+e41;

x42=u4+t4+b2+e42;
```

```
x43=u4+t4+b3+e43;
x44=u4+t4+b4+e44;
x45=u4+t4+b5+e45;
x46=u4+t4+b6+e46;
x47=u4+t4+b7+e47;
x48=u4+t4+b8+e48;
x49=u4+t4+b9+e49;
x410=u4+t4+b10+e410;
X=[x11 x21 x31 x41,
   x12 x22 x32 x42,
   x13 x23 x33 x43,
   x14 x24 x34 x44,
   x15 x25 x35 x45,
   x16 x26 x36 x46,
   x17 x27 x37 x47,
   x18 x28 x38 x48,
   x19 x29 x39 x49,
   x110 x210 x310 x410,];
S=cov(X);
n=10;
r=4;
```

กรณีเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมไม่เป็นสเฟียริซิตี

****

การทดสอบอำนาจการทดสอบ กรณี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวนเป็น 1

****

```
clear all;
nrep=1000;
for i=1:nrep
RHO=0.3;
COV1=0.3;
COV2=1.5;
VAR1=COV1/RHO;
VAR2=COV2/RHO;
e11=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e12=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e13=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e14=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e15=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e16=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e17=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e18=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e19=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e110=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e21=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e22=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e23=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e24=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
```

```
e25=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e26=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e27=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e28=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e29=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e210=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e31=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e32=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e33=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e34=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e35=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e36=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e37=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e38=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e39=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e310=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e41=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e42=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e43=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e44=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e45=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e46=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e47=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e48=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e49=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e410=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
u1=2;
u2=4;
```

```
u3=6;
u4=8;
t1=-1;
t2=-1;
t3=1;
t4=1;
b1=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
b2=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
b3=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
b4=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
b5=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
b6=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
b7=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
b8=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
b9=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
b10=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
x11=u1+t1+b1+e11;
x12=u1+t1+b2+e12;
x13=u1+t1+b3+e13;
x14=u1+t1+b4+e14;
x15=u1+t1+b5+e15;
x16=u1+t1+b6+e16;
x17=u1+t1+b7+e17;
x18=u1+t1+b8+e18;
x19=u1+t1+b9+e19;
x110=u1+t1+b10+e110;
x21=u2+t2+b1+e21;
x22=u2+t2+b2+e22;
```

x23=u2+t2+b3+e23;

x24=u2+t2+b4+e24;

x25=u2+t2+b5+e25;

x26=u2+t2+b6+e26;

x27=u2+t2+b7+e27;

x28=u2+t2+b8+e28;

x29=u2+t2+b9+e29;

x210=u2+t2+b10+e210;

x31=u3+t3+b1+e31;

x32=u3+t3+b2+e32;

x33=u3+t3+b3+e33;

x34=u3+t3+b4+e34;

x35=u3+t3+b5+e35;

x36=u3+t3+b6+e36;

x37=u3+t3+b7+e37;

x38=u3+t3+b8+e38;

x39=u3+t3+b9+e39;

x310=u3+t3+b10+e310;

x41=u4+t4+b1+e41;

x42=u4+t4+b2+e42;

x43=u4+t4+b3+e43;

x44=u4+t4+b4+e44;

x45=u4+t4+b5+e45;

x46=u4+t4+b6+e46;

x47=u4+t4+b7+e47;

x48=u4+t4+b8+e48;

x49=u4+t4+b9+e49;

x410=u4+t4+b10+e410;

```
X=[x11 x21 x31 x41,
  x12 x22 x32 x42,
  x13 x23 x33 x43,
  x14 x24 x34 x44,
  x15 x25 x35 x45,
  x16 x26 x36 x46,
  x17 x27 x37 x47,
  x18 x28 x38 x48,
  x19 x29 x39 x49,
  x110 x210 x310 x410,];
S=cov(X);
n=10;
r=4;
```

****

การทดสอบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 กรณี 4 ทรีทเมนต์ ความแปรปรวนเป็น 1

****

```
clear all;
nrep=1000;
for i=1:nrep
RHO=0.3;
COV1=0.3;
COV2=1.5;
VAR1=COV1/RHO;
VAR2=COV2/RHO;
e11=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e12=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
```

```
e13=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e14=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e15=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e16=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e17=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e18=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e19=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e110=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e21=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e22=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e23=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e24=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e25=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e26=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e27=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e28=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e29=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e210=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e31=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e32=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e33=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e34=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e35=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e36=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e37=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e38=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e39=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
e310=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
```

```
e41=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e42=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e43=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e44=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e45=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e46=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e47=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e48=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e49=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
e410=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
u1=0;
u2=0;
u3=0;
u4=0;
t1=-1;
t2=-1;
t3=1;
t4=1;
b1=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
b2=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
b3=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
b4=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
b5=0+sqrt(VAR1)*randn(1,1);
b6=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
b7=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
b8=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
b9=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
b10=0+sqrt(VAR2)*randn(1,1);
```

x11=u1+t1+b1+e11;

x12=u1+t1+b2+e12;

x13=u1+t1+b3+e13;

x14=u1+t1+b4+e14;

x15=u1+t1+b5+e15;

x16=u1+t1+b6+e16;

x17=u1+t1+b7+e17;

x18=u1+t1+b8+e18;

x19=u1+t1+b9+e19;

x110=u1+t1+b10+e110;

x21=u2+t2+b1+e21;

x22=u2+t2+b2+e22;

x23=u2+t2+b3+e23;

x24=u2+t2+b4+e24;

x25=u2+t2+b5+e25;

x26=u2+t2+b6+e26;

x27=u2+t2+b7+e27;

x28=u2+t2+b8+e28;

x29=u2+t2+b9+e29;

x210=u2+t2+b10+e210;

x31=u3+t3+b1+e31;

x32=u3+t3+b2+e32;

x33=u3+t3+b3+e33;

x34=u3+t3+b4+e34;

x35=u3+t3+b5+e35;

x36=u3+t3+b6+e36;

x37=u3+t3+b7+e37;

x38=u3+t3+b8+e38;

```
x39=u3+t3+b9+e39;
x310=u3+t3+b10+e310;
x41=u4+t4+b1+e41;
x42=u4+t4+b2+e42;
x43=u4+t4+b3+e43;
x44=u4+t4+b4+e44;
x45=u4+t4+b5+e45;
x46=u4+t4+b6+e46;
x47=u4+t4+b7+e47;
x48=u4+t4+b8+e48;
x49=u4+t4+b9+e49;
x410=u4+t4+b10+e410;
X=[x11 x21 x31 x41,
   x12 x22 x32 x42,
   x13 x23 x33 x43,
   x14 x24 x34 x44,
   x15 x25 x35 x45,
   x16 x26 x36 x46,
   x17 x27 x37 x47,
   x18 x28 x38 x48,
   x19 x29 x39 x49,
   x110 x210 x310 x410,];
S=cov(X);
n=10;
r=4;
```

****

การทดสอบสเฟียริซิตี

****

```
C=[1 -1 0 0;0 0 1 -1;.5 .5 -.5 -.5];
L=sqrt(diag(C*C'));
Cc=[C(1,:)/L(1,:);C(2,:)/L(2,:);C(3,:)/L(3,:)];
O=Cc*S*Cc';
Tra=trace(O^2);
Tra_2=(trace(O))^2;
V=((n-1)*(r-1)/2)*((r-1)*Tra/Tra_2-1);
```

****

สถิติทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนหนึ่งตัวแปร

****

```
T=sum(X);
Y=sum(X,2);
total=sum(sum(X));
N=n*r;
 SSTr=sum(T.*T)/n-(total.^2)/N;
 SSsub=sum(Y.*Y)/r-(total.^2)/N;
 SST=sum(sum(X.*X))-(total.^2)/N;
 SSE=SST-SSTr-SSsub;
 MSTr=SSTr/(r-1);
 MSsub=SSsub/(n-1);
 MSE=SSE/((r-1)*(n-1));
 F=MSTr./MSE;
  Smaba=sum(sum(S))/r^2;
```

```
Smabaij=sum(diag(S))/r;
Smabaidot=sum(S,2)/r;
Smaij_2=sum(sum(S.*S));
Smabaidot_2=sum(Smabaidot.^2);
Smaba_2=Smaba^2;
ep=(r^2*(Smabaij-Smaba)^2)/((r-1)*(Smaij_2-2*r*Smabaidot_2+r^2*Smaba_2));
```

****

สถิติทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบพหุ

****

```
Y_ba=T/n;
TT=n*(C*Y_ba')'*inv(C*S*C')*(C*Y_ba');
```

****

สถิติทดสอบตัวแบบพหุระดับ

****

```
nba=N/r;

Yba=mean(mean(X));

Stotal=(sum(sum((X-Yba).*(X-Yba))))/(N-1);

Ybaidot=mean(X);

Sbetween=sum((Ybaidot-Yba).*(Ybaidot-Yba))/(r-1);

Swithin=(Stotal-((nba*(r-1))*Sbetween/(N-1)))*(N-1)/(N-r);

Ti=Sbetween-(Swithin/nba);

Rho=Ti/(Ti+Swithin);

Neff=N/(1+(r-1)*RHO);

SE=sqrt(Stotal)/sqrt(Neff);

t=Yba/SE;
```

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวจิตรลดา ชุมภูทอง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	15 กันยายน 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (คณิตศาสตร์) มหาวิทยาลัยทักษิณ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ครู คศ. 1
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนไทยรัฐวิทยา ๖๗ (บ้านนาพรุ) อ. สุขสำราญ จ. ระนอง
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-