การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบสำหรับตัวแบบแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่มเมื่อความคลาดเคลื่อนสุ่มมีการแจกแจงปัวซอง

นางสาวนันทรัตน์ ด้วงพจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON OF TEST STATISTICS EFFICIENCY FOR EXPERIMENTAL DESIGN MODEL WITH TWO TREATMENT CROSSED FACTORS WITH POISSON DISTRIBUTION RANDOM ERRORS

Miss.Nuntarut Doungpot

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Statistics Program in Statistics
Department of Statistics
Faculty of Commerce and Accountancy
Chulalongkorn University
Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบสำหรับตัวแบบแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่มเมื่อความคลาดเคลื่อนสุ่มมีการแจกแจงปัวซอง
โดย	นางสาวนันทรัตน์ ด้วงพจน์
สาขาวิชา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรณพ ตันละมัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ผกาวดี ศิริรังษี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นันทรัตน์ ด้วงพจน์ : การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบสำหรับตัวแบบแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่มเมื่อความคลาดเคลื่อนสุ่มมีการแจกแจงปัวซอง. (A COMPARISON OF TEST STATISTICS EFFICIENCY FOR EXPERIMENTAL DESIGN MODEL WITH TWO TREATMENT CROSSED FACTORS WITH POISSON DISTRIBUTION RANDOM ERRORS) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา, 136 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างอิทธิพลร่วมของปัจจัยทดลองในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่มที่มีอิทธิพลของปัจจัยทดลองคงที่ โดยใช้ตัวสถิติทดสอบ 4 ตัว คือ ตัวสถิติทดสอบเอฟ ตัวสถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ ตัวสถิติทดสอบ ART และตัวสถิติทดสอบ MART ในงานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดให้ความคลาดเคลื่อน (ε_{ijk}) เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปัวซอง ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันเท่ากับ 10% 13.33% และ 20% ทำการศึกษาภายใต้สถานการณ์ทดลองต่างๆ ดังนี้ 1) $a=2,b=2$ 2) $a=3,b=3$ 3) $a=4,b=3$ โดยที่ $n=5$ และ 10 และกำหนดระดับนัยสำคัญ คือ 0.01 ,0.05 และ 0.10 โดยศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล กระทำซ้ำ 400 ครั้งในแต่ละสถานการณ์ ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

ตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ในทุกสถานการณ์

2. อำนาจการทดสอบ

ค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว โดยทั่วไปพบว่า เมื่อความแตกต่างระหว่างอิทธิพลร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง ตัวสถิติทดสอบเอฟและตัวสถิติทดสอบ ART จะให้ค่าอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกันและมีค่าอำนาจการทดสอบสูงกว่าตัวสถิติทดสอบ MART และสถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ แต่ตัวสถิติทดสอบ MART ก็มีค่าอำนาจการทดสอบต่ำกว่าตัวสถิติทดสอบ ART ไม่มากนัก และตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว มีแนวโน้มที่จะให้ค่าอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน และมีค่าเข้าใกล้ 1 เมื่อความแตกต่างระหว่างอิทธิพลร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก นอกจากนี้ยังพบว่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จะแปรผันตามระดับของปัจจัยขนาดหน่วยทดลอง ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของปัจจัยทดลองและระดับนัยสำคัญ

ภาควิชา สถิติ
สาขาวิชา สถิติ
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต นันทรัตน์ ด้วงพจน์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

4882199626 : MAJORS STATISTICS

KEY WORD: TYPE I ERROR / POWER OF THE TEST / F-TEST / RANK TRANSFORM / ALIGNED RANK TRANSFORM / FIXED EFFECT

NUNTARUT DOUNGPOT : A COMPARISON OF TEST STATISTICS EFFICIENCY FOR EXPERIMENTAL DESIGN MODEL WITH TWO TREATMENT CROSSED FACTORS WITH POISSON DISTRIBUTION RANDOM ERRORS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. SUPOL DURONGWATANA,Ph.D., 136 pp.

The objective of this thesis is to study and compare the efficiency of test statistics ; F-test, Rank Transform test, ART test and MART test; for two treatment factor design; treatment factor A and treatment factor B, with crossed classification in CRD model. The distribution of error is Poisson distribution, The coefficient of variation (C.V.%) is specified at 10%, 13.33% and 20%. The data were generated through the Monte Carlo simulation technique by S-plus 2000, the data were generated having different situation base on number of levels for treatment factor A (a), number of levels for treatment factor B (b) as follow : 1) $a=2,b=2$ 2) $a=3,b=3$ 3) $a=4,b=3$ when n = 5,10 respectively. The significance levels for this study are 0.01, 0.05 and 0.10. The comparison criterion is ability to control the probability of type I error and power of the test. The results of this thesis can be summarized as follows:

1. Probability of type I error

In all situations, all test statistics can completely control the probability of type I error.

2. Power of the test

When the difference of interaction effect is moderate, it is formal that the F-test provides power of the test close to one from the ART test, while the MART test and the Rank Transform test provides the lower power respectively. The MART test and the ART test give a small difference of power of the test. When the difference of interaction effect is high, the power of the test of all test statistics tend to be equal and close to; approximately to 1. Furthermore, power of the test of all test statistics vary according to the number of treatment factors, the number of replications, the level of difference treatment effects and the levels of significance, respectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Statistics
Field of Study : Statistics
Academic Year : 2007

Student's Signature : Nuntarut Doungpot
Advisor's Signature : .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษา ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ผกาวดี ศิริรังษี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์ ในฐานะประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาสถิติ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา และประสิทธิประสาทความรู้ให้แก่ผู้เขียนจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การส่งเสริม สนับสนุนด้านการทุนการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา จึงขอกราบขอบคุณมา ณ ที่นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 สมมติฐานของการวิจัย..... 3

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น..... 3

1.5 ขอบเขตของการวิจัย..... 4

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... 6

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 7

2 ระเบียบวิธีการวิจัย..... 8

2.1 แผนการทดลองที่จัดทรีตเมนต์แบบปัจจัยทดลองพหุ..... 8

2.2 สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ..... 11

2.3 สถิติทดสอบ ART..... 13

2.4 สถิติทดสอบ MART..... 16

2.5 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสถิติทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว..... 19

3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 25

3.1 เทคนิคมอนติคาร์โล..... 25

3.2 แผนการดำเนินการวิจัย..... 26

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย..... 27

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรม..... 31

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 33

4.1 ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบตัวสถิติทดสอบ โดยพิจารณาจาก
ค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1..... 34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

4.2 ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบตัวสถิติทดสอบ โดยพิจารณาจากอำนาจการทดสอบ..... 55
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 98
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 98
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 100
รายการอ้างอิง..... 101
ภาคผนวก..... 102
ภาคผนวก ก..... 103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 136

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 แสดงลักษณะข้อมูลสำหรับตัวแบบในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม เมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลองเป็นผลกระทบคงที่..... 9

2.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากตารางที่ 2.1 10

2.3 แสดงลักษณะข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม ด้วยสถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ 12

2.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากตารางที่ 2.3 12

2.5 แสดงลักษณะข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม ด้วยสถิติทดสอบ ART..... 14

2.6 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากตารางที่ 2.5 15

2.7 แสดงลักษณะข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม ด้วยสถิติทดสอบ MART..... 17

2.8 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากตารางที่ 2.7..... 18

4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อยและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อย 37

4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อยและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลาง..... 39

4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อยและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมาก..... 41

4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อย 43

ตาราง หน้า

4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลาง..... 45

4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมาก..... 47

4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมากและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อย..... 49

4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมากและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลาง..... 51

4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมากและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมาก..... 53

4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันน้อย , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง..... 61

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง หน้า

4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันน้อย , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง..... 63

4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันน้อย , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง..... 65

4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันปานกลาง , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง..... 67

4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันปานกลาง , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง..... 69

4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันปานกลาง , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง..... 71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง หน้า

4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันมาก , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง..... 73

4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันมาก , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง..... 75

4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันมาก , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง..... 77

4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันน้อย , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก..... 79

4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันน้อย , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก..... 81

4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันน้อย , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก..... 83

ตาราง หน้า

4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันปานกลาง , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก..... 85

4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันปานกลาง , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก..... 87

4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันปานกลาง , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก..... 89

4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันมาก , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันน้อยละผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก..... 91

4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันมาก , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก..... 93

4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A แตกต่างกันมาก , ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก 95

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่า สถิติเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับงานวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งจะพบว่านักวิจัยและผู้ที่เกี่ยวข้องเกือบทุกสาขา เช่น ทางด้านชีววิทยา ด้านการเกษตร ด้านการแพทย์ เป็นต้น ได้นำความรู้ด้านการวางแผนการทดลองไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยในสาขาของตน เพื่อใช้ในการหาคำตอบสำหรับการตัดสินใจที่จะยอมรับหรือไม่ยอมรับสมมติฐานที่กำหนด และพบว่าแผนการทดลองที่ผู้วิจัยในสาขาต่างๆนิยมใช้ในปัจจุบัน คือ การทดลองปัจจัยทดลองพหุ (Factorial Experiment) เนื่องจากเป็นการทดลองที่สามารถทดสอบปัจจัยได้หลายปัจจัยในการทดลองเดียว จึงทำให้มีความสะดวก มีความแม่นยำสูงและใช้หน่วยทดลองน้อยกว่าการทดลองเพียงปัจจัยเดียวหลายๆครั้ง อีกทั้งยังสามารถทดสอบผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยทดลองต่างๆได้ ซึ่งทำให้ขอบเขตการอนุมานผลสรุปของการทดลองเป็นไปได้อย่างกว้างขวาง

ในการทดสอบสมมติฐานในงานวิจัยเชิงทดลองมักจะทดสอบเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างผลกระทบของวิธีการทดลอง โดยนิยมใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ด้วยตัวสถิติทดสอบเอฟ (F-Test) ในการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งมีข้อตกลงเบื้องต้น คือ ค่าสังเกตถูกสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ ความแปรปรวนของประชากรในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากันและค่าสังเกตถูกสุ่มมาจากประชากรอย่างเป็นอิสระกัน

ผู้วิจัยส่วนใหญ่มักจะเผชิญกับปัญหาข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการทดสอบ คือ ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ หากผู้วิจัยนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้จะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือน้อยลง ในกรณีเช่นนี้อาจแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ 2 วิธี คือ

1. ทำการแปลงข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น
2. พัฒนาเทคนิคขึ้นใหม่หรือใช้สถิติที่ไม่ใช้พารามิเตอร์แทน ซึ่งไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของการแจกแจงของข้อมูล ส่วนใหญ่แล้วมักทำการแปลงข้อมูลหรือค่าสังเกตเป็นอันดับของค่าสังเกตนั้นๆก่อนแล้วจึงนำค่าอันดับไปทดสอบ

ในงานวิจัยทางด้านกีฏวิทยาหรือชีววิทยานั้นข้อมูลส่วนใหญ่เป็นข้อมูลที่ได้จากการนับ เช่น จำนวนแมลงที่ดักได้จากกับดัก จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียบนจานเลี้ยงเชื้อ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวซอง ดังนั้นถ้าเราจะทำการทดสอบสมมติฐานด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนก็จะเป็นการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นของการทดสอบได้ ดังนั้น

ถ้าเราจะทำการแปลงข้อมูลเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวก็ควรทำการแปลงข้อมูลด้วย Square Root หรือ Logarithm แม้ว่าวิธีการแปลงข้อมูลจะใช้งานได้ดี แต่ในบางสถานการณ์อาจจะเกิดปัญหาขึ้นเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยหลายปัจจัย จากปัญหาดังกล่าวนี้ Conover และ Iman (1981) ได้เสนอวิธีการทดสอบซึ่งรวมวิธีการของสถิติที่ไม่ใช้พารามิเตอร์และสถิติที่ใช้พารามิเตอร์เข้าด้วยกัน โดยทำการให้อันดับกับข้อมูลและนำอันดับของข้อมูลมาทดสอบด้วยวิธีการทดสอบของสถิติที่ใช้พารามิเตอร์ เรียกว่า สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ (Rank Transformation : RT) ซึ่งประยุกต์ใช้งานได้ง่าย มีความคงทนและมีประสิทธิภาพ โดยทำการศึกษาในแผนแบบทดลองขนาดเล็กและมีค่าสังเกตน้อยในแต่ละเซลล์ (จำนวนซ้ำ)

ต่อมา Blair (1987),Thompson และ Amman (1990) กล่าวว่าตัวสถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดผลกระทบร่วมเมื่อไม่มีผลกระทบร่วมอยู่ในข้อมูลเริ่มต้น นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีความคงทนและมีประสิทธิภาพต่ำในบางสถานการณ์ โดยมีประสิทธิภาพต่ำสุดเมื่อขนาดตัวอย่างเป็น 5 สำหรับการทดสอบผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองในแผนแบบทดลองปัจจัยทดลองพหุนั้น ได้มีนักวิจัยหลายท่านทำการศึกษาอย่างต่อเนื่อง เริ่มจาก Puri และ Sen ได้เสนอแนวทางการทดสอบผลกระทบร่วมด้วยตัวสถิติทดสอบ Aligned Rank Tests แต่เนื่องจากวิธีดังกล่าวไม่สามารถประยุกต์ได้กับทุกสถานการณ์โดยเฉพาะเมื่อขนาดตัวอย่างมีขนาดเล็ก จึงส่งผลให้อัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 มีลักษณะกระจัดกระจาย ดังนั้น Salter และ Fawcett (1984) และ Sawilosky (1990) ได้ทำการปรับปรุงตัวสถิติทดสอบของ Puri และ Sen ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการเสนอตัวสถิติทดสอบ ART (Aligned Rank Transformation) ซึ่งนำเสนอการทดสอบโดยการปรับข้อมูลโดยอาจจะใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือค่ามัธยฐานเป็นตัวปรับข้อมูล จากนั้นจึงทำการแปลงข้อมูลที่ปรับแก้แล้วนั้นให้เป็นอันดับแล้วใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนมาวิเคราะห์ตามปกติ โดยนักสถิติที่กล่าวมาแล้วเชื่อว่าตัวสถิติทดสอบ ART นี้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทดสอบผลกระทบร่วมเมื่อข้อมูลเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการทดสอบ และยังคงมีประสิทธิภาพแม้ว่าข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

จากปัญหาต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ประกอบกับยังไม่มีหลักฐานและผลสรุปที่เพียงพอเกี่ยวกับการเลือกใช้สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ สถิติทดสอบ ART และสถิติทดสอบ MART ภายใต้ลักษณะการแจกแจงความคลาดเคลื่อนสุ่มแบบปัวซอง ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาความแกร่ง (Robustness) และเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบความแตกต่างระหว่างผลกระทบของวิธีการทดลอง เมื่อข้อมูลได้จากแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม โดยความแกร่งนี้พิจารณาได้จากการที่ตัวสถิติทดสอบนั้นสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I Error) เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ต้องการเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบของตัวสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองเมื่อมีและไม่มีผลกระทบหลักสำหรับตัวแบบแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม เมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลองคงที่ โดยใช้ตัวสถิติทดสอบดังนี้

1. สถิติทดสอบเอฟ (F-Test)
2. สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ (Rank Transformation)
3. สถิติทดสอบ ART
4. สถิติทดสอบ MART

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

เมื่อความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปัวซอง ประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบเอฟและตัวสถิติทดสอบ ART ไม่แตกต่างกัน

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม ซึ่งเป็นตัวแบบผลกระทบคงที่สมดุลย์ (Fixed Effect Model) ที่มีผลกระทบร่วม(Interaction Effect) โดยมีตัวแบบเชิงสถิติ คือ

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad ; \quad \begin{matrix} i = 1,2,...,a \\ j = 1,2,...,b \\ k = 1,2,...,n \end{matrix}$$

เมื่อ Y_{ijk} = ค่าสังเกตจากหน่วยทดลองตัวที่ k ที่เกิดจากผลกระทบระดับที่ i ของปัจจัย A และระดับที่ j ของปัจจัย B

μ = ค่าเฉลี่ยรวมของประชากร

τ_i = ผลกระทบระดับที่ i ของปัจจัย A

β_j = ผลกระทบระดับที่ j ของปัจจัย B

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$(\tau\beta)_{ij}$ = ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย A ระดับที่ i กับปัจจัย B ระดับที่ j

ε_{ijk} = ความคลาดเคลื่อนสุ่มที่ k ของการทดลองระดับที่ i ของปัจจัย A และระดับที่ j ของปัจจัย B

1.4.2. แผนแบบทดลองที่ใช้สำหรับจัดหน่วยทดลองให้กับปัจจัยทดลอง คือ แผนแบบทดลองสุ่มตลอด (Completely Randomized Design : CRD)

1.4.3. ในการศึกษานี้กำหนดให้ τ_i , β_j และ $(\tau\beta)_{ij}$ เป็นผลกระทบแบบคงที่ จะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^{a}\tau_i = 0 \ , \ \sum_{j=1}^{b}\beta_j = 0 \ , \ \sum_{i=1}^{a}(\tau\beta)_{ij} = 0 \ \text{ และ } \ \sum_{j=1}^{b}(\tau\beta)_{ij} = 0$$

1.4.4 ความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปัวซอง

ฟังก์ชันการแจกแจงคือ

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^x}{x!}, x = 0,1,2,...$$

ค่าคาดหวัง $E(X) = \mu = \lambda$

ความแปรปรวน $V(X) = \sigma^2 = \lambda$

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ศึกษาถึงความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I Error) และเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบ (Power of the test) ของตัวสถิติทดสอบ เมื่อข้อมูลได้มาจากแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่มที่มีผลกระทบร่วม (Interaction Effect) ภายใต้การแจกแจงของความคลาดเคลื่อนแบบปัวซอง

1.5.2 กำหนดให้ผลกระทบของปัจจัยทดลองที่นำมาศึกษาคงที่

1.5.3 กำหนดระดับของปัจจัยทดลองในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่มมีขนาด 2×2 , 3×3 และ 4×3

1.5.4 กำหนดขนาดหน่วยทดลองในแต่ละวิธีการทดลองเท่ากัน คือ $n = 5$ และ 10

1.5.5 กำหนดให้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละวิธีทดลองเท่ากันทุกกลุ่ม (μ) เท่ากับ 30

1.5.6 กำหนดสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation : C.V.) ในระดับต่างๆ ดังนี้ 10%, 13.33% และ 20%

1.5.7 กำหนดระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบ คือ $\alpha = 0.01, 0.05$ และ 0.10

1.5.8 สร้างผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของวิธีการทดลองให้แตกต่างกัน

1.5.8.1 สร้างผลกระทบของปัจจัยทดลอง A ให้แตกต่างกัน โดยพิจารณา $\sum_{i=1}^{a}\tau_i = 0$ และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนของปัจจัยทดลองหลัก A เป็นตัวกำหนด โดยที่

$$\Phi_a = \sqrt{\frac{nb\sum_{i=1}^{a}\tau_i^2}{a\sigma_e^2}}$$

1.5.8.2 สร้างผลกระทบของปัจจัยทดลอง B ให้แตกต่างกัน โดยพิจารณา $\sum_{j=1}^{b}\beta_j = 0$ และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนของปัจจัยทดลอง B เป็นตัวกำหนด โดยที่

$$\Phi_b = \sqrt{\frac{na\sum_{j=1}^{b}\beta_j^2}{b\sigma_e^2}}$$

1.5.8.3 สร้างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองให้แตกต่างกัน โดยพิจารณา $\sum_{i=1}^{a}(\tau\beta)_{ij} = 0$ และ $\sum_{j=1}^{b}(\tau\beta)_{ij} = 0$ และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนของปัจจัยทดลองร่วมเป็นตัวกำหนด โดยที่

$$\Phi_{ab} = \sqrt{\frac{n\sum_{i,j=1}^{a,b}(\tau\beta)_{ij}^2}{ab\sigma_e^2}}$$

เมื่อ σ_e^2 คือค่าความแปรปรวนของประชากร k กลุ่ม

ซึ่งจะกำหนดกลุ่มความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองเป็น 3 ระดับดังนี้

- ความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองมีความแตกต่างกันน้อย ค่า Φ_a, Φ_b และ Φ_{ab} อยู่ในช่วง [0,1.5)
- ความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองมีความแตกต่างกันปานกลาง ค่า Φ_a, Φ_b และ Φ_{ab} อยู่ในช่วง [1.5,3)
- ความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองมีความแตกต่างกันมาก ค่า Φ_a, Φ_b และ Φ_{ab} มากกว่า 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5.9 ในการวิจัยครั้งนี้สร้างแบบจำลองข้อมูลโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลซีมูเลชั่น (Monte Carlo Simulation) เขียนด้วยโปรแกรมภาษา S-plus 2000 โดยมีจำนวนการทำซ้ำในแต่ละการทดลองเท่ากับ 400 ครั้ง

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1 ปัจจัย (Factor) หมายถึง ตัวแปรอิสระที่กำลังศึกษาว่าสัมพันธ์หรือมีผลกระทบต่อตัวแปรตามหรือไม่

1.6.2 หน่วยทดลอง (Experimental Unit) หมายถึง หน่วยหรือกลุ่มของหน่วยที่ได้รับวิธีการทดลอง (Treatment) อย่างเดียวกัน กล่าวคือหน่วยทดลองจัดเป็นหน่วยที่ใหญ่ที่สุดที่ได้รับวิธีการทดลอง

1.6.3 ระดับของปัจจัย (Factor Level) หมายถึง ประเภทต่างๆของปัจจัยหรือตัวแปรอิสระที่กำลังศึกษาอยู่

1.6.4 วิธีทดลองประสม (Treatment Combination) หมายถึง สิ่งทดลองที่เกิดจากการนำปัจจัทดลองตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปมาใช้ร่วมกัน

1.6.5 ผลกระทบหลัก (Main effects) หมายถึง ผลกระทบของแต่ละปัจจัยทดลอง เช่น ผลกระทบหลักของปัจจัยทดลอง A จะหมายถึงความแตกต่างระหว่างระดับของปัจจัยทดลอง A

1.6.6 ผลกระทบร่วม (Interaction effects) หมายถึง ผลกระทบของปัจจัยทดลองตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ซึ่งเกิดร่วมกันหรือมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อกัน

1.6.7 ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I Error) หมายถึง ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานว่าง (Null Hypothesis) เมื่อสมมติฐานว่างเป็นจริง

1.6.8 อำนาจการทดสอบ (Power of the Test) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่จะปฏิเสธสมมติฐานว่างเมื่อสมมติฐานว่างเป็นเท็จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เพื่อทราบและเป็นแนวทางให้ผู้วิจัยเลือกใช้ตัวสถิติทดสอบที่เหมาะสม เมื่อพบว่าข้อมูลมีลักษณะไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม โดยในที่นี้ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปัวซอง

1.7.2 เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบว่าแตกต่างกันอย่างไรและความแตกต่างเหล่านั้นจะยังคงเดิมหรือไม่เมื่อขนาดหน่วยทดลอง ความแตกต่างระหว่างผลกระทบหลักและ/หรือความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองเปลี่ยนแปลงไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
แนวคิดและทฤษฎี

การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบ ได้แก่ สถิติทดสอบเอฟ, สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ, สถิติทดสอบ *ART* และสถิติทดสอบ *MART* ภายใต้ลักษณะการแจกแจงของประชากรและสถานการณ์ต่างๆ ดังได้กล่าวในขอบเขตของการวิจัยในบทที่ 1

ในบทนี้จะกล่าวถึงตัวแบบแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่มและตัวสถิติทดสอบแต่ละตัว ดังนี้

2.1 แผนการทดลองที่จัดวิธีทดลองแบบปัจจัยทดลองพหุ (Factorial Experiment)

เป็นการทดลองที่นำปัจจัยทดลองตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปมาทำการทดสอบในการทดลองเดียว เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยทดลองต่างๆ โดยในแต่ละปัจจัยทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายระดับ ซึ่งที่ระดับของปัจจัยทดลองหนึ่งอาจมีผลกระทบต่อระดับของอีกปัจจัยทดลองหนึ่งเท่ากันหรือแตกต่างกันได้ ถ้าระดับของปัจจัยทดลองหนึ่งมีผลกระทบต่อระดับของอีกปัจจัยลองหนึ่งแตกต่างกันจะเรียกว่า ผลกระทบร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยทดลอง

แต่เนื่องจากการทดลองปัจจัยทดลองพหุนั้นไม่ใช่แผนแบบทดลอง แต่เป็นเพียงการจัดวิธีทดลองสำหรับใช้ในการทดลองใหม่เท่านั้น ดังนั้นเมื่อเรามีวิธีทดลองสำหรับกำหนดให้กับหน่วยทดลองแล้วก็จะทำการทดลองโดยใช้แผนแบบทดลองแบบต่างๆ เช่น แผนแบบทดลองสุ่มตลอด แผนแบบทดลองสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ แต่ทั้งนี้ก็ควรจะคำนึงถึงลักษณะของหน่วยทดลองด้วย ในการกำหนดวิธีทดลองให้กับหน่วยทดลองนั้นพบว่าในแต่ละวิธีทดลองที่เกิดขึ้นเป็นการรวมกันระหว่างระดับต่างๆของปัจจัยทดลองทั้งหมดที่มีอยู่ในการทดลอง และเรียกวิธีทดลองเหล่านี้ว่า วิธีทดลองประสม (Treatment combination) ซึ่งอาจจะเรียกสั้นๆว่า วิธีทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองนั้นเป็นการศึกษาถึงผลกระทบร่วมของปัจจัย 2 ปัจจัยและศึกษาผลกระทบของแต่ละปัจจัย โดยการทดลองแบบ 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่มที่ใช้แผนแบบทดลองสุ่มตลอด มีลักษณะดังนี้

- ประกอบด้วยปัจจัย A จำนวน a ระดับและปัจจัย B จำนวน b ระดับ ดังนั้นจะมีจำนวนวิธีทดลองประสมทั้งหมด ab วิธีทดลอง
- แต่ละวิธีทดลองมีการทำซ้ำ n ซ้ำ ดังนั้นจะต้องใช้หน่วยทดลองที่เหมือน ๆ กัน จำนวนทั้งหมด abn หน่วย

- มีการสุ่มจัดวิธีทดลองให้กับหน่วยทดลอง

ตัวแบบเชิงสถิติสำหรับแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม เมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลองทั้ง 2 ปัจจัยเป็นผลกระทบคงที่ เป็นดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad ; \quad \begin{matrix} i = 1,2,...,a \\ j = 1,2,...,b \\ k = 1,2,...,n \end{matrix}$$

เมื่อ Y_{ijk} คือ ค่าสังเกตตัวที่ k ระดับที่ i ของปัจจัย A และระดับที่ j ของปัจจัย B

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของประชากร

τ_i คือ ผลกระทบระดับที่ i ของปัจจัย A

β_j คือ ผลกระทบระดับที่ j ของปัจจัย B

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ ผลกระทบร่วมระหว่างระดับที่ i ของปัจจัย A และระดับที่ j ของปัจจัย B

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่มของค่าสังเกตที่ k ระดับที่ i ของปัจจัย A และระดับที่ j ของปัจจัย B

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะข้อมูลสำหรับตัวแบบในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม เมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลองเป็นผลกระทบคงที่

ปัจจัย A	ปัจจัย B $(j = 1,2,...,b)$				ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
$(i = 1,2,...,a)$	1	2	…	b		
1	$y_{111},,\ldots,y_{11n}$	$y_{121},\ldots,y_{12n}$		$y_{1b1},\ldots,y_{1bn}$	$y_{1..}$	$\bar{y}_{1..}$
2	$y_{211},\ldots,y_{21n}$	$y_{221},\ldots y_{22n}$		$y_{2b1},\ldots,y_{2bn}$	$y_{2..}$	$\bar{y}_{2..}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
a	$y_{a11},\ldots,y_{a1n}$	$y_{221},\ldots y_{a2n}$	…	$Y_{ab1},\ldots,Y_{abn}$	$y_{a..}$	$\bar{y}_{a..}$
ผลรวม	$y_{.1.}$	$y_{.2.}$	…	$y_{.b.}$	$y_{...}$	
ค่าเฉลี่ย	$\bar{y}_{.1.}$	$\bar{y}_{.2.}$	…	$\bar{y}_{.3.}$		$\bar{y}_{...}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากตารางที่ 2.1

สาเหตุ	องศาอิสระ (df)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย(MS)	F
ปัจจัยทดลอง A	$a-1$	$bn\sum_{i=1}^{a}(\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{...})^2$	$SSA/(a-1)$	$F_1=\frac{MSA}{MSE}$
ปัจจัยทดลอง B	$b-1$	$an\sum_{i=1}^{a}(\bar{y}_{.j.}-\bar{y}_{...})^2$	$SSB/(b-1)$	$F_2=\frac{MSB}{MSE}$
ผลกระทบร่วม	$(a-1)(b-1)$	$n\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\bar{y}_{ij.}-\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{.j.}+\bar{y}_{...})^2$	$SSAB/(a-1)(b-1)$	$F_3=\frac{MSAB}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน	$ab(n-1)$	$\sum_{i=q}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(y_{ijk}-\bar{y}_{ij.})^2$	$SSE/ab(n-1)$	
รวมทั้งหมด	$abn-1$	$\sum_{i=q}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(y_{ijk}-\bar{y}_{...})^2$		

โดยให้ค่าต่างๆที่อยู่ในตารางเป็นดังต่อไปนี้

เมื่อ y_{ijk} คือ ค่าสังเกตตัวที่ k ในระดับที่ i ของปัจจัย A และในระดับที่ j ของปัจจัย B

$\bar{y}_{...}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวและในทุกระดับของปัจจัย A และในทุกระดับของปัจจัย B เท่ากับ $\frac{\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}y_{ijk}}{abn}$

$\bar{y}_{i..}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวและในทุกระดับของปัจจัย B ในระดับที่ i ของปัจจัย A เท่ากับ $\frac{\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}y_{ijk}}{bn}$

$\bar{y}_{.j.}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวและในทุกระดับของปัจจัย A ในระดับที่ j ของปัจจัย B เท่ากับ $\frac{\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{n}y_{ijk}}{an}$

$\bar{y}_{ij.}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวและในระดับ i ของปัจจัย A และในระดับที่ j ของปัจจัย B เท่ากับ $\frac{\sum_{k=1}^{n}y_{ijk}}{n}$

a คือ จำนวนระดับของปัจจัย A

b คือ จำนวนระดับของปัจจัย B

n คือ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละวิธีทดลองประสม (Treatment Combination)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมมติฐานในการทดสอบ

$$H_0 : (\tau\beta)_{11} = (\tau\beta)_{12} = ... = (\tau\beta)_{ab} = 0$$

เกณฑ์การตัดสินใจ

ในการทดสอบ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า F_3 ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง F ที่องศาความเป็นอิสระเท่ากับ $(a-1)(b-1), ab(n-1)$

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ผลกระทบวิธีการทดลองและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เป็นตัวแบบบวก
2. ความคลาดเคลื่อนของการทดลองเกิดขึ้น โดยสุ่มเป็นอิสระต่อกันมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีความแปรปรวนเท่ากันคือ σ^2

สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ (Rank Transformation)

สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับนี้เสนอโดย Conover และ Iman ซึ่งทำได้โดยการจัดอันดับของข้อมูลร่วมกัน จากนั้นจึงนำค่าอันดับมาทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแทนค่าของข้อมูลจริง โดยมีขั้นตอนในการทดสอบเป็นดังนี้

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการจัดอันดับข้อมูลร่วมกันทั้งหมด ในกรณีที่ข้อมูลมีค่าซ้ำกันให้ใช้อันดับเฉลี่ย
2. นำค่าอันดับของข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีลักษณะดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2. 3 แสดงลักษณะข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม ด้วยสถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ

ปัจจัย A	ปัจจัย B $(j=1,2,...,b)$				ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
$(i=1,2,...,a)$	1	2	…	b		
1	$R_{111},\ldots,R_{11n}$	$R_{121},\ldots R_{12n}$		$R_{1b1},\ldots,R_{1bn}$	$R_{1..}$	$\overline{R}_{1..}$
2	$R_{211},\ldots,R_{21n}$	$R_{221},\ldots,R_{22n}$		$R_{2b1},\ldots R_{2bn}$	$R_{2..}$	$\overline{R}_{2..}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
a	$R_{a11},\ldots,R_{a1n}$	$R_{a21},\ldots R_{a2n}$	…	$R_{ab1},\ldots,R_{abn}$	$R_{a..}$	$\overline{R}_{a..}$
ผลรวม	$R_{.1.}$	$R_{.2.}$	…	$R_{.b.}$	$R_{...}$	
ค่าเฉลี่ย	$\overline{R}_{.1.}$	$\overline{R}_{..2.}$	…	$\overline{R}_{.b.}$		$\overline{R}_{...}$

ตารางที่ 2.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากตารางที่ 2.3

สาเหตุ	องศาอิสระ (df)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย(MS)	F
ปัจจัยทดลอง A	$a-1$	$bn\sum_{i=1}^{a}(\overline{R}_{i..}-\overline{R}_{...})^2$	$SSA/(a-1)$	$F_{RT_1}=\frac{MSA}{MSE}$
ปัจจัยทดลอง B	$b-1$	$an\sum_{j=1}^{b}(\overline{R}_{.j.}-\overline{R}_{...})^2$	$SSB/(b-1)$	$F_{RT_2}=\frac{MSB}{MSE}$
ผลกระทบร่วม	$(a-1)(b-1)$	$n\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\overline{R}_{ij.}-\overline{R}_{i..}-\overline{R}_{.j.}+\overline{R}_{...})^2$	$SSAB/(a-1)(b-1)$	$F_{RT_3}=\frac{MSAB}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน	$ab(n-1)$	$\sum_{i=q}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(R_{ijk}-\overline{R}_{ij.})^2$	$SSE/ab(n-1)$	
รวมทั้งหมด	$abn-1$	$\sum_{i=q}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(R_{ijk}-\overline{R}...)^2$		

โดยให้ค่าต่างๆที่อยู่ในตารางเป็นดังต่อไปนี้

เมื่อ R_{ijk} คือ อันดับจากค่าสังเกตตัวที่ k ในระดับที่ i ของปัจจัย A และในระดับที่ j ของปัจจัย B

$\overline{R}_{i..}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอันดับจากค่าสังเกตทุกตัวและทุกระดับของปัจจัย B ในระดับที่ i ของปัจจัย A เท่ากับ $\frac{\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}R_{ijk}}{bn}$

$\overline{R}_{.j.}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอันดับจากค่าสังเกตทุกตัวและทุกระดับของปัจจัย A ในระดับที่ j ของปัจจัย B เท่ากับ $\frac{\sum_{1=1}^{a}\sum_{k=1}^{n}R_{ijk}}{an}$

$\overline{R}_{ij.}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอันดับจากค่าสังเกตทุกตัวในระดับที่ i ของปัจจัย A และในระดับที่ j ของปัจจัย B เท่ากับ $\frac{\sum_{k=1}^{n}R_{ijk}}{n}$

$\overline{R}_{...}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอันดับทั้งหมด

<u>สมมติฐานในการทดสอบ</u>

$$H_0 : (\tau\beta)_{11} = (\tau\beta)_{12} = ... = (\tau\beta)_{ab} = 0$$

<u>เกณฑ์การตัดสินใจ</u>

ในการทดสอบ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0^{τ} เมื่อค่า F_{RT_3} ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง F ที่องศาความเป็นอิสระเท่ากับ $(a-1)(b-1), ab(n-1)$

สถิติทดสอบ Aligned Rank Transformation (ART)

สถิติทดสอบ Aligned Rank Transformation (ART) นี้เสนอโดย Salter และ Fawcett สำหรับใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมในแผนแบบทดลองปัจจัยทดลองพหุ ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการทดสอบแบบ Aligned Rank Test ของ Puri และ Sen ซึ่งรายละเอียดเป็นดังนี้

<u>ขั้นตอนการทดสอบ</u>

1. ทำการปรับค่าสังเกต (y_{ijk}) ทั้ง $N(=abn)$ ตัว โดยนำค่าเฉลี่ยของผลกระทบหลักและค่าประมาณค่าเฉลี่ยรวมออกจากค่าสังเกตเดิม นั่นคือ

$$y_{ijk}^{\tau\beta} = y_{ijk} - (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...}) - (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...}) - \bar{y}...$$

$$= y_{ijk} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}...$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ให้อันดับกับค่าสังเกตที่ปรับค่าแล้ว โดยให้ค่าสังเกตที่มีค่าน้อยที่สุดมีอันดับเป็น 1 ค่าสังเกตตัวที่มีค่ามากขึ้นต่อมาเป็นมีอันดับอันดับเป็น 2 และทำเช่นนี้กับค่าสังเกตทุกตัวจนถึงค่าสังเกตตัวสุดท้ายที่มีค่ามากที่สุดให้มีอันดับเป็น $N(=abn)$

3. นำอันดับที่ได้จากการปรับค่าสังเกตมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธีการทางสถิติที่ใช้พารามิเตอร์สำหรับทดสอบความแตกต่างของผลกระทบร่วม

ตารางที่ 2.5 แสดงลักษณะข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลอง ด้วยสถิติทดสอบ ART

	ปัจจัย	ปัจจัย B				ค่าเฉลี่ย
	A	1	2	⋯	b	
ค่าสังเกต	1	$y_{111},\ldots, y_{11n}$	$y_{121},\ldots, y_{12n}$		$y_{1b1},\ldots, y_{1bn}$	$\bar{y}_{1..}$
ค่าสังเกตที่ปรับแก้		$y^{\tau\beta}_{111},\ldots, y^{\tau\beta}_{11n}$	$y^{\tau\beta}_{121},\ldots, y^{\tau\beta}_{12n}$		$Y^{\tau\beta}_{1b1},\ldots, y^{\tau\beta}_{1bn}$	
อันดับของค่าสังเกตที่ปรับแก้		$R^{\tau\beta}_{111},\ldots, R^{\tau\beta}_{11n}$	$R^{\tau\beta}_{121},\ldots, R^{\tau\beta}_{12n}$		$R^{\tau\beta}_{1b1},\ldots, R^{\tau\beta}_{1bn}$	
ค่าสังเกต	2	$y_{211},\ldots, y_{21n}$	$y_{221},\ldots, y_{22n}$		$y_{2b1},\ldots, y_{2bn}$	$\bar{y}_{2..}$
ค่าสังเกตที่ปรับ		$y^{\tau\beta}_{211},\ldots, y^{\tau\beta}_{21n}$	$y^{\tau\beta}_{221},\ldots, y^{\tau\beta}_{22n}$		$y^{\tau\beta}_{2b1},\ldots, y^{\tau\beta}_{2bn}$	
อันดับของค่าสังเกตที่ปรับแก้		$R^{\tau\beta}_{211},\ldots, R^{\tau\beta}_{21n}$	$R^{\tau\beta}_{221},\ldots, R^{\tau\beta}_{22n}$		$R^{\tau\beta}_{2b1},\ldots, R^{\tau\beta}_{2bn}$	
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
ค่าสังเกต	a	$y_{a11},\ldots, y_{a1n}$	$y_{a21},\ldots, y_{22n}$		$y_{ab1},\ldots, y_{abn}$	$\bar{y}_{i..}$
ค่าสังเกตที่ปรับ		$y^{\tau\beta}_{211},\ldots, y^{\tau\beta}_{21n}$	$y^{\tau\beta}_{221},\ldots, y^{\tau\beta}_{22n}$		$y^{\tau\beta}_{2b1},\ldots, y^{\tau\beta}_{2bn}$	
อันดับของค่าสังเกตที่ปรับแก้		$R^{\tau\beta}_{a11},\ldots, R^{\tau\beta}_{a1n}$	$R^{\tau\beta}_{a21},\ldots, R^{\tau\beta}_{a2n}$		$R^{\tau\beta}_{ab1},\ldots, R^{\tau\beta}_{abn}$	
ค่าเฉลี่ยของปัจจัย B		$\bar{y}_{.1.}$	$\bar{y}_{.2.}$		$\bar{y}_{.j.}$	$\bar{y}...$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากตารางที่ 2.5

สาเหตุ	องศาอิสระ (df)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย(MS)	F
ปัจจัยทดลอง A	$a-1$	$bn\sum_{i=1}^{a}(\overline{R}_{i..}^{\tau\beta}-\overline{R}_{...}^{\tau\beta})^2$	$SSA/(a-1)$	
ปัจจัยทดลอง B	$b-1$	$an\sum_{i=1}^{a}(\overline{R}_{.j.}^{\tau\beta}-\overline{R}_{...}^{\tau\beta})^2$	$SSB/(b-1)$	
ผลกระทบร่วม	$(a-1)(b-1)$	$n\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\overline{R}_{ij.}^{\tau\beta}-\overline{R}_{i..}^{\tau\beta}-\overline{R}_{.j.}^{\tau\beta}+\overline{R}_{...}^{\tau\beta})^2$	$SSAB/(a-1)(b-1)$	$F_{ART}=\frac{MSAB}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน	$ab(n-1)$	$\sum_{i=q}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(R_{ijk}^{\tau\beta}-\overline{R}_{ij.}^{\tau\beta})^2$	$SSE/ab(n-1)$	
รวมทั้งหมด	$abn-1$	$\sum_{i=q}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(R_{ijk}^{\tau\beta}-\overline{R}_{...}^{\tau\beta})^2$		

โดยให้ค่าต่างๆที่อยู่ในตารางเป็นดังต่อไปนี้

เมื่อ $R_{ijk}^{\tau\beta}$ คือ อันดับของค่าสังเกตที่ปรับแก้ด้วยค่าเฉลี่ยตัวที่ k ในระดับที่ i ของปัจจัย A และในระดับที่ j ของปัจจัย B

$\overline{R}_{i..}^{\tau\beta}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอันดับจากค่าสังเกตที่ปรับแก้ด้วยค่าเฉลี่ยแล้วทุกตัวและทุกระดับของปัจจัย B ในระดับที่ i ของปัจจัย A เท่ากับ $\frac{\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}R_{ijk}^{\tau\beta}}{bn}$

$\overline{R}_{.j.}^{\tau\beta}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอันดับจากค่าสังเกตที่ปรับแก้ด้วยค่าเฉลี่ยแล้วทุกตัวและทุกระดับของปัจจัย A ในระดับที่ j ของปัจจัย B เท่ากับ $\frac{\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{n}R_{ijk}^{\tau\beta}}{an}$

$\overline{R}_{ij.}^{\tau\beta}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอันดับจากค่าสังเกตทุกตัวในระดับที่ i ของปัจจัย A และในระดับที่ j ของปัจจัย B เท่ากับ $\frac{\sum_{k=1}^{n}R_{ijk}^{\tau\beta}}{n}$

$\overline{R}_{...}^{\tau\beta}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอันดับทั้งหมด

สมมติฐานในการทดสอบ

$$H_0:(\tau\beta)_{11}=(\tau\beta)_{12}=...=(\tau\beta)_{ab}=0$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกณฑ์การตัดสินใจ

ในการทดสอบ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า $F_{ART}^{\tau\beta}$ ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง F ที่องศาความเป็นอิสระเท่ากับ $(a-1)(b-1), ab(n-1)$

สถิติทดสอบ Median-Aligned Rank Transformation (MART)

สถิติทดสอบ Median-Aligned Rank Transformation (MART) นี้เสนอโดย Salter และ Fawcett ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการทดสอบแบบ Aligned Rank Transformation (ART) ที่ทำการปรับค่าสังเกตด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต แต่เนื่องจากถ้าข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติแล้วค่าเฉลี่ยเลขคณิตอาจไม่ใช่ตัวประมาณที่ดีของประชากรและอาจทำให้สถิติทดสอบ ART มีประสิทธิภาพต่ำกว่าความเป็นจริงได้ ซึ่งรายละเอียดเป็นดังนี้

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการปรับค่าสังเกต (y_{ijk}) ทั้ง $N(=abn)$ ตัว โดยนำค่ามัธยฐานของค่าสังเกตจากผลกระทบหลักและค่ามัธยฐานรวมหักออกจากค่าสังเกตเดิม นั่นคือ

$$y_{ijk}^{\tau\beta} = y_{ijk} - (m_{i..} - m_{...}) - (m_{.j.} - m_{...}) - m...$$

$$= y_{ijk} - m_{i..} - m_{.j.} + m...$$

2. ให้อันดับกับค่าสังเกตที่ปรับค่าแล้ว โดยให้ค่าสังเกตที่มีค่าน้อยที่สุดมีอันดับเป็น 1 ทำเช่นนี้กับค่าสังเกตทุกตัวจนถึงค่าสังเกตตัวสุดท้ายที่มีค่ามากที่สุดให้มีอันดับเป็น $N(=abn)$

3. นำอันดับที่ได้จากการปรับค่าสังเกตมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธีการทางสถิติที่ใช้พารามิเตอร์สำหรับทดสอบความแตกต่างของผลกระทบร่วม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 แสดงลักษณะข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลอง ด้วยสถิติทดสอบ MART

	ปัจจัย A	ปัจจัย B				ค่ามัธยฐาน
ค่าสังเกต	1	$y_{111},\ldots, y_{11n}$	$y_{121},\ldots, y_{12n}$		$y_{1b1},\ldots, y_{1bn}$	$m_{1..}$
ค่าสังเกตที่ปรับแก้		$y^{\tau\beta}_{111},\ldots, y^{\tau\beta}_{11n}$	$y^{\tau\beta}_{121},\ldots, y^{\tau\beta}_{12n}$		$Y^{\tau\beta}_{1b1},\ldots, y^{\tau\beta}_{1bn}$	
อันดับของค่าสังเกตที่ปรับแก้		$R^{\tau\beta}_{111},\ldots, R^{\tau\beta}_{11n}$	$R^{\tau\beta}_{121},\ldots, R^{\tau\beta}_{12n}$		$R^{\tau\beta}_{1b1},\ldots, R^{\tau\beta}_{1bn}$	
ค่าสังเกต	2	$y_{211},\ldots, y_{21n}$	$y_{221},\ldots, y_{22n}$		$y_{2b1},\ldots, y_{2bn}$	$m_{2..}$
ค่าสังเกตที่ปรับ		$y^{\tau\beta}_{211},\ldots, y^{\tau\beta}_{21n}$	$y^{\tau\beta}_{221},\ldots, y^{\tau\beta}_{22n}$		$y^{\tau\beta}_{2b1},\ldots, y^{\tau\beta}_{2bn}$	
อันดับของค่าสังเกตที่ปรับแก้		$R^{\tau\beta}_{211},\ldots, R^{\tau\beta}_{21n}$	$R^{\tau\beta}_{221},\ldots, R^{\tau\beta}_{22n}$		$R^{\tau\beta}_{2b1},\ldots, R^{\tau\beta}_{2bn}$	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
ค่าสังเกต	a	$y_{a11},\ldots, y_{a1n}$	$y_{a21},\ldots, y_{22n}$		$y_{ab1},\ldots, y_{abn}$	$m_{a..}$
ค่าสังเกตที่ปรับ		$y^{\tau\beta}_{211},\ldots, y^{\tau\beta}_{21n}$	$y^{\tau\beta}_{221},\ldots, y^{\tau\beta}_{22n}$		$y^{\tau\beta}_{2b1},\ldots, y^{\tau\beta}_{2bn}$	
อันดับของค่าสังเกตที่ปรับแก้		$R^{\tau\beta}_{a11},\ldots, R^{\tau\beta}_{a1n}$	$R^{\tau\beta}_{a21},\ldots, R^{\tau\beta}_{a2n}$		$R^{\tau\beta}_{ab1},\ldots, R^{\tau\beta}_{abn}$	
ค่ามัธยฐาน		$m_{.1.}$	$m_{..2.}$		$m_{.b.}$	$m_{...}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.8 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากตารางที่ 2.7

สาเหตุ	องศาอิสระ (df)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย(MS)	F
ปัจจัยทดลอง A	$a-1$	$bn\sum_{i=1}^{a}(\bar{R}_{i..}^{\tau\beta}-\bar{R}_{...}^{\tau\beta})^2$	$SSA/(a-1)$	
ปัจจัยทดลอง B	$b-1$	$an\sum_{i=1}^{a}(\bar{R}_{.j.}^{\tau\beta}-\bar{R}_{...}^{\tau\beta})^2$	$SSB/(b-1)$	
ผลกระทบร่วม	$(a-1)(b-1)$	$n\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\bar{R}_{ij.}^{\tau\beta}-\bar{R}_{i..}^{\tau\beta}-\bar{R}_{.j.}^{\tau\beta}+\bar{R}_{...}^{\tau\beta})^2$	$SSAB/(a-1)(b-1)$	$F_{MART}=\frac{MSAB}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน	$ab(n-1)$	$\sum_{i=q}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(R_{ijk}^{\tau\beta}-\bar{R}_{ij.}^{\tau\beta})^2$	$SSE/ab(n-1)$	
รวมทั้งหมด	$abn-1$	$\sum_{i=q}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}(R_{ijk}^{\tau\beta}-\bar{R}_{...}^{\tau\beta})^2$		

สมมติฐานในการทดสอบ

$$H_0:(\tau\beta)_{11}=(\tau\beta)_{12}=...=(\tau\beta)_{ab}=0$$

เกณฑ์การตัดสินใจ

ในการทดสอบ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า $F_{MART}^{\tau\beta}$ ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง F ที่องศาความเป็นอิสระเท่ากับ $(a-1)(b-1), ab(n-1)$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสถิติทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว

วิศวกรต้องการศึกษาว่าอุณหภูมิและวัสดุที่ใช้ผลิตแบตเตอรี่มีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่แตกต่างกันหรือไม่ โดยอุณหภูมิที่ใช้ทดลองคือ 15 70 และ 125 °F และใช้วัสดุในการผลิตแบตเตอรี่ 3 ประเภท ทำการทดลองกับแบตเตอรี่จำนวนทั้งหมด 36 ตัว โดยภายใต้ระดับของอุณหภูมิหนึ่งและวัสดุที่ใช้ในการผลิตหนึ่งจะทำการทดลองกับแบตเตอรี่ 4 ตัว แล้วจดบันทึกอายุการใช้งาน (ชั่วโมง) ได้ผลดังนี้

ประเภทของวัสดุที่ใช้ผลิต	อุณหภูมิ (°F)						$y_{i..}$	$\bar{y}_{i..}$
	15		70		125			
1	130	155	34	40	20	70	998	83.17
	74	180	80	75	82	58		
2	150	188	136	122	25	70	1300	108.33
	159	126	106	115	58	45		
3	138	110	174	120	96	104	1501	125.08
	168	160	150	139	82	60		
$y_{.j.}$	1738		1291		770		$y_{...} = 3799$	$\bar{y}_{...} = 105.53$
$\bar{y}_{.j.}$	144.83		107.58		64.17			

สมมติฐานในการทดสอบ

H_0 : อุณหภูมิและวัสดุที่ใช้ในการผลิตไม่มีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่แตกต่างกัน

H_1 : อุณหภูมิและวัสดุที่ใช้ในการผลิตมีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่แตกต่างกัน

วิธีการคำนวณค่าสถิติทดสอบเอฟ

$$SST = (130)^2 + (155)^2 + ... + (60^2] - \frac{(3799)^2}{36} = 77{,}646.97$$

$$SS_{Material} = \frac{1}{(3)(4)}[(998)^2 + (1300)^2(1501)^2] - \frac{(3799)^2}{36} = 10{,}683.72$$

$$SS_{Temperture} = \frac{1}{(3)(4)}[(1738)^2 + (1291)^2(770)^2] - \frac{(3799)^2}{36} = 39{,}118.72$$

$$SS_{Interaction} = \frac{1}{4}[(539)^2 + (229)^2 + ... + (342)^2] - \frac{(3799)^2}{36} - 10{,}683.72 - 39118.72$$

$$= 9{,}613.78$$

$$SSE = 77{,}646.97 - 10683.72 - 39118.72 - 9613.78 = 18{,}230.75$$

ดังนั้น $$F = \frac{SS_{Interaction}/(a-1)(b-1)}{SSE/ab(n-1)}$$

$$= \frac{9613.78/(3-1)(3-1)}{18230.75/9(4-1)}$$

$$= \frac{2403.44}{675.21} = 3.56$$

เมื่อคำนวณค่าสถิติแล้ว ทำการหาค่าวิกฤตจากตาราง F ที่องศาความเป็นอิสระเท่ากับ 4 และ 27 ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จะได้ $F_{4,27,0.05} = 2.73$ พบว่าสถิติที่คำนวณได้มีค่ามากว่าค่าที่ได้จากตาราง จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าอุณหภูมิและวัสดุที่ใช้ในการผลิตมีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่แตกต่างกัน

วิธีการคำนวณค่าสถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ

1. ทำการจัดอันดับของข้อมูลทั้งหมดร่วมกัน จะได้ตารางดังนี้

ประเภทของวัสดุที่ใช้ผลิต	อุณหภูมิ (°F)						$y_{i..}$
	15		70		125		
1	24	30	3	4	1	9.5	163.5
	11	35	13	12	14.5	6.5	
2	28.5	36	25	22	2	9.5	226.5
	31	23	18	20	6.5	5	
3	26	19	34	21	16	17	276
	33	32	28.5	27	14.5	8	
$y_{.j.}$	328.5		227.5		110		$y_{...} = 666$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. คำนวณค่าสถิติ

$$SST = (24)^2 + (30)^2 + ... + (8)^2] - \frac{(666)^2}{36} = 3{,}883$$

$$SS_{Material} = \frac{1}{(3)(4)}[(163.5)^2 + (226.5)^2 + (276)^2] - \frac{(666)^2}{36} = 1{,}993.04$$

$$SS_{Temperature} = \frac{1}{(3)(4)}[(328.5)^2 + (227.5)^2 + (110)^2] - \frac{(666)^2}{36} = 529.88 \quad = 456.83$$

$$SS_{Interaction} = \frac{1}{4}[(539)^2 + (229)^2 + ... + (342)^2] - \frac{(3799)^2}{36} - 10{,}683.72 - 39118.72$$

$$= 9{,}613.78$$

$$SSE = 3{,}883 - 1993.04 - 529.88 - 456.83 = 903.25$$

ดังนั้น

$$F = \frac{SS_{Interaction}/(a-1)(b-1)}{SSE/ab(n-1)}$$

$$= \frac{456.83/(3-1)(3-1)}{903.25/9(4-1)}$$

$$= \frac{114.21}{33.45} = 3.41$$

3. หาค่าวิกฤตจากตาราง F ที่องศาความเป็นอิสระเท่ากับ 4 และ 27 ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จะได้ $F_{4,27,0.05} = 2.73$ พบว่าสถิติที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากตาราง จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าอุณหภูมิและวัสดุที่ใช้ในการผลิตมีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการคำนวณค่าสถิติทดสอบ ART

1. ทำการปรับข้อมูลทุกตัวด้วยค่าเฉลี่ยของผลกระทบหลักและค่าเฉลี่ยรวม
2. ให้อันดับกับข้อมูลที่ได้ทำการปรับข้อมูลแล้ว จะได้ตารางดังนี้

ประเภทของวัสดุที่ใช้ผลิต	อุณหภูมิ (°F)					
	15		70		125	
1	7.53	32.53	-51.22	-45.22	-21.81	28.19
	(22)	(32)	(2)	(4)	(9)	(31)
	-48.47	57.53	-5.22	-10.22	40.19	16.19
	(3)	(36)	(14)	(11)	(33)	(27)
2	2.36	40.36	25.61	11.61	-41.97	3.03
	(18)	(34)	(30)	(24)	(5)	(19)
	11.36	-21.64	-4.39	4.61	-8.97	-21.97
	(23)	(10)	(15.5)	(21)	(12)	(8)
3	-21.39	-54.39	46.86	-7.14	12.28	20.28
	(6)	(1)	(35)	(13)	(26)	(28)
	3.61	-4.39	22.86	11.86	-1.72	-23.72
	(20)	(15.5)	(39)	(25)	(17)	(7)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บคืออันดับของข้อมูลที่ได้ทำการปรับข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ยแล้ว

3. คำนวณค่าสถิติทดสอบ

$$SST = (3)^2 + (36)^2 + ... + (7)^2] - \frac{(666)^2}{36} = 3{,}884.50$$

$$SS_{Material} = \frac{1}{(3)(4)}[(224)^2 + (219.5)^2 + (222.5)^2] - \frac{(666)^2}{36} = 0.875$$

$$SS_{Temperature} = \frac{1}{(3)(4)}[(220.5)^2 + (223.5)^2 + (222)^2] - \frac{(666)^2}{36} = 0.375$$

$$SS_{Interaction} = \frac{1}{4}[(93)^2 + (31)^2 + ... + (78)^2] - \frac{(666)^2}{36} - 0.0875 - 0.0375 = 1{,}491.625$$

$$SSE = 3{,}884.50 - 0.875 - 0.375 - 1{,}491.625 = 2{,}391.615$$

ดังนั้น $$F = \frac{SS_{Interaction}/(a-1)(b-1)}{SSE/ab(n-1)}$$
$$= \frac{1{,}491.625/(3-1)(3-1)}{2{,}391.615/9(4-1)}$$
$$= \frac{372.91}{88.58} = 4.21$$

4. หาค่าวิกฤตจากตาราง F ที่องศาความเป็นอิสระเท่ากับ 4 และ 27 ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จะได้ $F_{4,27,0.05} = 2.73$ พบว่าสถิติที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากตาราง จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าอุณหภูมิและวัสดุที่ใช้ในการผลิตมีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่แตกต่างกัน

วิธีการคำนวณค่าสถิติทดสอบ MART

1. ทำการปรับข้อมูลทุกตัวด้วยค่ามัธยฐานของผลกระทบหลักและค่าเฉลี่ยรวม
2. ให้อันดับกับข้อมูลที่ได้ทำการปรับข้อมูลแล้ว จะได้ตารางดังนี้

ประเภทของวัสดุที่ใช้ผลิต	**อุณหภูมิ** (°F)					
	15		70		125	
1	11.00 (27)	36.00 (33)	-50.00 (3)	-44.00 (5)	-11.50 (16)	38.50 (34)
	-45.00 (4)	61.00 (36)	-4.00 (22)	-9.00 (17)	50.50 (35)	26.50 (31)
2	-13.00 (14.5)	25.00 (34)	8.00 (25)	-6.00 (18)	-50.50 (2)	-5.50 (19.5)
	-4.00 (22)	-37.00 (9)	-22.00 (10)	-13.00 (14.5)	-17.50 (12)	-30.50 (8)
3	-35.50 (7)	-63.50 (1)	35.50 (32)	-18.50 (11)	10.00 (26)	18.00 (29)
	-5.50 (19.5)	-13.50 (13)	11.50 (28)	0.50 (24)	-4.00 (22)	-26.00 (9)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บคืออันดับของข้อมูลที่ได้ทำการปรับข้อมูลด้วยค่ามัธยฐานแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. คำนวณค่าสถิติทดสอบ

$$SST = (27)^2 + (33)^2 + ... + (9)^2] - \frac{(666)^2}{36} = 3{,}882.00$$

$$SS_{Material} = \frac{1}{(3)(4)}[(263)^2 + (181.5)^2 + (221.5)^2] - \frac{(666)^2}{36} = 276.79$$

$$SS_{Temperature} = \frac{1}{(3)(4)}[(213)^2 + (209.5)^2 + (243.5)^2] - \frac{(666)^2}{36} = 58.29$$

$$SS_{Interaction} = \frac{1}{4}[(100)^2 + (47)^2 + ... + (86)^2] - \frac{(666)^2}{36} - 276.79 - 58.29 = 1{,}159.17$$

$$SSE = 3{,}884.50 - 276.79 - 58.29 - 1{,}159.17 = 2{,}387.75$$

ดังนั้น
$$F = \frac{SS_{Interaction}/(a-1)(b-1)}{SSE/ab(n-1)}$$
$$= \frac{1{,}159.17/(3-1)(3-1)}{2{,}387.75/9(4-1)}$$
$$= \frac{289.791}{88.435} = 3.27$$

4. หาค่าวิกฤตจากตาราง F ที่องศาความเป็นอิสระเท่ากับ 4 และ 27 ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จะได้ $F_{4,27,0.05} = 2.73$ พบว่าสถิติที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากตาราง จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าอุณหภูมิและวัสดุที่ใช้ในการผลิตมีผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีเป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบ 4 ตัว ได้แก่ สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ สถิติทดสอบ ART และสถิติทดสอบ $MART$ ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองเมื่อมีและไม่มีผลกระทบของปัจจัยทดลองหลัก สำหรับแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม เมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยทดลอง A และ B คงที่ ซึ่งการจำลองข้อมูลในแต่ละสถานการณ์จะใช้เทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) โดยใช้โปรแกรม S-plus 2000 กับเครื่อง PC ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับแผนการทดลองจะนำเสนอตามลำดับต่อไปนี้

3.1 เทคนิคมอนติคาร์โล

เทคนิคมอนติคาร์โลเป็นการจำลองโดยใช้ตัวเลขสุ่มมาช่วยในการแก้ปัญหาหรือหาคำตอบของปัญหาที่ยังไม่แน่ใจในผลที่จะเกิดขึ้น เพราะเลขสุ่มมีประโยชน์หลายประการ คือ ซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

1. ทำให้การเลือกตัวอย่างไม่มีความเอนเอียงในการสำรวจหรือทดลองในเรื่องนั้นๆ ทั้งนี้เพราะเลขสุ่มมาจากแนวคิดเกี่ยวกับความคำนวณความน่าจะเป็น

2. เลขสุ่มจะทำให้ได้มาซึ่งรูปแบบต่างๆ หรือวิธีการที่สลับซับซ้อนโดยการสร้างสถานการณ์จำลอง (Simulation)

3. การสร้างเลขสุ่มอาจทำเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางทฤษฎีของกระบวนการทางสถิติที่มีความสำคัญสำหรับการประมาณค่า ตลอดจนนำไปสู่คำอธิบายเกี่ยวกับอำนาจการทดสอบทางสถิติ (Power of Statistical Tests)

4. เพื่อหาคำตอบในปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของปัญหานั้นๆ

หลักการของเทคนิคมอนติคาโล คือ การนำเลขสุ่มมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่สนใจศึกษาถึงผลสรุปของปัญหานั้นๆ โดยมีขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างเลขสุ่ม (Generate Random Number) การสร้างเลขสุ่มจะกำหนดให้มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มในช่วง [0,1] และเป็นอิสระซึ่งกันและกัน จากนั้นนำเลขสุ่มนี้ไปสร้างตัวแปรตามลักษณะการแจกแจงที่ต้องการศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลของปัญหานั้น ๆ

ขั้นตอนที่ 2 การประยุกต์ปัญหาที่ต้องการศึกษาโดยใช้เลขสุ่ม ขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับปัญหาที่ศึกษา ซึ่งเป็นขั้นตอนที่นำเลขสุ่มมาใช้ในการหาค่าต่างๆตามปัญหาที่ต้องการตามสูตรการคำนวณในปัญหาศึกษา

ขั้นตอนที่ 3 การทดลอง ขั้นตอนนี้เป็นการทำวิธีนั้นซ้ำๆกัน (Replication) จำนวนหลายครั้ง โดยถือว่าการทำซ้ำๆกันนั้น เป็นวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลให้มีจำนวนมากเพื่อลดความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่มที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ในแต่ละครั้งให้หมดไป

จากหลักการของเทคนิคมอนติคาร์โล จะเห็นว่าการใช้เลขสุ่มเพื่อเป็นพื้นฐานในการหาคำตอบของปัญหา เป็นวิธีการที่จะนำไปสู่แนวคิดในทางทฤษฎีที่เกี่ยวกับการคำนวณ โดยเฉพาะทฤษฎีความน่าจะเป็นที่จะนำไปสู่การอ้างอิงผลสรุปในสถานการณ์ของข้อมูลจริง เนื่องจากไม่มีผลกระทบจากเรื่องอื่นๆเข้ามาเกี่ยวข้องในการทดลอง เมื่อทำซ้ำๆกันเป็นจำนวนมากแล้วความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่มที่เกิดขึ้นนการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ในแต่ละครั้งจะหมดไป

3.2 แผนการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดสถานการณ์ต่างๆสำหรับการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบ 4 วิธี ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองเมื่อมีและไม่มีผลกระทบของปัจจัยทดลองหลัก สำหรับแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม ด้วยโปรแกรม S-PLUS 2000 ดังต่อไปนี้

3.2.1 กำหนดให้ผลกระทบของปัจจัยทดลองเป็นผลกระทบคงที่

3.2.2 กำหนดระดับของปัจจัยทดลองในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่มที่มีขนาด 2×2 ,3×3 และ 4×3

3.2.3 กำหนดจำนวนหน่วยทดลองในแต่ละวิธีการทดลองเท่ากัน คือ $n=5$ และ 10

3.2.4 การแจกแจงของความคลาดเคลื่อนที่ศึกษามีการแจกแจงแบบปัวซอง

3.2.5 กำหนดให้ค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากันทุกกลุ่มคือ 30

3.2.6 ความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง แบ่งออกเป็น 3 ระดับ

3.2.6.1 ความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองมีความแตกต่างกันน้อย ค่า Φ_{ab} อยู่ในช่วง $[0,1.5)$

3.2.6.2 ความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองมีความแตกต่างกันปานกลาง ค่า Φ_{ab} อยู่ในช่วง [1.5,3)

3.2.6.3 ความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองมีความแตกต่างกันมาก ค่า Φ_{ab} มากกว่า 3.0

3.2.7 สร้างความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัย A และผลกระทบของปัจจัย B ให้มีความแตกต่างกันปานกลาง โดยให้ Φ_a, Φ_b มีค่าอยู่ในช่วง [1.5,3)

3.2.8 สร้างความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัย A และผลกระทบของปัจจัย B ให้มีความแตกต่างกันมาก โดยให้ค่า Φ_a, Φ_b มากกว่า 3.0

3.2.9 กำหนดให้ข้อมูลมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation;C.V.) เท่ากับ 10% ,13.33% และ 20% จะได้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ^2) เท่ากับ 3 ,4 และ 6 ตามลำดับ กำหนดให้ค่าความแปรปรวนของแต่ละวิธีการทดลองเท่ากัน

3.2.10 ระดับนัยสำคัญของการทดสอบในแผนการทดลอง คือ 0.01 0.05 และ 0.10

3.2.11 การจำลองกระทำซ้ำๆกัน 400 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์ของการทดลอง

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้

3.3.1 สร้างการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนตามที่กำหนด

3.3.2 การสร้างข้อมูลให้เป็นไปตามแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

3.3.3 การสร้างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง $(\tau\beta)_{ij}$ ให้แตกต่างกัน

3.3.4 การสร้างผลกระทบของปัจจัยทดลอง A (τ_i) ให้แตกต่างกัน

3.3.5 การสร้างผลกระทบของปัจจัยทดลอง B (β_j) ให้แตกต่างกัน

3.3.6 คำนวณค่าสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว

3.3.7 การหาค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type 1 Error) และค่าอำนาจการทดสอบ (Power of the test) ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว

3.3.8 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type 1 Error) และค่าอำนาจการทดสอบ (Power of the test) ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว

ซึ่งรายละเอียดแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

3.3.1 สร้างการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนตามที่กำหนดในแผนดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ จะใช้ฟังก์ชัน rpois(n,lambda) ของโปรแกรม S-PLUS 2000 ทำการสร้างการแจกแจงแบบปัวซองของความคลาดเคลื่อนสำหรับแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม เมื่อ n แทนขนาดหน่วยทดลอง lambda แทนค่าเฉลี่ย

3.3.2 การสร้างข้อมูลตามแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม

สร้างตัวแปรสุ่มของความคลาดเคลื่อน ε_{ij} ที่มีการแจงแบบปัวซอง แล้วจึงสร้างค่า y_{ijk} ตามตัวแบบ ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad ; \begin{matrix} i = 1,2,...,a \\ j = 1,2,...,b \\ k = 1,2,...,n \end{matrix}$$

3.3.3 การสร้างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองให้แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณา $\sum(\tau\beta) = 0$ จะสามารถกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองโดยใช้ค่า Φ_{ab} เป็นตัวกำหนด ทำได้ดังนี้

$$\Phi_{ab} = \sqrt{\frac{n\sum_{i,j=1}^{a,b}(\tau\beta)_{ij}^2}{ab\sigma_e^2}}$$

(Φ_{ab} แทน สัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนของสิ่งทดลอง)

การกำหนดให้ความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมจาก 2 ปัจจัยทดลองใดๆ แตกต่างกัน สามารถกำหนดได้โดย

$$D = (\tau\beta)_{\max} - (\tau\beta)_{\min}$$

$$(\tau\beta)_{ij} = \frac{(\tau\beta)_{\max} + (\tau\beta)_{\min}}{2} \quad ; \begin{matrix} i = 1,2,...,a \\ j = 1,2,...,b \end{matrix}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่ $(\tau\beta)_{\min} = -\frac{D}{2}$, $(\tau\beta)_{\max} = \frac{D}{2}$ และ $(\tau\beta)_{ij} = 0$ ซึ่งไม่ใช่ค่า max และ min

ในที่นี้ $(\tau\beta)_{\min}$ หมายถึง ค่าที่น้อยที่สุดของผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง

$(\tau\beta)_{\max}$ หมายถึง ค่าที่มากที่สุดของผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง

D หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่มากที่สุดและค่าที่น้อยที่สุดของผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง

ดังนั้นในการกำหนดกลุ่มความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองโดยใช้ $\Phi_{\tau\beta}$ เป็นตัวกำหนด จะทำได้ดังนี้

$$\Phi_{ab} = D\sqrt{\frac{n}{2\sigma^2[(a-1)(b-1)+1]}}$$

3.3.4 การสร้างผลกระทบของปัจจัยทดลอง A และผลกระทบของปัจจัยทดลอง B ให้แตกต่างกัน

การสร้างผลกระทบของปัจจัยปัจจัยทดลอง A และ B ให้แตกต่างกันใช้ Φ เป็นตัวกำหนดเช่นเดียวกับการกำหนดความแตกต่างของปัจจัยทดลองร่วม โดยกำหนดให้ปัจจัยทดลองดังกล่าวแตกต่างกันปานกลางและแตกต่างกันมาก จะได้

$$\Phi_a = \sqrt{\frac{nb\sum_{i=1}^{a}\tau_i^2}{a\sigma_e^2}} \quad \text{และ} \quad \Phi_b = \sqrt{\frac{na\sum_{i=1}^{a}\beta_j^2}{b\sigma_e^2}}$$

สำหรับกำหนดความแตกต่างของปัจจัยทดลอง A และ B ตามลำดับ

3.3.5 คำนวณค่าสถิติทดสอบ

การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับตัวสถิติทดสอบ 4 ตัว คือ สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ สถิติทดสอบ *ART* และสถิติทดสอบ *MART* ในขั้นตอนแรกจะทำการกำหนดจำนวนระดับของปัจจัยทดลอง ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้วทำการสร้างชุดข้อมูลสุ่มโดยใช้โปรแกรม S-Plus 2000 ภายใต้เงื่อนไข คือ ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปัวซองและเป็นอิสระกัน และนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณค่าต่าง ๆ ตามสูตรของการทดสอบทั้ง 4 ตัว ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.6 การหาค่าความความเคลื่อนประเภทที่ 1 และค่าอำนาจการทดสอบ

เมื่อสร้างข้อมูลตามตัวแบบที่ต้องการศึกษาและคำนวณค่าสถิติทดสอบแล้ว ขั้นต่อไปคือการหาค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type 1 Error) และค่าอำนาจการทดสอบ (Power of the test) ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว ซึ่งสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

3.3.6.1 กำหนดค่าผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง $(\tau\beta_{ij})$ ผลกระทบของปัจจัย A (τ_i) ผลกระทบของปัจจัย B (β_j) โดยกำหนดค่า $\tau\beta_{ij}$ ให้มีค่าเป็น 0 ทุกตัว เมื่อพิจารณาหาค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และกำหนดค่า $\tau\beta_{ij}$ ให้มีอย่างน้อย 1 ตัวที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 โดยขึ้นอยู่กับระดับของสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบน Φ_{ab} ที่กำหนด (แต่ $\sum_{i,j=1}^{a,b}(\tau\beta)_{ij}=0$) เมื่อพิจารณาหาค่าอำนาจการทดสอบ

3.3.6.2 กำหนดค่าผลกระทบของปัจจัย A (τ_i) โดยกำหนดค่า τ_i ให้มีอย่างน้อย 1 ตัว ที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 และมีค่าขึ้นอยู่กับระดับของสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบน Φ_a ที่กำหนด (แต่ $\sum_{i=1}^{a}\tau_i=0$)

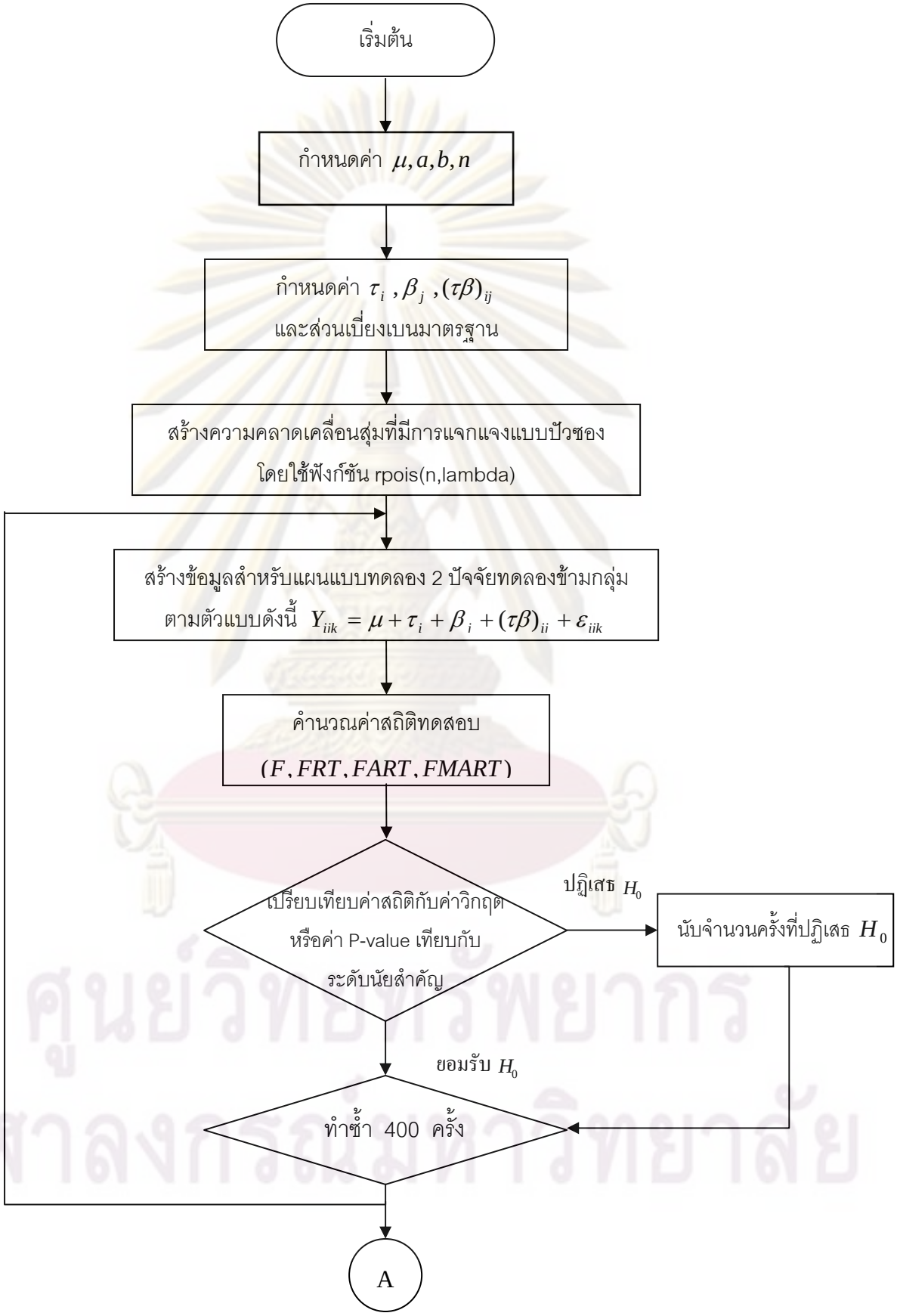
3.3.6.3 กำหนดค่าผลกระทบของปัจจัย B (β_j) โดยกำหนดค่า β_j ให้มีอย่างน้อย 1 ตัว ที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 และมีค่าขึ้นอยู่กับระดับของสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบน Φ_b ที่กำหนด (แต่ $\sum_{j=1}^{b}\beta_j=0$)

3.3.6.4 คำนวณค่าสถิติทดสอบของตัวสถิติทดสอบแต่ละตัว แล้วนำค่าสถิติทดสอบไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตหรือนำค่า P-value ที่ได้จากการคำนวณไปเปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญที่กำหนด เพื่อตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ตามเงื่อนไขที่กำหนด

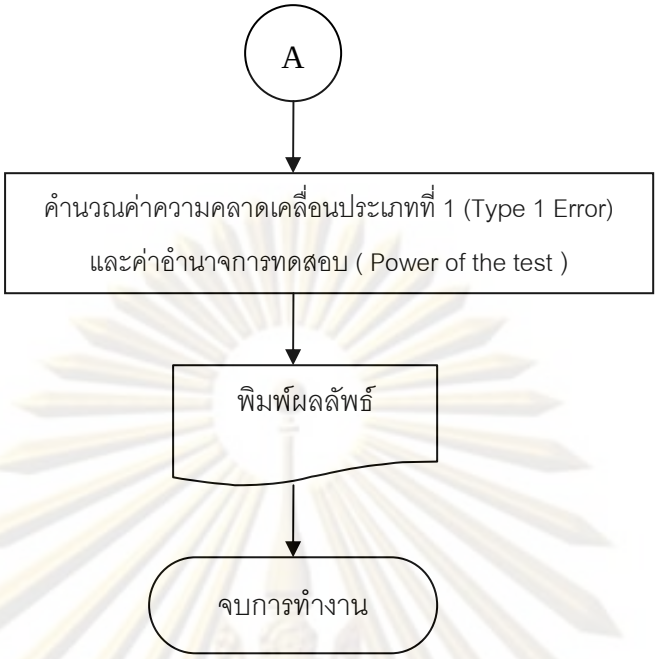
3.3.6.5 เปลี่ยนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน จนกระทั่งครบทุกสถานการณ์โดยในแต่ละสถานการณ์จะกระทำซ้ำกัน 400 รอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรม



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบ 4 ตัว ได้แก่ สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ สถิติทดสอบ ART และสถิติทดสอบ $MART$ ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองเมื่อมีและไม่มีผลกระทบของปัจจัยทดลองหลัก สำหรับแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม เมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลอง A ผลกระทบของปัจจัยทดลอง B และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยทดลอง A และ B คงที่ โดยพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบดังกล่าว ศึกษาภายใต้การแจกแจงของความคลาดเคลื่อนแบบปัวซอง กล่าวคือทำการศึกษาในสถานการณ์ที่ปัจจัยทดลอง A มีอยู่ a ระดับ ปัจจัยทดลอง B มีอยู่ b ระดับ และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ n คือ $a = 2, b = 2, n = 5,10$, $a = 3, b = 3, n = 5,10$ และ , $a = 4, b = 3, n = 5,10$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ,0.05 และ 0.10 ผู้วิจัยได้กำหนดลักษณะของข้อมูลให้มีสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (C.V.%) 3 ระดับ คือ 10% 13.33% และ 20% โดยวิธีการจำลองข้อมูลนั้นจะอาศัยเทคนิคมอนติคาร์โลซีมูเลชัน (Monte Carlo simulation) กระทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์จำนวน 400 รอบ

สำหรับการนำเสนอผลของการวิจัยจะนำเสนออยู่ในรูปของตารางซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบตัวสถิติทดสอบ โดยพิจารณาความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบตัวสถิติทดสอบ โดยพิจารณาจากอำนาจการทดสอบ

เพื่อความสะดวกในการนำเสนอผลการวิจัย ผู้วิจัยขอใช้สัญลักษณ์ต่อไปนี้แทนความหมายต่างๆ ดังนี้

a แทน ระดับของปัจจัยทดลอง A

b แทน ระดับของปัจจัยทดลอง B

n แทน ขนาดหน่วยทดลองที่ใช้ในแต่ละปัจจัยทดลอง

α แทน ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ

$C.V.$ แทน ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (%)

F แทน สถิติทดสอบเอฟ (F -$Test$)

FRT แทน สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ (*Rank Transformation*)

FART แทน สถิติทดสอบ *ART*

FMART แทน สถิติทดสอบ *MART*

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบตัวสถิติทดสอบโดยพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

ความแกร่ง (Robustness) เป็นสิ่งซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติของการทดสอบทางสถิติที่ว่าตัวสถิติทดสอบจะไม่แสดงความไว (Sensitive) เมื่อมีการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบนั้น และจะมีผลโดยตรงต่อค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาตัวสถิติทดสอบว่าสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้หรือไม่ ซึ่งควรมีค่าไม่มากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด (α_0) โดยกำหนดให้ใช้การทดสอบทวินาม (binomial test) เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และกำหนดให้ระดับนัยสำคัญของการทดสอบทวินาม (α^*) เท่ากับ 0.05

สมมติฐานของการทดสอบ คือ

$$H_0 : \alpha \le \alpha_0$$
$$H_1 : \alpha > \alpha_0$$

ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับสมมติฐาน H_0 เท่ากับ

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

หรือ

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

ดังนั้น ช่วงของการยอมรับค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 คือ

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ α แทน ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

$\hat{\alpha}$ แทน ค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบที่คำนวณได้ และ $\hat{\alpha} = \frac{n_{reject}}{n^*}$

α_0 แทน ระดับนัยสำคัญที่ต้องการศึกษา ได้แก่ $0.01, 0.05$ และ 0.10

α^* แทน ระดับนัยสำคัญของการทดสอบทวินาม โดยกำหนดเท่ากับ 0.05

n_{reject} แทน จำนวนครั้งทั้งหมดที่ปฏิเสธว่าง (H_0) เมื่อสมมติฐานว่างเป็นจริง

n^* แทน จำนวนรอบของการทดลองเท่ากับ 400 รอบ

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

- กรณีที่ระดับนัยสำคัญ (α_0) เท่ากับ 0.01 ตัวสถิติทดสอบสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ก็ต่อเมื่อ $\hat{\alpha} \leq 0.0182$
- กรณีที่ระดับนัยสำคัญ (α_0) เท่ากับ 0.05 ตัวสถิติทดสอบสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ก็ต่อเมื่อ $\hat{\alpha} \leq 0.0679$
- กรณีที่ระดับนัยสำคัญ (α_0) เท่ากับ 0.10 ตัวสถิติทดสอบสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ก็ต่อเมื่อ $\hat{\alpha} \leq 0.1247$

สำหรับการนำเสนอผลการวิจัยจะจำแนกตามความแตกต่างของผลกระทบของปัจจัยทดลองหลัก 3 ระดับ คือ เมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักแตกต่างกันน้อย $\phi \in [0,1.5)$ เมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักแตกต่างกันปานกลาง $\phi \in [1.5,3)$ และเมื่อผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักแตกต่างกันมาก $\phi \in [3,\alpha)$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.1– 4.9 แสดงค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว เมื่อความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปัวซอง เมื่อพิจารณาความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 โดยใช้เกณฑ์การทดสอบทวินาม สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01 พบว่า ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว มีค่าน้อยกว่า 0.0182 ในทุกระดับของปัจจัย ,ขนาดหน่วยทดลอง ,ความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลัก และสัมประสิทธิ์ความแปรผัน

ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 พบว่า ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว มีค่าน้อยกว่า 0.0672 ในทุกระดับของปัจจัย ,ขนาดหน่วยทดลอง ,ความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลัก และสัมประสิทธิ์ความแปรผัน

ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10 พบว่า ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว มีค่าน้อยกว่า 0.1247 ในทุกระดับของปัจจัย, ขนาดหน่วยทดลอง ,ความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลัก และสัมประสิทธิ์ความแปรผัน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ในทุกระดับของปัจจัย ,ขนาดหน่วยทดลอง ,ความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลัก ,สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญที่กำหนด จึงนำไปสู่การพิจารณาค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย และผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อย

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.0150	0.0125	0.0125	0.0100	0.0475	0.0500	0.0475	0.0525	0.0925	0.0950	0.0900	0.0975
	$a=3,b=3,n=5$	0.0075	0.0125	0.0075	0.0125	0.0425	0.0425	0.0375	0.0350	0.0850	0.0800	0.0775	0.0850
	$a=4,b=3,n=5$	0.0100	0.0075	0.0125	0.0075	0.0350	0.0450	0.0475	0.045	0.0850	0.0750	0.0875	0.0800
	$a=2,b=2,n=10$	0.0125	0.0100	0.0100	0.0125	0.0650	0.0625	0.0475	0.0475	0.1050	0.1025	0.1100	0.1125
	$a=3,b=3,n=10$	0.0100	0.0100	0.0125	0.0150	0.0375	0.0425	0.0475	0.0425	0.1050	0.1075	0.1075	0.1075
	$a=4,b=3,n=10$	0.0075	0.0100	0.0100	0.0125	0.0450	0.0425	0.0525	0.0450	0.0950	0.1100	0.1100	0.1050
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.0100	0.0100	0.0125	0.0100	0.0475	0.0525	0.0550	0.0500	0.1025	0.0850	0.0950	0.1025
	$a=3,b=3,n=5$	0.0075	0.0125	0.0125	0.0125	0.0450	0.0650	0.0500	0.0600	0.1125	0.1050	0.0975	0.1175
	$a=4,b=3,n=5$	0.0050	0.0100	0.0100	0.0125	0.0450	0.0475	0.0375	0.0400	0.0825	0.0875	0.0975	0.0850
	$a=2,b=2,n=10$	0.0050	0.0075	0.0075	0.0100	0.0525	0.0425	0.0425	0.0500	0.0975	0.0900	0.0925	0.0925
	$a=3,b=3,n=10$	0.0125	0.0100	0.0125	0.0125	0.0500	0.0550	0.0575	0.0625	0.0925	0.1075	0.0950	0.1025
	$a=4,b=3,n=10$	0.0075	0.0150	0.0125	0.0125	0.0575	0.0625	0.0625	0.0525	0.1175	0.1025	0.1150	0.1075

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย และผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อย

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.0075	0.0100	0.0100	0.0100	0.0400	0.0350	0.0450	0.0400	0.0750	0.0825	0.0900	0.0900
	$a=3,b=3,n=5$	0.0075	0.0025	0.0050	0.0025	0.0575	0.0600	0.0525	0.0575	0.1025	0.1075	0.1050	0.1100
	$a=4,b=3,n=5$	0.0050	0.0050	0.0025	0.0025	0.0425	0.0475	0.0475	0.0550	0.1050	0.0950	0.1075	0.1100
	$a=2,b=2,n=10$	0.0100	0.0125	0.0100	0.0125	0.0700	0.0625	0.0625	0.0525	0.1075	0.1100	0.1025	0.1050
	$a=3,b=3,n=10$	0.0100	0.0100	0.0100	0.0125	0.0450	0.0450	0.0450	0.0425	0.0825	0.0800	0.0675	0.0800
	$a=4,b=3,n=10$	0.0125	0.0100	0.0150	0.0100	0.0550	0.0575	0.0550	0.0525	0.1025	0.1050	0.1050	0.1075

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อยและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.0075	0.0100	0.0075	0.0750	0.0350	0.0250	0.0400	0.0350	0.0775	0.0675	0.0750	0.0650
	$a=3,b=3,n=5$	0.0150	0.0100	0.0175	0.0175	0.0425	0.0475	0.0550	0.0525	0.0850	0.0875	0.1000	0.1000
	$a=4,b=3,n=5$	0.0075	0.0075	0.0050	0.0075	0.0525	0.0425	0.0550	0.0425	0.0900	0.0825	0.0850	0.0850
	$a=2,b=2,n=10$	0.0100	0.0100	0.0075	0.0075	0.0450	0.0450	0.0425	0.0425	0.0850	0.0850	0.0900	0.0950
	$a=3,b=3,n=10$	0.0075	0.0150	0.0075	0.0100	0.0575	0.0500	0.0600	0.0575	0.1000	0.1125	0.1125	0.0950
	$a=4,b=3,n=10$	0.0175	0.0150	0.0175	0.0125	0.0550	0.0575	0.0475	0.0500	0.0900	0.1000	0.0925	0.0975
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.0075	0.0050	0.0125	0.0100	0.0350	0.0325	0.0425	0.0425	0.0875	0.0850	0.0775	0.0800
	$a=3,b=3,n=5$	0.0150	0.0075	0.0125	0.0100	0.0450	0.0400	0.0575	0.0550	0.0950	0.1025	0.0975	0.0950
	$a=4,b=3,n=5$	0.0075	0.0075	0.0050	0.0075	0.0525	0.0425	0.0550	0.0425	0.0900	0.0825	0.0850	0.0850
	$a=2,b=2,n=10$	0.0125	0.0100	0.0150	0.0150	0.0450	0.0500	0.0500	0.0500	0.1000	0.0950	0.1050	0.0950
	$a=3,b=3,n=10$	0.0100	0.0100	0.0075	0.0100	0.0475	0.0550	0.0525	0.0525	0.0900	0.1150	0.0950	0.1075
	$a=4,b=3,n=10$	0.0175	0.0150	0.0175	0.0125	0.0550	0.0575	0.0475	0.0500	0.0900	0.1000	0.0925	0.0975

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อยและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.0075	0.0050	0.0125	0.0125	0.0325	0.0325	0.0475	0.0425	0.0750	0.0775	0.0925	0.0925
	$a=3,b=3,n=5$	0.0050	0.0075	0.0025	0.0050	0.0425	0.0400	0.0475	0.0475	0.1000	0.1000	0.0925	0.0975
	$a=4,b=3,n=5$	0.0075	0.0100	0.0100	0.0050	0.0475	0.0525	0.0475	0.0375	0.0950	0.0850	0.1000	0.0850
	$a=2,b=2,n=10$	0.0075	0.0050	0.0100	0.0050	0.0400	0.0450	0.0525	0.0475	0.0950	0.1075	0.1100	0.1175
	$a=3,b=3,n=10$	0.0125	0.0075	0.0100	0.0100	0.0400	0.0450	0.0475	0.0500	0.1000	0.1150	0.1150	0.1100
	$a=4,b=3,n=10$	0.0075	0.0100	0.0100	0.0100	0.0500	0.0525	0.0550	0.0550	0.1025	0.1075	0.1000	0.1000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อยและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.0075	0.0100	0.0075	0.0075	0.0425	0.0325	0.0475	0.0400	0.1025	0.0900	0.1000	0.0875
	$a=3,b=3,n=5$	0.0100	0.0100	0.0100	0.0050	0.0500	0.0550	0.0575	0.0525	0.0975	0.1075	0.1050	0.1100
	$a=4,b=3,n=5$	0.0050	0.0050	0.0100	0.0100	0.0400	0.0475	0.0625	0.0550	0.0925	0.0975	0.0950	0.0950
	$a=2,b=2,n=10$	0.0100	0.0075	0.0100	0.0125	0.0475	0.0550	0.0575	0.0575	0.1100	0.1150	0.1025	0.1000
	$a=3,b=3,n=10$	0.0125	0.0150	0.0100	0.0075	0.0525	0.0575	0.0575	0.0625	0.1025	0.1000	0.1200	0.1100
	$a=4,b=3,n=10$	0.0075	0.0125	0.0100	0.0100	0.0475	0.0475	0.0525	0.0500	0.1100	0.1075	0.1025	0.1050
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0525	0.0525	0.0575	0.0500	0.1075	0.1025	0.1100	0.1000
	$a=3,b=3,n=5$	0.0075	0.0075	0.0125	0.0075	0.0550	0.0550	0.0575	0.0500	0.0925	0.1050	0.1050	0.1050
	$a=4,b=3,n=5$	0.0075	0.0125	0.0100	0.0100	0.0575	0.0550	0.0550	0.0550	0.1000	0.1025	0.1025	0.0950
	$a=2,b=2,n=10$	0.0150	0.0100	0.0150	0.0125	0.0550	0.0550	0.0600	0.0575	0.1150	0.1025	0.1100	0.1025
	$a=3,b=3,n=10$	0.0050	0.0125	0.0075	0.0050	0.0600	0.0500	0.0575	0.0575	0.0975	0.1025	0.1075	0.0975
	$a=4,b=3,n=10$	0.0125	0.0125	0.0075	0.0100	0.0575	0.0600	0.0475	0.0450	0.0950	0.1100	0.1050	0.1050

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อยและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.0150	0.0075	0.0100	0.0125	0.0450	0.0575	0.0575	0.0500	0.0975	0.1100	0.1075	0.1025
	$a=3,b=3,n=5$	0.0100	0.0050	0.0175	0.0150	0.0575	0.0575	0.0600	0.0575	0.1050	0.1025	0.1150	0.1100
	$a=4,b=3,n=5$	0.0150	0.0125	0.0175	0.0150	0.0550	0.0425	0.0575	0.0500	0.0925	0.1000	0.1000	0.0925
	$a=2,b=2,n=10$	0.0100	0.0125	0.0125	0.0125	0.0550	0.0600	0.0525	0.0525	0.1050	0.1075	0.1100	0.1100
	$a=3,b=3,n=10$	0.0150	0.0100	0.0150	0.0100	0.0600	0.0550	0.0600	0.0575	0.1175	0.1100	0.1150	0.1075
	$a=4,b=3,n=10$	0.0075	0.0050	0.0075	0.0075	0.0575	0.0625	0.0600	0.0525	0.1075	0.1100	0.1025	0.1050

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อย

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.0025	0.0025	0.0025	0.0050	0.0300	0.0275	0.0425	0.0300	0.0700	0.0650	0.0750	0.0675
	$a=3,b=3,n=5$	0.0075	0.0075	0.0100	0.0100	0.0475	0.0450	0.0425	0.0425	0.0775	0.0850	0.0800	0.0800
	$a=4,b=3,n=5$	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0400	0.0500	0.0450	0.0475	0.0925	0.0925	0.0900	0.0925
	$a=2,b=2,n=10$	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0425	0.0375	0.0355	0.0375	0.0850	0.0900	0.0825	0.0800
	$a=3,b=3,n=10$	0.0100	0.0150	0.0125	0.0150	0.0550	0.0500	0.0450	0.0500	0.1100	0.1025	0.1000	0.1000
	$a=4,b=3,n=10$	0.0050	0.0075	0.0100	0.0100	0.0475	0.0575	0.0600	0.0550	0.1050	0.1100	0.1000	0.0975
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.0050	0.0075	0.0050	0.0025	0.0400	0.0400	0.0400	0.0425	0.0775	0.0725	0.0775	0.0650
	$a=3,b=3,n=5$	0.0075	0.0075	0.0075	0.0050	0.0450	0.0450	0.0450	0.0450	0.0875	0.0750	0.0850	0.0875
	$a=4,b=3,n=5$	0.0100	0.0100	0.0100	0.0125	0.0500	0.0525	0.0450	0.0525	0.0975	0.1025	0.1000	0.0850
	$a=2,b=2,n=10$	0.0050	0.0075	0.0050	0.0075	0.0450	0.0400	0.0450	0.0450	0.0950	0.0975	0.0900	0.9500
	$a=3,b=3,n=10$	0.0100	0.0050	0.0125	0.0100	0.0500	0.0450	0.0475	0.0450	0.1025	0.1050	0.1075	0.1050
	$a=4,b=3,n=10$	0.0075	0.0100	0.0125	0.0150	0.0500	0.0525	0.0525	0.0525	0.1075	0.1025	0.1000	0.1050

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อย

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.0100	0.0125	0.0100	0.0100	0.0450	0.0400	0.0475	0.0450	0.0750	0.0850	0.0900	0.0775
	$a=3,b=3,n=5$	0.0100	0.0125	0.0125	0.0125	0.0450	0.0475	0.0450	0.0500	0.0925	0.0975	0.0925	0.0900
	$a=4,b=3,n=5$	0.0075	0.0100	0.0100	0.0050	0.0475	0.0475	0.0550	0.0500	0.0875	0.0925	0.0950	0.0975
	$a=2,b=2,n=10$	0.0075	0.0100	0.0075	0.0125	0.0500	0.0450	0.0450	0.0425	0.0925	0.0875	0.1000	0.1000
	$a=3,b=3,n=10$	0.0125	0.0100	0.0150	0.0150	0.0575	0.0475	0.0575	0.0525	0.1000	0.1025	0.1075	0.1025
	$a=4,b=3,n=10$	0.0075	0.0125	0.0150	0.0075	0.0500	0.0550	0.0550	0.0550	0.0975	0.1075	0.1050	0.1000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง และผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.0025	0.0025	0.0025	0.0050	0.0300	0.0275	0.0425	0.0300	0.0700	0.0650	0.0750	0.0675
	$a=3,b=3,n=5$	0.0075	0.0075	0.0100	0.0100	0.0475	0.0450	0.0425	0.0425	0.0775	0.0850	0.0800	0.0800
	$a=4,b=3,n=5$	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0400	0.0500	0.0450	0.0475	0.0925	0.0925	0.0900	0.0925
	$a=2,b=2,n=10$	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0425	0.0375	0.0355	0.0375	0.0850	0.0900	0.0825	0.0800
	$a=3,b=3,n=10$	0.0100	0.0150	0.0125	0.0150	0.0550	0.0500	0.0450	0.0500	0.1100	0.1025	0.1000	0.1000
	$a=4,b=3,n=10$	0.0050	0.0075	0.0100	0.0100	0.0475	0.0575	0.0600	0.0550	0.1050	0.1100	0.1000	0.0975
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.0050	0.0075	0.0050	0.0025	0.0400	0.0400	0.0400	0.0425	0.0775	0.0725	0.0775	0.0650
	$a=3,b=3,n=5$	0.0075	0.0075	0.0075	0.0050	0.0450	0.0450	0.0450	0.0450	0.0875	0.0750	0.0850	0.0875
	$a=4,b=3,n=5$	0.0100	0.0100	0.0100	0.0125	0.0500	0.0525	0.0450	0.0525	0.0975	0.1025	0.1000	0.0850
	$a=2,b=2,n=10$	0.0050	0.0075	0.0050	0.0075	0.0450	0.0400	0.0450	0.0450	0.0950	0.0975	0.0900	0.9500
	$a=3,b=3,n=10$	0.0100	0.0050	0.0125	0.0100	0.0500	0.0450	0.0475	0.0450	0.1025	0.1050	0.1075	0.1050
	$a=4,b=3,n=10$	0.0075	0.0100	0.0125	0.0150	0.0500	0.0525	0.0525	0.0525	0.1075	0.1025	0.1000	0.1050

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง และผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.0100	0.0025	0.0150	0.0125	0.0450	0.0400	0.0500	0.0475	0.0925	0.0525	0.0975	0.0875
	$a=3,b=3,n=5$	0.0100	0.0100	0.0125	0.0150	0.0575	0.0550	0.0525	0.0500	0.1075	0.1050	0.1050	0.1050
	$a=4,b=3,n=5$	0.0100	0.0175	0.0050	0.0100	0.0475	0.0500	0.0550	0.0450	0.1100	0.1000	0.1025	0.1125
	$a=2,b=2,n=10$	0.0100	0.0025	0.0125	0.0150	0.0575	0.0525	0.0600	0.0550	0.1025	0.0975	0.1100	0.1100
	$a=3,b=3,n=10$	0.0175	0.0125	0.0175	0.0100	0.0600	0.0650	0.0575	0.0600	0.1050	0.1025	0.1050	0.1000
	$a=4,b=3,n=10$	0.0100	0.0150	0.0100	0.0125	0.0525	0.0600	0.0600	0.0575	0.1100	0.1025	0.1075	0.1100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.0125	0.0025	0.0100	0.0100	0.0400	0.0125	0.0500	0.0425	0.0925	0.0375	0.1050	0.0975
	$a=3,b=3,n=5$	0.0100	0.0050	0.0150	0.0125	0.0575	0.0525	0.0575	0.0550	0.0950	0.1050	0.0950	0.0975
	$a=4,b=3,n=5$	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0400	0.0500	0.0450	0.0475	0.0925	0.0925	0.0900	0.0925
	$a=2,b=2,n=10$	0.0125	0.0075	0.0150	0.0125	0.0550	0.0250	0.0525	0.0575	0.1075	0.0525	0.1025	0.1025
	$a=3,b=3,n=10$	0.0075	0.0125	0.0075	0.0050	0.0500	0.0625	0.0650	0.0500	0.1125	0.1075	0.1150	0.1050
	$a=4,b=3,n=10$	0.0100	0.0150	0.0125	0.0125	0.0550	0.0525	0.0575	0.0600	0.1075	0.1100	0.1100	0.1100
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.0150	0.0025	0.0075	0.0075	0.0575	0.0200	0.0625	0.0575	0.1000	0.0325	0.1075	0.1000
	$a=3,b=3,n=5$	0.0125	0.1250	0.0150	0.0125	0.0575	0.0525	0.0575	0.0525	0.1050	0.1075	0.1025	0.1050
	$a=4,b=3,n=5$	0.0100	0.0125	0.0175	0.0150	0.0550	0.0500	0.0475	0.0550	0.0825	0.1000	0.1025	0.0975
	$a=2,b=2,n=10$	0.0125	0.0050	0.0125	0.0125	0.0550	0.0325	0.0550	0.0525	0.1050	0.0700	0.1125	0.1100
	$a=3,b=3,n=10$	0.0150	0.0175	0.0150	0.0125	0.0600	0.0550	0.0625	0.0600	0.1075	0.1150	0.1100	0.1075
	$a=4,b=3,n=10$	0.0100	0.0150	0.0150	0.0100	0.0650	0.0600	0.0575	0.0600	0.1175	0.1200	0.1150	0.1100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.0125	0.0075	0.0150	0.0150	0.0500	0.0150	0.0525	0.0475	0.1050	0.0400	0.1025	0.1025
	$a=3,b=3,n=5$	0.0125	0.0125	0.0150	0.0125	0.0550	0.0500	0.0550	0.0525	0.1100	0.1075	0.1100	0.1025
	$a=4,b=3,n=5$	0.0100	0.0150	0.0100	0.0100	0.0550	0.0525	0.0550	0.0575	0.1075	0.1050	0.0900	0.0950
	$a=2,b=2,n=10$	0.0150	0.0175	0.0125	0.0125	0.0625	0.0575	0.0650	0.0625	0.1125	0.1025	0.1150	0.1150
	$a=3,b=3,n=10$	0.0150	0.0125	0.0125	0.0125	0.0575	0.0600	0.0500	0.0575	0.1100	0.1100	0.1075	0.1100
	$a=4,b=3,n=10$	0.0125	0.0175	0.0125	0.0150	0.0575	0.0600	0.0600	0.0625	0.1125	0.1175	0.1050	0.1175

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมากและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อย

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.0075	0.0025	0.0050	0.0075	0.0450	0.0375	0.0425	0.0400	0.0900	0.0800	0.0875	0.0800
	$a=3,b=3,n=5$	0.0075	0.0075	0.0150	0.0100	0.0450	0.0425	0.0500	0.0525	0.0800	0.0850	0.0950	0.0900
	$a=4,b=3,n=5$	0.0050	0.0175	0.0125	0.0100	0.0475	0.0525	0.0500	0.0475	0.0950	0.0875	0.0925	0.0900
	$a=2,b=2,n=10$	0.0125	0.0100	0.0125	0.0125	0.0525	0.0500	0.0500	0.0475	0.0925	0.1000	0.1000	0.0900
	$a=3,b=3,n=10$	0.0050	0.0075	0.0050	0.0050	0.0575	0.0550	0.0550	0.0525	0.0975	0.1050	0.0975	0.1000
	$a=4,b=3,n=10$	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0550	0.0550	0.0525	0.0550	0.1025	0.1025	0.0975	0.1025
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.0150	0.0125	0.0150	0.0125	0.0425	0.0450	0.0550	0.0475	0.0950	0.0775	0.0850	0.0825
	$a=3,b=3,n=5$	0.0100	0.0075	0.0100	0.0075	0.0550	0.0450	0.0500	0.0550	0.1050	0.1025	0.0975	0.1025
	$a=4,b=3,n=5$	0.0075	0.0175	0.0075	0.0075	0.0500	0.0575	0.0400	0.0450	0.1000	0.0950	0.1075	0.0925
	$a=2,b=2,n=10$	0.0125	0.0100	0.0150	0.0125	0.0575	0.0550	0.0500	0.0500	0.1075	0.0950	0.1025	0.1025
	$a=3,b=3,n=10$	0.0150	0.0125	0.0150	0.0125	0.0575	0.0550	0.0575	0.0600	0.1050	0.0925	0.1075	0.1075
	$a=4,b=3,n=10$	0.0125	0.0150	0.0075	0.0050	0.0525	0.0575	0.0550	0.0550	0.1125	0.1175	0.1125	0.1075

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมากและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อย

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.0100	0.0100	0.0150	0.0150	0.0575	0.0525	0.0500	0.0525	0.1000	0.1050	0.1000	0.0975
	$a=3,b=3,n=5$	0.0050	0.0075	0.0100	0.0075	0.0525	0.0550	0.0550	0.0525	0.0975	0.1100	0.1025	0.1000
	$a=4,b=3,n=5$	0.0150	0.0100	0.0050	0.0075	0.0450	0.0475	0.0475	0.0425	0.0925	0.0925	0.1075	0.0925
	$a=2,b=2,n=10$	0.0150	0.0150	0.0125	0.0150	0.0650	0.0675	0.0625	0.0575	0.1100	0.1175	0.1075	0.1000
	$a=3,b=3,n=10$	0.0175	0.0150	0.0100	0.0075	0.0575	0.0525	0.0550	0.0550	0.1050	0.1125	0.1100	0.1050
	$a=4,b=3,n=10$	0.0125	0.0175	0.0175	0.0175	0.0450	0.0525	0.0550	0.0575	0.1125	0.1250	0.1200	0.1075

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมากและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.0100	0.0075	0.0125	0.0175	0.0550	0.0225	0.0475	0.0550	0.0950	0.0475	0.0975	0.0775
	$a=3,b=3,n=5$	0.0125	0.0075	0.0150	0.0150	0.0525	0.0525	0.0550	0.0525	0.1050	0.1125	0.1000	0.0950
	$a=4,b=3,n=5$	0.0125	0.0125	0.0100	0.0175	0.0475	0.0550	0.0525	0.0500	0.1000	0.1050	0.0975	0.0925
	$a=2,b=2,n=10$	0.0125	0.0075	0.0150	0.0125	0.0525	0.0175	0.0525	0.0550	0.1000	0.0475	0.1075	0.0950
	$a=3,b=3,n=10$	0.0150	0.0150	0.0125	0.0150	0.0525	0.0550	0.0575	0.0650	0.1075	0.1000	0.1050	0.1050
	$a=4,b=3,n=10$	0.0175	0.0150	0.0150	0.0100	0.0550	0.0575	0.0600	0.0600	0.1125	0.1050	0.1000	0.0975
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.0125	0.0050	0.0150	0.0150	0.0500	0.0250	0.0625	0.0525	0.1000	0.0650	0.0900	0.0875
	$a=3,b=3,n=5$	0.0100	0.0150	0.0125	0.0075	0.0525	0.0500	0.0525	0.0500	0.1050	0.1000	0.1100	0.1025
	$a=4,b=3,n=5$	0.0100	0.0175	0.0100	0.0125	0.0500	0.0625	0.0525	0.0575	0.1075	0.1050	0.1000	0.1025
	$a=2,b=2,n=10$	0.0150	0.0075	0.0150	0.0125	0.0600	0.0375	0.0575	0.0550	0.1075	0.0800	0.1050	0.1050
	$a=3,b=3,n=10$	0.0050	0.0150	0.0100	0.0125	0.0550	0.0500	0.0525	0.0575	0.1150	0.0925	0.1075	0.1100
	$a=4,b=3,n=10$	0.0100	0.0125	0.0150	0.0175	0.0575	0.0600	0.0525	0.0500	0.1050	0.1125	0.1025	0.1000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมากและผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.0150	0.0075	0.0150	0.0100	0.0600	0.0175	0.5500	0.5500	0.1100	0.0525	0.1050	0.1025
	$a=3,b=3,n=5$	0.0125	0.0175	0.0150	0.0100	0.0575	0.0500	0.0575	0.0525	0.1050	0.1000	0.1050	0.1025
	$a=4,b=3,n=5$	0.0150	0.0175	0.0150	0.0150	0.0550	0.0500	0.0550	0.0575	0.0975	0.1100	0.1050	0.1050
	$a=2,b=2,n=10$	0.0175	0.0100	0.0150	0.0150	0.0650	0.0525	0.0675	0.0600	0.1100	0.0875	0.1075	0.1075
	$a=3,b=3,n=10$	0.0050	0.0075	0.0125	0.0125	0.0500	0.0475	0.0650	0.0550	0.1050	0.0925	0.1125	0.1050
	$a=4,b=3,n=10$	0.0125	0.0125	0.0075	0.0075	0.0575	0.0625	0.0450	0.0350	0.1050	0.1025	0.0825	0.0750

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก และผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.0075	0.0000	0.0125	0.0075	0.0500	0.0000	0.0550	0.0550	0.1025	0.0000	0.1050	0.0975
	$a=3,b=3,n=5$	0.0075	0.0075	0.0075	0.0025	0.0525	0.0575	0.0525	0.0525	0.1050	0.1175	0.1100	0.1000
	$a=4,b=3,n=5$	0.0050	0.0100	0.0075	0.0050	0.0500	0.0550	0.0475	0.0450	0.0775	0.0875	0.0825	0.0850
	$a=2,b=2,n=10$	0.0150	0.0000	0.0150	0.0150	0.0550	0.0000	0.0575	0.0550	0.1200	0.0025	0.1150	0.1100
	$a=3,b=3,n=10$	0.0075	0.0100	0.0100	0.0150	0.0425	0.0575	0.0525	0.0500	0.1050	0.1025	0.1125	0.1025
	$a=4,b=3,n=10$	0.0125	0.0150	0.0125	0.0125	0.0500	0.0875	0.0500	0.0500	0.1000	0.1025	0.1025	0.0950
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.0100	0.0000	0.0150	0.0100	0.0550	0.0000	0.0650	0.0575	0.1025	0.0000	0.1050	0.1000
	$a=3,b=3,n=5$	0.0150	0.0175	0.0150	0.0125	0.0650	0.0600	0.0575	0.0500	0.1175	0.1200	0.1075	0.1000
	$a=4,b=3,n=5$	0.0075	0.0125	0.0125	0.0075	0.0400	0.0600	0.0475	0.0425	0.1000	0.1250	0.1150	0.0950
	$a=2,b=2,n=10$	0.0150	0.0000	0.0125	0.0125	0.0625	0.0050	0.0650	0.0650	0.1125	0.0125	0.1100	0.1025
	$a=3,b=3,n=10$	0.0100	0.0050	0.0175	0.0150	0.0575	0.0575	0.0600	0.0575	0.1050	0.1025	0.1150	0.1100
	$a=4,b=3,n=10$	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0425	0.0650	0.0475	0.0425	0.0750	0.1175	0.0825	0.0825

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก และผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.0100	0.0000	0.0125	0.0100	0.0525	0.0000	0.0575	0.0500	0.1075	0.0025	0.1050	0.1075
	$a=3,b=3,n=5$	0.0100	0.0050	0.0175	0.0150	0.0575	0.0575	0.0600	0.0575	0.1050	0.1025	0.1150	0.1100
	$a=4,b=3,n=5$	0.0075	0.0100	0.0100	0.0100	0.0375	0.0550	0.0300	0.0325	0.0725	0.1150	0.0875	0.0800
	$a=2,b=2,n=10$	0.0125	0.0050	0.0100	0.0150	0.0625	0.0125	0.0675	0.0600	0.1175	0.0350	0.1175	0.1150
	$a=3,b=3,n=10$	0.0150	0.0100	0.0150	0.0100	0.0625	0.0550	0.0625	0.0600	0.1200	0.1125	0.1175	0.1100
	$a=4,b=3,n=10$	0.0100	0.0125	0.0175	0.0150	0.0525	0.0575	0.0550	0.0600	0.1125	0.1025	0.1100	0.0975

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบตัวสถิติทดสอบ โดยพิจารณาจากค่าอำนาจการทดสอบ

สำหรับการนำเสนออำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบ จะจำแนกตามความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง 2 ระดับ คือ เมื่อผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง $\phi \in [1.5,3)$ และเมื่อผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก $\phi \in [3,\alpha)$

จากตารางที่ 4.10 – 4.18 แสดงผลการทดลองโดยพิจารณาค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว กรณีเมื่อผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

<u>ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01</u>

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 2, b = 2$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 พบว่าในทุกระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน C.V.% เท่ากับ 10% อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบ ART สถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน แต่เมื่อ C.V.% เท่ากับ 13.33% และ 20% พบว่าตัวสถิติทดสอบ ART มีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นเป็นสถิติทดสอบเอฟ และเมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 10 พบว่าในทุกระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน สถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน และสถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ ตามลำดับ

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 3, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน และสถิติการแปลงเป็นอันดับ ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 4, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน และสถิติการแปลงเป็นอันดับ ตามลำดับ

<u>ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05</u>

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 2, b = 2$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน และสถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ ตามลำดับ

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 3, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน และสถิติการแปลงเป็นอันดับ ตามลำดับ

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 4, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART มีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกันมากหรือเท่ากัน รองลงมา

คือ สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ และอำนาจการทดสอบจะเข้าใกล้ 1 มากขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อสัมประสิทธิ์ความแปรผันมีค่ามากขึ้น

<u>ที่ระดับนัยสำคัญ</u> 0.10

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 2, b = 2$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวมีค่าเพิ่มขึ้น สถิติทดสอบเอฟและสถิติทดสอบ ART มีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน รองลงมาคือสถิติทดสอบ MART และสถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ ตามลำดับ

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 3, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน และสถิติการแปลงเป็นอันดับ ตามลำดับ

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 4, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวมีค่าเพิ่มขึ้น สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบ ART และสถิติทดสอบ MART มีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน รองลงมาคือสถิติการแปลงเป็นอันดับ ตามลำดับ และอำนาจการทดสอบจะเข้าใกล้ 1 มากขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อสัมประสิทธิ์ความแปรผันมีค่ามากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.19 – 4.27 แสดงผลการทดลองโดยพิจารณาค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว กรณีเมื่อผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 2, b = 2$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 พบว่าในทุกระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันเท่ากับ 10% สถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน แต่เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันเท่ากับ 13.33% และ 20% พบว่าสถิติทดสอบ ART มีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบเอฟ และเมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 10 พบว่าในทุกระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน สถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 3, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 พบว่าในทุกระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน สถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน และสถิติการแปลงเป็นอันดับ ตามลำดับ และเมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 10 พบว่าในทุกระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน สถิติทดสอบเอฟกับสถิติทดสอบ ART มีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน รองลงมา คือ สถิติทดสอบ MART และสถิติการแปลงเป็นอันดับ ตามลำดับ

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 4, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็น

สถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน และสถิติการแปลงเป็นอันดับ ตามลำดับ

<u>ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05</u>

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 2, b = 2$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน สถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด รองลงมาเป็นสถิติทดสอบ ART กับสถิติทดสอบ MART ซึ่งมีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน และสถิติการแปลงเป็นอันดับ แต่เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบ ART และสถิติทดสอบ MART มีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกันมากหรือเท่ากัน รองลงมา คือ สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 3, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบ ART และสถิติทดสอบ MART มีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกันมากหรือเท่ากัน รองลงมา คือ สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ และเมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 10 พบว่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทั้ง 4 ตัว มีค่าใกล้เคียงกันมากหรือเท่ากันและอำนาจการทดสอบจะเข้าใกล้ 1 มากขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 1

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 4, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทั้ง 4 ตัว มีค่าใกล้เคียงกันมากหรือเท่ากัน และอำนาจการทดสอบจะเข้าใกล้ 1 มากขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 2, b = 2$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบ ART และสถิติทดสอบ MART มีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกันมากหรือเท่ากัน รองลงมา คือ สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ และเมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 10 พบว่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทั้ง 4 ตัว มีค่าใกล้เคียงกันมากหรือเท่ากัน และอำนาจการทดสอบจะเข้าใกล้ 1 มากขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 1

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 3, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบ ART และสถิติทดสอบ MART มีอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกันมากหรือเท่ากัน รองลงมา คือ สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ และเมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 10 พบว่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทั้ง 4 ตัว มีค่าใกล้เคียงกันมากหรือเท่ากัน และอำนาจการทดสอบจะเข้าใกล้ 1 มากขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 1

- *กรณีระดับปัจจัยเท่ากับ* $a = 4, b = 3$

เมื่อขนาดของหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 พบว่าในทุกระดับของความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองหลักและสัมประสิทธิ์ความแปรผัน อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทั้ง 4 ตัว มีค่าใกล้เคียงกันมากหรือเท่ากัน และอำนาจการทดสอบจะเข้าใกล้ 1 มากขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.2725	0.2500	0.2725	0.2825*	0.5350*	0.5025	0.5250	0.5100	0.6625*	0.6350	0.6525	0.6475
	$a=3,b=3,n=5$	0.5025*	0.4775	0.4950	0.4975	0.7375*	0.6900	0.7275	0.7150	0.8325*	0.8050	0.8225	0.8175
	$a=4,b=3,n=5$	0.6025*	0.5825	0.6000	0.5850	0.8225	0.8125	0.8275*	0.8150	0.8950*	0.8700	0.8925	0.8875
	$a=2,b=2,n=10$	0.3375*	0.3150	0.3250	0.3275	0.5975	0.5800	0.6000*	0.5825	0.7175*	0.7000	0.7075	0.7150
	$a=3,b=3,n=10$	0.6350*	0.5950	0.6250	0.6125	0.8375*	0.7850	0.8225	0.8250	0.9250*	0.8825	0.9075	0.9125
	$a=4,b=3,n=10$	0.8425*	0.8150	0.8325	0.8275	0.9575*	0.9450	0.9500	0.9475	0.9775*	0.9650	0.9700	0.9675
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.3375*	0.3400	0.3350	0.3375*	0.6100*	0.5950	0.5975	0.5875	0.7250*	0.7000	0.7125	0.6950
	$a=3,b=3,n=5$	0.5525*	0.5100	0.5450	0.5325	0.7825*	0.7700	0.7750	0.7750	0.8775*	0.8575	0.8600	0.8650
	$a=4,b=3,n=5$	0.6650*	0.6250	0.6550	0.6450	0.8550*	0.8325	0.8350	0.8350	0.9050	0.9150	0.9275*	0.9175
	$a=2,b=2,n=10$	0.4600*	0.4325	0.4425	0.4475	0.6925*	0.6750	0.6900	0.6825	0.8000*	0.7850	0.7975	0.7850
	$a=3,b=3,n=10$	0.7350*	0.7175	0.7200	0.7175	0.9025*	0.8850	0.8925	0.8900	0.9450*	0.9225	0.9250	0.9250
	$a=4,b=3,n=10$	0.8950*	0.8625	0.8650	0.8600	0.9625*	0.9575	0.9550	0.9500	0.9825*	0.9750	0.9775	0.9775

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.4275	0.4125	0.4525*	0.4425	0.7025	0.6825	0.7200*	0.6800	0.8325*	0.8050	0.8275	0.7975
	$a=3,b=3,n=5$	0.6550*	0.6275	0.6425	0.6400	0.8500	0.8450	0.8550*	0.8450	0.9325*	0.9200	0.9250	0.9175
	$a=4,b=3,n=5$	0.7125*	0.6775	0.6975	0.6825	0.9025*	0.8625	0.8850	0.8750	0.9550*	0.9300	0.9350	0.9275
	$a=2,b=2,n=10$	0.5375*	0.5425	0.5375*	0.5175	0.7825	0.7775	0.7875*	0.7800	0.8825*	0.8675	0.8725	0.8725
	$a=3,b=3,n=10$	0.8050*	0.7675	0.7925	0.7975	0.9325*	0.9275	0.9275	0.9275	0.9700*	0.9600	0.9575	0.9575
	$a=4,b=3,n=10$	0.9100*	0.8750	0.8800	0.8725	0.9750	0.9775	0.9825*	0.9775	0.9950	0.9900	0.9975*	0.9975*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.2950*	0.2650	0.2850	0.2825	0.5425*	0.5175	0.5375	0.5300	0.6875*	0.6475	0.6725	0.6675
	$a=3,b=3,n=5$	0.5625*	0.5275	0.5550	0.5525	0.8300*	0.7825	0.8200	0.8000	0.8875*	0.8425	0.8825	0.8675
	$a=4,b=3,n=5$	0.6625*	0.6275	0.6425	0.6400	0.8800*	0.8550	0.8700	0.8650	0.9425*	0.9175	0.9325	0.9275
	$a=2,b=2,n=10$	0.3550*	0.3425	0.3500	0.3450	0.6125	0.6025	0.6150*	0.6125	0.7350*	0.7150	0.7275	0.7225
	$a=3,b=3,n=10$	0.7250*	0.6425	0.7150	0.7175	0.8775*	0.8475	0.8625	0.8650	0.9375*	0.8825	0.9075	0.9125
	$a=4,b=3,n=10$	0.8675*	0.8025	0.8550	0.8525	0.9700*	0.9400	0.9625	0.9600	0.9850*	0.9675	0.9850*	0.9850*
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.3425	0.3425	0.3625*	0.3525	0.6350*	0.6225	0.6200	0.6050	0.7425*	0.7300	0.7375	0.7250
	$a=3,b=3,n=5$	0.6525*	0.5625	0.6400	0.6150	0.8600*	0.7875	0.8525	0.8375	0.9375*	0.8850	0.9250	0.9175
	$a=4,b=3,n=5$	0.6875*	0.6450	0.6700	0.6650	0.8775*	0.8225	0.8550	0.8425	0.9275*	0.9075	0.9150	0.9150
	$a=2,b=2,n=10$	0.4750*	0.4600	0.4525	0.4550	0.7125	0.6950	0.7150*	0.7125	0.8125*	0.7875	0.8025	0.7925
	$a=3,b=3,n=10$	0.7675*	0.7125	0.7575	0.7475	0.9000*	0.8700	0.8900	0.8975	0.9525*	0.9225	0.9375	0.9450
	$a=4,b=3,n=10$	0.8925	0.8750	0.8850	0.8900	0.9750*	0.9675	0.9700	0.9725	0.9900*	0.9800	0.9900*	0.9900*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์การแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.4425	0.4250	0.4625*	0.4425	0.7425*	0.6950	0.7350	0.7175	0.8375*	0.8100	0.8300	0.8200
	$a=3,b=3,n=5$	0.6625*	0.6025	0.6625*	0.6550	0.8600*	0.8150	0.8525	0.8450	0.9250*	0.9000	0.9050	0.9125
	$a=4,b=3,n=5$	0.8200*	0.7625	0.8150	0.8025	0.9575*	0.9175	0.9450	0.9400	0.9850*	0.9575	0.9700	0.9725
	$a=2,b=2,n=10$	0.5700*	0.5425	0.5500	0.5450	0.7875*	0.7775	0.7775	0.7800	0.8850*	0.8575	0.8625	0.8725
	$a=3,b=3,n=10$	0.8125*	0.7650	0.8025	0.7925	0.9400*	0.9275	0.9275	0.9175	0.9775*	0.9625	0.9700	0.9750
	$a=4,b=3,n=10$	0.9650*	0.9525	0.9525	0.9525	0.9925*	0.9825	0.9925*	0.9850	0.9950*	0.9900	0.9950*	0.9950*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกัน ปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.3075	0.2675	0.3200*	0.3150	0.5725	0.5675	0.5800*	0.5675	0.7050*	0.6925	0.6950	0.6925
	$a=3,b=3,n=5$	0.5950*	0.5650	0.5950*	0.5875	0.8425*	0.8125	0.8275	0.8250	0.9175*	0.8825	0.9100	0.9075
	$a=4,b=3,n=5$	0.6900*	0.6550	0.6775	0.6800	0.9000*	0.8825	0.8900	0.8875	0.9325	0.9400	0.9425	0.9325
	$a=2,b=2,n=10$	0.3800*	0.3575	0.3675	0.3750	0.6600*	0.6250	0.6525	0.6450	0.7675*	0.7375	0.7475	0.7575
	$a=3,b=3,n=10$	0.7450*	0.6875	0.7275	0.7350	0.8975*	0.8550	0.8850	0.8850	0.9425*	0.9150	0.9350	0.9375
	$a=4,b=3,n=10$	0.9150*	0.8750	0.9050	0.8975	0.9675*	0.9625	0.9600	0.9625	0.9900*	0.9775	0.9825	0.9850
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.3875	0.3950	0.4250*	0.4025	0.6600	0.6375	0.6500*	0.6350	0.7900*	0.7500	0.7825	0.7625
	$a=3,b=3,n=5$	0.6825*	0.5900	0.6525	0.6300	0.8575*	0.8150	0.8350	0.8450	0.9225*	0.9000	0.9200	0.9150
	$a=4,b=3,n=5$	0.7075*	0.6650	0.6875	0.6800	0.8850*	0.8475	0.8525	0.8500	0.9450*	0.9225	0.9350	0.9300
	$a=2,b=2,n=10$	0.5000*	0.4750	0.4950	0.4950	0.7350*	0.7050	0.7200	0.7175	0.8375*	0.8025	0.8125	0.8175
	$a=3,b=3,n=10$	0.7850*	0.7250	0.7675	0.7650	0.9250*	0.9000	0.9100	0.9200	0.9750*	0.9325	0.9500	0.9475
	$a=4,b=3,n=10$	0.9325*	0.9025	0.9325*	0.9250	0.9900	0.9725	0.9900	0.9925*	0.9950	0.9875	0.9975*	0.9975*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.4775	0.4550	0.4950*	0.4975	0.7500	0.7225	0.7650*	0.7325	0.8600*	0.8300	0.8525	0.8425
	$a=3,b=3,n=5$	0.6775*	0.6075	0.6650	0.6600	0.8675*	0.8375	0.8550	0.8525	0.9250*	0.9075	0.9225	0.9200
	$a=4,b=3,n=5$	0.8425*	0.7750	0.8375	0.8200	0.9625	0.9225	0.9575	0.9575	0.9875	0.9625	0.9825	0.9800
	$a=2,b=2,n=10$	0.6100	0.6075	0.6075	0.6175*	0.8275	0.8075	0.8325*	0.8200	0.9150*	0.8800	0.9050	0.9100
	$a=3,b=3,n=10$	0.8450*	0.7800	0.8375	0.8125	0.9550*	0.9375	0.9500	0.9450	0.9775*	0.9275	0.9725	0.9625
	$a=4,b=3,n=10$	0.9725*	0.9425	0.9700	0.9650	0.9925*	0.9875	0.9875	0.9925*	0.9975*	0.9925	0.9950	0.9925

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.2850*	0.2575	0.2775	0.2825	0.5650*	0.5175	0.5500	0.5425	0.6775*	0.6450	0.6600	0.6625
	$a=3,b=3,n=5$	0.5575*	0.5050	0.5475	0.5400	0.7875*	0.7550	0.7875	0.7700	0.8900*	0.8475	0.8725	0.8675
	$a=4,b=3,n=5$	0.6325*	0.5950	0.6225	0.6125	0.8525*	0.8350	0.8525	0.8475	0.9200	0.8925	0.9225*	0.9125
	$a=2,b=2,n=10$	0.3450*	0.3250	0.3400	0.3375	0.6100*	0.5950	0.6000	0.6025	0.7225*	0.7050	0.7125	0.7175
	$a=3,b=3,n=10$	0.7250*	0.6425	0.7150	0.7175	0.8775*	0.8475	0.8625	0.8650	0.9375*	0.8825	0.9075	0.9125
	$a=4,b=3,n=10$	0.8950*	0.8275	0.8875	0.8825	0.9725*	0.9400	0.9700	0.9600	0.9875*	0.9725	0.9850	0.9825
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.3475	0.3525	0.3500*	0.3475	0.6375	0.6150	0.6400*	0.6150	0.7425*	0.7250	0.7225	0.7175
	$a=3,b=3,n=5$	0.6625*	0.5975	0.6325	0.6300	0.8400*	0.7975	0.8375	0.8225	0.9100	0.8875	0.9175*	0.9125
	$a=4,b=3,n=5$	0.6675*	0.6250	0.6400	0.6325	0.8650*	0.8175	0.8350	0.8275	0.9150*	0.8925	0.9050	0.9000
	$a=2,b=2,n=10$	0.4850*	0.4625	0.4750	0.4800	0.7150*	0.6925	0.7075	0.6950	0.8050*	0.7950	0.7925	0.8050*
	$a=3,b=3,n=10$	0.7575*	0.7150	0.7325	0.7250	0.9200*	0.8625	0.9050	0.9025	0.9650*	0.9400	0.9525	0.9575
	$a=4,b=3,n=10$	0.9100*	0.8550	0.8925	0.8850	0.9700*	0.9550	0.9625	0.9600	0.9850*	0.9825	0.9850*	0.9850*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.4625	0.4400	0.4800*	0.4675	0.7475*	0.7025	0.7375	0.7325	0.8475*	0.8175	0.8325	0.8325
	$a=3,b=3,n=5$	0.6650*	0.5725	0.6450	0.6350	0.8875*	0.8400	0.8775	0.8575	0.9475*	0.9150	0.9300	0.9275
	$a=4,b=3,n=5$	0.8275*	0.7500	0.8200	0.8150	0.9475*	0.9250	0.9475*	0.9475*	0.9750*	0.9625	0.9750*	0.9750*
	$a=2,b=2,n=10$	0.5925*	0.5575	0.5750	0.5750	0.8100*	0.8000	0.7850	0.7875	0.8700*	0.8575	0.8575	0.8500
	$a=3,b=3,n=10$	0.8175*	0.7525	0.8075	0.8025	0.9425*	0.9225	0.9250	0.9250	0.9700*	0.9425	0.9650	0.9650
	$a=4,b=3,n=10$	0.9150*	0.8950	0.9050	0.8925	0.9725*	0.9650	0.9700	0.9675	0.9950*	0.9900	0.9900	0.9875

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง, B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.2925*	0.2675	0.2875	0.2825	0.5875*	0.5525	0.5675	0.5625	0.7000*	0.6800	0.6925	0.6950
	$a=3,b=3,n=5$	0.5875*	0.5375	0.5525	0.5550	0.8275*	0.7875	0.8075	0.8050	0.9125*	0.8625	0.8875	0.8850
	$a=4,b=3,n=5$	0.6525*	0.6250	0.6475	0.6400	0.8725*	0.8425	0.8650	0.8700	0.9350*	0.9200	0.9300	0.9225
	$a=2,b=2,n=10$	0.3550	0.3400	0.3575*	0.3500	0.6250*	0.6050	0.6200	0.6150	0.7325*	0.7125	0.7250	0.7275
	$a=3,b=3,n=10$	0.7750*	0.7275	0.7575	0.7375	0.9125*	0.8975	0.8925	0.8925	0.9675*	0.9450	0.9550	0.9525
	$a=4,b=3,n=10$	0.9000	0.8500	0.9150*	0.9125	0.9500	0.9500	0.9750*	0.9700	0.9850*	0.9700	0.9850*	0.9850*
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.3825	0.3650	0.3925*	0.3825	0.6675*	0.6150	0.6500	0.6300	0.7525*	0.7450	0.7500	0.7375
	$a=3,b=3,n=5$	0.6725*	0.5825	0.6625	0.6325	0.8700*	0.8075	0.8425	0.8225	0.9200*	0.8925	0.9050	0.9025
	$a=4,b=3,n=5$	0.7000*	0.6575	0.6875	0.6725	0.8775*	0.8425	0.8600	0.8550	0.9375*	0.8900	0.9300	0.9275
	$a=2,b=2,n=10$	0.5125*	0.4750	0.5050	0.5075	0.7550*	0.7075	0.7250	0.7150	0.8450*	0.8225	0.8325	0.8250
	$a=3,b=3,n=10$	0.7775*	0.7350	0.7675	0.7575	0.9300*	0.8975	0.9225	0.9175	0.9675*	0.9450	0.9650	0.9600
	$a=4,b=3,n=10$	0.9475*	0.8825	0.9450	0.9400	0.9900*	0.9775	0.9900*	0.9875	0.9950*	0.9900	0.9950*	0.9925

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A, B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2, b=2, n=5$	0.5100	0.4800	0.5225*	0.5100	0.7775*	0.7325	0.7575	0.7550	0.8625*	0.8275	0.8550	0.8475
	$a=3, b=3, n=5$	0.6775*	0.6075	0.6550	0.6550	0.8675*	0.8375	0.8550	0.8525	0.9250*	0.9075	0.9225	0.9200
	$a=4, b=3, n=5$	0.8475*	0.7825	0.8200	0.8075	0.9750*	0.9275	0.9600	0.9400	0.9875*	0.9725	0.9825	0.9775
	$a=2, b=2, n=10$	0.6175*	0.5850	0.5825	0.5850	0.8225*	0.8125	0.8100	0.8125	0.8975*	0.8750	0.8925	0.8875
	$a=3, b=3, n=10$	0.8300*	0.7350	0.8100	0.8125	0.9400*	0.8900	0.9350	0.9250	0.9800*	0.9450	0.9725	0.9725
	$a=4, b=3, n=10$	0.9225*	0.9225	0.9125	0.9125	0.9750*	0.9675	0.9625	0.9625	0.9900*	0.9800	0.9875	0.9875

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.3150*	0.2750	0.3075	0.3025	0.5925*	0.5650	0.5750	0.5725	0.7000	0.6900	0.7075	0.7125*
	$a=3,b=3,n=5$	0.5925*	0.5495	0.5725	0.5650	0.8325*	0.7950	0.8175	0.8200	0.9050*	0.8775	0.8950	0.8875
	$a=4,b=3,n=5$	0.6775*	0.6550	0.6650	0.6625	0.8975*	0.8625	0.8900	0.8875	0.9475*	0.9350	0.9400	0.9300
	$a=2,b=2,n=10$	0.3775*	0.3575	0.3775*	0.3650	0.6375*	0.6150	0.6225	0.6275	0.7550*	0.7250	0.7425	0.7450
	$a=3,b=3,n=10$	0.7750*	0.7450	0.7600	0.7575	0.9375*	0.9050	0.9275	0.9250	0.9775*	0.9725	0.9700	0.9650
	$a=4,b=3,n=10$	0.9100*	0.8475	0.9250	0.9100	0.9725*	0.9525	0.9575	0.9500	0.9850*	0.9775	0.9750	0.9750
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.4325*	0.3925	0.4275	0.4225	0.6850*	0.6350	0.6725	0.6475	0.7975*	0.7575	0.7850	0.7700
	$a=3,b=3,n=5$	0.6875*	0.6250	0.6725	0.6425	0.8800*	0.8375	0.8750	0.8500	0.9425*	0.9125	0.9300	0.9200
	$a=4,b=3,n=5$	0.7375*	0.6750	0.6950	0.6850	0.9075*	0.8700	0.8925	0.8725	0.9575*	0.9175	0.9325	0.9375
	$a=2,b=2,n=10$	0.5350*	0.4950	0.5250	0.5200	0.7625*	0.7275	0.7500	0.7475	0.8675*	0.8375	0.8525	0.8525
	$a=3,b=3,n=10$	0.7950*	0.7550	0.7750	0.7600	0.9350*	0.9175	0.9325	0.9250	0.9725*	0.9500	0.9650	0.9600
	$a=4,b=3,n=10$	0.9350*	0.8750	0.9250	0.9250	0.9875*	0.9525	0.9800	0.9775	0.9950*	0.9875	0.9925	0.9900

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.5475	0.5100	0.5525*	0.5475	0.7925*	0.7625	0.7700	0.7625	0.8850	0.8750	0.8775*	0.8575
	$a=3,b=3,n=5$	0.7050*	0.6325	0.7000	0.6875	0.9025*	0.8675	0.8975	0.8825	0.9475*	0.9200	0.9325	0.9250
	$a=4,b=3,n=5$	0.8475*	0.7825	0.8425	0.8275	0.9700*	0.9125	0.9700*	0.9650	0.9975*	0.9725	0.9875	0.9900
	$a=2,b=2,n=10$	0.6525*	0.5850	0.6500	0.6400	0.8600*	0.8250	0.8400	0.8425	0.9200*	0.8925	0.9075	0.9100
	$a=3,b=3,n=10$	0.8450*	0.7750	0.8375	0.8350	0.9675*	0.9550	0.9675	0.9600	0.9850*	0.9800	0.9850*	0.9850*
	$a=4,b=3,n=10$	0.9375*	0.9175	0.9175	0.9200	0.9800*	0.9725	0.9775	0.9700	0.9925*	0.9875	0.9925*	0.9825

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.3175*	0.2775	0.3075	0.3050	0.5800*	0.5350	0.5675	0.5550	0.6950*	0.6650	0.6775	0.6750
	$a=3,b=3,n=5$	0.6025*	0.5575	0.5825	0.5750	0.8325*	0.7950	0.8200	0.8000	0.8975*	0.8550	0.8975	0.8875
	$a=4,b=3,n=5$	0.6575*	0.6250	0.6500	0.6475	0.8725*	0.8325	0.8725*	0.8625	0.9300*	0.9075	0.9175	0.9150
	$a=2,b=2,n=10$	0.3750*	0.3525	0.3650	0.3675	0.6350*	0.6075	0.6200	0.6175	0.7550*	0.7175	0.7350	0.7225
	$a=3,b=3,n=10$	0.7450*	0.6875	0.7275	0.7350	0.8975*	0.8550	0.8850	0.8850	0.9425*	0.9150	0.9350	0.9375
	$a=4,b=3,n=10$	0.9025*	0.8500	0.8950	0.8825	0.9775*	0.9525	0.9725	0.9675	0.9850*	0.9750	0.9850*	0.9850*
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.3700	0.3575	0.3950*	0.3825	0.6525*	0.6150	0.6400	0.6250	0.7800*	0.7325	0.7600	0.7550
	$a=3,b=3,n=5$	0.6750*	0.6200	0.6675	0.6425	0.8500*	0.7975	0.8600	0.8300	0.9200*	0.8675	0.9100	0.9125
	$a=4,b=3,n=5$	0.7000*	0.6600	0.6975	0.6975	0.8800*	0.8575	0.8825	0.8850	0.9500*	0.9200	0.9475	0.9300
	$a=2,b=2,n=10$	0.4975*	0.4750	0.4950	0.4950	0.7250*	0.7050	0.7100	0.7100	0.8175*	0.8025	0.8075	0.8100
	$a=3,b=3,n=10$	0.7675*	0.7200	0.7700	0.7650	0.9250*	0.8900	0.9100	0.9050	0.9650*	0.9475	0.9525	0.9475
	$a=4,b=3,n=10$	0.9150*	0.8750	0.9025	0.8975	0.9800*	0.9825	0.9675	0.9600	0.9950*	0.9900	0.9950*	0.9950*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.4775	0.4500	0.5000*	0.4925	0.7700*	0.7425	0.7675	0.7450	0.8550*	0.8225	0.8475	0.8375
	$a=3,b=3,n=5$	0.7075*	0.6255	0.6750	0.6800	0.8925*	0.8625	0.8675	0.8575	0.9400*	0.9175	0.9275	0.9225
	$a=4,b=3,n=5$	0.8500*	0.7865	0.8100	0.7950	0.9525*	0.9375	0.9400	0.9425	0.9700	0.9725	0.9750*	0.9725
	$a=2,b=2,n=10$	0.6100*	0.6075	0.6075	0.6175	0.8175*	0.7950	0.7950	0.7975	0.8975*	0.8825	0.8800	0.8750
	$a=3,b=3,n=10$	0.8100*	0.7450	0.8075	0.7950	0.9475*	0.9250	0.9250	0.9275	0.9675*	0.9375	0.9650	0.9650
	$a=4,b=3,n=10$	0.9375*	0.9050	0.9100	0.9025	0.9800*	0.9725	0.9725	0.9675	0.9975*	0.9900	0.9950	0.9900

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.3350*	0.2875	0.3225	0.3175	0.5975*	0.5350	0.5700	0.5725	0.7125*	0.6650	0.6950	0.6925
	$a=3,b=3,n=5$	0.6150*	0.5825	0.6050	0.6050	0.8300*	0.8000	0.8175	0.8225	0.9225*	0.8950	0.9150	0.9125
	$a=4,b=3,n=5$	0.6750*	0.6375	0.6675	0.6600	0.8900*	0.8525	0.8850	0.8825	0.9625*	0.9275	0.9575	0.9600
	$a=2,b=2,n=10$	0.4150*	0.3525	0.4025	0.4025	0.6450*	0.6100	0.6225	0.6275	0.7600*	0.7250	0.7400	0.7400
	$a=3,b=3,n=10$	0.7675*	0.6850	0.7350	0.7275	0.9025*	0.8675	0.8975	0.9025	0.9575*	0.9350	0.9450	0.9425
	$a=4,b=3,n=10$	0.9425*	0.8950	0.9025	0.9050	0.9825*	0.9575	0.9825*	0.9800	0.9850*	0.9775	0.9875	0.9850*
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.4550*	0.4075	0.4425	0.4400	0.6725	0.6450	0.6650	0.6750*	0.7750*	0.7600	0.7700	0.7675
	$a=3,b=3,n=5$	0.7000*	0.6425	0.6900	0.6850	0.8900*	0.8300	0.8800	0.8725	0.9450*	0.8950	0.9400	0.9350
	$a=4,b=3,n=5$	0.7100*	0.6550	0.7075	0.6950	0.9025*	0.8750	0.8950	0.8800	0.9575*	0.9425	0.9475	0.9350
	$a=2,b=2,n=10$	0.5200*	0.4875	0.5125	0.5100	0.7525*	0.7175	0.7475	0.7450	0.8425*	0.8225	0.8350	0.8350
	$a=3,b=3,n=10$	0.7725*	0.7450	0.7675	0.7575	0.9375*	0.9075	0.9250	0.9200	0.9725*	0.9550	0.9700	0.9725
	$a=4,b=3,n=10$	0.9500*	0.9000	0.9225	0.9300	0.9850*	0.9725	0.9850*	0.9850*	0.9900*	0.9825	0.9875	0.9875

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.5425	0.5175	0.5625*	0.5500	0.8125	0.7475	0.8175*	0.8050	0.8900*	0.8275	0.8900*	0.8750
	$a=3,b=3,n=5$	0.7175*	0.6750	0.6950	0.6875	0.9025*	0.8675	0.8875	0.8925	0.9450*	0.9250	0.9350	0.9350
	$a=4,b=3,n=5$	0.8650*	0.7950	0.8275	0.8150	0.9550*	0.9225	0.9500	0.9450	0.9750	0.9675	0.9775*	0.9725
	$a=2,b=2,n=10$	0.6550*	0.6000	0.6525	0.6375	0.8600	0.8250	0.8675*	0.8275	0.9275*	0.8925	0.9225	0.9200
	$a=3,b=3,n=10$	0.8350*	0.7975	0.8150	0.8175	0.9750*	0.9450	0.9625	0.9600	0.9850*	0.9775	0.9850*	0.9850*
	$a=4,b=3,n=10$	0.9600*	0.9175	0.9500	0.9475	0.9925*	0.9850	0.9925	0.9875	0.9975*	0.9925	0.9950	0.9950

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.3475*	0.3025	0.3375	0.3325	0.6100*	0.5575	0.5850	0.5875	0.7250*	0.6650	0.7125	0.7025
	$a=3,b=3,n=5$	0.6275*	0.6050	0.6150	0.5875	0.8325*	0.8150	0.8275	0.8225	0.9375*	0.9050	0.9225	0.9175
	$a=4,b=3,n=5$	0.6900*	0.6575	0.6850	0.6900	0.9150*	0.8900	0.9050	0.9100	0.9750*	0.9575	0.9675	0.9700
	$a=2,b=2,n=10$	0.4225*	0.4000	0.4150	0.4150	0.6575*	0.6175	0.6525	0.6400	0.7650*	0.7500	0.7600	0.7525
	$a=3,b=3,n=10$	0.7750*	0.7100	0.7475	0.7400	0.9175*	0.8875	0.9075	0.9025	0.9575*	0.9325	0.9500	0.9500
	$a=4,b=3,n=10$	0.9125*	0.9025	0.9100	0.9125	0.9800*	0.9675	0.9800*	0.9800*	0.9925*	0.9850	0.9900*	0.9925*
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.4725*	0.4475	0.4700	0.4675	0.7150*	0.6850	0.7075	0.6900	0.8150*	0.8075	0.7975	0.7975
	$a=3,b=3,n=5$	0.7200*	0.6725	0.7100	0.7050	0.9025*	0.8500	0.8950	0.8925	0.9525*	0.8975	0.9450	0.9375
	$a=4,b=3,n=5$	0.7275*	0.6675	0.7150	0.7050	0.9200*	0.8475	0.9150	0.9000	0.9700*	0.9275	0.9550	0.9475
	$a=2,b=2,n=10$	0.5625*	0.5175	0.5475	0.5425	0.7800*	0.7475	0.7650	0.7575	0.8725*	0.8275	0.8475	0.8550
	$a=3,b=3,n=10$	0.8025*	0.7650	0.7875	0.7850	0.9450*	0.9300	0.9375	0.9450	0.9725*	0.9675	0.9675	0.9625
	$a=4,b=3,n=10$	0.9500*	0.9325	0.9400	0.9275	0.9900*	0.9825	0.9825	0.9775	0.9925*	0.9875	0.9925*	0.9925*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันปานกลาง

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.5700	0.5300	0.5975*	0.5625	0.8275*	0.7625	0.8100	0.7925	0.9125*	0.8750	0.8975	0.8925
	$a=3,b=3,n=5$	0.7375*	0.6900	0.7275	0.7175	0.9025*	0.8625	0.9000	0.8950	0.9725*	0.9525	0.9650	0.9625
	$a=4,b=3,n=5$	0.8525*	0.7900	0.8225	0.8125	0.9550*	0.9375	0.9450	0.9450	0.9800*	0.9650	0.9750	0.9700
	$a=2,b=2,n=10$	0.6725*	0.6375	0.6725*	0.6575	0.9000*	0.8275	0.8850	0.8800	0.9475*	0.9100	0.9275	0.9200
	$a=3,b=3,n=10$	0.8550*	0.7975	0.8175	0.8150	0.9875*	0.9625	0.9800	0.9775	0.9950*	0.9775	0.9900	0.9900
	$a=4,b=3,n=10$	0.9775*	0.9450	0.9750	0.9750	1.0000*	0.9900	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.5325	0.5250	0.5425	0.5575*	0.7950*	0.7775	0.7675	0.7725	0.8750*	0.8625	0.8600	0.8575
	$a=3,b=3,n=5$	0.7800*	0.7500	0.7475	0.7325	0.9350*	0.9125	0.9175	0.9125	0.9675*	0.9675*	0.9600	0.9600
	$a=4,b=3,n=5$	0.9350*	0.9100	0.9225	0.9150	0.9850*	0.9800	0.9800	0.9850*	0.9900*	0.9925	0.9900*	0.9900*
	$a=2,b=2,n=10$	0.6675	0.6650	0.6825*	0.6725	0.8600*	0.8450	0.8575	0.8500	0.9300*	0.9150	0.9200	0.9175
	$a=3,b=3,n=10$	0.8775*	0.8600	0.8600	0.8475	0.9575*	0.9400	0.9575*	0.9500	0.9775*	0.9600	0.9700	0.9650
	$a=4,b=3,n=10$	0.9625	0.9525	0.9650*	0.9625	0.9900	0.9850	0.9950*	0.9950*	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9975*
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.6775	0.6850	0.6975*	0.6800	0.8925	0.8775	0.8975*	0.8775	0.9400*	0.9325	0.9300	0.9275
	$a=3,b=3,n=5$	0.8275*	0.8150	0.8175	0.8200	0.9500*	0.9350	0.9250	0.9325	0.9775*	0.9625	0.9700	0.9700
	$a=4,b=3,n=5$	0.9500*	0.9125	0.9350	0.9325	0.9900*	0.9800	0.9875	0.9875	0.9975*	0.9925	0.9975*	0.9950
	$a=2,b=2,n=10$	0.8750*	0.8625	0.8750*	0.8700	0.9675*	0.9550	0.9625	0.9600	0.9850*	0.9825	0.9825	0.9850*
	$a=3,b=3,n=10$	0.9200*	0.9075	0.9025	0.9000	0.9800*	0.9725	0.9700	0.9700	0.9875*	0.9850	0.9825	0.9850
	$a=4,b=3,n=10$	0.9900*	0.9850	0.9875	0.9875	0.9975*	0.9925	0.9975*	0.9975*	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.7300*	0.7125	0.7250	0.7225	0.9100*	0.9025	0.9050	0.9100*	0.9525	0.9525	0.9550*	0.9450
	$a=3,b=3,n=5$	0.8775*	0.8425	0.8600	0.8525	0.9600*	0.9300	0.9625	0.9525	0.9850*	0.9700	0.9800	0.9725
	$a=4,b=3,n=5$	0.9800*	0.9550	0.9725	0.9700	0.9925*	0.9875	0.9900	0.9900	0.9975*	0.9925	0.9975*	0.9950
	$a=2,b=2,n=10$	0.9250*	0.9175	0.9225	0.9075	0.9775*	0.9725	0.9700	0.9775*	0.9850	0.9875*	0.9825	0.9850
	$a=3,b=3,n=10$	0.9250*	0.9100	0.9150	0.9100	0.9875*	0.9775	0.9825	0.9675	0.9925*	0.9875	0.9925*	0.9925*
	$a=4,b=3,n=10$	0.9950*	0.9850	0.9925	0.9925	1.0000*	0.9975	0.9975	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.5325*	0.5100	0.5255	0.5250	0.8125*	0.7750	0.7925	0.7825	0.8850*	0.8750	0.8725	0.8675
	$a=3,b=3,n=5$	0.7925*	0.7475	0.7750	0.7525	0.9225*	0.8975	0.9200	0.9050	0.9600*	0.9375	0.9450	0.9375
	$a=4,b=3,n=5$	0.9475*	0.9225	0.9375	0.9300	0.9950*	0.9875	0.9900	0.9900	0.9950*	0.9950*	0.9950*	0.9950*
	$a=2,b=2,n=10$	0.6850	0.6625	0.6925*	0.6850	0.8625*	0.8500	0.8450	0.8450	0.9175*	0.8975	0.9025	0.9075
	$a=3,b=3,n=10$	0.8825*	0.8250	0.8700	0.8625	0.9750*	0.9325	0.9675	0.9650	0.9875*	0.9675	0.9875*	0.9875*
	$a=4,b=3,n=10$	0.9800*	0.9625	0.9725	0.9675	0.9950	0.9900	0.9975	0.9950	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.7200	0.6950	0.7275*	0.7025	0.9075	0.9000	0.8975	0.9100*	0.9550*	0.9400	0.9400	0.9450
	$a=3,b=3,n=5$	0.8475*	0.8200	0.8325	0.8275	0.9650*	0.9575	0.9600	0.9600	0.9875*	0.9725	0.9850	0.9825
	$a=4,b=3,n=5$	0.9700*	0.9225	0.9600	0.9575	0.9950*	0.9875	0.9975*	0.9975*	0.9975*	0.9925	0.9975*	0.9975*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9025*	0.8900	0.8950	0.8975	0.9675*	0.9675	0.9600	0.9650	0.9850*	0.9825	0.9850*	0.9825
	$a=3,b=3,n=10$	0.9225*	0.9175	0.9175	0.9075	0.9900*	0.9750	0.9875	0.9800	0.9950*	0.9900	0.9925	0.9925
	$a=4,b=3,n=10$	0.9925*	0.9750	0.9850	0.9825	0.9950*	0.9900	0.9950*	0.9950*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	0.9975

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง ความสัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.7575	0.7325	0.7850*	0.7825	0.9300	0.9100	0.9350	0.9375*	0.9825*	0.9600	0.9700	0.9775
	$a=3,b=3,n=5$	0.9025*	0.8700	0.8925	0.8900	0.9850*	0.9675	0.9850	0.9775	0.9950*	0.9825	0.9950	0.9925
	$a=4,b=3,n=5$	0.9850*	0.9625	0.9700	0.9700	1.0000*	0.9900	0.9975	0.9950	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9325*	0.9075	0.9200	0.9200	0.9850*	0.9825	0.9825	0.9800	0.9975*	0.9950	0.9950	0.9950
	$a=3,b=3,n=10$	0.9775*	0.9675	0.9800	0.9800	0.9975*	0.9875	0.9975*	0.9975*	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*
	$a=4,b=3,n=10$	0.9950*	0.9925	0.9975	0.9975	1.0000*	0.9950	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.5675*	0.5350	0.5575	0.5525	0.8250*	0.7900	0.8175	0.8200	0.9075*	0.8825	0.8875	0.8800
	$a=3,b=3,n=5$	0.8000*	0.7675	0.7850	0.7750	0.9250*	0.9125	0.9250*	0.9125	0.9775*	0.9425	0.9575	0.9625
	$a=4,b=3,n=5$	0.9500*	0.9300	0.9400	0.9325	0.9950*	0.9900	0.9925	0.9925	0.9975*	0.9950	0.9950	0.9950
	$a=2,b=2,n=10$	0.7200*	0.6900	0.7100	0.7175	0.8750*	0.8725	0.8750*	0.8800	0.9350*	0.9150	0.9350*	0.9250
	$a=3,b=3,n=10$	0.9250*	0.8875	0.9025	0.8925	0.9800*	0.9350	0.9700	0.9675	0.9900*	0.9675	0.9900*	0.9875
	$a=4,b=3,n=10$	0.9875*	0.9375	0.9800	0.9675	0.9925*	0.9875	0.9925*	0.9925	0.9975*	0.9900	0.9975*	0.9950
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.7400*	0.7100	0.7300	0.7350	0.9325*	0.9050	0.9275	0.9200	0.9650*	0.9425	0.9650*	0.9575
	$a=3,b=3,n=5$	0.8650*	0.8200	0.8625	0.8375	0.9750*	0.9575	0.9675	0.9725	0.9875*	0.9725	0.9875*	0.9825
	$a=4,b=3,n=5$	0.9875*	0.9600	0.9825	0.9775	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9975*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9125*	0.9100	0.8975	0.9125	0.9850*	0.9800	0.9725	0.9750	0.9875	0.9875	0.9850	0.9900*
	$a=3,b=3,n=10$	0.9450*	0.9275	0.9350	0.9275	0.9950*	0.9850	0.9875	0.9800	0.9950*	0.9900	0.9925	0.9950*
	$a=4,b=3,n=10$	1.0000*	0.9825	1.0000*	1.0000*	1.0000*	0.9950	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันน้อย ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.7850	0.7500	0.8050*	0.7975	0.9475	0.9300	0.9575*	0.9450	0.9800*	0.9650	0.9750	0.9750
	$a=3,b=3,n=5$	0.9625*	0.9025	0.9550	0.9525	0.9950*	0.9775	0.9950*	0.9950*	0.9975*	0.9925	0.9975*	0.9975*
	$a=4,b=3,n=5$	0.9925*	0.9000	0.9900	0.9825	1.0000*	0.9925	1.0000*	1.0000*	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9550*	0.9375	0.9550*	0.9375	0.9925*	0.9875	0.9875	0.9875	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9925
	$a=3,b=3,n=10$	0.9825*	0.9725	0.9775	0.9750	0.9950*	0.9900	0.9925	0.9950*	1.0000*	0.9975	0.9975	1.0000*
	$a=4,b=3,n=10$	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.5375*	0.4900	0.5175	0.5200	0.8050*	0.7800	0.7950	0.8000	0.8900*	0.8700	0.8725	0.8675
	$a=3,b=3,n=5$	0.7975*	0.7625	0.7650	0.7475	0.9400*	0.9200	0.9200	0.9200	0.9700*	0.9675	0.9700*	0.9600
	$a=4,b=3,n=5$	0.9450*	0.9250	0.9350	0.9375	0.9900*	0.9750	0.9900*	0.9850	0.9975*	0.9850	0.9950	0.9950
	$a=2,b=2,n=10$	0.6875*	0.6500	0.6775	0.6650	0.8875*	0.8675	0.8825	0.8775	0.9325*	0.9200	0.9200	0.9250
	$a=3,b=3,n=10$	0.8825*	0.8600	0.8800	0.8650	0.9700*	0.9400	0.9625	0.9600	0.9900*	0.9725	0.9850	0.9850
	$a=4,b=3,n=10$	0.9750*	0.9525	0.9650	0.9600	0.9925	0.9900	0.9950*	0.9925	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9950
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.7150	0.6975	0.7300*	0.7225	0.9125*	0.8750	0.8875	0.8825	0.9550*	0.9375	0.9425	0.9400
	$a=3,b=3,n=5$	0.8350*	0.8150	0.8225	0.8300	0.9650*	0.9425	0.9500	0.9500	0.9850*	0.9725	0.9800	0.9750
	$a=4,b=3,n=5$	0.9750*	0.9350	0.9600	0.9550	0.9950*	0.9825	0.9925	0.9925	0.9950*	0.9900	0.9950	0.9950
	$a=2,b=2,n=10$	0.9025*	0.8800	0.8950	0.8925	0.9725	0.9675	0.9750*	0.9725	0.9825	0.9875	0.9900*	0.9875
	$a=3,b=3,n=10$	0.9250*	0.8950	0.9075	0.9025	0.9825*	0.9750	0.9750	0.9725	0.9875*	0.9850	0.9900	0.9850
	$a=4,b=3,n=10$	0.9925*	0.9725	0.9875	0.9850	0.9975*	0.9925	0.9975*	0.9975*	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9975*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.7450	0.7425	0.7700*	0.7650	0.9400*	0.9225	0.9375	0.9225	0.9750*	0.9625	0.9650	0.9625
	$a=3,b=3,n=5$	0.9175*	0.8325	0.8925	0.8775	0.9775*	0.9500	0.9675	0.9675	0.9825*	0.9775	0.9800	0.9825*
	$a=4,b=3,n=5$	0.9825*	0.9625	0.9775	0.9800	0.9975*	0.9950	0.9950	0.9975*	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9375*	0.9250	0.9250	0.9200	0.9875*	0.9850	0.9875*	0.9875*	0.9950*	0.9925	0.9925	0.9925
	$a=3,b=3,n=10$	0.9475*	0.9200	0.9425	0.9450	0.9850*	0.9750	0.9825	0.9750	0.9925*	0.9900	0.9900	0.9900
	$a=4,b=3,n=10$	0.9975*	0.9900	0.9950	0.9950	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง, ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.5500*	0.5100	0.5475	0.5450	0.8350*	0.8025	0.8175	0.8150	0.9150*	0.8825	0.8950	0.8950
	$a=3,b=3,n=5$	0.7850*	0.7600	0.7700	0.7675	0.9450*	0.9275	0.9400	0.9350	0.9725*	0.9525	0.9650	0.9625
	$a=4,b=3,n=5$	0.9550*	0.9325	0.9500	0.9475	0.9950*	0.9875	0.9950*	0.9925	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9975*
	$a=2,b=2,n=10$	0.7000*	0.6675	0.6925	0.6775	0.8975	0.8825	0.9075*	0.8925	0.9550*	0.9375	0.9475	0.9475
	$a=3,b=3,n=10$	0.9225*	0.8700	0.9175	0.9150	0.9650*	0.9500	0.9650*	0.9600	0.9850*	0.9775	0.9825	0.9825
	$a=4,b=3,n=10$	0.9775*	0.9675	0.9700	0.9700	1.0000*	0.9975	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.7325	0.7100	0.7450*	0.7350	0.9250*	0.8925	0.9175	0.9125	0.9625	0.9450	0.9675*	0.9650
	$a=3,b=3,n=5$	0.8450*	0.8350	0.8375	0.8400	0.9625*	0.9575	0.9575	0.9525	0.9875*	0.9750	0.9850	0.9825
	$a=4,b=3,n=5$	0.9775*	0.9475	0.9700	0.9625	0.9975*	0.9900	0.9950	0.9975*	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9975*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9275*	0.9000	0.9175	0.9200	0.9850*	0.9725	0.9800	0.9800	0.9900*	0.9850	0.9900*	0.9875
	$a=3,b=3,n=10$	0.9300*	0.9175	0.9300*	0.9225	0.9925*	0.9800	0.9875	0.9850	0.9950	0.9875	0.9950	0.9975*
	$a=4,b=3,n=10$	0.9975*	0.9875	0.9975	0.9950	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.23 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง, ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.7950	0.7675	0.7975*	0.7950	0.9550*	0.9350	0.9500	0.9425	0.9875*	0.9700	0.9775	0.9725
	$a=3,b=3,n=5$	0.9525*	0.8750	0.9350	0.9375	0.9950*	0.9675	0.9875	0.9875	0.9975*	0.9875	0.9975*	0.9950
	$a=4,b=3,n=5$	0.9875*	0.9750	0.9850	0.9825	0.9875*	0.9950	0.9975*	0.9975*	0.9875*	0.9975	1.0000*	1.0000*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9550*	0.9325	0.9475	0.9500	0.9900*	0.9850	0.9900*	0.9875	0.9975*	0.9925	0.9925	0.9925
	$a=3,b=3,n=10$	0.9850*	0.9650	0.9725	0.9775	0.9975*	0.9900	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9975*
	$a=4,b=3,n=10$	1.0000*	0.9925	0.9975	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.5725*	0.5325	0.5575	0.5675	0.8575*	0.8225	0.8500	0.8425	0.9250*	0.8975	0.9050	0.9025
	$a=3,b=3,n=5$	0.8125*	0.7875	0.8100	0.7925	0.9575*	0.9450	0.9550	0.9425	0.9775	0.9675	0.9825*	0.9750
	$a=4,b=3,n=5$	0.9675*	0.9475	0.9600	0.9625	0.9975*	0.9875	0.9950	0.9950	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9975*
	$a=2,b=2,n=10$	0.7275*	0.6850	0.7150	0.7250	0.9025*	0.8675	0.8975	0.9025*	0.9575*	0.9350	0.9450	0.9425
	$a=3,b=3,n=10$	0.9250*	0.8725	0.9175	0.9075	0.9825*	0.9475	0.9725	0.9725	0.9875	0.9800	0.9975*	0.9975*
	$a=4,b=3,n=10$	0.9875*	0.9700	0.9800	0.9800	1.0000*	0.9975	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.7425	0.7200	0.7475*	0.7400	0.9450*	0.9000	0.9200	0.9150	0.9775*	0.9425	0.9650	0.9575
	$a=3,b=3,n=5$	0.8550*	0.8400	0.8475	0.8425	0.9700*	0.9550	0.9625	0.9575	0.9900*	0.9750	0.9850	0.9850
	$a=4,b=3,n=5$	0.9825*	0.9600	0.9775	0.9700	0.9975*	0.9925	0.9975*	0.9950	1.0000*	0.9950	0.9975	0.9975
	$a=2,b=2,n=10$	0.9325*	0.9075	0.9225	0.9225	0.9900*	0.9700	0.9875	0.9850	0.9975*	0.9875	0.9950	0.9950
	$a=3,b=3,n=10$	0.9400*	0.9275	0.9300	0.9300	0.9925*	0.9850	0.9875	0.9850	0.9975*	0.9900	0.9950	0.9975*
	$a=4,b=3,n=10$	0.9975*	0.9900	0.9975	0.9950	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันปานกลาง ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.8025	0.7775	0.8050*	0.7950	0.9675*	0.9400	0.9475	0.9500	0.9675*	0.9725	0.9825	0.9825
	$a=3,b=3,n=5$	0.9500*	0.8925	0.9300	0.9275	0.9975*	0.9250	0.9875	0.9850	0.9975*	0.9700	0.9975	0.9975
	$a=4,b=3,n=5$	0.9900*	0.9800	0.9925	0.9875	0.9975*	0.9975*	0.9975*	0.9975*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9625*	0.9450	0.9625*	0.9550	0.9925	0.9875	0.9950*	0.9900	0.9975*	0.9925	0.9975*	0.9975*
	$a=3,b=3,n=10$	0.9925*	0.9700	0.9900	0.9875	0.9975*	0.9975*	0.9975*	0.9975*	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*
	$a=4,b=3,n=10$	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9975*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.5500*	0.5150	0.5350	0.5325	0.8150*	0.7925	0.8100	0.8075	0.9250*	0.8975	0.9175	0.9125
	$a=3,b=3,n=5$	0.8125*	0.7850	0.8025	0.7975	0.9575*	0.9250	0.9375	0.9325	0.9725*	0.9675	0.9725*	0.9700
	$a=4,b=3,n=5$	0.9575*	0.9350	0.9500	0.9425	0.9950*	0.9775	0.9900	0.9900	0.9975*	0.9900	0.9950	0.9950
	$a=2,b=2,n=10$	0.7150*	0.6675	0.6975	0.7050	0.8975*	0.8550	0.8850	0.8850	0.9425*	0.9150	0.9350	0.9375
	$a=3,b=3,n=10$	0.9150*	0.8950	0.9050	0.8975	0.9650	0.9250	0.9675*	0.9650	0.9850*	0.9550	0.9775	0.9750
	$a=4,b=3,n=10$	0.9825*	0.9650	0.9750	0.9700	0.9950*	0.9900	0.9925	0.9925	0.9975*	0.9950	0.9950	0.9975*
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.7300	0.7050	0.7450*	0.7325	0.9200*	0.9000	0.9150	0.9100	0.9625*	0.9525	0.9575	0.9525
	$a=3,b=3,n=5$	0.8425	0.8350	0.8550*	0.8475	0.9700*	0.9425	0.9575	0.9575	0.9900*	0.9775	0.9825	0.9850
	$a=4,b=3,n=5$	0.9825*	0.9450	0.9750	0.9700	0.9950*	0.9875	0.9950*	0.9950	1.0000*	0.9925	0.9975	0.9975
	$a=2,b=2,n=10$	0.9150*	0.8975	0.9000	0.8900	0.9850*	0.9625	0.9750	0.9725	0.9975*	0.9875	0.9900	0.9950
	$a=3,b=3,n=10$	0.9375*	0.9075	0.9250	0.9200	0.9850	0.9750	0.9875*	0.9850	0.9925*	0.9825	0.9900	0.9900
	$a=4,b=3,n=10$	0.9850*	0.9750	0.9825	0.9825	1.0000*	0.9900	0.9950	0.9950	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันน้อยและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.7925	0.7575	0.8000*	0.7850	0.9550*	0.9350	0.9450	0.9475	0.9875*	0.9750	0.9800	0.9775
	$a=3,b=3,n=5$	0.9550*	0.9000	0.9500	0.9500	0.9550*	0.9750	0.9900	0.9925*	0.9550*	0.9750	0.9900	0.9925*
	$a=4,b=3,n=5$	0.9925*	0.9800	0.9900	0.9900	1.0000*	0.9975	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9450	0.9300	0.9450	0.9475*	0.9900	0.9900	0.9975*	0.9950	0.9950	0.9925	0.9975*	0.9975*
	$a=3,b=3,n=10$	0.9825	0.9725	0.9775	0.9750	0.9950	0.9950	0.9950	0.9975*	1.0000*	0.9950	1.0000*	1.0000*
	$a=4,b=3,n=10$	0.9975	0.9950	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.5825*	0.5325	0.5650	0.5725	0.8425*	0.8125	0.8300	0.8250	0.9150*	0.8950	0.9075	0.9050
	$a=3,b=3,n=5$	0.8325*	0.7875	0.8125	0.7925	0.9575*	0.9350	0.9550	0.9425	0.9875*	0.9575	0.9825	0.9750
	$a=4,b=3,n=5$	0.9700*	0.9450	0.9600	0.9475	0.9950*	0.9800	0.9900	0.9900	0.9975*	0.9900	0.9950	0.9950
	$a=2,b=2,n=10$	0.7375*	0.6825	0.7225	0.7300	0.9125*	0.8750	0.8925	0.8925	0.9675*	0.9450	0.9550	0.9525
	$a=3,b=3,n=10$	0.9200*	0.8650	0.9150	0.8950	0.9825*	0.9475	0.9725	0.9725	0.9925*	0.9850	0.9925*	0.9900
	$a=4,b=3,n=10$	0.9850*	0.9800	0.9850	0.9850	0.9950*	0.9950	0.9925	0.9925	0.9975*	0.9950	0.9950	0.9975
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.7525	0.7175	0.7625*	0.7425	0.9325*	0.8900	0.9300	0.9250	0.9675*	0.9400	0.9675*	0.9625
	$a=3,b=3,n=5$	0.8675*	0.8425	0.8625	0.8650	0.9725*	0.9625	0.9700	0.9650	0.9900*	0.9775	0.9850	0.9825
	$a=4,b=3,n=5$	0.9900*	0.9525	0.9800	0.9775	1.0000*	0.9800	0.9975	0.9975	1.0000*	0.9900	1.0000*	1.0000*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9275*	0.8900	0.9150	0.9125	0.9825*	0.9725	0.9800	0.9825*	0.9950*	0.9900	0.9925	0.9925
	$a=3,b=3,n=10$	0.9450*	0.9150	0.9350	0.9325	0.9875	0.9750	0.9900*	0.9875	0.9950*	0.9875	0.9950*	0.9925
	$a=4,b=3,n=10$	0.9925	0.9825	0.9875	0.9850	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.26 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผันและระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันปานกลางและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.8150	0.7650	0.8200*	0.8150	0.9675*	0.9350	0.9625	0.9625	0.9900*	0.9750	0.9850	0.9800
	$a=3,b=3,n=5$	0.9625*	0.9275	0.9525	0.9475	0.9925*	0.9725	0.9875	0.9850	0.9950*	0.9875	0.9975	0.9975
	$a=4,b=3,n=5$	0.9975*	0.9900	0.9925	0.9925	1.0000*	0.9900	1.0000*	0.9975	1.0000*	0.9950	1.0000*	1.0000*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9600	0.9450	0.9575	0.9625*	0.9950*	0.9900	0.9950*	0.9925	0.9975	0.9950	0.9975	1.0000*
	$a=3,b=3,n=10$	0.9950*	0.9800	0.9925	0.9900	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*	0.9950*	0.9925	1.0000*	1.0000*
	$a=4,b=3,n=10$	0.9975*	0.9950	0.9975*	0.9975*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัย และขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
10	$a=2,b=2,n=5$	0.6075*	0.5650	0.5850	0.5850	0.8775*	0.8350	0.8650	0.8575	0.9400*	0.9125	0.9225	0.9200
	$a=3,b=3,n=5$	0.8500*	0.8075	0.8250	0.8100	0.9650*	0.9450	0.9575	0.9575	0.9925*	0.9750	0.9825	0.9850
	$a=4,b=3,n=5$	0.9850*	0.9650	0.9725	0.9650	0.9975*	0.9950	0.9925	0.9925	0.9975*	0.9950	0.9925	0.9925
	$a=2,b=2,n=10$	0.7500*	0.7050	0.7375	0.7350	0.9375*	0.9050	0.9275	0.9250	0.9775*	0.9650	0.9700	0.9725
	$a=3,b=3,n=10$	0.9200*	0.8650	0.9150	0.8950	0.9825*	0.9475	0.9725	0.9725	0.9925*	0.9850	0.9925*	0.9900
	$a=4,b=3,n=10$	0.9950*	0.9800	0.9875	0.9850	0.9975*	0.9950	0.9975	0.9950	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*
13.33	$a=2,b=2,n=5$	0.7700	0.7175	0.7875*	0.7675	0.9450	0.8900	0.9425	0.9300	0.9800	0.9400	0.9725	0.9700
	$a=3,b=3,n=5$	0.9150*	0.8825	0.9025	0.8925	0.9775*	0.9675	0.9725	0.9725	0.9950*	0.9825	0.9875	0.9875
	$a=4,b=3,n=5$	0.9950*	0.9650	0.9875	0.9825	0.9975*	0.9925	0.9975*	0.9975*	1.0000*	0.9950	0.9975	0.9975
	$a=2,b=2,n=10$	0.9300*	0.8900	0.9150	0.9125	0.9850*	0.9725	0.9800	0.9825	0.9975*	0.9900	0.9925	0.9925
	$a=3,b=3,n=10$	0.9450*	0.9225	0.9400	0.9325	0.9925*	0.9875	0.9925*	0.9925*	0.9975*	0.9900	0.9925*	0.9925
	$a=4,b=3,n=10$	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.27 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จำแนกตามระดับปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง สัมประสิทธิ์ความแปรผัน และระดับนัยสำคัญ กรณีเมื่อผลกระทบของปัจจัย A แตกต่างกันมาก ,ผลกระทบของปัจจัย B แตกต่างกันมากและผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแตกต่างกันมาก

C.V.%	ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองที่ใช้	ระดับนัยสำคัญ 0.01				ระดับนัยสำคัญ 0.05				ระดับนัยสำคัญ 0.10			
		สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ				สถิติทดสอบ			
		F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART	F	RT	ART	MART
20	$a=2,b=2,n=5$	0.8375	0.8050	0.8425*	0.8300	0.9750*	0.9475	0.9700	0.9700	0.9975	0.9850	0.9925	0.9950
	$a=3,b=3,n=5$	0.9725*	0.9350	0.9575	0.9450	0.9950*	0.9775	0.9875	0.9875	0.9975*	0.9900	0.9975*	0.9950
	$a=4,b=3,n=5$	1.0000*	0.9750	1.0000*	0.9950	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*
	$a=2,b=2,n=10$	0.9875*	0.9650	0.9775	0.9825	0.9950*	0.9875	0.9950*	0.9950*	1.0000*	0.9950	1.0000*	1.0000*
	$a=3,b=3,n=10$	0.9975*	0.9850	0.9975*	0.9950	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*	1.0000*	0.9975	1.0000*	1.0000*
	$a=4,b=3,n=10$	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง เมื่อข้อมูลที่ต้องการทดสอบได้จากแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่ม โดยทำการเปรียบเทียบตัวสถิติทดสอบ 4 ตัว คือ สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ สถิติทดสอบ *ART* และสถิติทดสอบ *MART* ภายใต้สถานการณ์ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาในแผนแบบทดลอง 2 ปัจจัยทดลองข้ามกลุ่มที่มีจำนวนระดับของปัจจัยทดลองเป็น 2×2 ,3×3 และ 4×3
2. ค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากันทุกกลุ่ม คือ 30
3. การแจกแจงของความคลาดเคลื่อนที่ศึกษาในแผนการทดลองมีการแจกแจงแบบปัวซอง
4. สร้างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง $(\tau\beta_{ij})$ ให้แตกต่างกันโดยพิจารณาจาก Φ_{ab} (Φ_{ab} แทน สัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนของสิ่งทดลอง)
5. กลุ่มความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองมีความแตกต่างกันน้อย ค่า Φ_{ab} อยู่ระหว่าง $[0,1.5)$ ความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองมีความแตกต่างกันปานกลาง ค่า Φ_{ab} อยู่ระหว่าง $[1.5,3.0)$ และความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองมีความแตกต่างมาก ค่า Φ_{ab} มากกว่า 3.0
6. สร้างความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัย A และปัจจัย B โดยกำหนดให้มีความแตกต่างกันปานกลางและแตกต่างกันมาก
7. ศึกษาที่ระดับสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variation) 3 ระดับ คือ 10% 13.33% และ 20% จะได้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 3 4 และ 6 ตามลำดับ
8. ระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการศึกษา คือ α = 0.01 ,0.05 และ 0.10

เกณฑ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวนั้นจะพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบ การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการจำลองข้อมูลตามสถานการณ์ต่างๆ โดยใช้โปรแกรม S-PLUS 200

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การเปรียบเทียบเทียบค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1

จากการวิจัยพบว่า ตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ในทุกระดับของปัจจัย ขนาดหน่วยทดลอง ทุกระดับของสัมประสิทธิ์ความแปรผัน ทุกระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองและระดับนัยสำคัญที่กำหนด

5.1.2 การเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบ

การพิจารณาค่าอำนาจการทดสอบจะพิจารณาเฉพาะตัวสถิติทดสอบที่สามารถควบคุมค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้เท่านั้น และเนื่องจากตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวสามารถควบคุมค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ในทุกสถานการณ์ ทำให้ไม่ต้องตัดตัวสถิติทดสอบใดออกจากการพิจารณา เมื่อพิจารณาค่าอำนาจการทดสอบจะพบว่าค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว ได้ผลสรุปดังนี้

5.1.2.1 ประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบเอฟและตัวสถิติทดสอบ *ART* จะมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวสถิติทดสอบ *MART* และตัวสถิติทดสอบการแปลงเป็นอันดับ โดยตัวสถิติทดสอบ *ART* จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตัวสถิติทดสอบเอฟ และประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง จำนวนระดับของปัจจัยทดลอง ขนาดหน่วยทดลองและระดับนัยสำคัญมีค่าเพิ่มขึ้น

5.1.2.2 ค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว แปรผันตามระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง จำนวนระดับของปัจจัยทดลอง ขนาดหน่วยทดลองและระดับนัยสำคัญ กล่าวคือ

- ที่ระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองและระดับนัยสำคัญหนึ่งๆ เมื่อขนาดหน่วยทดลองเพิ่มขึ้น ค่าอำนาจการทดสอบจะเพิ่มขึ้น
- ที่ระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองและระดับนัยสำคัญหนึ่งๆ เมื่อระดับของปัจจัยทดลองมีขนาดเพิ่มขึ้น ค่าอำนาจการทดสอบจะเพิ่มขึ้น
- ที่ระดับปัจจัยและขนาดหน่วยทดลองหนึ่งๆ เมื่อระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลองเพิ่มขึ้น ค่าอำนาจการทดสอบจะเพิ่มขึ้น

- ที่ระดับนัยสำคัญหนึ่งๆ เมื่อระดับของปัจจัยทดลองและหน่วยทดลองมีขนาดเพิ่มขึ้น ค่าอำนาจการทดสอบจะเพิ่มขึ้น

5.1.2.3 ค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัว จะใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อระดับความแตกต่างระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง หรือขนาดหน่วยทดลองมีค่ามากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะสถานการณ์ที่จำนวนปัจจัยทดลองเท่ากับ 2 เท่านั้น ในการวิจัยครั้งต่อไปอาจทำการศึกษาในกรณีที่จำนวนปัจจัยทดลองเท่ากับ 3 หรือ 4 เป็นต้น

5.2.2 ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบเมื่อความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปัวซอง ในการวิจัยครั้งต่อไปเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่กว้างขึ้นผู้สนใจอาจทำการศึกษาความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงแบบอื่น เช่น การแจกแจงยูนิฟอร์ม การแจกแจงทวินามลบ เป็นต้น

5.2.3 ในการวิจัยครั้งนี้ได้จำลองสถานการณ์ขนาดหน่วยทดลองเท่ากับ 5 และ 10 เท่านั้น ในการทำวิจัยครั้งต่อไปอาจกำหนดขนาดหน่วยทดลองให้มากขึ้น เพื่อดูว่าประสิทธิภาพยังคงเพิ่มขึ้นหรือไม่เมื่อขนาดหน่วยทดลองเพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เจิดพร หัชชะวณิช . การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรโดยวิธีพาราเมตริกซ์และวิธีนอนพาราเมตริกซ์บางวิธีกับแรงค์ทรานสฟอร์เมชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2530

มนชยา เจียงประดิษฐ์ . การประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนสำหรับการทดลองปัจจัยพหุด้วยวิธีบูตสแตรป. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,2543

มานพ วราภักดิ์. การจำลองเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2547

สุพล ดุรงค์วัฒนา. การวางแผนทดลองขั้นสูง. เอกสารประกอบการสอนวิชาการวางแผนการทดลองขั้นสูง ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,2549

อุษา ธีระวิทยเลิศ . ผลการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนกับวิธีการแปลงข้อมูลเป็นค่าอันดับของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองปัจจัย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ , 2535

ภาษาต่างประเทศ

Gerry P. Quinn, and Micheal J. Keough. Experimental Design and Data Analysis For Biologists. Cambridge, UK. , 2003

H. Mansouri. Multifactor analysis of variance based on the aligned rank transform technique, Computational Statistics&Data Analysis. 29(1999): 177-189

James J. Higgins. An Introduction to Modern Nonparametric Statistics, Duxbury Advanced Series, USA. , 2004

Mansouri, H., R. L. Paige, and J. G. Surles. Aligned rank transforms techniques For analysis of variance and multiple comparisons. Commun. Stat. 33(2004) : 2217-2232.

Mark E. Payton, Scott J Richter, Kristopher L. Giles, and Tom A. Royer. Transformations of Count Data of interaction in Factorial and Split-Plot Experiment, Journal of Economic Entomology. 99(2006):1002-1006

Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. 6th ed Hoboken, NJ.: John Willey and son , 2005.

Scott J. Richter, and Mark Payton. Nearly exact test in factorial experiments using the aligned rank transform. Journal of Applied Statistics. 26(1999):203-217

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างโปรแกรมทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่าง ระหว่างผลกระทบร่วมของปัจจัยทดลอง

```
(*การกำหนดค่าในสถานการณ์ต่างๆ ภายใต้สมมติฐานว่าง*)
a_b_3
n_10
u_30
mean_16
Loops_400

# Keep p-value
     p.value.FT_array(,dim=c(1,Loops))
     p.value.FRT_array(,dim=c(1,Loops))
     p.value.FART_array(,dim=c(1,Loops))
     p.value.FMART_array(,dim=c(1,Loops))

for(L in 1:Loops)
 {
   #Determine  Effect of Factor A
         factor.a_array(c(-4,0,4),dim=c(a))
    #Determine Effect  of Factor B
         factor.b_array(c(-4,0,4),dim=c(b))
    #Determine  Interaction  Effect
         inter_array(c(0,0,0,0,0,0,0,0,0),dim=c(a,b))
    #Create Error
         er_array(rpois(a*b*n,mean),dim=c(a,b,n))
    #Generate y value for fixed effect
         y_array(,dim=c(a,b,n))
           for(i in 1:a)
             {
```

```
            for(j in 1:b)
                {
                  for(k in 1:n)
                      {
                          y[i,j,k]_u+factor.a[i]+factor.b[j]+inter[i,j]+er[i,j,k]
                       }
                }
          }

ss_0
se_0
   for(i in 1:a)
       {
         for(j in 1:b)
             {
                for(k in 1:n)
                    {
                        ss_ss+y[i,j,k]
                        se_se+(y[i,j,k])^2
                    }
             }
       }
ss_(ss^2)/(a*b*n)

sa_0
sat_0
    for(i in 1:a)
        {
           for(j in 1:b)
               {
                for(k in 1:n)
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    {
                        sat_sat+y[i,j,k]
                    }
                }
            sa_sa+(sat^2)
            sat_0
          }
sa_(sa)/(b*n)

sb_0
sbt_0
    for(j in 1:b)
        {
          for(i in 1:a)
              {
                for(k in 1:n)
                    {
                        sbt_sbt+y[i,j,k]
                    }
              }
          sb_sb+(sbt^2)
          sbt_0
        }
  sb_(sb)/(a*n)

  si_0
  sit_0
      for(i in 1:a)
          {
              for(j in 1:b)
                  {
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    for(k in 1:n)
                        {
                          sit_sit+y[i,j,k]
                        }
                    si_si+(sit^2)
                    sit_0
                  }
                }
          si_(si)/(n)

ssa_sa-ss
ssb_sb-ss
ssi_si-ss-ssa-ssb
sse_se-ss-ssa-ssb-ssi

va_a-1
vb_b-1
vi_(a-1)*(b-1)
ve_a*b*(n-1)

msa_round(ssa/va,10)
msb_round(ssb/vb,10)
msi_round(ssi/vi,10)
mse_round(sse/ve,10)

f.stat_msi/mse
f.stat_round(f.stat,dig=12)
f.stat
p.value.FT[L]_round(1-pf(f.stat,vi,ve),dig=12)
print(p.value.FT[L])
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#การแปลงข้อมูลด้วยวิธี Rank Transformation

```
  for(i in 1:a)
        {
        for(j in 1:b)
              {
                 for(k in 1:n)
                       {
                           rank.transform_rank(y)
                       }
                }
          }
zrt_array(rank.transform,dim=c(a,b,n))

ss.rt_0
se.rt_0
     for(i in 1:a)
         {
           for(j in 1:b)
              {
                 for(k in 1:n)
                       {
                          ss.rt_ss.rt+zrt[i,j,k]
                          se.rt_se.rt+(zrt[i,j,k])^2
                       }
                }
          }
ss.rt_(ss.rt^2)/(a*b*n)

sa.rt_0
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
sat.rt_0
      for(i in 1:a)
           {
             for(j in 1:b)
                 {
                    for(k in 1:n)
                        {
                              sat.rt_sat.rt+zrt[i,j,k]
                        }
                 }
             sa.rt_sa.rt+(sat.rt^2)
             sat.rt_0
           }
sa.rt_(sa.rt)/(b*n)

sb.rt_0
sbt.rt_0
     for(j in 1:b)
          {
            for(i in 1:a)
                {
                  for(k in 1:n)
                        {
                           sbt.rt_sbt.rt+zrt[i,j,k]
                        }
                }
            sb.rt_sb.rt+(sbt.rt^2)
            sbt.rt_0
          }
sb.rt_(sb.rt)/(a*n)
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
si.rt_0
sit.rt_0
      for(i in 1:a)
           {
            for(j in 1:b)
                {
                  for(k in 1:n)
                       {
                            sit.rt_sit.rt+zrt[i,j,k]
                        }
                  si.rt_si.rt+(sit.rt^2)
                  sit.rt_0
                }
            }
si.rt_(si.rt)/(n)

ssa.rt_sa.rt-ss.rt
ssb.rt_sb.rt-ss.rt
ssi.rt_si.rt-ss.rt-ssa.rt-ssb.rt
sse.rt_se.rt-ss.rt-ssa.rt-ssb.rt-ssi.rt

va.rt_a-1
vb.rt_b-1
vi.rt_(a-1)*(b-1)
ve.rt_a*b*(n-1)

msa.rt_round(ssa.rt/va.rt,8)
msb.rt_round(ssb.rt/vb.rt,8)
msi.rt_round(ssi.rt/vi.rt,8)
mse.rt_round(sse.rt/ve.rt,8)
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
f.rt_msi.rt/mse.rt
f.rt_round(f.rt,dig=10)
f.rt
p.value.FRT[L]_round(1-pf(f.rt,vi.rt,ve.rt),dig=10)
print(p.value.FRT[L])
```

#การแปลงข้อมูลด้วยวิธี Aligned rank transformation ซึ่งปรับค่าสังเกตด้วยค่าเฉลี่ย

```
y.mean.align_array(,dim=c(a,b,n))
    for(i in 1:a)
        {
          for(j in 1:b)
              {
                for(k in 1:n)
                    {
                      y.mean.align[i,j,k]_y[i,j,k]-mean(y[i,,])-mean(y[,j,])+mean(y)
                       align.rank_rank(y.mean.align)
                    }
              }
        }
 zart_array(align.rank,dim=c(a,b,n))

ss.art_0
se.art_0
     for(i in 1:a)
        {
          for(j in 1:b)
              {
                 for(k in 1:n)
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    {
                        ss.art_ss.art+zart[i,j,k]
                        se.art_se.art+(zart[i,j,k])^2
                    }
                }
            }
ss.art_(ss.art^2)/(a*b*n)

sa.art_0
sat.art_0
    for(i in 1:a)
        {
          for(j in 1:b)
              {
                  for(k in 1:n)
                      {
                          sat.art_sat.art+zart[i,j,k]
                      }
              }
          sa.art_sa.art+(sat.art^2)
          sat.art_0
        }
sa.art_(sa.art)/(b*n)

sb.art_0
sbt.art_0
     for(j in 1:b)
         {
           for(i in 1:a)
               {
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    for(k in 1:n)
                        {
                            sbt.art_sbt.art+zart[i,j,k]
                        }
                    }
                sb.art_sb.art+(sbt.art^2)
                sbt.art_0
            }
        sb.art_(sb.art)/(a*n)

        si.art_0
        sit.art_0
            for(i in 1:a)
                {
                    for(j in 1:b)
                        {
                            for(k in 1:n)
                                {
                                    sit.art_sit.art+zart[i,j,k]
                                }
                            si.art_si.art+(sit.art^2)
                            sit.art_0
                        }
                }
        si.art_(si.art)/(n)

ssa.art_sa.art-ss.art
ssb.art_sb.art-ss.art
ssi.art_si.art-ss.art-ssa.art-ssb.art
sse.art_se.art-ss.art-ssa.art-ssb.art-ssi.art
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
va.art_a-1
vb.art_b-1
vi.art_(a-1)*(b-1)
ve.art_a*b*(n-1)

msa.art_round(ssa.art/va.art,8)
msb.art_round(ssb.art/vb.art,8)
msi.art_round(ssi.art/vi.art,8)
mse.art_round(sse.art/ve.art,8)

f.art_msi.art/mse.art
f.art_round(f.art,dig=10)
f.art
p.value.FART[L]_round(1-pf(f.art,vi.art,ve.art),dig=10)
print(p.value.FART[L])
```

#การแปลงข้อมูลด้วยวิธี Aligned rank transformation ซึ่งปรับค่าสังเกตด้วยค่ามัธยฐาน

```
y.median.align_array(,dim=c(a,b,n))
    for(i in 1:a)
        {
          for(j in 1:b)
            {
              for(k in 1:n)
                {
                  y.median.align[i,j,k]_y[i,j,k]-median(y[i,,])-median(y[,j,])+median(y)
                   align.rank1_rank(y.median.align)
                }
            }
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        }

zmart_array(align.rank1,dim=c(a,b,n))

ss.mart_0
se.mart_0
    for(i in 1:a)
        {
          for(j in 1:b)
              {
                for(k in 1:n)
                    {
                        ss.mart_ss.mart+zmart[i,j,k]
                        se.mart_se.mart+(zmart[i,j,k])^2
                    }
              }
          }

    ss.mart_(ss.mart^2)/(a*b*n)

sa.mart_0
sat.mart_0
     for(i in 1:a)
        {
          for(j in 1:b)
              {
                 for(k in 1:n)
                     {
                        sat.mart_sat.mart+zmart[i,j,k]
                     }
              }
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            sa.mart_sa.mart+(sat.mart^2)
             sat.mart_0
          }
sa.mart_(sa.mart)/(b*n)

 sb.mart_0
 sbt.mart_0
     for(j in 1:b)
          {
            for(i in 1:a)
                 {
                    for(k in 1:n)
                          {
                             sbt.mart_sbt.mart+zmart[i,j,k]
                          }
                 }
             sb.mart_sb.mart+(sbt.mart^2)
             sbt.mart_0
           }
 sb.mart_(sb.mart)/(a*n)

 si.mart_0
 sit.mart_0
        for(i in 1:a)
            {
               for(j in 1:b)
                    {
                       for(k in 1:n)
                             {
                                sit.mart_sit.mart+zmart[i,j,k]
                             }
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    si.mart_si.mart+(sit.mart^2)
                    sit.mart_0
                  }
                }
    si.mart_(si.mart)/(n)

ssa.mart_sa.mart-ss.mart
ssb.mart_sb.mart-ss.mart
ssi.mart_si.mart-ss.mart-ssa.mart-ssb.mart
sse.mart_se.mart-ss.mart-ssa.mart-ssb.mart-ssi.mart

va.mart_a-1
vb.mart_b-1
vi.mart_(a-1)*(b-1)
ve.mart_a*b*(n-1)

msa.mart_round(ssa.mart/va.mart,8)
msb.mart_round(ssb.mart/vb.mart,8)
msi.mart_round(ssi.mart/vi.mart,8)
mse.mart_round(sse.mart/ve.mart,8)

f.mart_msi.mart/mse.mart
f.mart_round(f.mart,dig=10)
f.mart
p.value.FMART[L]_round(1-pf(f.mart,vi.mart,ve.mart),dig=10)
print(p.value.FMART[L])
print(L)
}
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
#type 1 (FT)

count.f0.01_ifelse(p.value.FT<=0.01,1,0)
sum.pval0.01_sum(count.f0.01)
prob.f0.01_round(sum.pval0.01/Loops,dig=10)
prob.f0.01

count.f0.05_ifelse(p.value.FT<=0.05,1,0)
sum.pval0.05_sum(count.f0.05)
prob.f0.05_round(sum.pval0.05/Loops,dig=10)
prob.f0.05

count.f0.1_ifelse(p.value.FT<=0.1,1,0)
sum.pval0.1_sum(count.f0.1)
prob.f0.1_round(sum.pval0.1/Loops,dig=10)
prob.f0.1


#type 1 (FRT)

count.rt0.01_ifelse(p.value.FRT<=0.01,1,0)
sum.rtpval0.01_sum(count.rt0.01)
prob.rt0.01_round(sum.rtpval0.01/Loops,dig=10)
prob.rt0.01

count.rt0.05_ifelse(p.value.FRT<=0.05,1,0)
sum.rtpval0.05_sum(count.rt0.05)
prob.rt0.05_round(sum.rtpval0.05/Loops,dig=10)
prob.rt0.05
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
count.rt0.1_ifelse(p.value.FRT<=0.1,1,0)
sum.rtpval0.1_sum(count.rt0.1)
prob.rt0.1_round(sum.rtpval0.1/Loops,dig=10)
prob.rt0.1

  #type 1 (FART)

count.art0.01_ifelse(p.value.FART<=0.01,1,0)
sum.artpval0.01_sum(count.art0.01)
prob.art0.01_round(sum.artpval0.01/Loops,dig=10)
prob.art0.01

count.art0.05_ifelse(p.value.FART<=0.05,1,0)
sum.artpval0.05_sum(count.art0.05)
prob.art0.05_round(sum.artpval0.05/Loops,dig=10)
prob.art0.05

count.art0.1_ifelse(p.value.FART<=0.1,1,0)
sum1.artpval0.1_sum(count.art0.1)
prob.art0.1_round(sum1.artpval0.1/Loops,dig=10)
prob.art0.1

  #type 1 (FMART)

count.mart0.01_ifelse(p.value.FMART<=0.01,1,0)
sum.martpval0.01_sum(count.mart0.01)
prob.mart0.01_round(sum.martpval0.01/Loops,dig=10)
prob.mart0.01
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
count.mart0.05_ifelse(p.value.FMART<=0.05,1,0)
sum.martpval0.05_sum(count.mart0.05)
prob.mart0.05_round(sum.martpval0.05/Loops,dig=10)
prob.mart0.05

count.mart0.1_ifelse(p.value.FMART<=0.1,1,0)
sum.martpval0.1_sum(count.mart0.1)
prob.mart0.1_round(sum.martpval0.1/Loops,dig=10)
prob.mart0.1
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
(*การกำหนดค่าในสถานการณ์ต่างๆ ภายใต้สมมติฐานแย้ง*)
a_b_3
n_10
u_30
mean_16
Loops_400

# Keep p-value
     p.value.FT_array(,dim=c(1,Loops))
     p.value.FRT_array(,dim=c(1,Loops))
     p.value.FART_array(,dim=c(1,Loops))
     p.value.FMART_array(,dim=c(1,Loops))

for(L in 1:Loops)
 {
   #Determine  Effect of Factor A
         factor.a_array(c(-4,0,4),dim=c(a))
    #Determine Effect  of Factor B
         factor.b_array(c(-4,0,4),dim=c(b))
    #Determine  Interaction  Effect
         inter_array(c(-3,0,2,0,0,0,3,0,-2),dim=c(a,b))
     #Create Error
         er_array(rpois(a*b*n,mean),dim=c(a,b,n))
    #Generate y value for fixed effect
         y_array(,dim=c(a,b,n))
           for(i in 1:a)
           {
               for(j in 1:b)
                   {
                     for(k in 1:n)
```

```
                    {
                        y[i,j,k]_u+factor.a[i]+factor.b[j]+inter[i,j]+er[i,j,k]
                    }
                }
            }

ss_0
se_0
  for(i in 1:a)
      {
        for(j in 1:b)
            {
                for(k in 1:n)
                    {
                        ss_ss+y[i,j,k]
                        se_se+(y[i,j,k])^2
                    }
            }
      }
ss_(ss^2)/(a*b*n)

sa_0
sat_0
   for(i in 1:a)
       {
          for(j in 1:b)
              {
                 for(k in 1:n)
                     {
                        sat_sat+y[i,j,k]
                     }
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            }
          sa_sa+(sat^2)
          sat_0
        }
sa_(sa)/(b*n)

sb_0
sbt_0
    for(j in 1:b)
       {
         for(i in 1:a)
             {
               for(k in 1:n)
                   {
                       sbt_sbt+y[i,j,k]
                   }
             }
         sb_sb+(sbt^2)
         sbt_0
       }
  sb_(sb)/(a*n)

  si_0
  sit_0
     for(i in 1:a)
         {
            for(j in 1:b)
                {
                   for(k in 1:n)
                       {
                         sit_sit+y[i,j,k]
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    }
                si_si+(sit^2)
                sit_0
            }
        }
    si_(si)/(n)

ssa_sa-ss
ssb_sb-ss
ssi_si-ss-ssa-ssb
sse_se-ss-ssa-ssb-ssi

va_a-1
vb_b-1
vi_(a-1)*(b-1)
ve_a*b*(n-1)

msa_round(ssa/va,10)
msb_round(ssb/vb,10)
msi_round(ssi/vi,10)
mse_round(sse/ve,10)

f.stat_msi/mse
f.stat_round(f.stat,dig=12)
f.stat
p.value.FT[L]_round(1-pf(f.stat,vi,ve),dig=12)
print(p.value.FT[L])
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#การแปลงข้อมูลด้วยวิธี Rank Transformation

```
 for(i in 1:a)
        {
        for(j in 1:b)
                {
                   for(k in 1:n)
                        {
                           rank.transform_rank(y)
                        }
                 }
          }
zrt_array(rank.transform,dim=c(a,b,n))

ss.rt_0
se.rt_0
      for(i in 1:a)
          {
            for(j in 1:b)
                 {
                    for(k in 1:n)
                        {
                            ss.rt_ss.rt+zrt[i,j,k]
                            se.rt_se.rt+(zrt[i,j,k])^2
                        }
                  }
          }
ss.rt_(ss.rt^2)/(a*b*n)

sa.rt_0
sat.rt_0
      for(i in 1:a)
            {
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            for(j in 1:b)
                {
                   for(k in 1:n)
                       {
                           sat.rt_sat.rt+zrt[i,j,k]
                       }
                }
             sa.rt_sa.rt+(sat.rt^2)
             sat.rt_0
          }
sa.rt_(sa.rt)/(b*n)

sb.rt_0
sbt.rt_0
     for(j in 1:b)
          {
            for(i in 1:a)
                {
                  for(k in 1:n)
                       {
                          sbt.rt_sbt.rt+zrt[i,j,k]
                       }
                }
            sb.rt_sb.rt+(sbt.rt^2)
            sbt.rt_0
          }
sb.rt_(sb.rt)/(a*n)

si.rt_0
sit.rt_0
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        for(i in 1:a)
            {
             for(j in 1:b)
                 {
                   for(k in 1:n)
                        {
                          sit.rt_sit.rt+zrt[i,j,k]
                         }
                   si.rt_si.rt+(sit.rt^2)
                   sit.rt_0
                 }
             }
    si.rt_(si.rt)/(n)

ssa.rt_sa.rt-ss.rt
ssb.rt_sb.rt-ss.rt
ssi.rt_si.rt-ss.rt-ssa.rt-ssb.rt
sse.rt_se.rt-ss.rt-ssa.rt-ssb.rt-ssi.rt

va.rt_a-1
vb.rt_b-1
vi.rt_(a-1)*(b-1)
ve.rt_a*b*(n-1)

msa.rt_round(ssa.rt/va.rt,8)
msb.rt_round(ssb.rt/vb.rt,8)
msi.rt_round(ssi.rt/vi.rt,8)
mse.rt_round(sse.rt/ve.rt,8)

f.rt_msi.rt/mse.rt
f.rt_round(f.rt,dig=10)
f.rt
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
p.value.FRT[L]_round(1-pf(f.rt,vi.rt,ve.rt),dig=10)
print(p.value.FRT[L])
```

#การแปลงข้อมูลด้วยวิธี Aligned rank transformation ซึ่งปรับค่าสังเกตด้วยค่าเฉลี่ย

```
y.mean.align_array(,dim=c(a,b,n))
    for(i in 1:a)
        {
          for(j in 1:b)
              {
                for(k in 1:n)
                    {
                        y.mean.align[i,j,k]_y[i,j,k]-mean(y[i,,])-mean(y[,j,])+mean(y)
                         align.rank_rank(y.mean.align)
                    }
              }
        }
 zart_array(align.rank,dim=c(a,b,n))

ss.art_0
se.art_0
    for(i in 1:a)
        {
          for(j in 1:b)
              {
                for(k in 1:n)
                    {
                        ss.art_ss.art+zart[i,j,k]
                        se.art_se.art+(zart[i,j,k])^2
                    }
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                }
            }
ss.art_(ss.art^2)/(a*b*n)

sa.art_0
sat.art_0
      for(i in 1:a)
          {
            for(j in 1:b)
                {
                    for(k in 1:n)
                        {
                            sat.art_sat.art+zart[i,j,k]
                        }
                }
            sa.art_sa.art+(sat.art^2)
            sat.art_0
          }
sa.art_(sa.art)/(b*n)


sb.art_0
sbt.art_0
      for(j in 1:b)
         {
           for(i in 1:a)
               {
                  for(k in 1:n)
                      {
                          sbt.art_sbt.art+zart[i,j,k]
                      }
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    }
                sb.art_sb.art+(sbt.art^2)
                sbt.art_0
               }
    sb.art_(sb.art)/(a*n)

    si.art_0
    sit.art_0
        for(i in 1:a)
            {
              for(j in 1:b)
                  {
                    for(k in 1:n)
                        {
                            sit.art_sit.art+zart[i,j,k]
                        }
                    si.art_si.art+(sit.art^2)
                    sit.art_0
                  }
             }
    si.art_(si.art)/(n)

ssa.art_sa.art-ss.art
ssb.art_sb.art-ss.art
ssi.art_si.art-ss.art-ssa.art-ssb.art
sse.art_se.art-ss.art-ssa.art-ssb.art-ssi.art

va.art_a-1
vb.art_b-1
vi.art_(a-1)*(b-1)
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
ve.art_a*b*(n-1)

msa.art_round(ssa.art/va.art,8)
msb.art_round(ssb.art/vb.art,8)
msi.art_round(ssi.art/vi.art,8)
mse.art_round(sse.art/ve.art,8)

f.art_msi.art/mse.art
f.art_round(f.art,dig=10)
f.art
p.value.FART[L]_round(1-pf(f.art,vi.art,ve.art),dig=10)
print(p.value.FART[L])



#การแปลงข้อมูลด้วยวิธี  Aligned  rank transformation  ซึ่งปรับค่าสังเกตด้วยค่ามัธยฐาน

y.median.align_array(,dim=c(a,b,n))
    for(i in 1:a)
        {
           for(j in 1:b)
              {
                 for(k in 1:n)
                    {
                       y.median.align[i,j,k]_y[i,j,k]-median(y[i,,])-median(y[,j,])+median(y)
                        align.rank1_rank(y.median.align)
                    }
              }
        }

zmart_array(align.rank1,dim=c(a,b,n))
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
ss.mart_0
se.mart_0
    for(i in 1:a)
        {
          for(j in 1:b)
              {
                for(k in 1:n)
                    {
                        ss.mart_ss.mart+zmart[i,j,k]
                        se.mart_se.mart+(zmart[i,j,k])^2
                    }
                }
          }

    ss.mart_(ss.mart^2)/(a*b*n)

sa.mart_0
sat.mart_0
    for(i in 1:a)
        {
          for(j in 1:b)
              {
                for(k in 1:n)
                    {
                        sat.mart_sat.mart+zmart[i,j,k]
                    }
                }
          sa.mart_sa.mart+(sat.mart^2)
           sat.mart_0
        }
   sa.mart_(sa.mart)/(b*n)
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
sb.mart_0
sbt.mart_0
    for(j in 1:b)
        {
          for(i in 1:a)
              {
                for(k in 1:n)
                      {
                          sbt.mart_sbt.mart+zmart[i,j,k]
                      }
               }
           sb.mart_sb.mart+(sbt.mart^2)
           sbt.mart_0
         }
sb.mart_(sb.mart)/(a*n)

si.mart_0
sit.mart_0
        for(i in 1:a)
            {
              for(j in 1:b)
                  {
                    for(k in 1:n)
                        {
                            sit.mart_sit.mart+zmart[i,j,k]
                        }
                    si.mart_si.mart+(sit.mart^2)
                    sit.mart_0
                  }
             }
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    si.mart_(si.mart)/(n)

ssa.mart_sa.mart-ss.mart
ssb.mart_sb.mart-ss.mart
ssi.mart_si.mart-ss.mart-ssa.mart-ssb.mart
sse.mart_se.mart-ss.mart-ssa.mart-ssb.mart-ssi.mart

va.mart_a-1
vb.mart_b-1
vi.mart_(a-1)*(b-1)
ve.mart_a*b*(n-1)

msa.mart_round(ssa.mart/va.mart,8)
msb.mart_round(ssb.mart/vb.mart,8)
msi.mart_round(ssi.mart/vi.mart,8)
mse.mart_round(sse.mart/ve.mart,8)

f.mart_msi.mart/mse.mart
f.mart_round(f.mart,dig=10)
f.mart
p.value.FMART[L]_round(1-pf(f.mart,vi.mart,ve.mart),dig=10)
print(p.value.FMART[L])
print(L)
}
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#การคำนวณค่าอำนาจการทดสอบสำหรับทดสอบอิทธิพลร่วม

```
count.f0.01_ifelse(p.value.FT<=0.01,1,0)
sum.pval0.01_sum(count.f0.01)
prob.f0.01_round(sum.pval0.01/Loops,dig=10)
prob.f0.01

count.f0.05_ifelse(p.value.FT<=0.05,1,0)
sum.pval0.05_sum(count.f0.05)
prob.f0.05_round(sum.pval0.05/Loops,dig=10)
prob.f0.05

count.f0.1_ifelse(p.value.FT<=0.1,1,0)
sum.pval0.1_sum(count.f0.1)
prob.f0.1_round(sum.pval0.1/Loops,dig=10)
prob.f0.1

count.rt0.01_ifelse(p.value.FRT<=0.01,1,0)
sum.rtpval0.01_sum(count.rt0.01)
prob.rt0.01_round(sum.rtpval0.01/Loops,dig=10)
prob.rt0.01

count.rt0.05_ifelse(p.value.FRT<=0.05,1,0)
sum.rtpval0.05_sum(count.rt0.05)
prob.rt0.05_round(sum.rtpval0.05/Loops,dig=10)
prob.rt0.05

count.rt0.1_ifelse(p.value.FRT<=0.1,1,0)
sum.rtpval0.1_sum(count.rt0.1)
prob.rt0.1_round(sum.rtpval0.1/Loops,dig=10)
prob.rt0.1
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
count.art0.01_ifelse(p.value.FART<=0.01,1,0)
sum.artpval0.01_sum(count.art0.01)
prob.art0.01_round(sum.artpval0.01/Loops,dig=10)
prob.art0.01

count.art0.05_ifelse(p.value.FART<=0.05,1,0)
sum.artpval0.05_sum(count.art0.05)
prob.art0.05_round(sum.artpval0.05/Loops,dig=10)
prob.art0.05

count.art0.1_ifelse(p.value.FART<=0.1,1,0)
sum1.artpval0.1_sum(count.art0.1)
prob.art0.1_round(sum1.artpval0.1/Loops,dig=10)
prob.art0.1


count.mart0.01_ifelse(p.value.FMART<=0.01,1,0)
sum.martpval0.01_sum(count.mart0.01)
prob.mart0.01_round(sum.martpval0.01/Loops,dig=10)
prob.mart0.01

count.mart0.05_ifelse(p.value.FMART<=0.05,1,0)
sum.martpval0.05_sum(count.mart0.05)
prob.mart0.05_round(sum.martpval0.05/Loops,dig=10)
prob.mart0.05

count.mart0.1_ifelse(p.value.FMART<=0.1,1,0)
sum.martpval0.1_sum(count.mart0.1)
prob.mart0.1_round(sum.martpval0.1/Loops,dig=10)
prob.mart0.1
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนันทรัตน์ ด้วงพจน์ เกิดเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2524 ที่กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาสถิติ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตร์มหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2548

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย