วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลเมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

A Comparison on Data Transformation Methods when Data are Unconformed to the Analysis of Variance Assumptions in Randomized Complete Block Designs

โดย

นางสาวสการะ คำมีแสง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ)
พ.ศ. 2550

สการะ คำมีแสง 2550: การเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลเมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ) สาขาสถิติ ภาควิชาสถิติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนันต์ชัย เขื่อนธรรม, M.S. 141 หน้า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการแปลงข้อมูลแบบพาราเมตริก 2 วิธี ได้แก่ วิธีของ Tukey และวิธีของ Box และCox กับแบบนันพาราเมตริก 1 วิธี ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ประการ โดยจำแนกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก และกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามทั้ง 2 ข้อสมมติ จากแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ที่มีจำนวนบล็อก 4, 8 และ12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3, 4, 8, 10, 15 และ20 ทรีทเมนต์ และจำนวนขนาดการทดลอง 18 ขนาด สร้างข้อมูลจำลองแบบโดยเทคนิคมอนติคาร์โล ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel จำนวนทั้งสิ้น 108 ลักษณะ ในแต่ละลักษณะกระทำซ้ำ 1,000 ครั้ง เปรียบเทียบจากร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุด ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด และอำนาจการทดสอบสูงที่สุด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ0.01

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า การแปลงข้อมูลแบบพาราเมตริก 2 วิธี วิธีแรก คือ วิธีของ Tukey มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อแปลงข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวกและข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามทั้งข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก และวิธีที่สอง ได้แก่ วิธีของ Box และCox มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อแปลงข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน สำหรับวิธีแบบนันพาราเมตริก ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ เป็นวิธีที่สามารถแปลงข้อมูลให้เป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุด แต่มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากโดยรวมมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 สูงที่สุด และอำนาจการทดสอบต่ำที่สุด

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sakara Khammeesaeng 2007: A Comparison on Data Transformation Methods when Data are Unconformed to the Analysis of Variance Assumptions in Randomized Complete Block Designs. Master of Science (Statistics), Major Field: Statistics, Department of Statistics. Thesis Advisor: Associate Professor Ananchai Khuantham, M.S. 141 pages.

The purpose of this research was to compare transformation methods when data are against the underlying assumptions for analysis of variance (homogeneity of variance and additivity for testing differences between treatment effects) in Randomized Complete Block Designs by comparing two parametric methods which are the Tukey transformation approach and the Box and Cox transformation approach, and a nonparametric method, the Rank transformation approach. This research generated data which were separated into major three cases : data that have heterogeneity of variance, data that have nonadditivity and data that have both.The number of blocks used were 4, 8 and 12. The number of treatments used were 3, 4, 8, 10, 15 and 20.There were 108 cases and each case consisted of 1,000 runs generated from the Monte Carlo simulation technique using Microsoft Excel. The levels of significance were 0.05 and 0.01. The efficiency of transformation methods was compared, by using percentage of conformed data, probability of type I errors and power of the test.

The results can be summarized as follows: of the two parametric methods, Tukey has the highest efficiency when data have only nonadditivity, or both heterogeneity of variance and nonadditivity. In addition, Tukey has the lowest probability of type I errors, and also has the highest power of the test for these cases. Similarly, Box and Cox has the highest efficiency when data have heterogeneity of variance. The nonparametric method, Rank, has the highest of percentage of conformed data for all cases. However, this approach has the highest probability of type I errors, but has the lowest power of the test. Overall, Rank has the lowest efficiency of three transformation approaches.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.อนันต์ชัย เขื่อนธรรม ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.บุญอ้อม โฉมที กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ รศ.พัชรา อุบลศรี ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้า ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาครั้งนี้แก่ข้าพเจ้า และเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยทุกท่าน เพื่อน พี่ น้อง ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ

สุดท้าย กราบขอบพระคุณ คุณแม่ พี่ชาย และคุณโสภณ จีนะสุทธิ์ ผู้ซึ่งเป็นแรงบันดาลใจและให้การสนับสนุนข้าพเจ้าตลอดมา

สการะ คำมีแสง

พฤษภาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	8
วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	8
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	108
สรุป	108
ข้อเสนอแนะ	121
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	122
ภาคผนวก	125
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	141

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราส่วนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่ศึกษาในงานวิจัย	6
2	ค่าอิทธิพลของบล็อกที่ศึกษาในงานวิจัย	6
3	ค่าอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ศึกษาในงานวิจัย	7
4	แสดงข้อมูลของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์	10
5	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์	11
6	แสดง EMS ของอิทธิพลต่าง ๆ ในกรณีที่ให้บล็อก และทรีทเมนต์เป็นอิทธิพลกำหนด	11
7	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการตรวจสอบเอกภาพของความแปรปรวน	13
8	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการตรวจสอบอิทธิพลแบบบวก	14
9	ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ	20
10	ลักษณะข้อมูลแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ที่ศึกษาในงานวิจัย จำนวนทั้งสิ้น 108 ลักษณะ	26
11	ค่าวิกฤติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการตรวจสอบข้อสมมติ	36
12	ค่าวิกฤติที่ใช้ในการทดสอบความแตกต่างอิทธิพลของทรีทเมนต์	37
13	เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	42
14	เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	45
15	เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	49
16	เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	53

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	56
18	เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	60
19	เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	64
20	เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	67
21	เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	71
22	เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	74
23	เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	78
24	เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	82
25	เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
26	เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	89
27	เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	93
28	เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	96
29	เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนละอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	100
30	เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	104
31	สรุปเปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติจากวิธีการแปลงข้อมูล 3 วิธี จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญ	109
32	สรุปเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของวิธีการแปลงข้อมูล 3 วิธี จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญ	112
33	สรุปเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของวิธีการแปลงข้อมูล 3 วิธี จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญ	115
34	สรุปเปรียบเทียบร้อยละ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการแปลงข้อมูล 3 วิธี จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญ	118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		**หน้า**
ก1	อัตราส่วนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันที่ใช้ในงานวิจัย	126
ข1	อิทธิพลของบล็อกที่ศึกษาในงานวิจัย	129
ข2	อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ศึกษาในงานวิจัย	130
ค1	ฟังก์ชันของ Microsoft Excel ที่ใช้ในงานวิจัย	133

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการวิจัย	39
2	ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตาม ข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	43
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	43
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	44
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	44
3	ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตาม ข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	46
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	47
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	47
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	48
4	ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตาม ข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	50
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	51
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	51
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	52
5	ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตาม ข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	54
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	54
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	55
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6	ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	57
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	58
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	58
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	59
7	ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	61
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	61
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	62
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	62
8	ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	65
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	65
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	66
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	66
9	ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	68
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	69
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	70
10	ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	72
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	72
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	73
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	73
11	ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	75
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	76
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	76
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	77
12	ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	79
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	80
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	80
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	81
13	ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	83
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	83
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	84
14	อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	87
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	87
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	88
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	88
15	อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	90
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	91
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	91
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	92
16	อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	94
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	94
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	95
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	95
17	อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	
	(ก) การทดลองทุกขนาด	97
	(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก	98
	(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก	98
	(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก	99

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

18 อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก และระดับนัยสำคัญ 0.05

(ก) การทดลองทุกขนาด 101

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก 102

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก 102

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก 103

19 อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก และระดับนัยสำคัญ 0.01

(ก) การทดลองทุกขนาด 105

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก 105

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก 106

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก 106

ภาพผนวกที่

ค1 การสร้างข้อมูลจาก Microsoft Excel 135

ค2 การตรวจสอบข้อสมมติ 136

ค3 การแปลงข้อมูลวิธีของ Tukey 136

ค4 การแปลงข้อมูลวิธีของ Box และCox 137

ค5 การแปลงโดยใช้อันดับ 137

ค6 การใช้ตัวกรองข้อมูล 138

ค7 การกรองข้อมูล 138

ค8 แบบฟอร์มนับจำนวนครั้งของการยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 139

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ค9	นับจำนวนครั้งของการยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 ของแต่ละวิธีการแปลงข้อมูล	139
ค10	ผลสรุปของแต่ละกรณี	140
ค11	ผลทั้งหมดที่ได้เพื่อคำนวณร้อยละ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบ	140

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

r	=	จำนวนบล็อก
t	=	จำนวนทรีทเมนต์
ρ_i	=	อิทธิพลของบล็อก
τ_j	=	อิทธิพลของทรีทเมนต์
ε_{ij}	=	ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง
σ^2	=	ความแปรปรวน
TK	=	การแปลงข้อมูลโดยวิธีของ Tukey
BC	=	การแปลงข้อมูลโดยวิธีของ Box และCox
RK	=	การแปลงข้อมูลโดยใช้อันดับ
p	=	ค่ายกกำลังของวิธี Tkey
λ	=	ค่ายกกำลังของวิธี Box และCox
%	=	ร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติ
Type I	=	ความผิดพลาดประเภทที่ 1
Power	=	อำนาจการทดสอบ

การเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลเมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

A Comparison on Data Transformation Methods when Data are Unconformed to the Analysis of Variance Assumptions in Randomized Complete Block Designs

คำนำ

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ซึ่งผลการวิเคราะห์จะถูกต้อง น่าเชื่อถือเพียงใดขึ้นอยู่กับข้อมูลนั้นภายใต้ข้อสมมติเกี่ยวกับการวิเคราะห์หรือไม่ เพราะถ้าข้อมูลมีการฝ่าฝืนข้อสมมติอาจทำให้ผลการทดสอบแตกต่างไปจากความจริง จึงมีความจำเป็นในการพิจารณาคุณลักษณะของข้อมูลว่าเป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวนมากน้อยเพียงใด เพราะเป็นกฎเกณฑ์เบื้องต้นที่จะทำให้เลือกใช้สถิติสำหรับเปรียบเทียบในขั้นต่อไปได้อย่างถูกต้อง โดยไม่ต้องกลับไปพะวงถึงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นแรก ตรงกันข้ามถ้าข้อมูลฝ่าฝืนไปจากข้อสมมติมาก ย่อมจะมีผลกระทบต่อการแปลผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองในขั้นสุดท้ายด้วย

ข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลกระทบจากการฝ่าฝืนข้อสมมติ และวิธีการตรวจสอบข้อสมมติแต่ละข้อ มีดังนี้

ข้อสมมติเกี่ยวกับการแจกแจงแบบปกติ จากการศึกษาพบว่า ตัวทดสอบ F ค่อนข้างจะแกร่ง (robust) ต่อการฝ่าฝืนข้อสมมติเกี่ยวกับการแจกแจงปกติ กล่าวคือ ประชากรที่มีความเบ้ (skewed populations) จะมีผลกระทบต่อระดับนัยสำคัญ และอำนาจการทดสอบเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ถ้าประชากรมีความโด่งต่ำกว่าปกติ (platykurtic) และโด่งสูงกว่าปกติ (leptokurtic) จะมีผลกระทบต่อระดับนัยสำคัญเพียงเล็กน้อย แต่อาจมีผลต่ออำนาจการทดสอบค่อนข้างมาก ถ้ามีจำนวนซ้ำน้อย สามารถตรวจสอบข้อสมมติได้โดยใช้วิธีทดสอบแบบไคสแควร์ (Chi-square test) หรือวิธีทดสอบแบบ (Shapiro-Wilk W test) เป็นต้น

ข้อสมมติเกี่ยวกับความเป็นอิสระ โดยปกติการสุ่มตัวอย่างหรือการสุ่มทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองจะเป็นหลักประกันที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน การสุ่มจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการทดลอง การที่ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติ จะทำให้ตัวตั้งและตัวหารของตัวทดสอบ F เป็นอิสระต่อกัน ในกรณีที่ข้อสมมติเกี่ยวกับความเป็นอิสระถูกฝ่าฝืนจะมีกระทบอย่างมากต่อทั้งระดับนัยสำคัญ และอำนาจการทดสอบ ตรวจสอบข้อสมมติโดยใช้วิธีทดสอบการวิ่ง (run test) เป็นต้น

ข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน กรณีที่ความแปรปรวนของทรีทเมนต์แตกต่างกันพอสมควร ผลกระทบต่อระดับนัยสำคัญและอำนาจการทดสอบจะมีไม่มากนัก ถ้าแต่ละทรีทเมนต์มีจำนวนซ้ำเท่ากัน แต่ถ้ามีจำนวนซ้ำต่างกันหรือความแปรปรวนของทรีทเมนต์แตกต่างกัน จะมีผลกระทบอย่างมากต่อระดับนัยสำคัญของการทดสอบ ตรวจสอบข้อสมมติได้โดยใช้วิธีทดสอบของ Cochran (Cochran’s C) วิธีทดสอบของ Bartlett (Bartlett’s test) หรือวิธีทดสอบของ Levene (Levene’s test) เป็นต้น

ข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก การใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนกับข้อมูลที่มีการจำแนกสองทางหรือมากกว่าโดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จำเป็นต้องกำหนดว่า อิทธิพลของทรีทเมนต์และอิทธิพลอื่นจะเกิดในรูปผลบวก กล่าวคือ สำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ อิทธิพลของทรีทเมนต์กับอิทธิพลของบล็อกจะเกิดในรูปอื่นที่ไม่ใช่ผลบวก (nonadditive) ไม่ได้ ตัวอย่างของการเกิดอิทธิพลที่ไม่เป็นผลบวก คือ การเกิดอิทธิพลในรูปผลคูณ หรือการเกิดอิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างทรีทเมนต์กับอิทธิพลอื่น การใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนกับข้อมูลที่มีอิทธิพลที่ไม่เป็นแบบบวก จะทำให้ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ มีความลำเอียงในทางลบ (negatively bias) กล่าวคือ โอกาสของการปฏิเสธสมมติฐานว่างจะน้อยกว่าปกติ ในบางกรณีจะทำให้อำนาจการทดสอบลดลง สามารถตรวจสอบข้อสมมติได้โดยใช้วิธีของ Tukey (Tukey’s test) เป็นต้น

ข้อสมมติและหลักเกณฑ์การตรวจสอบที่กล่าวมาแล้ว นักวิจัยบางท่านอาจคิดว่ายุ่งยากและเสียเวลา แต่การตรวจสอบข้อมูลก่อนการทดสอบสมมติฐานนั้นเป็นผลดีต่อนักวิจัย เพราะจะทำให้งานวิจัยมีความน่าเชื่อถือ และมีคุณค่าทางวิชาการ ซึ่งผู้อื่นสามารถนำไปอ้างอิงได้อย่างถูกต้องตลอดไป นอกจากนี้ การตรวจสอบยังทำได้ง่ายเพราะมีโปรแกรมสำเร็จรูปให้เลือกใช้ เช่น SPSS SAS เป็นต้น ซึ่งถ้าผลการทดสอบพบว่า ข้อมูลมีลักษณะไม่เป็นไปตามข้อสมมติเฉพาะการฝ่าฝืน

ข้อสมมติเกี่ยวกับการแจกแจงแบบปกติ ข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน และข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ถ้าไม่ร้ายแรงจนเกินไปสามารถแปลงข้อมูล (Transformation) แล้วใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนวิเคราะห์ข้อมูลได้ตามเดิม ส่วนกรณีพบว่า ลักษณะของข้อมูลฝ่าฝืนข้อสมมติอย่างร้ายแรงจนไม่สามารถใช้การแปลงข้อมูลได้ นักวิจัยสามารถเปลี่ยนไปใช้วิธีแบบนันพาราเมตริกวิเคราะห์ข้อมูลได้ เนื่องจากวิธีแบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีข้อสมมติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ หรือไม่ต้องมีการกำหนดรูปแบบของการแจกแจงนักวิจัยจึงสามารถเลือกใช้วิธีนี้ได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงข้อสมมติของการวิเคราะห์

จากเหตุผลข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการแปลงข้อมูลแบบพาราเมตริกกับวิธีแบบนันพาราเมตริกว่า วิธีการแปลงข้อมูลวิธีใดมีประสิทธิภาพและให้ผลการทดสอบที่ดีกว่ากัน ในกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ซึ่งผู้วิจัยสนใจการแปลงข้อมูลวิธีแบบพาราเมตริก 2 วิธี คือ วิธีของ Tukey (Tukey transformation approach) และวิธีของ Box และCox (Box and Cox transformation approach) กับวิธีแบบนันพาราเมตริก ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ (Rank transformation approach) เพื่อให้ได้วิธีการแปลงข้อมูลที่ง่าย สะดวก ในกรณีที่มีข้อสงสัยหรือมีหลักฐานยืนยันการฝ่าฝืนข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อเป็นแนวทางให้นักวิจัยผู้อื่นสามารถนำผลงานไปอ้างอิงได้อย่างถูกต้อง และเลือกใช้วิธีการแปลงข้อมูลได้เหมาะสมกับข้อมูล

วัตถุประสงค์

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลวิธีแบบพาราเมตริก 2 วิธี คือ วิธีของ Tukey และวิธีของ Box และCox กับวิธีแบบนันพาราเมตริก 1 วิธี ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยพิจารณาจากร้อยละของข้อมูลที่เป็นไปตามข้อสมมติหลังจากแปลงแต่ละวิธี ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบ

2. เพื่อให้ได้วิธีการแปลงข้อมูลที่ง่าย สะดวกและมีประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีมีข้อสงสัยหรือมีหลักฐานยืนยันการฝ่าฝืนข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งจะช่วยให้นักวิจัยที่ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ สามารถเลือกวิธีการแปลงข้อมูลได้ถูกต้องและเหมาะสมกับข้อมูล

ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้จะทำภายใต้ขอบเขตดังนี้

1. ศึกษาเปรียบเทียบจากร้อยละของข้อมูลที่เป็นไปตามข้อสมมติหลังจากแปลงข้อมูลแต่ละวิธี ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีแบบพาราเมตริก 2 วิธี ได้แก่ วิธีของ Tukey และวิธีของ Box และCox กับวิธีแบบนันพาราเมตริก 1วิธี ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ

2. ศึกษาจากแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

3. ข้อมูลที่ศึกษาสร้างขึ้นให้ไม่เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ประการ โดยจำแนกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก และกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามทั้ง 2 ข้อสมมติ

4. ตัวแบบหุ่นของข้อมูลที่ศึกษา มีดังนี้

ตัวแบบหุ่นผลบวก มีตัวแบบเป็น

$$Y_{ij} = \mu + \rho_i + \tau_j + \varepsilon_{ij} \qquad ,i = 1,2,..,r \ ; j = 1,2,..,t$$

ตัวแบบหุ่นผลคูณ มีตัวแบบเป็น

$$Y_{ij} = \mu \rho_i \tau_j \varepsilon_{ij} \qquad ,i = 1,2,..,r \ ; \ j = 1,2,..,t$$

เมื่อ Y_{ij} เป็นค่าสังเกตจากหน่วยทดลองในบล็อกที่ i ที่ได้รับทรีทเมนต์ที่ j

μ เป็นค่าเฉลี่ยรวมซึ่งเป็นค่าคงที่

ρ_i เป็นอิทธิพลของบล็อกที่ i โดย $\Sigma\rho_i = 0$ เมื่อ ρ_i เป็นอิทธิพลกำหนด

τ_j เป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ j โดย $\Sigma\tau_j = 0$ เมื่อτ_j เป็นอิทธิพลกำหนด

ε_{ij} เป็นความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

5. กำหนดจำนวนบล็อก (r) 3 ขนาด ได้แก่ 4, 8 และ12 จำนวนทรีทเมนต์ (t) 6 ขนาด ได้แก่ 3, 4, 8, 10, 15, และ 20 และขนาดการทดลอง (r×t) 18 ขนาด ได้แก่ 4×3, 4×4, 4×8, 4×10, 4×15, 4×20, 8×3, 8×4, 8×8, 8×10, 8×15, 8×20, 12×3, 12×4, 12×8, 12×10, 12×15 และ12×20

6. ค่าเฉลี่ยรวม (μ) เท่ากับ 10

7. กำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนของของความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (ε_{ij}) ที่มีความแปรปรวนเท่ากัน และแตกต่างกัน (Games และคณะ, 1972) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ที่มาของการกำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของการทดลอง แสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 1 อัตราส่วนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่ศึกษาในงานวิจัย

t	ลักษณะความแปรปรวน	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$
3	เท่ากัน	(1.0:1.0:1.0)
	ต่างกัน	(1.0:7.7:7.0)
4	เท่ากัน	(1.0:1.0:1.0:1.0)
	ต่างกัน	(1.0:7.5:8.7:4.6)
8	เท่ากัน	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)
	ต่างกัน	(1.0:7.1:8.8:6.9:0.6:5.6:7.7:2.7)
10	เท่ากัน	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)
	ต่างกัน	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5:6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)
15	เท่ากัน	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)
	ต่างกัน	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1:2.5:9.3:9.0:9.9:3.2:2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)
20	เท่ากัน	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)
	ต่างกัน	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8:9.0:2.6:1.6:6.7:8.3:1.6:6.4:1.9:2.5:9.7:4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)

หมายเหตุ $\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$ = อัตราส่วนความแปรปรวนของทรีทเมนต์ที่ 1: ทรีทเมนต์ที่ 2:,…,t

8. กำหนดค่าอิทธิพลของบล็อก (ρ_i) และทรีทเมนต์ (τ_j) โดยที่อิทธิพลของทรีทเมนต์สอดคล้องกับค่าทดสอบสถิติ F (Kirk, 1995) ซึ่งมีผลต่อความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 และ3 ที่มาแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 2 ค่าอิทธิพลของบล็อกที่ศึกษาในงานวิจัย

r	$\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$
4	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)
8	(-0.1,0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,-0.1,0.1)
12	(-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)

หมายเหตุ $\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$= อิทธิพลของบล็อกที่ 1, 2,..., 12

ตารางที่ 3 ค่าอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ศึกษาในงานวิจัย

t	ลักษณะอิทธิพลของทรีทเมนต์	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$
3	$\tau_j = 0$	(-0.1,0.2,-0.1)
	$\tau_j \neq 0$	(1,-2,1)
4	$\tau_j = 0$	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)
	$\tau_j \neq 0$	(-2,2,-1,1)
8	$\tau_j = 0$	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
	$\tau_j \neq 0$	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)
10	$\tau_j = 0$	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
	$\tau_j \neq 0$	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)
15	$\tau_j = 0$	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.2,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)
	$\tau_j \neq 0$	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2,-1,2,-2,2,-1)
20	$\tau_j = 0$	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
	$\tau_j \neq 0$	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)

หมายเหตุ $\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$ = อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ 1, 2,..., 20

9. วิธีการแปลงข้อมูลโดยวิธีของ Box และCox ศึกษาค่า λ 10 ค่า คือ -1.00, -0.50, -0.25, 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 และ1.50 เลือกค่า λ ที่เหมาะสม จาก λ ที่ให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อ $\lambda = 1.00$ ไม่ต้องแปลงข้อมูล (Montgomery,1997)

10. กำหนดระดับนัยสำคัญ 2 ระดับ คือ 0.05 และ 0.01

11. ในแต่ละสถานการณ์สร้างข้อมูล 1,000 ชุด

การตรวจเอกสาร

การตรวจเอกสารที่ใช้ในงานวิจัยนี้แยกเป็น 2 ส่วนคือ วิธีทางสถิติที่ใช้ในการศึกษาวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิจัย

1. ตัวแบบหุ่นของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

1.1 ตัวแบบหุ่นผลบวก

ตัวแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ที่มี r บล็อก และ t ทรีทเมนต์ ซึ่งมีอิทธิพลของทรีทเมนต์และอิทธิพลอื่น ๆ มีลักษณะเป็นแบบบวกมีแบบหุ่นดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \rho_i + \tau_j + \varepsilon_{ij} \qquad ,i = 1,2,..,r \;\; ; j = 1,2,..,t$$

เมื่อ Y_{ij} เป็นค่าสังเกตจากหน่วยทดลองในบล็อกที่ i ที่ได้รับทรีทเมนต์ที่ j

μ เป็นค่าเฉลี่ยรวมซึ่งเป็นค่าคงที่

ρ_i เป็นอิทธิพลของบล็อกที่ i โดย $\Sigma\rho_i = 0$ เมื่อ ρ_i เป็นอิทธิพลกำหนด

τ_j เป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ j โดย $\Sigma\tau_j = 0$ เมื่อτ_j เป็นอิทธิพลกำหนด

ε_{ij} เป็นความคลาดเคลื่อนของการทดลอง โดยที่ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$

เพื่อให้ได้อิทธิพลแบบบวกในการตัดสินใจเลือกวิธีการแปลงข้อมูลจำเป็นต้องออกแบบแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์โดยให้อิทธิพลของบล็อกและทรีทเมนต์เป็นแบบกำหนด ซึ่งค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Error Mean Square) จะเป็นตัวประมาณค่าของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของประชากร (Kirk, 1995)

1.2 ตัวแบบหุ่นผลคูณ

ตัวแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ที่มี r บล็อก และ t ทรีทเมนต์ ซึ่งมีอิทธิพลของทรีทเมนต์และอิทธิพลอื่น ๆ มีลักษณะเป็นแบบผลคูณ มีแบบหุ่นเป็นดังนี้

$$Y_{ij} = \mu\rho_i\tau_j\varepsilon_{ij} \qquad ,i = 1,2,..,r \ ; j = 1,2,..,t$$

เมื่อ Y_{ij} เป็นค่าสังเกตจากหน่วยทดลองในบล็อกที่ i ที่ได้รับทรีทเมนต์ที่ j

μ เป็นค่าเฉลี่ยรวมซึ่งเป็นค่าคงที่

ρ_i เป็นอิทธิพลของบล็อกที่ i โดย $\Sigma\rho_i = 0$ เมื่อ ρ_i เป็นอิทธิพลกำหนด

τ_j เป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ j โดย $\Sigma\tau_j = 0$ เมื่อτ_j เป็นอิทธิพลกำหนด

ε_{ij} เป็นความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

จะเห็นได้ว่าวิธีการแปลงข้อมูลให้เป็นค่าลอการิทึมช่วยให้ตัวแบบหุ่นเปลี่ยนจากแบบคูณเป็นแบบบวก ดังนี้

$$\log Y_{ij} = \log \mu + \log \rho_i + \log \tau_j + \log \varepsilon_{ij}$$

ภายใต้ตัวแบบหุ่นดังกล่าว ค่า $\log \varepsilon_{ij}$ จะต้องเป็นไปตามข้อสมมติที่ว่า มีการแจกแจงลักษณะการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และความแปรปรวนเป็น σ^2

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ที่มี r บล็อก t ทรีทเมนต์ จะเป็นดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

	บล็อก (i)				ผลรวมทรีทเมนต์ ($Y_{.j}$)
ทรีทเมนต์ (j)	1	2	...	r	
1	Y_{11}	Y_{21}		Y_{r1}	$Y_{.1}$
2	Y_{12}	Y_{22}		Y_{r2}	$Y_{.2}$
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
t	Y_{1t}	Y_{2t}	...	Y_{rt}	$Y_{.t}$
ผลรวมของบล็อก ($Y_{i.}$)	$Y_{1.}$	$Y_{2.}$	...	$Y_{r.}$	$Y_{..}$

การวิเคราะห์ความแปรปรวน กระทำได้ดังนี้

$$CT = \frac{(Y_{..})^2}{rt}$$

(1) Total SS $= \sum_{i,j} Y_{ij}^2 - CT$

(2) Block SS $= \sum_{i} \frac{Y_{i.}^2}{t} - CT$

(3) Treatment SS $= \sum_{j} \frac{Y_{.j}^2}{r} - CT$

(4) Error SS = (1) – (2) – (3)

จะได้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้

ตารางที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

Source	df	SS	MS	F
Block	r - 1	Block SS	$\text{Block MS} = \dfrac{\text{Block SS}}{r-1}$	
Treatment	t - 1	Treatment SS	$\text{Treatment MS} = \dfrac{\text{Treatment SS}}{t-1}$	
Error	(r – 1)(t – 1)	Error SS	$\text{Error MS} = \dfrac{\text{Error SS}}{(r-1)(t-1)}$	
Total	rt - 1	Total SS		

ค่าทดสอบ $F = \dfrac{\text{Treatment MS}}{\text{Error MS}}$

ซึ่งมี df = t – 1, (r – 1)(t – 1) จะใช้ทดสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์ซึ่งมีสมมติฐานเมื่อทรีทเมนต์เป็นอิทธิพลกำหนด ดังนี้

$H_0 : \tau_j = 0$ สำหรับทุกค่าของ j , j = 1,2,…,t

$H_1 : \tau_j \neq 0$ สำหรับ j อย่างน้อย 1 ค่า

โดย Expected Mean Square (EMS) ของอิทธิพลต่าง ๆ ในกรณีที่ให้บล็อกและทรีทเมนต์เป็นอิทธิพลกำหนด จะเป็นดังนี้

ตารางที่ 6 แสดง EMS ของอิทธิพลต่าง ๆ ในกรณีที่ให้บล็อก และทรีทเมนต์เป็นอิทธิพลกำหนด

Source	df	EMS
Block	r - 1	$\sigma^2 + \dfrac{t}{r-1}\sum \rho_i^2$
Treatment	t - 1	$\sigma^2 + \dfrac{r}{t-1}\sum \tau_j^2$
Error	(r - 1)(t - 1)	σ^2
Total	rt - 1	

เกณฑ์การตัดสินใจ

มีช่วงวิกฤติเป็น $F > F_{\alpha,\nu_1,\nu_2}$ โดย F_{α,ν_1,ν_2} เป็นค่าวิกฤติที่เปิดจากตารางการแจกแจง F ซึ่งมี $\nu_1 = t-1$ และ $\nu_2 = (r-1)(t-1)$

3. การตรวจสอบข้อสมมติ

การตรวจสอบว่าข้อมูลเป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์หรือไม่ ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการตรวจสอบข้อสมมติ 2 ข้อ คือ การตรวจสอบเอกภาพของความแปรปรวน และการตรวจสอบอิทธิพลแบบบวก โดยอาศัยการคำนวณหาตัวทดสอบสถิติซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การตรวจสอบเอกภาพของความแปรปรวน (Test for homogeneity of variance)

Yitnosumarto และ O'neil (1986) ได้ศึกษาวิธีการทดสอบของ Levene แล้วนำมาปรับปรุงให้ใช้ได้กับข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ โดยการแปลงข้อมูลจากการใช้ค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลองเข้ามาช่วย จากนั้นได้นำข้อมูลที่แปลงแล้วไปวิเคราะห์โดยใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน พร้อมทั้งเสนอการคำนวณค่าองศาความเป็นอิสระ เพื่อใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนอีกด้วย

การตรวจสอบด้วยวิธี Modified Levene (อนามัย, 2541) มีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ยของบล็อก ($\overline{Y}_{i.}$) ค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ ($\overline{Y}_{.j}$) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด ($\overline{Y}_{..}$)

2. คำนวณหาค่าสัมบูรณ์ของส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย

$$e_{ij} = \left| Y_{ij} - \overline{Y}_{i.} - \overline{Y}_{.j} + \overline{Y}_{..} \right|$$

3. นำค่า e_{ij} มาวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการตรวจสอบเอกภาพของความแปรปรวน

Source	df	SS	MS	F
Block	$\frac{(r-2)}{k_{r,t}}$	Block SS	$\text{Block MS} = \frac{\text{Block SS}}{(r-2/k_{r,t})}$	
Treatment	$\frac{(t-2)}{k_{r,t}}$	Treatment SS	$\text{Treatment MS} = \frac{\text{Treatment SS}}{(t-2/k_{r,t})}$	
Error	$\frac{(r-2)(t-2)}{k_{r,t}}$	Error SS	$\text{Error MS} = \frac{\text{Error SS}}{((r-2)(t-2)/k_{r,t})}$	
Total	rt-1	Total SS		

หมายเหตุ $k_{r,t} = \frac{(r-1)(t-1)}{rt}$

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ

H_0: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \ldots = \sigma_t^2 = \sigma^2$

H_1: $\sigma_j^2 = \sigma^2$ สำหรับ j อย่างน้อย 1 ค่า

ค่าทดสอบ $F = \frac{\text{Treatment MS}}{\text{Error MS}}$

เกณฑ์การตัดสินใจ

มีช่วงวิกฤติเป็น $F > F_{\alpha,\nu_1,\nu_2}$ โดย F_{α,ν_1,ν_2} เป็นค่าวิกฤติที่เปิดจากตารางการแจกแจง F

ซึ่งมี $\nu_1 = \frac{t-2}{k_{r,t}}$, $\nu_2 = \frac{(r-2)(t-2)}{k_{r,t}}$

3.2 การตรวจสอบอิทธิพลแบบบวก (Test of additivity)

การทดสอบว่า ข้อมูลเป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลของทรีทเมนต์และอิทธิพลอื่นเป็นแบบบวกหรือไม่ จะใช้วิธีการทดสอบของ Tukey (Tukey's test of additivity) โดยการแบ่งค่าผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ Nonadditivity และ Remainder ดังแสดงในตารางที่ 8

การตรวจสอบด้วยวิธีของ Tukey (อนันต์ชัย, 2542) มีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ยของบล็อก ($\overline{Y}_{i.}$) ค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ ($\overline{Y}_{.j}$) และค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด ($\overline{Y}_{..}$)

2. คำนวณ $d_i = \overline{Y}_{i.} - \overline{Y}_{..}$ และ $d_j = \overline{Y}_{.j} - \overline{Y}_{..}$

3. คำนวณ $w_i = \sum_j Y_{ij} d_j$

4. คำนวณ $N = \sum w_i d_i$ และ $D = ((\sum_i d_i^2)(\sum_j d_j^2))$

5. คำนวณ Nonadditivity SS เมื่อ Nonadditivity SS $= \frac{N^2}{D}$ ซึ่งมี df = 1

ตารางที่ 8 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการตรวจสอบอิทธิพลแบบบวก

Source	df	SS	MS	F
Block	r -1			
Treatment	t -1			
Error	(r -1)(t -1)			
Nonadditivity	1	Nonadditivity SS	Nonadditivity MS $= \frac{\text{Nonadditivity SS}}{1}$	
Remainder	(r -1)(t -1)-1	Remainder SS	Remainder MS $= \frac{\text{Remainder SS}}{((r-1)(t-1)-1)}$	

เมื่อ Remainder SS = Error SS - Nonadditivity SS

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ

H_0 : อิทธิพลของบล็อกและทรีทเมนต์เป็นแบบบวก

H_1 : อิทธิพลของบล็อกและทรีทเมนต์ไม่เป็นแบบบวก

ค่าทดสอบ $F = \dfrac{\text{Nonadditivity MS}}{\text{Remainder MS}}$

เกณฑ์การตัดสินใจ

มีช่วงวิกฤติเป็น $F > F_{\alpha,\nu_1,\nu_2}$ โดย F_{α,ν_1,ν_2} เป็นค่าวิกฤติที่เปิดจากตารางการแจกแจง F ซึ่งมี $\nu_1 = 1$ และ $\nu_2 = (t-1)(r-1)-1$

4. การแปลงข้อมูล

4.1 วิธีแบบพาราเมตริก

4.1.1 การแปลงข้อมูลโดยวิธีของ Tukey

กรณีที่ปฏิเสธ H_0 จากการตรวจสอบข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะแปลงข้อมูลโดยอาศัยหลักการของ Tukey ได้ดังนี้

ขั้นตอนการแปลงข้อมูลโดยวิธีของ Tukey (จรัญ, 2540 : อนันต์ชัย, 2542)

1. หาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด ($\overline{Y}_{..}$) และคำนวณหา $B = \dfrac{N}{D}$ และ $\hat{p} = 1 - B\overline{Y}_{..}$

เมื่อ $N = \Sigma w_i d_i$, $D = ((\sum_i d_i^2)(\sum_j d_j^2))$, $w_i = \sum_j Y_{ij} d_j$, $d_i = \overline{Y}_{i.} - \overline{Y}_{..}$ และ $d_j = \overline{Y}_{.j} - \overline{Y}_{..}$

2. ทำการแปลงค่าข้อมูล

$$Y_t = Y^{\hat{P}}$$

ในที่นี้ Y = ค่าสังเกตเดิม (original observation)

Y_t = ค่าสังเกตที่แปลงแล้ว (transformed observation)

3. นำข้อมูลที่แปลงแล้วมาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความแตกต่างอิทธิพลของทรีทเมนต์

4.1.2 การแปลงข้อมูลโดยวิธีของ Box และCox

Box และCox (1982) ได้แสดงให้เห็นว่า การแปลงพารามิเตอร์ λ ในรูป $\overset{*}{Y} = y^{\lambda}$ อาจถูกประมาณพร้อม ๆ กับพารามิเตอร์ในตัวแบบตัวอื่น (เช่น ค่าเฉลี่ยรวม และอิทธิพลของทรีทเมนต์) โดยใช้วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (maximum likelihood)

ขั้นตอนการแปลงข้อมูลโดยอาศัยหลักการของ Box และCox

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของค่าสังเกต ซึ่งเท่ากับ $\overset{*}{Y} = \ln^{-1}(\frac{1}{n}\sum \ln Y)$

2. กำหนดค่า λ ต่าง ๆ กัน (Montegomery, 1997) ทำการแปลงค่าสังเกตที่แต่ละระดับของ λ ตามสูตรการคำนวณ

$$y^{(\lambda)} = \begin{cases} \dfrac{y^{\lambda - 1}}{\lambda \overset{*}{Y}^{\lambda - 1}} & , \lambda \neq 0 \\ \overset{*}{Y} \ln Y & , \lambda = 0 \end{cases}$$

3. นำไปคำนวณหาผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนที่แต่ละระดับของ λ พิจารณาจาก Error Sum Square ของ λ ที่ระดับใดให้ค่าต่ำสุดเลือก λ นั้นมาใช้ในการแปลงข้อมูล

4. นำข้อมูลที่แปลงแล้วมาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความแตกต่างของอิทธิพลทรีทเมนต์

4.2 วิธีแบบนันพาราเมตริก

4.2.1 การแปลงโดยใช้อันดับ

Conover, W.J. และ Iman, R.L. (1982) ได้นำเสนอการแปลงข้อมูลโดยใช้อันดับที่พิจารณาถึงการจัดอันดับของข้อมูลร่วมกันแล้วใช้อันดับของข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งเป็นวิธีที่แตกต่างไปจากการแปลงข้อมูลทั้งสองข้างต้น

ขั้นตอนการแปลงโดยใช้อันดับ

1. จัดอันดับข้อมูลทั้งหมดจากน้อยไปหามาก โดยค่าสังเกตที่น้อยที่สุดจะมีอันดับเป็น 1 น้อยเป็นอันดับสองจะมีอันดับเป็น 2 เรียงอันดับไปเรื่อย ๆ โดยมีค่าอันดับจาก 1 ถึง $r \times t$ ค่า กรณีที่อันดับเท่ากันใช้ค่าเฉลี่ยของอันดับ

2. นำค่าอันดับของข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความแตกต่างอิทธิพลของทรีทเมนต์

5. การจำลองแบบโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล

เทคนิคมอนติคาร์โลเป็นสาขาหนึ่งของคณิตศาสตร์เชิงทดลองที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ หลักการของเทคนิคนี้จะใช้ตัวเลขสุ่ม (random number) ในการหาคำตอบของปัญหาที่ต้องการ (สุพรรณี, 2537) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการจำลองแบบโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล

1. การสร้างตัวเลขสุ่ม (random number generating) ตัวเลขสุ่มเป็นสิ่งที่สำคัญมากในวิธีมอนติคาร์โลทั้งนี้เพราะว่าหลักการของมอนติคาร์โลนั้นจะต้องใช้ตัวเลขสุ่ม มาช่วยในการหาคำตอบของปัญหาลักษณะของตัวเลขสุ่มจะมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (uniform) ในช่วง 0 ถึง 1 สำหรับวิธีการสร้างตัวเลขสุ่มมีหลายวิธี เช่น วิธี Midsquare วิธี Midproduct วิธี Constant multiplier วิธี Additive congruential และวิธี Linear congruential เป็นต้น

งานวิจัยนี้สร้างตัวเลขสุ่มด้วยวิธี Linear congruential สร้างชุดตัวเลขจำนวนเต็ม $X_1, X_2, \ldots$ ที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง M-1 จากสมการ

$$X_i = (aX_{i-1} + c) \bmod M \qquad , i = 1, 2, 3, \ldots$$

เมื่อ a เป็นตัวคูณคงที่

c เป็นค่าส่วนเพิ่ม (increment)

X_0 เป็นตัวเลขนำ (seed)

mod M เป็น modulus ที่ M

ตัวเลขจำนวนเต็มที่สร้างได้จะมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มในช่วง 0 ถึง M-1 ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้ $a = 7^5 = 16807$, $c = 0$, $X_0 = 123457$ และ $M = 2^{31-1} = 2{,}147{,}483{,}647$ จะได้ความยาวของชุดข้อมูลตัวเลขสุ่มเท่ากับ M-1 ตัว (ประมาณ 2 พันล้านตัว) เพราะฉะนั้น ตัวเลขสุ่ม $r_1, r_2, r_3, \ldots$ ที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มในช่วง 0 ถึง 1 จะสร้างจากสมการ

$$r_i = \frac{X_i}{M} \qquad ; i = 1, 2, \ldots.$$

2. การประยุกต์ปัญหาที่ต้องการศึกษามาใช้กับตัวเลขสุ่ม ขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่ต้องการศึกษา บางปัญหาอาจไม่ใช้ตัวเลขสุ่มโดยตรง แต่อาจจะบางขั้นตอนที่ต้องใช้ตัวเลขสุ่ม เช่น ใช้ตัวเลขสุ่มเพื่อสร้างข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติแล้วใช้ข้อมูลที่สร้างขึ้นในการแก้ปัญหา เป็นต้น

งานวิจัยนี้สร้างค่าความคลาดเคลื่อนให้มีการแจกแจงแบบปกติโดยวิธีของ Box และ Muller ดังนี้ สร้างตัวแปรสุ่ม (z_1,z_2) ที่มีการแจกแจงปกติมาตรฐานที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1 ที่เป็นอิสระกัน โดยใช้ตัวเลขสุ่มที่สร้างจากวิธี Linear congruential 2 ตัว คือ r_1 และ r_2 โดยที่

$$z_1 = (-2\ln r_1)^{1/2}. \cos(2\pi r_2)$$

$$z_2 = (-2\ln r_1)^{1/2}. \sin(2\pi r_2)$$

จากสมการข้างต้น จะได้ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติมาตรฐาน 2 ตัวเช่นกัน ถ้าหากต้อง การตัวแปรสุ่ม ε_i ที่มีการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 ทำการแปลง (เลือกใช้สมการใดสมการหนึ่ง) จะได้

$$\varepsilon_i = \mu + \sigma.z$$

ซึ่งจะได้ว่า ε_i มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และ ความแปรปรวน เท่ากับ σ^2

3. การทดลองกระทำ เมื่อประยุกต์ให้ใช้กับตัวเลขสุ่มได้แล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การทดลอง โดยใช้กระบวนการของการสุ่ม (random process) มากระทำในลักษณะที่ซ้ำ ๆ กัน เพื่อหาคำตอบของปัญหาที่ต้องการ

6. ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติและอำนาจการทดสอบ

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติมักจะมีความผิดพลาดอยู่เสมอ คำว่าความผิดพลาดในที่นี้หมายถึง ความผิดพลาดเนื่องจากการใช้ข้อมูลตัวอย่างมาสรุปผลการทดสอบเพื่ออ้างอิงถึงประชากร ซึ่งอาจทำให้ผลสรุปของการทดสอบเป็นไม่ยอมรับสมมติฐาน H_0 ทั้งที่ H_0 เป็นจริง หรือผลการทดสอบทำให้สรุปได้ว่ายอมรับว่า H_0 จริง แต่ในความเป็นจริงแล้วสมมติฐาน H_0 ไม่จริง ถ้าสรุปถูกต้อง คือ ถ้าปฏิเสธ H_0 เมื่อ H_0 ไม่เป็นจริง นั่นคือ อำนาจการทดสอบ ความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภทจะแสดงความหมาย พร้อมทั้งสรุปเป็นตารางได้ ดังนี้

ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากการปฏิเสธ H_0 หรือไม่ยอมรับ H_0 เมื่อ H_0 เป็นจริง มักจะเรียกความผิดพลาดชนิดนี้ว่า “ระดับนัยสำคัญ” (level of significance) และใช้สัญลักษณ์ α โดยที่ α = P(ปฏิเสธ H_0 | H_0 เป็นจริง)

ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากการยอมรับ H_0 โดยที่ H_0 ไม่เป็นจริง และใช้สัญลักษณ์ β โดยที่ β = P(ยอมรับ H_0 | H_0 ไม่เป็นจริง) และ

อำนาจการทดสอบ (Power of The Test) คือ ความน่าจะเป็นที่เกิดจากการปฏิเสธ H_0 เมื่อ H_0 ไม่เป็นจริง ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1-\beta$ = 1 - P(ยอมรับ H_0 | H_0 ไม่เป็นจริง)

ตารางที่ 9 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

ผลการทดสอบ	ความเป็นจริง	
	H_0 จริง	H_0 ไม่เป็นจริง
ยอมรับ H_0	ผลการทดสอบถูกต้อง	ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (β)
ปฏิเสธ H_0	ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (α)	ผลการทดสอบถูกต้อง

ในทางปฏิบัติสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น คือ ความผิดพลาดทั้งสองประเภท อย่างไรก็ตาม ถ้าจะเกิดความผิดพลาดก็ควรให้ความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งผู้วิเคราะห์ไม่สามารถควบคุมความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภท ให้มีค่าน้อยที่สุดพร้อมกัน จึงกำหนดให้ความผิดพลาดประเภทที่ 1 ที่ระดับหนึ่ง แต่ให้ความผิดพลาดประเภทที่ 2 น้อยที่สุด นั่นคือ กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบ แต่

ให้อำนาจการทดสอบสูงที่สุด โดยทั่วไป ในการทดสอบสมมติฐาน กำหนดระดับนัยสำคัญ α เท่ากับ 0.05 หรือ 0.01

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริลักษณ์ (2524) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบของ Friedman กับวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ว่า อิทธิพลของทรีทเมนต์และอิทธิพลอื่น ๆ เป็นแบบบวก ค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองเกิดขึ้นโดยสุ่มเป็นอิสระต่อกัน มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีความแปรปรวนเป็น σ^2 โดยการสร้างตัวอย่างข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติที่มีลักษณะไม่เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน 2 แบบหุ่น คือ ข้อมูลตัวแบบหุ่นผลคูณ มีอิทธิพลของทรีทเมนต์และสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เป็นแบบผลคูณ มีค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของแต่ละทรีทเมนต์เท่ากัน และข้อมูลตัวแบบหุ่นผลบวกที่มีอิทธิพลของทรีทเมนต์และสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เป็นแบบบวก แต่มีค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของแต่ละทรีทเมนต์ไม่เท่ากัน นำข้อมูลทั้งสองแบบนี้มาแปลงข้อมูลโดยใช้วิธีการแปลงเป็น log(X) log(X+1) arcsin $\sqrt{X}$ $\sqrt{X}$ $\sqrt{X+1}$ และ $\sqrt{X}+\sqrt{X+1}$ หลังการแปลงข้อมูลแล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ต้องการ โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิเคราะห์ข้อมูลชุดดังกล่าวที่ยังไม่ได้แปลงข้อมูลโดยวิธีการทดสอบของ Friedman เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของผลการทดสอบที่ตรงกัน กรณีแบบหุ่นผลคูณ ปรากฏว่า วิธีการแปลงข้อมูลที่เหมาะสม คือ การแปลงเป็นค่า log(X+1) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ และค่าสัดส่วนของผลการทดสอบที่ตรงกันมีค่าเป็น 0.95, 0.90 และ0.80 ที่ระดับนัยสำคัญทั้งสามตามลำดับ สำหรับข้อมูลตัวแบบหุ่นผลบวก เมื่อนำข้อมูลมาแปลงแล้วปรากฏว่า วิธีการแปลงข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ไม่สามารถแก้ไขข้อมูลที่สร้างขึ้นมานี้ได้ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบวิธีการทดสอบโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนกับวิธีการทดสอบของ Friedman จึงนับได้ว่าวิธีการทดสอบโดยวิธีการทดสอบของ Friedman นอกจากจะให้ผลการทดสอบที่ตรงกับวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังผลการทดสอบข้างต้นแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ได้ในทุกกรณีโดยต้องการเพียงข้อสมมติว่า ประชากรมีฟังก์ชันของการแจกแจงเป็นแบบต่อเนื่องแต่วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้ได้ ผลถูกต้องต่อเมื่อข้อมูลเป็นไปตามข้อสมมติเท่านั้น

ธีระดา (2526) ทำการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบ F และอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากข้อมูลเมื่อคำนวณได้จากข้อมูลดิบ กับข้อมูลที่ได้จากวิธีการแปลงข้อมูล 4 รูปแบบ คือ การใช้รากที่สอง วิธีการกลับเศษส่วน การใช้ลอกฐาน 10 และการใช้ลอกฐานอี โดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล ทำการทดลอง 1,000 ครั้งในแต่ละกรณี โดยใช้กลุ่มขนาดตัวอย่างต่าง ๆ กัน 3 กลุ่ม คือ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ ในลักษณะการแจกแจงของประชากร 3 แบบคือประชากรแจกแจงแบบปกติ ยูนิฟอร์ม และโลจิสติค ทั้งที่กำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนเท่ากันและแตกต่างกัน คือ 1: 1: 1 และ 1: 2: 3 ผลสรุปได้ว่า เมื่อแปลงข้อมูลโดยใช้รากที่สอง และโดยวิธีกลับเศษส่วน สามารถควบคุมความน่าจะเป็นประเภทที่ 1 ได้ดี และมีค่าอำนาจการทดสอบสูงกว่าวิธีอื่น ทั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 เมื่อขนาดกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น ค่าอำนาจการทดสอบ F เมื่อคำนวณจากข้อมูลดิบ กับวิธีการแปลงข้อมูลโดยใช้รากที่สอง วิธีการกลับเศษส่วน การใช้ล็อกฐาน 10 และการใช้ล็อกฐานอี สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ดีมากขึ้นที่ระดับนัยสำคัญทั้งสอง ทั้งในลักษณะที่อัตราความแปรปรวนเท่ากันและต่างกัน

Freeman และ Tukey (1974) ได้ทดสอบความสามารถในการแปลงข้อมูลโดยใช้รากที่สอง (Square Root Transformation) ในลักษณะต่าง ๆ 5 แบบด้วยกัน คือ $Y=\sqrt{X}$ $Y=\sqrt{X+1}$ $Y=\sqrt{X}+\sqrt{X+1}$, $Y=\sqrt{X+\frac{3}{8}}$, $Y=\sqrt{X}+\frac{1}{2}$ เมื่อ X เป็นข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบพัวซอง (Poisson Distribution) เพื่อเปรียบเทียบดูว่า การแปลงข้อมูลโดยใช้รากที่สองในลักษณะแบบใดที่ทำให้ค่าความแปรปรวนความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ โดยใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดต่าง ๆ กัน คือ 5, 10, 20 ผลปรากฏว่า การแปลงข้อมูลโดยใช้รากที่สองแบบ $Y=\sqrt{X}+\sqrt{X+1}$ ให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด

Budescu and Appelbaum (1981) ใช้เทคนิคของมอนติคาร์โล เพื่อศึกษาผลของการแปลงข้อมูลเพื่อให้ได้ค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ (Variance stabilizing transforamtion) ที่มีต่ออำนาจการทดสอบ F โดยจำแนกการแจกแจงของประชากรเป็น 5 การแจกแจง คือ ทวินาม ปกติที่มีค่าเฉลี่ยมัชฌิมเลขคณิตและค่าความแปรปรวนเท่ากับการแจกแจงแบบทวินาม พัวซอง ปกติที่มีค่าเฉลี่ยมัชฌิมเลขคณิตและค่าความแปรปรวนเท่ากับการแจกแจงแบบพัวซอง และปกติที่มีค่าเฉลี่ยมัชฌิมเลขคณิตที่เป็นอิสระกันและความแปรปรวนเป็นเอกภาพ ใช้ขนาดตัวอย่างต่างกัน 4 กลุ่ม ด้วยแผนการทดลองแบบ CR-k จำลองแบบกระทำซ้ำ 1,500 ครั้ง พบว่า การแปลงข้อมูลไม่มีผลต่ออำนาจการทดสอบ F ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 นอกจากนี้ยังทำให้อำนาจการทดสอบ F มีค่า

ลดลง โดยเฉพาะในกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กที่มาจากประชากรที่มีค่าความแปรปรวนสูงและกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ที่มาจากประชากรที่มีค่าความแปรปรวนต่ำ

Schlesselman (1973) กล่าวว่า วัตถุประสงค์ของการแปลงข้อมูล คือ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องโดยประมาณตามทฤษฎี และเพื่อจัดการกับข้อมูลให้เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์

Kirk (1995) กล่าวว่า เมื่อข้อมูลที่ได้จากการวิจัยที่ไม่เป็นไปตามข้อสมมติหนึ่งหรือสองข้อจะทำให้เกิดการสูญเสียอำนาจการทดสอบ ต้องมีการแปลงข้อมูลเสียก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการแปลงข้อมูล คือ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเป็นเอกภาพ เพื่อให้ได้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลมีการแจกแจงปกติ และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีอิทธิพลแบบบวก และให้แนวคิดเกี่ยวกับวิธีการแปลงข้อมูลซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่ การแปลงโดยใช้รากที่สอง (square root transformation) รูปแบบ คือ $Y' = \sqrt{Y}$ สำหรับชนิดการแจกแจง เช่น การแจกแจงแบบพัวซอง ที่มีค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์และความแปรปรวนเป็นสัดส่วนกัน วิธีการแปลงนี้จะช่วยให้ค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์และความแปรปรวนไม่เป็นสัดส่วนกัน ทำให้มีอิทธิพลแบบบวกและความแปรปรวนเป็นเอกภาพมากขึ้น การแปลงข้อมูลโดยใช้ลอการิทึม (logarithmic transformation) รูปแบบ คือ $Y' = \log_{10} Y$ หรือ $Y' = \log_{10}(Y+1)$ ถ้าค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นสัดส่วนกัน ควรแปลงข้อมูลด้วยวิธีนี้ การแปลงข้อมูลโดยใช้ลอการิทึมจะใช้ได้ดีเมื่อตัวแปรตามเป็นการวัดเวลาตอบสนองและข้อมูลมีความเบ้เป็นบวก การแปลงโดยใช้เศษส่วนกลับ (reciprocal transformation) รูปแบบ คือ $Y' = \frac{1}{Y}$ หรือ $Y' = \frac{1}{Y+1}$ เมื่อกำลังสองของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นสัดส่วนกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะแปลงข้อมูลโดยใช้วิธีนี้ การแปลงโดยใช้เศษส่วนกลับใช้ได้ดีเมื่อตัวแปรตามเป็นเวลาตอบสนอง การแปลงโดยใช้มุมหรือส่วนกลับของไซน์ (angular or inverse sine transformation) รูปแบบ คือ $Y' = 2\arcsin\sqrt{Y}$ วิธีนี้ใช้ได้ดี เมื่อค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์และความแปรปรวนเป็นสัดส่วนกันและข้อมูลมีการแจกแจงแบบทวินาม

Montegomery (1997) กล่าวว่า เมื่อเกิดกรณีที่ความแปรปรวนไม่คงที่ ควรทำการแปลงข้อมูล เพื่อทำให้ค่าความแปรปรวนคงที่ (variance stabilizing transformation) แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งข้อสรุปที่ได้จะใช้กับเฉพาะข้อมูลของประชากรที่แปลงแล้ว

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีหน่วยความจำขนาดอย่างน้อย 512 MB โปรแกรม Microsoft Excel 2003

วิธีการ

งานวิจัยนี้กระทำโดยการจำลองแบบด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลสร้างเลขสุ่ม (random number) ด้วยวิธี Linear Cogruential และสร้างข้อมูลให้มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติด้วยวิธีของ Box และ Muller ที่มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามข้อสมมติ 2 ประการ โดยจำแนกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก และกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามทั้ง 2 ข้อสมมติ จากแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ที่มีจำนวนบล็อก 4, 8 และ12 จำนวนทรีทเมนต์ 3, 4, 8, 10, 15 และ20 และจำนวนการทดลอง 18 ขนาด กำหนดให้อิทธิพลของบล็อกและอิทธิพลของทรีทเมนต์เป็นแบบกำหนด อิทธิพลของบล็อกเท่ากัน อิทธิพลของทรีทเมนต์เท่ากันและแตกต่างกัน ตัวแบบหุ่นผลบวกและผลคูณ นอกจากนี้ กำหนดให้ความแปรปรวนเท่ากันและแตกต่างกัน รวมข้อมูลทั้งสิ้น 108 ลักษณะ หลังจากนั้นทำการตรวจสอบข้อมูลว่า เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวนด้วยวิธี Modified Levene และข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวกด้วยวิธีของ Tukey เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่า ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติ นับจำนวนครั้งของข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อสมมติ และทำการแปลงข้อมูล 3 วิธี ได้แก่ วิธีของ Tukey วิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับ จากนั้นนำข้อมูลที่แปลงแล้วไปตรวจสอบข้อสมมติอีกครั้ง เมื่อข้อมูลเป็นไปตามข้อสมมติแล้ว นับจำนวนครั้งของข้อมูลที่เป็นไปตามข้อสมมติ และนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบความแตกต่างของอิทธิพลทรีทเมนต์ หลังจากนั้นคำนวณร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติ คำนวณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของข้อมูลที่ไม่มีความแตกต่างกันของอิทธิพลทรีทเมนต์ ($\tau_j = 0$) และคำนวณอำนาจการทดสอบของข้อมูลที่มีความแตกต่างกันของอิทธิพลทรีทเมนต์ ($\tau_j \neq 0$) ซึ่งในการสร้างข้อมูล ตรวจสอบและคำนวณ

ทั้งหมดทำโดยใช้สูตรและฟังก์ชันในโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค และมีรายละ เอียดของแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

ขั้นตอนวิธีการวิจัย

1. การสร้างข้อมูลลักษณะต่าง ๆ จากแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ อิทธิพลของบล็อกและทรีทเมนต์เป็นอิทธิพลกำหนด จำนวนบล็อก 3 ขนาด ได้แก่ 4, 8 และ 12 จำนวนทรีทเมนต์ 6 ขนาด ได้แก่ 3, 4, 8, 10, 15, และ 20 ตามลำดับ และการทดลอง 18 ขนาด ได้แก่ 4×3, 4×4, 4×8, 4×10, 4×15, 4×20, 8×3, 8×4, 8×8, 8×10, 8×15, 8×20, 12×3, 12×4, 12×8, 12×10, 12×15 และ12×20 ตามลำดับ แต่ละขนาดการทดลอง แยกเป็น 6 กรณี คือ

1.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวนจะสร้างตัวแบบหุ่นผลบวก การแจกแจงของความคลาดเคลื่อนเป็นแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนของทรีทเมนต์แตกต่างกัน แต่อิทธิพลของทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน ($\tau_j = 0$)

1.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวนจะสร้างตัวแบบหุ่นผลบวก การแจกแจงของความคลาดเคลื่อนเป็นแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนของทรีทเมนต์ และมีอิทธิพลของทรีทเมนต์แตกต่างกัน ($\tau_j \neq 0$)

1.3 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวกจะสร้างตัวแบบหุ่นผลคูณ การแจกแจงของความคลาดเคลื่อนเป็นแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนของของทรีทเมนต์มีค่าเท่ากันเท่ากับ 1 แต่อิทธิพลของทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน ($\tau_j = 0$)

1.4 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวกจะสร้างตัวแบบหุ่นผลคูณ การแจกแจงของความคลาดเคลื่อนเป็นแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนของของทรีทเมนต์มีค่าเท่ากันเท่ากับ 1 และมีอิทธิพลของทรีทเมนต์แตกต่างกัน ($\tau_j \neq 0$)

1.5 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามทั้ง 2 ข้อสมมติจะสร้างตัวแบบหุ่นผลคูณ การแจกแจงของความคลาดเคลื่อนเป็นแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนของทรีทเมนต์แตกต่างกัน แต่อิทธิพลของทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน ($\tau_j = 0$)

1.6 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามทั้ง 2 ข้อสมมติจะสร้างตัวแบบหุ่นผลคูณ การแจกแจงของความคลาดเคลื่อนเป็นแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนของทรีทเมนต์ และอิทธิพลของทรีทเมนต์แตกต่างกัน ($\tau_j \neq 0$)

ตารางที่ 10 ลักษณะข้อมูลแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ที่ศึกษาในงานวิจัยจำนวนทั้งสิ้น 108 ลักษณะ

ลักษณะที่	r	t	แบบหุ่น	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$	μ	$\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$
1	4	3	บวก	(1.0:7.7:7.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-0.1,0.2,-0.1)
2	4	3	บวก	(1.0:7.7:7.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(1,-2,1)
3	4	3	คูณ	(1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-0.1,0.2,-0.1)
4	4	3	คูณ	(1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(1,-2,1)
5	4	3	คูณ	(1.0:7.7:7.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-0.1,0.2,-0.1)
6	4	3	คูณ	(1.0:7.7:7.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(1,-2,1)
7	4	4	บวก	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)
8	4	4	บวก	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1)
9	4	4	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)
10	4	4	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1)
11	4	4	คูณ	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)
12	4	4	คูณ	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1)
13	4	8	บวก	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1)
14	4	8	บวก	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)
15	4	8	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1)
16	4	8	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)
17	4	8	คูณ	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1)
18	4	8	คูณ	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลักษณะที่	r	t	แบบหุ่น	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$	μ	$\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$
19	4	10	บวก	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
20	4	10	บวก	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2, 2,-1,1,-2,2)
21	4	10	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
22	4	10	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2, 2,-1,1,-2,2)
23	4	10	คูณ	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
24	4	10	คูณ	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2, 2,-1,1,-2,2)
25	4	15	บวก	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.2,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)
26	4	15	บวก	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1, -2,2,-1,2,-2,2,-1)
27	4	15	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.2,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)
28	4	15	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1, -2,2,-1,2,-2,2,-1)
29	4	15	คูณ	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.2,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)
30	4	15	คูณ	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1, -2,2,-1,2,-2,2,-1)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลักษณะที่	r	t	แบบหุ่น	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,...,:\sigma_t^2$	μ	$\rho_1,\rho_2,...,\rho_{12}$	$\tau_1,\tau_2,...,\tau_{20}$
31	4	20	บวก	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
32	4	20	บวก	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)
33	4	20	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
34	4	20	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)
35	4	20	คูณ	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
36	4	20	คูณ	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)
37	8	3	บวก	(1.0:7.7:7.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-0.1,0.2,-0.1)
38	8	3	บวก	(1.0:7.7:7.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(1,-2,1)
39	8	3	คูณ	(1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-0.1,0.2,-0.1)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลักษณะที่	r	t	แบบหุ่น	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$	μ	$\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$
40	8	3	คูณ	(1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(1,-2,1)
41	8	3	คูณ	(1.0:7.7:7.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-0.1,0.2,-0.1)
42	8	3	คูณ	(1.0:7.7:7.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(1,-2,1)
43	8	4	บวก	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)
44	8	4	บวก	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1)
45	8	4	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)
46	8	4	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1)
47	8	4	คูณ	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)
48	8	4	คูณ	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1)
49	8	8	บวก	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1)
50	8	8	บวก	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)
51	8	8	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1)
52	8	8	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)
53	8	8	คูณ	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1)
54	8	8	คูณ	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลักษณะที่	r	t	แบบหุ่น	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$	μ	$\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$
55	8	10	บวก	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
56	8	10	บวก	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)
57	8	10	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
58	8	10	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)
59	8	10	คูณ	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
60	8	10	คูณ	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)
61	8	15	บวก	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.2,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)
62	8	15	บวก	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1, -2,2,-1,2,-2,2,-1)
63	8	15	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.2,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)
64	8	15	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1, -2,2,-1,2,-2,2,-1)
65	8	15	คูณ	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.2,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)
66	8	15	คูณ	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1, -2,2,-1,2,-2,2,-1)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลักษณะที่	r	t	แบบหุ่น	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$	μ	$\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$
67	8	20	บวก	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
68	8	20	บวก	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1 -2,2)
69	8	20	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
70	8	20	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1 -2,2)
71	8	20	คูณ	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
72	8	20	คูณ	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1 -2,2)
73	12	3	บวก	(1.0:7.7:7.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-0.1,0.2,-0.1)
74	12	3	บวก	(1.0:7.7:7.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(1,-2,1)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลักษณะที่	r	t	แบบหุ่น	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$	μ	$\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$
75	12	3	คูณ	(1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-0.1,0.2,-0.1)
76	12	3	คูณ	(1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(1,-2,1)
77	12	3	คูณ	(1.0:7.7:7.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-0.1,0.2,-0.1)
78	12	3	คูณ	(1.0:7.7:7.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(1,-2,1)
79	12	4	บวก	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)
80	12	4	บวก	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1)
81	12	4	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)
82	12	4	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1)
83	12	4	คูณ	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)
84	12	4	คูณ	(1.0:7.5:8.7:4.6)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลักษณะที่	r	t	แบบหุ่น	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$	μ	$\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$
85	12	8	บวก	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1)
86	12	8	บวก	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)
87	12	8	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1)
88	12	8	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)
89	12	8	คูณ	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1)
90	12	8	คูณ	(1.0:7.1:8.8:6.9: 0.6:5.6:7.7:2.7)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)
91	12	10	บวก	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
92	12	10	บวก	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2, 2,-1,1,-2,2)
93	12	10	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
94	12	10	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2, 2,-1,1,-2,2)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลักษณะที่	r	t	แบบหุ่น	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$	μ	$\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$
95	12	10	คูณ	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
96	12	10	คูณ	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5: 6.0:6.1:8.5:1.8:9.1)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)
97	12	15	บวก	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.2,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)
98	12	15	บวก	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1, -2,2,-1,2,-2,2,-1)
99	12	15	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.2,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)
100	12	15	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1, -2,2,-1,2,-2,2,-1)
101	12	15	คูณ	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.2,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)
102	12	15	คูณ	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1: 2.5:9.3:9.0:9.9:3.2: 2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1, -2,2,-1,2,-2,2,-1)
103	12	20	บวก	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลักษณะที่	r	t	แบบหุ่น	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$	μ	$\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$
104	12	20	บวก	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)
105	12	20	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
106	12	20	คูณ	(1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0: 1.0:1.0:1.0:1.0:1.0)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)
107	12	20	คูณ	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)
108	12	20	คูณ	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8: 9.0:2.6:1.6:6.7:8.3: 1.6:6.4:1.9:2.5:9.7: 4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1, -0.1,0.1,-0.1,0.1)	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)

หมายเหตุ $\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$ = อัตราส่วนความแปรปรวนของทรีทเมนต์ที่ 1: ทรีทเมนต์ที่ 2:,…,t

$\rho_1,\rho_2,\ldots,\rho_{12}$ = อิทธิพลของบล็อกที่ 1, 2,..., 12

$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$ = อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ 1, 2,..., 20

2. การตรวจสอบข้อมูล เมื่อสร้างข้อมูลแล้วนำข้อมูลมาตรวจสอบว่าเป็นไปตามข้อสมมติหรือไม่ โดยการตรวจสอบข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวนด้วยวิธีของ Modified Levene และข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวกด้วยวิธีของ Tukey เปรียบเทียบค่าสถิติที่คำนวณกับ

ค่าวิกฤติที่เปิดจากตารางการแจกแจง F ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 แสดงในตารางที่ 11 และนับจำนวนครั้งของการปฏิเสธ H_0 (จำนวนครั้งที่ไม่เป็นไปตามข้อสมมติ)

ตารางที่ 11 ค่าวิกฤติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการตรวจสอบข้อสมมติ

		ข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน วิธี Modified Levene					ข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก วิธีของ Tukey			
r	t	k	ν_1	ν_2	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	ν_1	ν_2	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
4	3	0.50	2	4	6.94	18.00	1	5	6.61	16.26
4	4	0.56	4	7	4.12	7.85	1	8	5.32	11.26
4	8	0.66	9	18	2.46	3.60	1	20	4.35	8.10
4	10	0.68	12	24	2.18	3.03	1	26	4.23	7.72
4	15	0.70	19	37	1.88	2.45	1	41	4.08	7.30
4	20	0.71	25	51	1.73	2.19	1	56	4.02	7.13
8	3	0.58	2	10	4.10	7.56	1	13	4.67	9.07
8	4	0.66	3	18	3.16	5.09	1	20	4.35	8.10
8	8	0.77	8	47	2.15	2.93	1	48	4.05	7.22
8	10	0.79	10	61	1.99	2.63	1	62	4.00	7.07
8	15	0.82	16	96	1.77	2.22	1	97	3.95	6.94
8	20	0.83	22	130	1.55	1.84	1	132	3.84	6.63
12	3	0.61	2	16	3.63	6.23	1	21	4.32	8.02
12	4	0.69	3	29	2.93	4.54	1	32	4.15	7.51
12	8	0.80	7	75	2.15	2.91	1	76	3.98	7.02
12	10	0.83	10	97	1.94	2.53	1	98	3.95	6.93
12	15	0.86	15	152	1.67	2.04	1	153	3.84	6.63
12	20	0.87	21	207	1.56	1.86	1	208	3.84	6.63

3. การแปลงข้อมูล เมื่อตรวจสอบพบว่า ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติทำการแปลงข้อมูล 3 วิธี ได้แก่ วิธีของ Tukey วิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับ แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการแปลงไปตรวจสอบข้อสมมติอีกครั้ง นับจำนวนครั้งของการยอมรับ H_0 (จำนวนครั้งที่เป็นไปตามข้อสมมติ) ของแต่ละวิธี

4. การวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อข้อมูลเป็นไปตามข้อสมมติแล้วนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความแตกต่างอิทธิพลของทรีทเมนต์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 และเปรียบเทียบค่าสถิติที่คำนวณได้กับค่าวิกฤติที่เปิดจากตารางการแจกแจง F แสดงในตารางที่ 12 และนับจำนวนครั้งของการปฏิเสธ H_0 (จำนวนครั้งที่อิทธิพลทรีทเมนต์แตกต่างกัน) ของแต่ละวิธี

ตารางที่ 12 ค่าวิกฤติที่ใช้ในการทดสอบความแตกต่างอิทธิพลของทรีทเมนต์

r	t	ν_1	ν_2	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
4	3	2	6	5.14	10.92
4	4	3	9	3.86	6.99
4	8	7	21	2.49	3.64
4	10	9	27	2.25	3.15
4	15	14	42	1.94	2.55
4	20	19	57	1.78	2.26
8	3	2	14	3.74	6.51
8	4	3	21	3.07	4.87
8	8	7	49	2.22	3.06
8	10	9	63	2.04	2.71
8	15	14	98	1.81	2.30
8	20	19	133	1.59	1.91
12	3	2	22	3.44	5.72
12	4	3	33	2.90	4.45
12	8	7	77	2.15	2.90
12	10	9	99	1.99	2.62
12	15	14	154	1.70	2.09
12	20	19	209	1.59	1.91

5. คำนวณร้อยละของข้อมูลหลังจากแปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติ ดังนี้

$$\text{ร้อยละ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติ}}{\text{จำนวนครั้งที่ไม่เป็นไปตามข้อสมมติก่อนแปลงทั้งหมด}}$$

คำนวณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของแต่ละวิธีจากข้อมูลที่มีอิทธิพลทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน ($\tau_j = 0$) ดังนี้

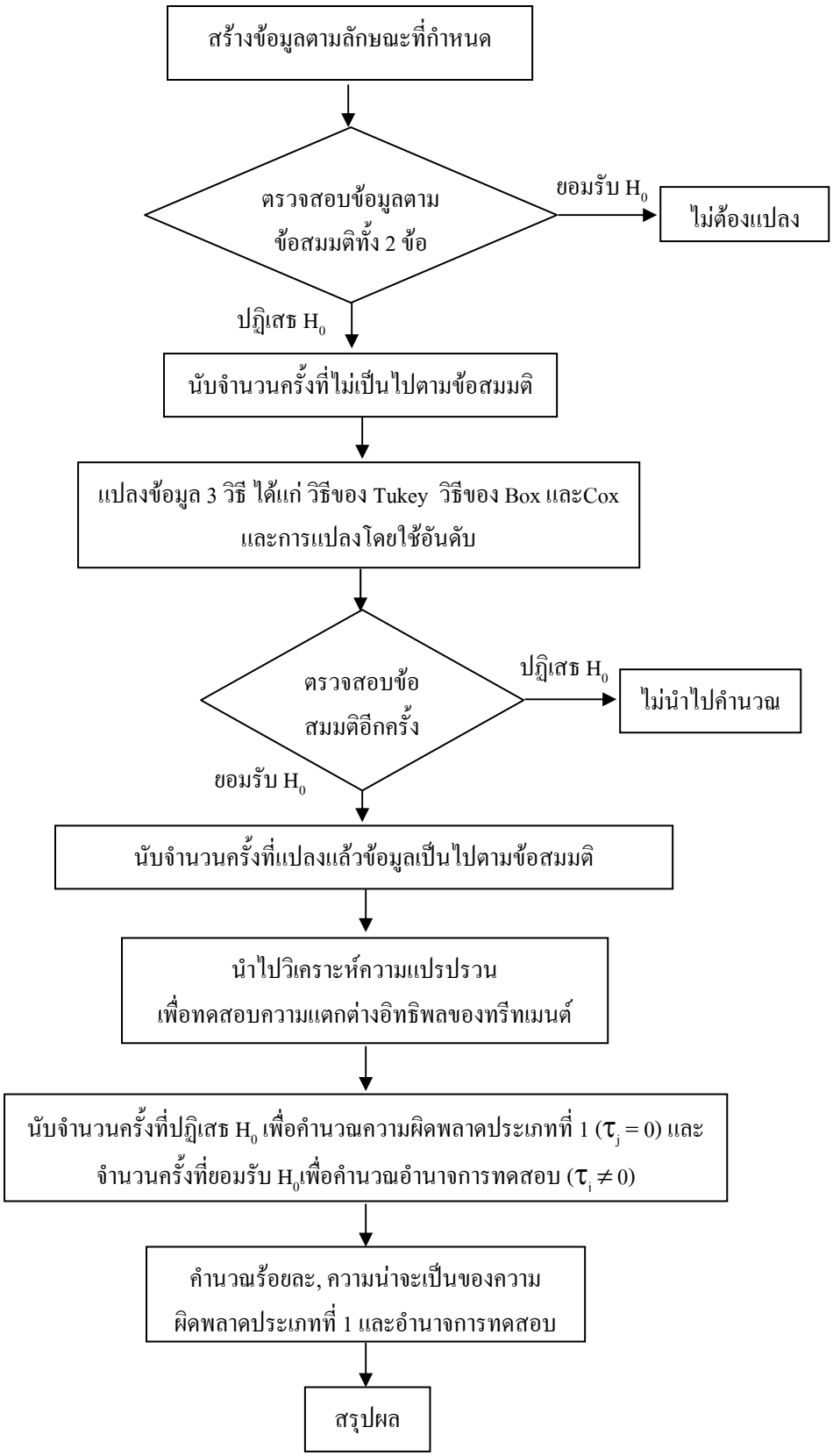
$$\text{ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ปฏิเสธ } H_0 \text{ หลังแปลง}}{\text{จำนวนครั้งที่ปฏิเสธ } H_0 \text{ ก่อนแปลง}}$$

และคำนวณค่าอำนาจของการทดสอบของวิธีการแปลงข้อมูลจากข้อมูลที่มีอิทธิพลทรีทเมนต์แตกต่างกัน ($\tau_j \neq 0$) ดังนี้

$$\text{อำนาจการทดสอบ} = 1 - \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับ } H_0 \text{ หลังแปลง}}{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับ } H_0 \text{ ก่อนแปลง}}$$

6. สรุปผล เปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลที่ดีที่สุดจากร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุด ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด และอำนาจการทดสอบที่สูงสุด

จากขั้นตอนวิธีการวิจัยที่กล่าวข้างต้น จะสามารถสรุปวิธีการเป็นผังงานได้ดังนี้



ภาพที่ 1 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการวิจัย

สถานที่และระยะเวลาในการทำการวิจัย

สถานที่

ภาควิชาสถิติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาทำการวิจัย

ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2549 ถึง เดือนพฤษภาคม 2550

ผลและวิจารณ์

การเสนอผลการทดลองจำแนกเป็น 3 กรณี คือ ร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบ โดยเปรียบเทียบการแปลงข้อมูล 3 วิธี ซึ่งนำเสนอในรูปแบบตารางและภาพ ดังนี้

1. ร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติ

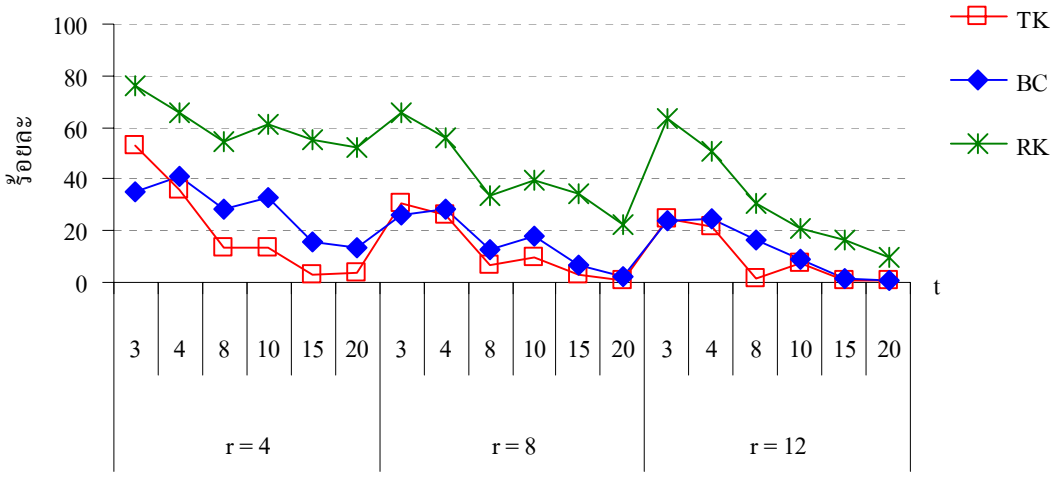
ผลการทดลองสามารถสรุปเปรียบเทียบการแปลงข้อมูล 3 วิธี จากร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุด จำแนกตามข้อสมมติได้ 3 กรณี คือ กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก และกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามทั้ง 2 ข้อสมมติ ที่ระดับนัยสำคัญ 2 ระดับ คือ 0.05 และ 0.01 แสดงในตารางที่ 13 ถึง 18 และภาพที่ 2 ถึง 7 ดังนี้

1.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน

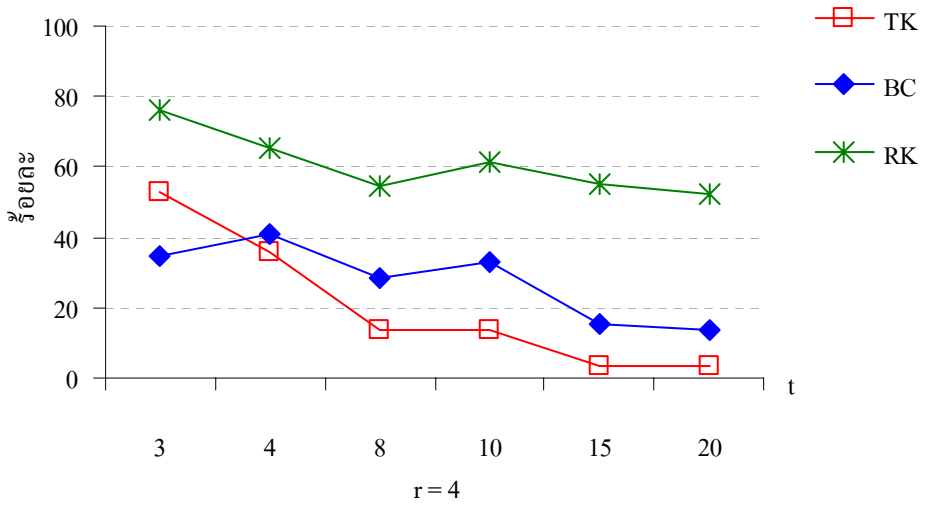
1.1.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงในตารางที่ 13 ดังนี้

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลงข้อมูล 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

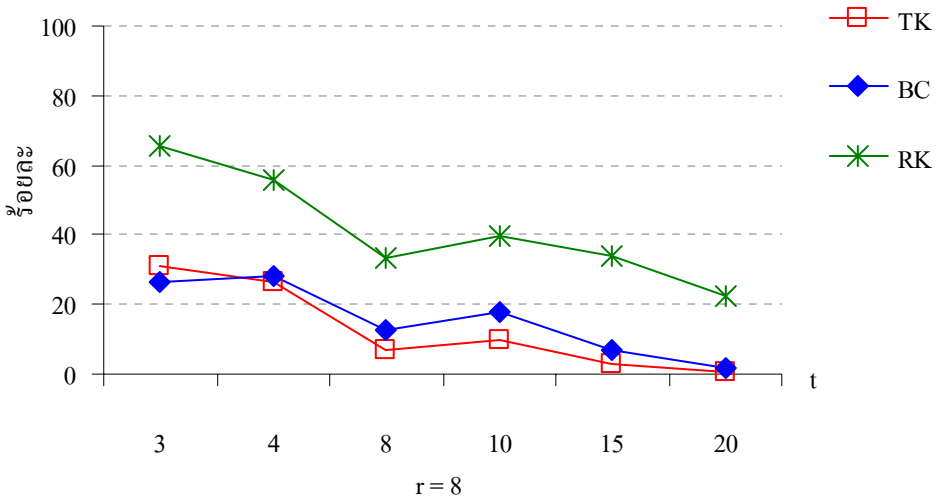
r	t	TK		BC		RK
		ร้อยละ	p (ต่ำสุด,สูงสุด)	ร้อยละ	λ	ร้อยละ
4	3	52.68	(-74.01,39.67)	34.90	-1.00,1.50	**76.17**
	4	35.87	(-68.04,22.93)	40.94	-0.50,1.50	**65.58**
	8	13.40	(-27.07,36.79)	28.47	-1.00,1.50	**54.55**
	10	13.80	(-7.28,12.92)	32.91	0.00,1.50	**61.36**
	15	3.23	(-2.10,8.94)	15.35	1.50	**54.95**
	20	3.62	(-5.53,5.57)	13.49	1.50	**52.14**
8	3	30.91	(-77.22,24.74)	26.26	-1.00,1.50	**65.66**
	4	26.28	(-22.29,26.95)	28.06	-1.00,1.50	**55.90**
	8	6.78	(-6.67,9.59)	12.56	0.50,1.50	**33.40**
	10	9.97	(-5.93,11.75)	17.59	0.25,1.25	**39.78**
	15	2.67	(-2.48,5.88)	6.72	1.25,1.50	**34.01**
	20	0.64	(-1.27,5.14)	1.98	1.25,1.50	**22.38**
12	3	25.00	(-70.8,21.27)	23.63	1.50	**63.11**
	4	21.72	(-128.68,17.62)	24.74	0.00,1.50	**50.53**
	8	1.74	(-4.12,9.26)	16.52	0.75,1.50	**30.87**
	10	7.59	(-5.78,10.51)	8.69	0.25,1.50	**21.15**
	15	0.71	(-2.53,6.04)	1.59	1.25	**16.21**
	20	0.56	(-0.38,4.10)	0.41	0.75,1.25	**9.46**


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
TK
BC
RK
t
3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20
r = 4
r = 8
r = 12

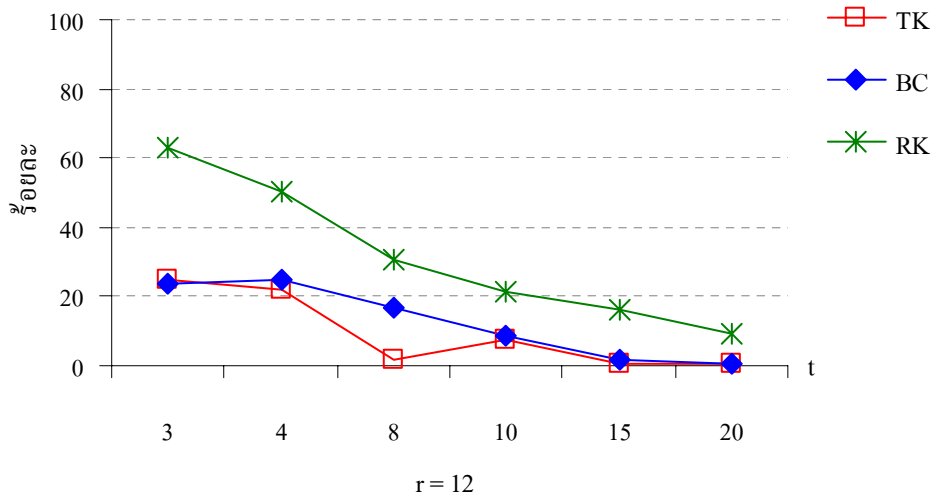
(ก)


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
TK
BC
RK
t
3 4 8 10 15 20
r = 4

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 2 ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 13 ภาพที่ 2 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน วิธีการแปลงที่มีร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุดในทุกขนาดการทดลอง ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ รองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และวิธีของ Tukey แปลงได้น้อยที่สุด ยกเว้น กรณีขนาดการทดลองที่มี 3 ทรีทเมนต์ วิธีที่แปลงข้อมูลได้น้อยที่สุด คือ วิธีของ Box และCox และจะเห็นได้ว่า เมื่อการทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้น ร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติจะลดลง

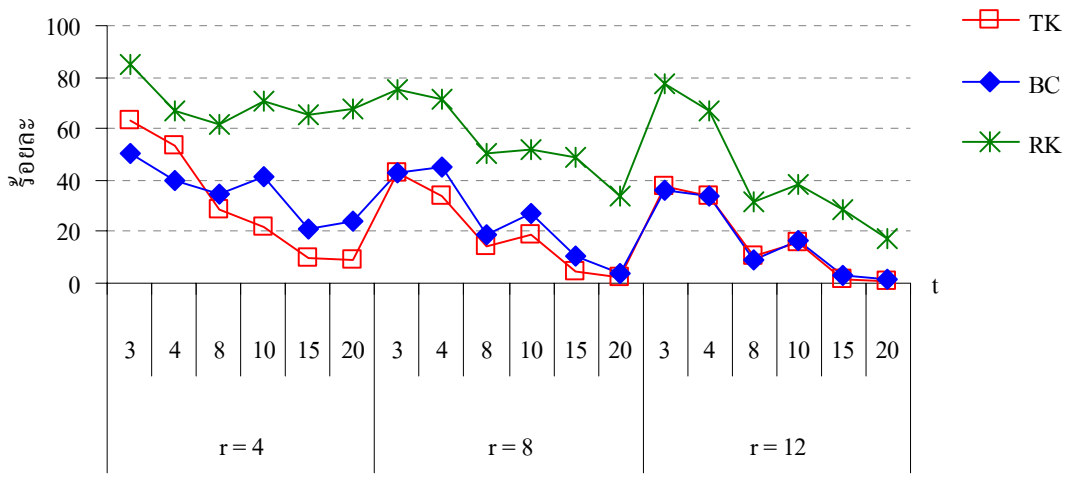
1.1.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงไว้ในตารางที่ 14 ดังนี้

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลงข้อมูล 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

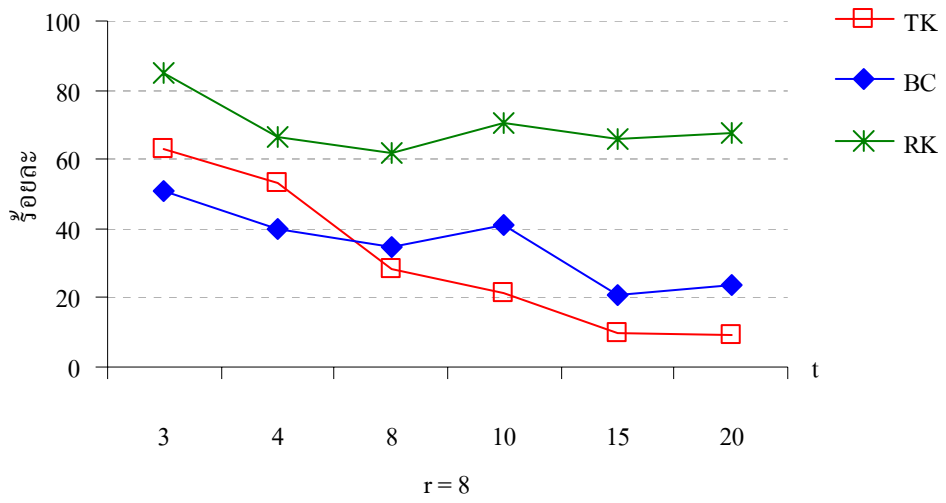
r	t	TK		BC		RK
		ร้อยละ	p (ต่ำสุด,สูงสุด)	ร้อยละ	λ	ร้อยละ
4	3	63.01	(-74.01,39.67)	50.68	-1.00,1.50	**84.93**
	4	53.33	(-68.04,22.93)	40.00	-0.50,1.50	**66.67**
	8	28.57	(-27.07,36.79)	34.59	-1.00,1.50	**61.65**
	10	21.58	(-7.28,12.92)	41.01	0.00,1.50	**70.50**
	15	9.63	(-2.10,8.94)	20.86	1.50	**65.78**
	20	9.09	(-5.53,5.57)	23.97	1.50	**67.77**
8	3	43.14	(-77.22,24.74)	42.48	-1.00,1.50	**75.16**
	4	33.87	(-22.29,26.95)	45.16	-1.00,1.50	**71.77**
	8	14.18	(-6.67,9.59)	18.99	0.50,1.50	**50.48**
	10	18.60	(-5.93,11.75)	26.84	0.25,1.25	**51.58**
	15	4.71	(-2.48,5.88)	10.75	1.25,1.50	**49.19**
	20	2.36	(-1.27,5.14)	4.05	1.25,1.50	**33.80**

ตารางที่ 14 (ต่อ)

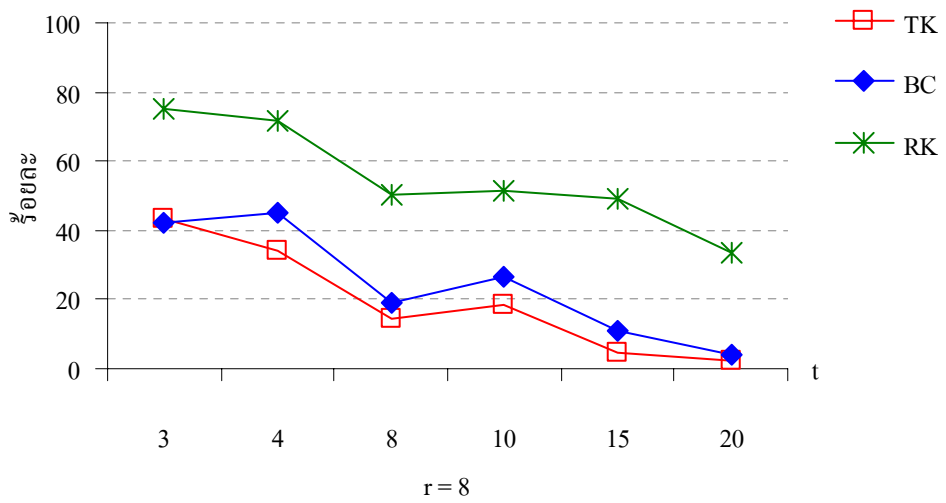
r	t	TK		BC		RK
		ร้อยละ	p (ต่ำสุด,สูงสุด)	ร้อยละ	λ	ร้อยละ
12	3	37.88	(-70.8,21.27)	35.98	1.50	**77.27**
	4	34.15	(-128.68,17.62)	34.15	0.00,1.50	**66.83**
	8	10.17	(-4.12,9.26)	9.27	0.75,1.50	**31.75**
	10	16.14	(-5.78,10.51)	16.83	0.25,1.50	**38.43**
	15	1.58	(-2.53,6.04)	3.23	1.25	**28.44**
	20	1.03	(-0.38,4.10)	1.14	0.75,1.25	**17.10**



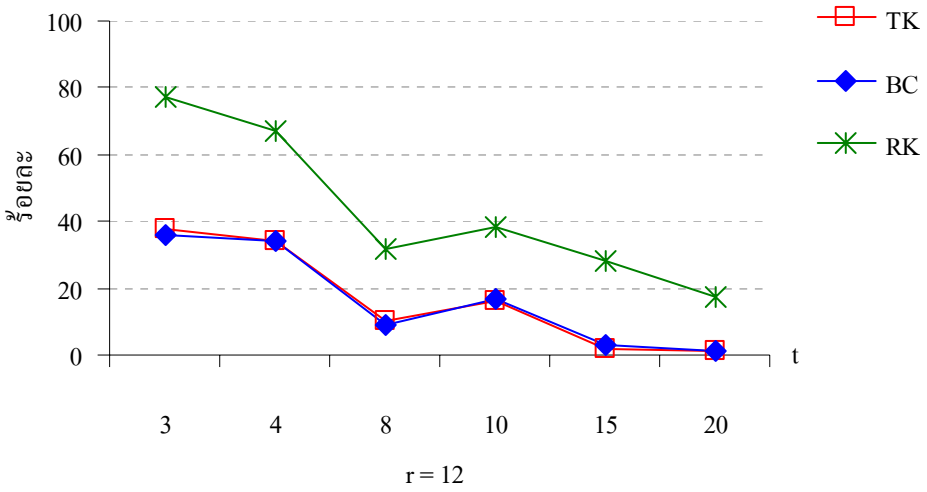
(ก)


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
t
3
4
8
10
15
20
r = 8
TK
BC
RK

(ข)


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
t
3
4
8
10
15
20
r = 8
TK
BC
RK

(ค)



(ง)

ภาพที่ 3 ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 14 ภาพที่ 3 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน วิธีการแปลงที่มีร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุดในทุกขนาดการทดลอง ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับรองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และวิธีของ Tukey แปลงข้อมูลได้น้อยที่สุด ยกเว้น กรณีการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3 และ 4 ทรีทเมนต์ วิธีที่แปลงข้อมูลได้น้อยที่สุด คือ วิธีของ Box และCox ในลักษณะเดียวกันกับที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อการทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้นร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติลดลง

1.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก

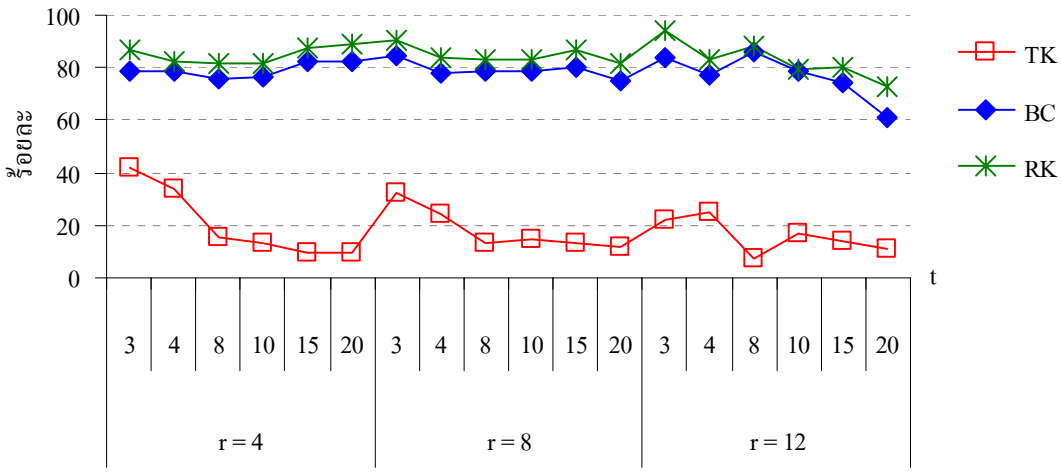
1.2.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 15 ดังนี้

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

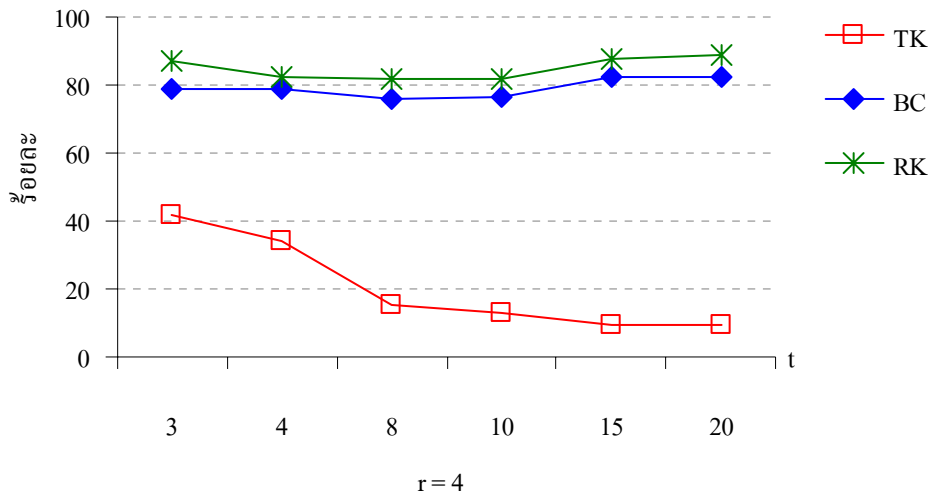
r	t	TK		BC		RK
		ร้อยละ	p (ต่ำสุด,สูงสุด)	ร้อยละ	λ	ร้อยละ
4	3	41.73	(-6.67,6.78)	78.95	0.25	**86.84**
	4	33.90	(-6.98,16.63)	78.54	0.25	**82.20**
	8	15.44	(-3.34,1.76)	75.94	0.25	**81.69**
	10	12.89	(-2.53,2.73)	76.23	0.25,0.50	**81.85**
	15	9.50	(-1.02,0.96)	82.45	0.25,0.50	**87.74**
	20	9.67	(-0.46,0.92)	82.28	0.25,0.50	**88.85**
8	3	32.57	(-20.92,4.87)	84.48	0.25	**90.42**
	4	24.27	(-5.35,2.55)	77.96	0.25	**83.68**
	8	13.11	(-1.72,2.51)	78.63	0.25,0.50	**83.37**
	10	14.96	(-1.57,5.41)	78.63	0.25,0.50	**82.91**
	15	13.18	(-1.19,0.92)	80.22	0.25,0.50	**86.61**
	20	11.63	(-0.63,0.87)	74.73	0.25,0.50	**81.36**

ตารางที่ 15 (ต่อ)

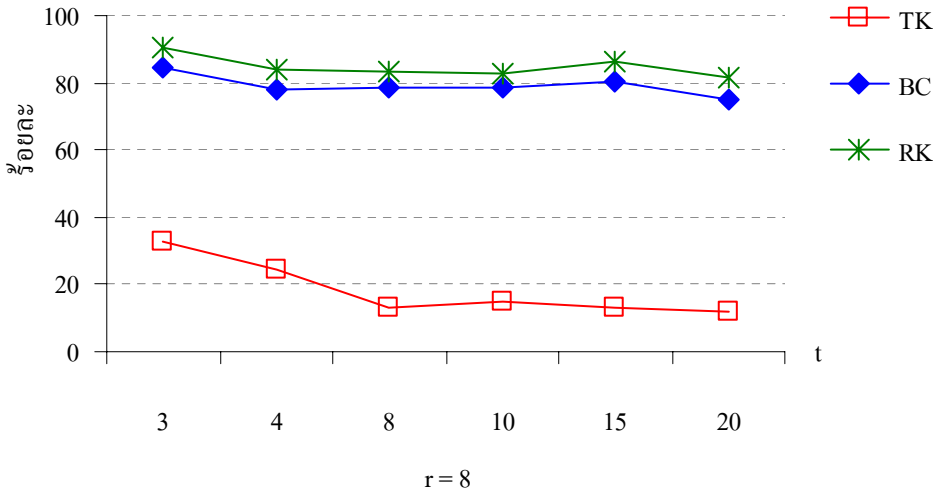
r	t	TK		BC		RK
		ร้อยละ	p (ต่ำสุด,สูงสุด)	ร้อยละ	λ	ร้อยละ
12	3	21.78	(-3.55,1.77)	84.10	0.25	**93.84**
	4	24.66	(-2.29,9.42)	77.29	0.25,0.50	**82.91**
	8	7.69	(-1.81,4.19)	85.77	0.50,0.75	**88.02**
	10	17.26	(-1.42,0.91)	78.58	0.25,0.50	**79.56**
	15	14.24	(-0.84,0.93)	73.93	0.25,0.50	**80.10**
	20	11.08	(-0.65,0.83)	61.30	0.25,0.50	**73.13**



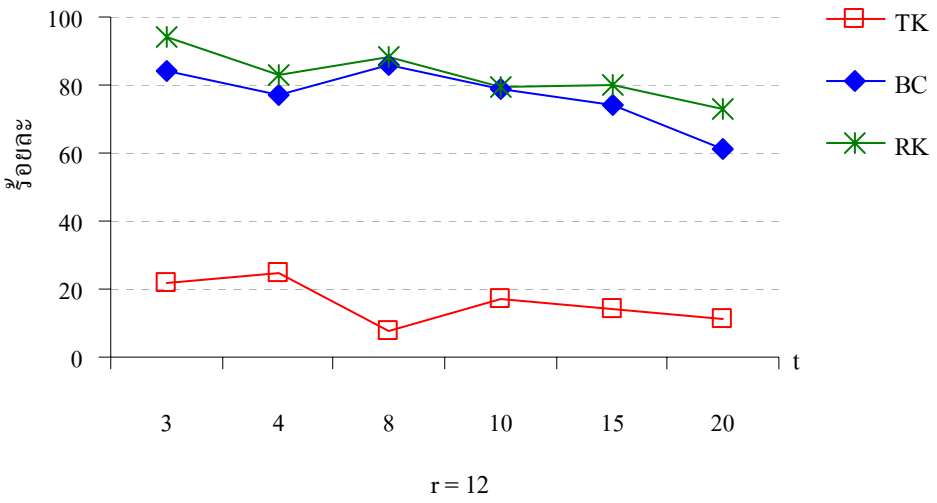
(ก)


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
t
3
4
8
10
15
20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
t
3
4
8
10
15
20
r = 8
TK
BC
RK

(ค)



(ง)

ภาพที่ 4 ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

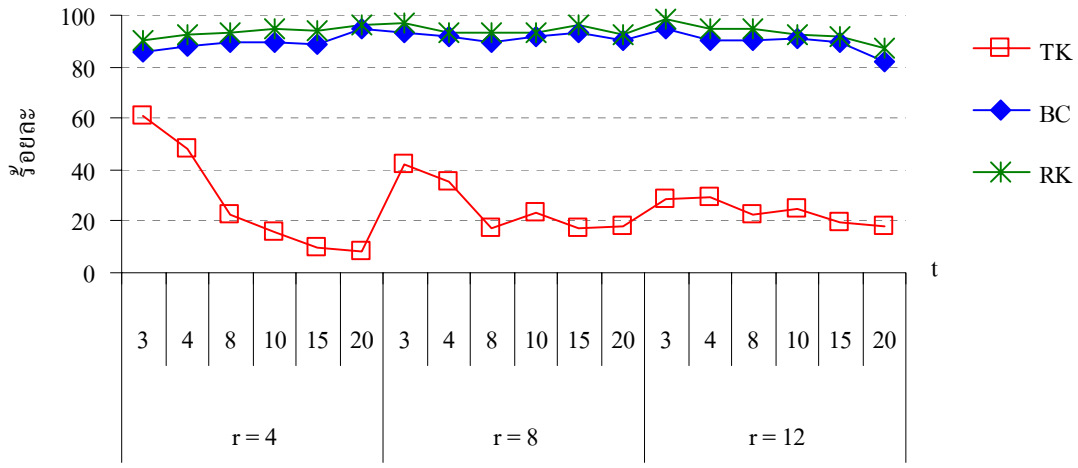
(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 15 และภาพที่ 4 (ก), (ข), (ค), และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก วิธีการแปลงข้อมูลที่มีร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุดในทุกขนาดการทดลอง ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ รองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และวิธีของ Tukey แปลงได้น้อยที่สุด และจะเห็นได้ว่า เมื่อการทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้น วิธีของ Tukey แปลงข้อมูลเป็นไปตามข้อสมมติได้ลดลง

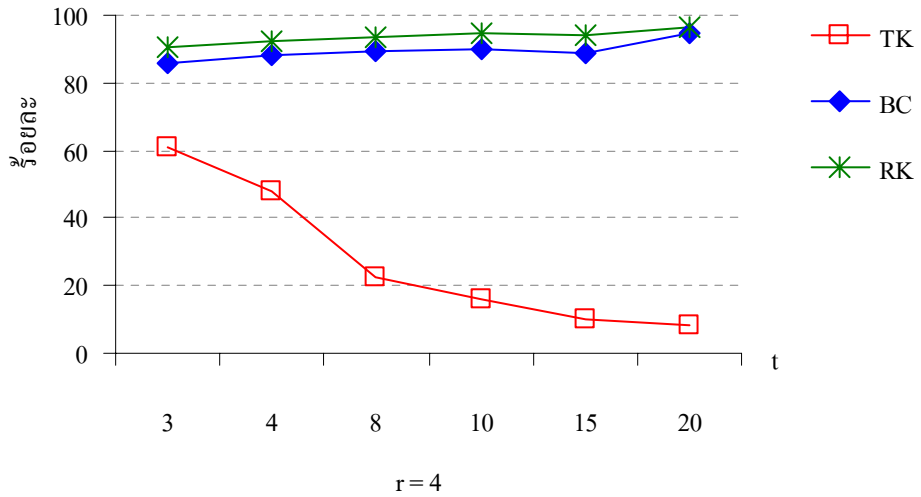
1.2.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 16 ดังนี้

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

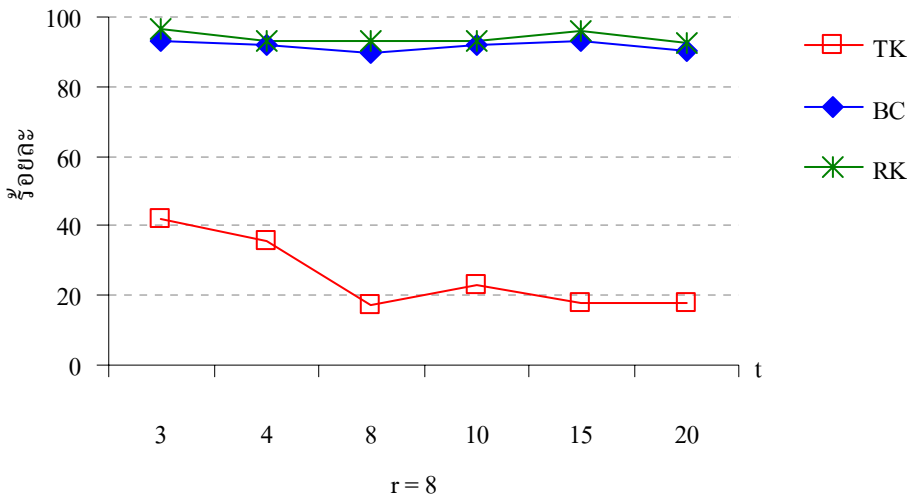
r	t	TK		BC		RK
		ร้อยละ	p (ต่ำสุด,สูงสุด)	ร้อยละ	λ	ร้อยละ
4	3	60.71	(-6.67,6.78)	85.71	0.25	**90.48**
	4	48.12	(-6.98,16.63)	87.97	0.25	**92.48**
	8	22.52	(-3.34,1.76)	89.64	0.25	**93.24**
	10	15.69	(-2.53,2.73)	89.71	0.25	**94.61**
	15	10.03	(-1.02,0.96)	88.89	0.25	**94.04**
	20	8.47	(-0.46,0.92)	94.44	0.25	**96.30**
8	3	42.14	(-20.92,4.87)	92.98	0.25	**96.66**
	4	35.69	(-5.35,2.55)	91.96	0.25	**93.25**
	8	17.46	(-1.72,2.51)	89.60	0.25	**93.14**
	10	23.25	(-1.57,5.41)	91.78	0.25	**92.99**
	15	17.55	(-1.19,0.92)	93.02	0.25	**95.88**
	20	18.08	(-0.63,0.87)	90.30	0.25	**92.34**
12	3	28.60	(-3.55,1.77)	95.05	0.25	**98.28**
	4	29.40	(-2.29,9.42)	90.28	0.25	**94.91**
	8	22.93	(-1.81,4.19)	90.09	0.25	**94.38**
	10	24.96	(-1.42,0.91)	91.02	0.25	**92.15**
	15	19.46	(-0.84,0.93)	89.19	0.25	**91.89**
	20	17.67	(-0.65,0.83)	81.88	0.25	**87.57**


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
t
3
4
8
10
15
20
r = 4
r = 8
r = 12
TK
BC
RK

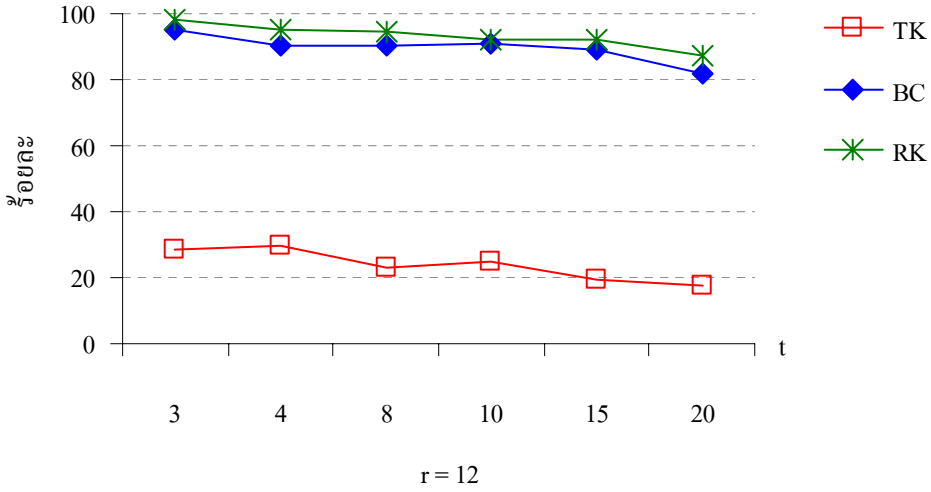
(ก)


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
t
3
4
8
10
15
20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 5 ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 16 และภาพที่ 5 (ก), (ข), (ค), และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก วิธีการแปลงข้อมูลที่มีร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุดในทุกขนาดการทดลอง ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ รองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และวิธีของ Tukey แปลงได้น้อยที่สุด เช่นเดียวกันกับที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อขนาดการทดลองใหญ่ขึ้น วิธีของ Tukey แปลงข้อมูลเป็นไปตามข้อสมมติได้ลดลง

1.3 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก

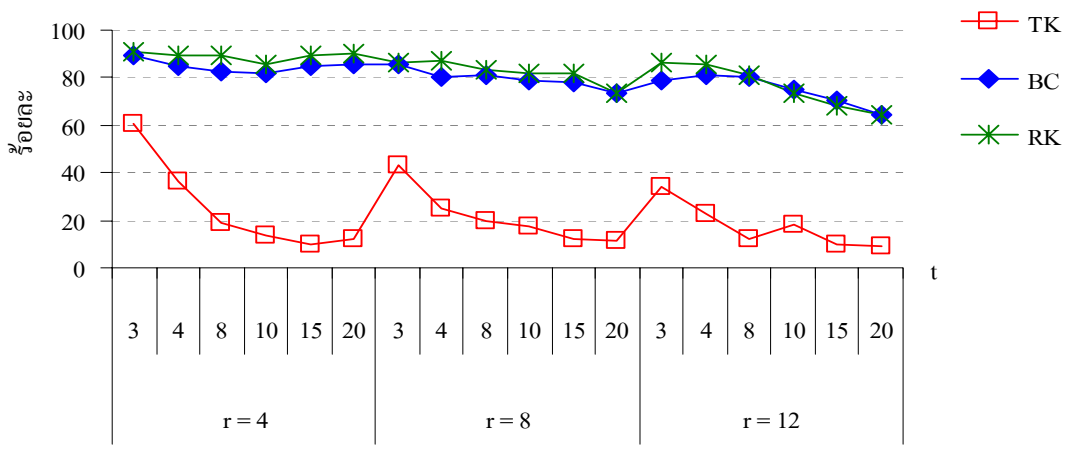
1.3.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตารางที่ 17 ดังนี้

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

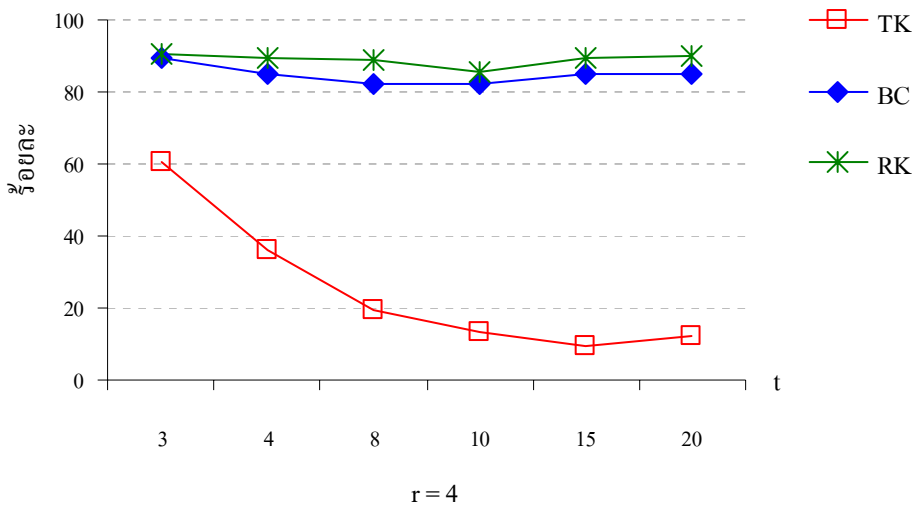
r	t	TK		BC		RK
		ร้อยละ	p (ต่ำสุด,สูงสุด)	ร้อยละ	λ	ร้อยละ
4	3	60.68	(-3.44,4.12)	89.64	0.25	**90.70**
	4	36.25	(-15.78,4.1)	84.84	0.25	**89.38**
	8	19.18	(-4.72,0.98)	82.42	0.25	**89.04**
	10	13.56	(-3.59,0.83)	81.96	0.25	**85.71**
	15	9.67	(-1.61,0.95)	85.03	0.25	**89.64**
	20	11.96	(-0.64,0.99)	85.27	0.25	**90.11**

ตารางที่ 17 (ต่อ)

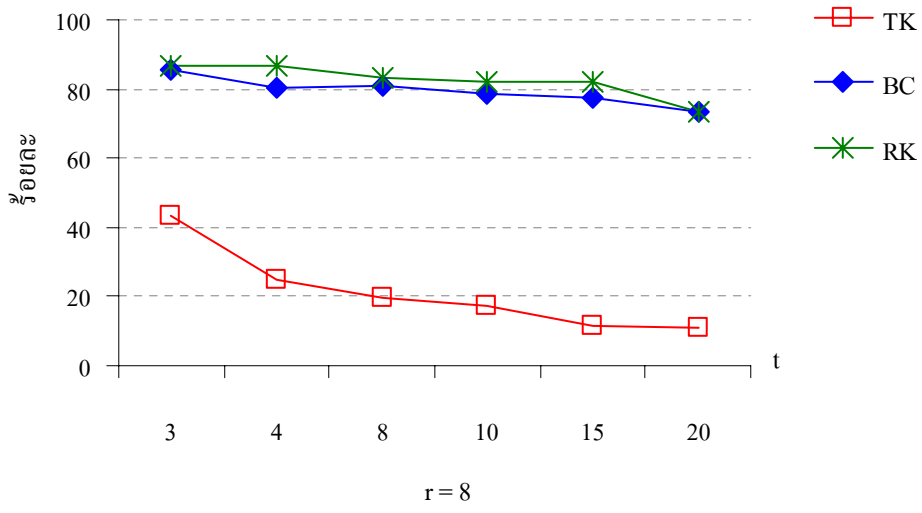
r	t	TK		BC		RK
		ร้อยละ	p (ต่ำสุด,สูงสุด)	ร้อยละ	λ	ร้อยละ
8	3	43.34	(-1.92,0.57)	85.71	0.25	**86.67**
	4	25.12	(-5.66,3.24)	80.62	0.25	**86.94**
	8	19.47	(-1.96,0.91)	80.71	0.25	**83.16**
	10	17.59	(-1.75,0.95)	78.81	0.25	**81.94**
	15	11.75	(-1.16,0.91)	77.74	0.25	**82.16**
	20	11.17	(-0.83,0.91)	73.43	0.25	**73.69**
12	3	34.16	(-1.81,0.28)	78.88	0.25	**86.54**
	4	23.07	(-3.54,0.8)	81.03	0.25	**85.92**
	8	12.07	(-1.91,0.77)	80.33	0.25	**81.24**
	10	18.15	(-1.5,0.85)	**74.76**	0.25	73.83
	15	9.76	(-1.27,0.79)	**70.57**	0.25	68.17
	20	9.07	(-0.71,0.79)	64.18	0.25	**64.68**



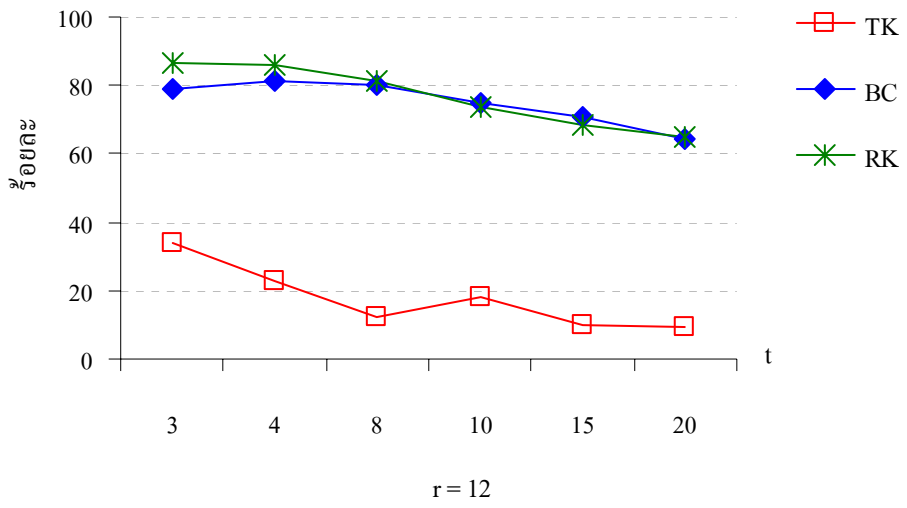
(ก)


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
t
3
4
8
10
15
20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
t
3
4
8
10
15
20
r = 8
TK
BC
RK

(ค)



(ง)

ภาพที่ 6 ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

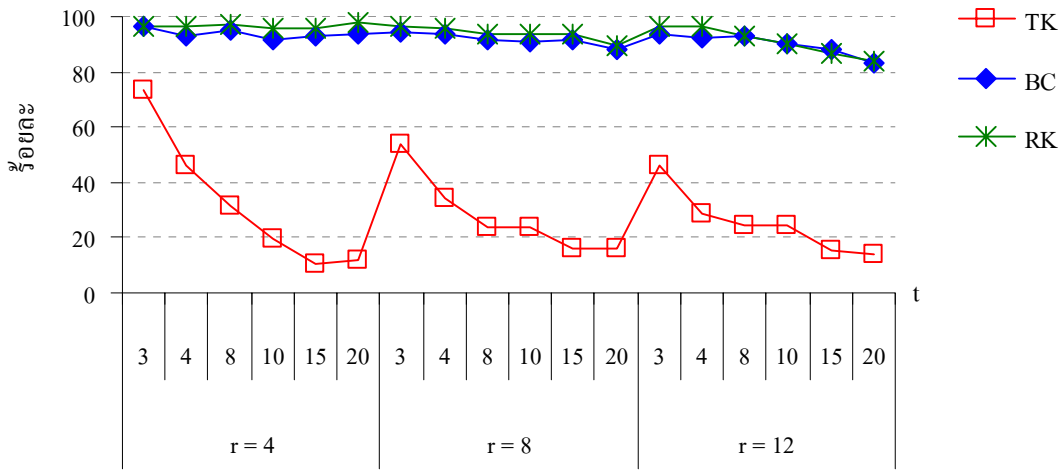
(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 17 และภาพที่ 6 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก วิธีการแปลงข้อมูลที่มีร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุดในทุกขนาดการทดลอง ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ รองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และวิธีของ Tukey แปลงได้น้อยที่สุด ยกเว้น กรณีการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 10 และ 15 ทรีทเมนต์ วิธีการแปลงข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุด ได้แก่ วิธีของ Box และCox รองลงมา คือ การแปลงโดยใช้อันดับ และวิธีของ Tukey แปลงข้อมูลได้น้อยที่สุด เช่นเดียวกับกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก คือ เมื่อการทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้น วิธีของ Tukey แปลงข้อมูลเป็นไปตามข้อสมมติได้ลดลง

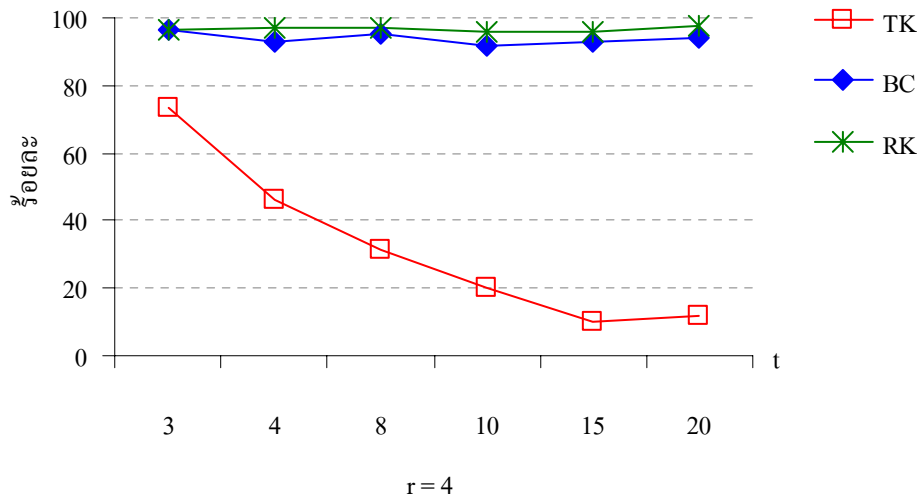
1.3.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 18 ดังนี้

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

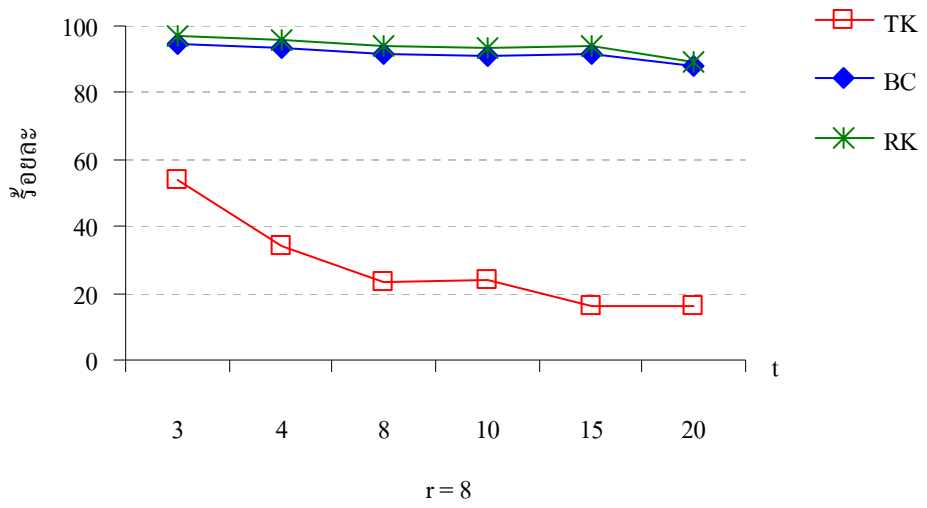
r	t	TK		BC		RK
		ร้อยละ	p (ต่ำสุด,สูงสุด)	ร้อยละ	λ	ร้อยละ
4	3	73.55	(-3.44,4.12)	**96.69**	0.25	**96.69**
	4	46.10	(-15.78,4.1)	92.91	0.25	**96.81**
	8	31.25	(-4.72,0.98)	95.37	0.25	**97.22**
	10	19.91	(-3.59,0.83)	91.95	0.25	**95.75**
	15	10.29	(-1.61,0.95)	93.14	0.25	**95.93**
	20	11.64	(-0.64,0.99)	94.02	0.25	**97.71**
8	3	53.96	(-1.92,0.57)	94.62	0.25	**96.84**
	4	34.29	(-5.66,3.24)	93.52	0.25	**95.53**
	8	23.51	(-1.96,0.91)	91.73	0.25	**93.77**
	10	23.66	(-1.75,0.95)	90.97	0.25	**93.48**
	15	16.35	(-1.16,0.91)	91.54	0.25	**94.05**
	20	15.99	(-0.83,0.91)	87.99	0.25	**89.19**
12	3	46.17	(-1.81,0.28)	93.74	0.25	**96.64**
	4	28.43	(-3.54,0.8)	92.54	0.25	**96.32**
	8	24.62	(-1.91,0.77)	**92.95**	0.50	**92.95**
	10	24.31	(-1.5,0.85)	90.19	0.25	**90.55**
	15	15.33	(-1.27,0.79)	**87.80**	0.25	86.44
	20	14.24	(-0.71,0.79)	83.16	0.25	**83.98**


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
t
3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20
r = 4
r = 8
r = 12
TK
BC
RK

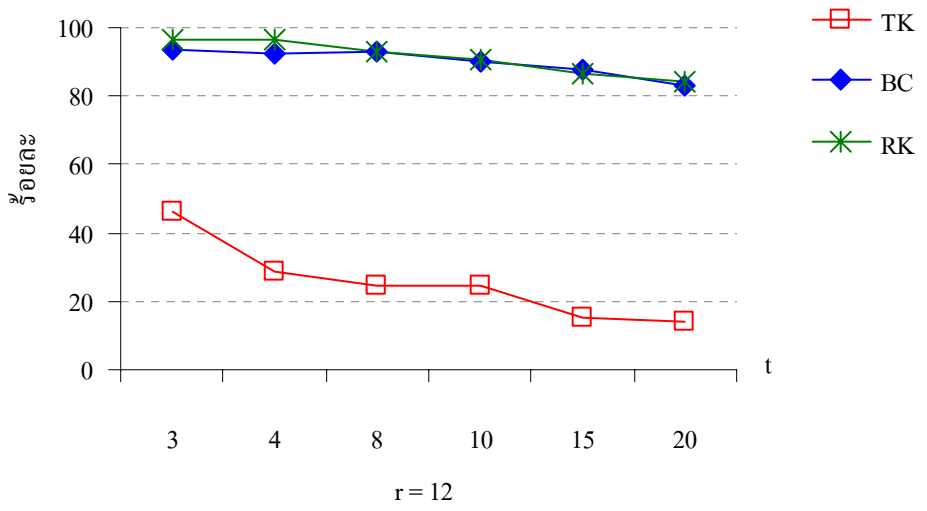
(ก)


100
80
60
40
20
0
ร้อยละ
t
3 4 8 10 15 20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 7 ร้อยละของข้อมูลจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 18 และภาพที่ 7 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก วิธีการแปลงข้อมูลที่มีร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุดในทุกขนาดการทดลอง ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ รองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และวิธีของ Tukey แปลงได้น้อยที่สุด ยกเว้น กรณีขนาดการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 15 ทรีทเมนต์ วิธีการแปลงข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุด ได้แก่ วิธีของ Box และCox รองลงมา คือ การแปลงโดยใช้อันดับ และวิธีของ Tukey แปลงข้อมูลได้น้อยที่สุด

2. ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

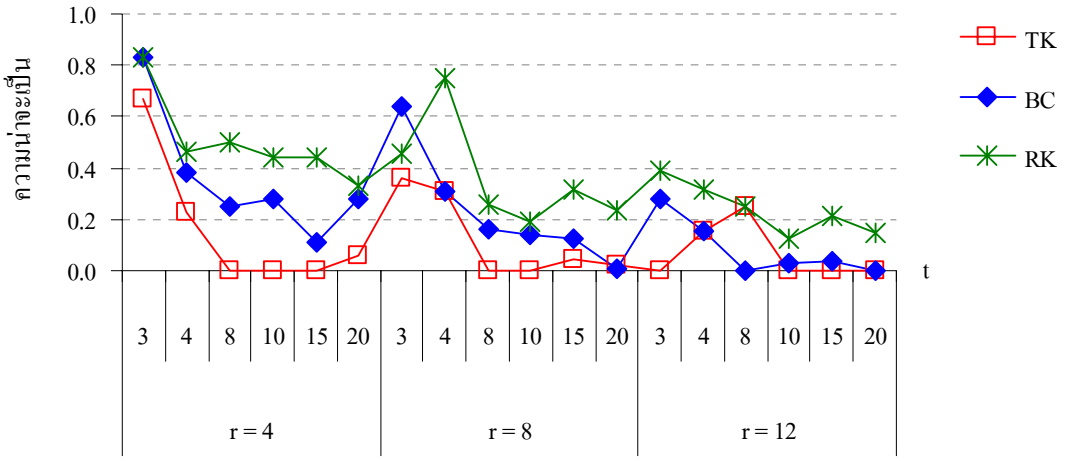
ผลการทดลองสามารถสรุปเปรียบเทียบการแปลงข้อมูล 3 วิธี จากความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด จำแนกตามข้อสมมติได้ 3 กรณี คือ กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก และกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามทั้ง 2 ข้อสมมติ ที่ระดับนัยสำคัญ 2 ระดับ คือ 0.05 และ 0.01 แสดงในตารางที่ 19 ถึง 24 และภาพที่ 8 ถึง 13 ดังนี้

2.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน

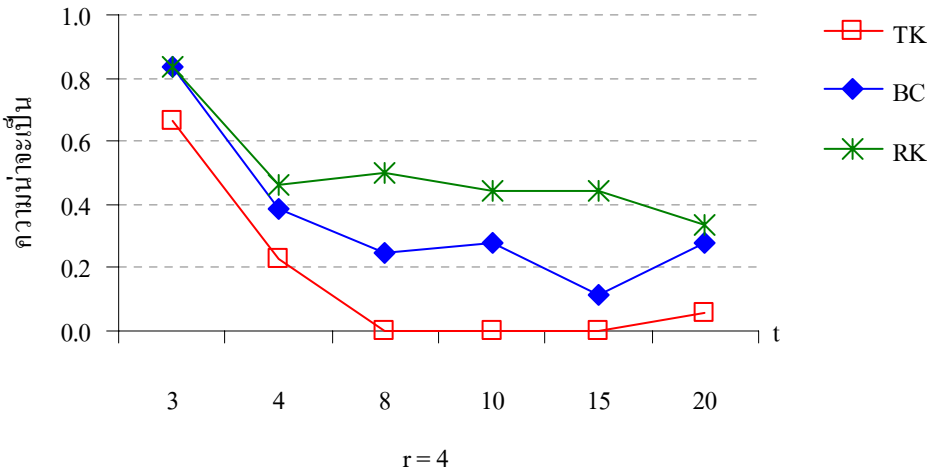
2.1.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 19 ดังนี้

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

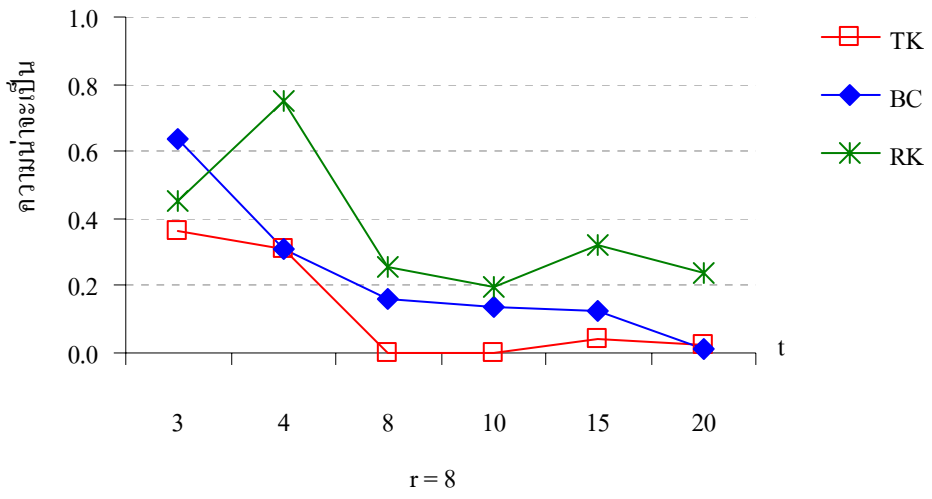
r	t	TK	BC	RK
4	3	**0.667**	0.833	0.833
	4	**0.231**	0.385	0.462
	8	**0**	0.250	0.500
	10	**0**	0.278	0.444
	15	**0**	0.111	0.444
	20	**0.056**	0.278	0.333
8	3	**0.364**	0.636	0.455
	4	**0.313**	**0.313**	0.750
	8	**0**	0.161	0.258
	10	**0**	0.139	0.194
	15	**0.043**	0.128	0.319
	20	0.022	**0.011**	0.237
12	3	**0**	0.278	0.389
	4	**0.158**	**0.158**	0.316
	8	0.250	**0**	0.250
	10	**0**	0.027	0.122
	15	**0**	0.034	0.213
	20	**0**	**0**	0.144


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ความน่าจะเป็น
t
3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20
r = 4
r = 8
r = 12
TK
BC
RK

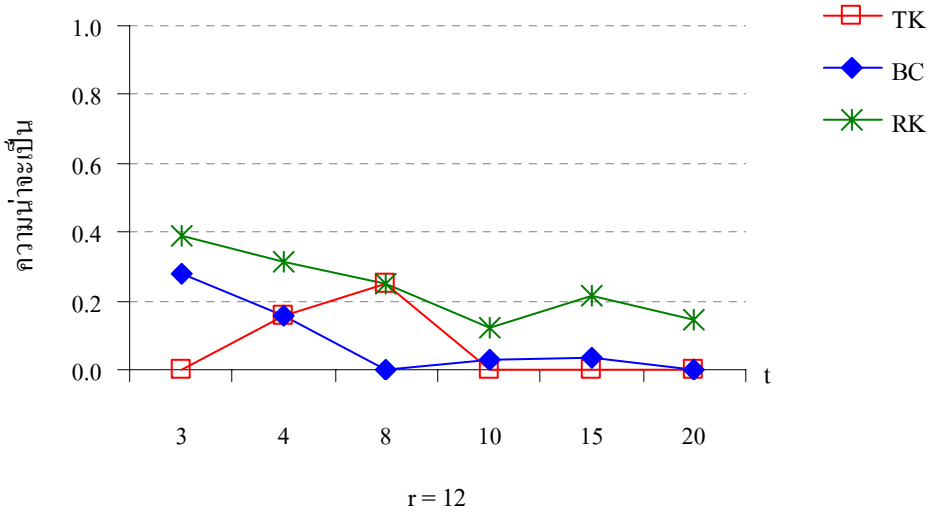
(ก)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ความน่าจะเป็น
t
3 4 8 10 15 20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 8 ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 19 และภาพที่ 8 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ในทุกขนาดการทดลอง โดยรวมการแปลงข้อมูลวิธีของ Tukey มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด รองลงมา ได้แก่ วิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 สูงที่สุด ยกเว้น การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 20 ทรีทเมนต์ และจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 8 ทรีทเมนต์ วิธีของ Box และCox มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำสุด

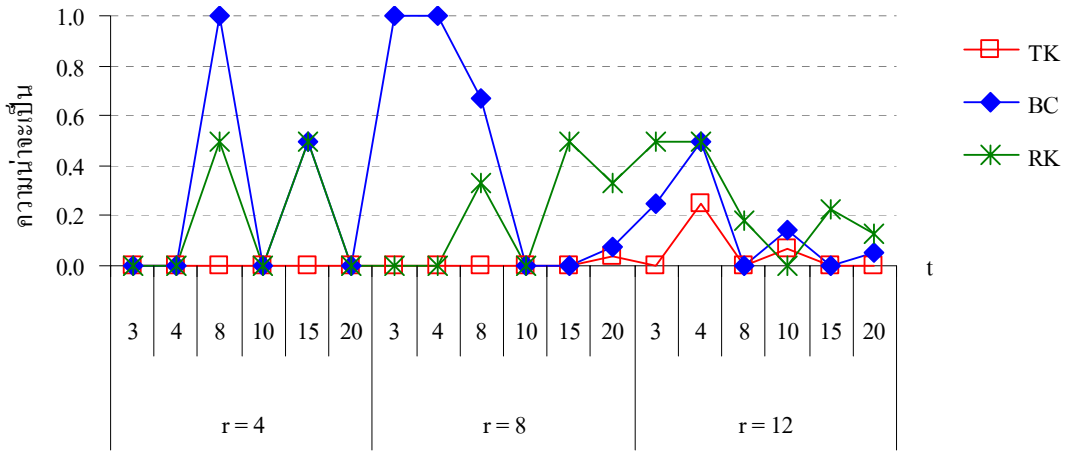
2.1.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 20 ดังนี้

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

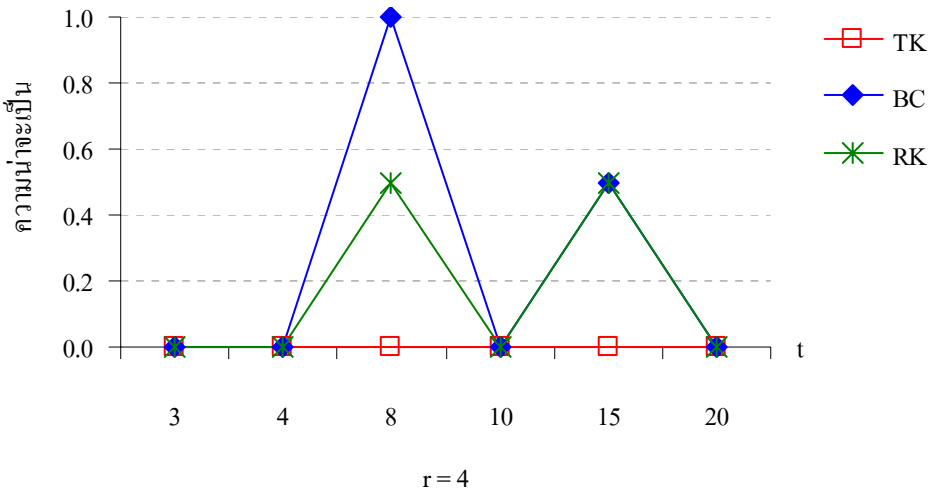
r	t	TK	BC	RK
4	3	**0**	**0**	**0**
	4	**0**	**0**	**0**
	8	**0**	1.000	0.500
	10	**0**	**0**	**0**
	15	**0**	0.500	0.500
	20	**0**	**0**	**0**
8	3	**0**	1.000	**0**
	4	**0**	1.000	**0**
	8	**0**	0.667	0.333
	10	**0**	**0**	**0**
	15	**0**	**0**	0.500
	20	**0.037**	0.074	0.333

ตารางที่ 20 (ต่อ)

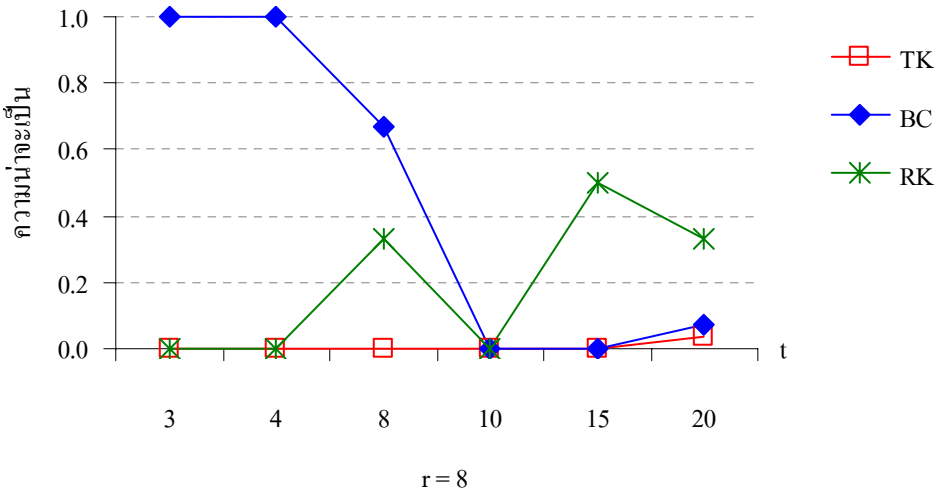
r	t	TK	BC	RK
12	3	**0**	0.250	0.500
	4	**0.250**	0.500	0.500
	8	**0**	**0**	0.182
	10	0.071	0.143	**0**
	15	**0**	**0**	0.226
	20	**0**	0.053	0.132



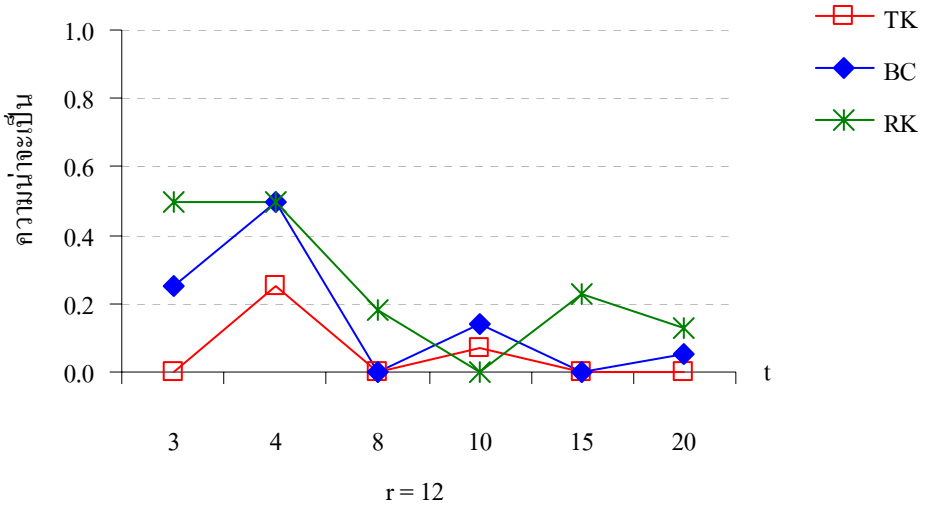
(ก)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ความน่าจะเป็น
TK
BC
RK
t
3
4
8
10
15
20
r = 4

(ข)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ความน่าจะเป็น
TK
BC
RK
t
3
4
8
10
15
20
r = 8

(ค)



(ง)

ภาพที่ 9 ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

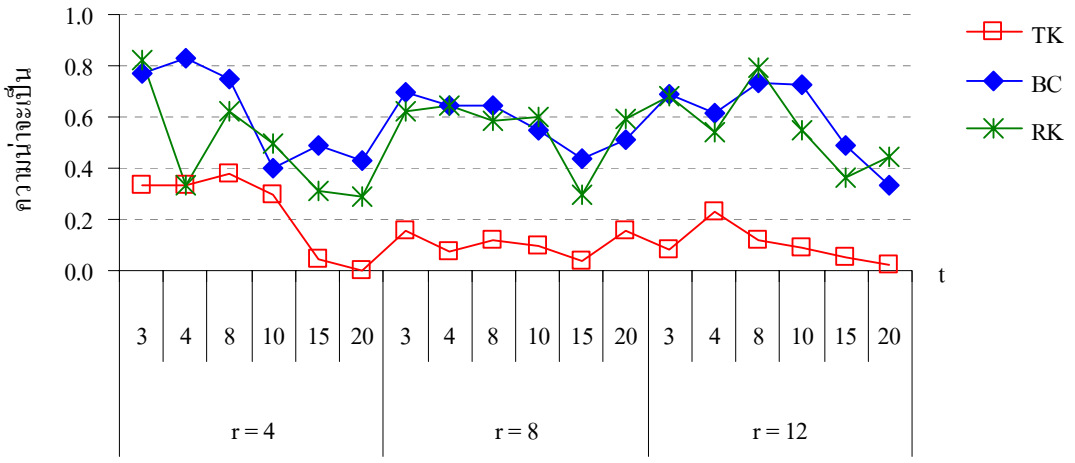
จากตารางที่ 20 และภาพที่ 9 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3, 4, 10 และ 20 ทรีทเมนต์ และจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 10 ทรีทเมนต์ การแปลงทั้ง 3 วิธี ให้ผลเหมือนกัน คือ ไม่เกิดความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 เมื่อพิจารณาโดยรวมการแปลงข้อมูลวิธีของ Tukey มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด ยกเว้น การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 10 ทรีทเมนต์ การแปลงโดยใช้อันดับ มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด

2.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก

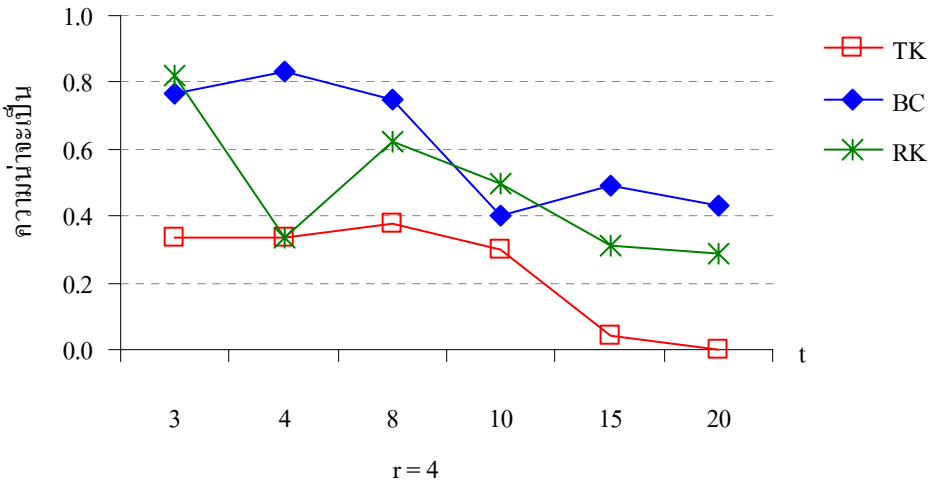
2.2.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงไว้ในตารางที่ 21 ดังนี้

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

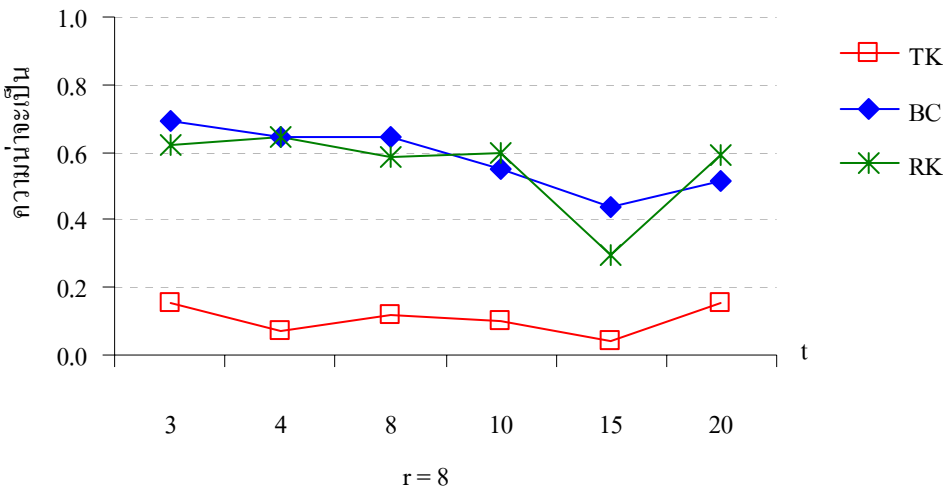
r	t	TK	BC	RK
4	3	**0.333**	0.769	0.821
	4	**0.333**	0.833	**0.333**
	8	**0.375**	0.750	0.625
	10	**0.300**	0.400	0.500
	15	**0.042**	0.490	0.313
	20	**0**	0.429	0.286
8	3	**0.153**	0.694	0.624
	4	**0.071**	0.643	0.643
	8	**0.118**	0.647	0.588
	10	**0.100**	0.550	0.600
	15	**0.041**	0.437	0.298
	20	**0.154**	0.513	0.590
12	3	**0.078**	0.692	0.680
	4	**0.231**	0.615	0.538
	8	**0.118**	0.735	0.794
	10	**0.091**	0.727	0.545
	15	**0.054**	0.489	0.367
	20	**0.022**	0.333	0.444


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ความน่าจะเป็น
TK
BC
RK
t
3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20
r = 4
r = 8
r = 12

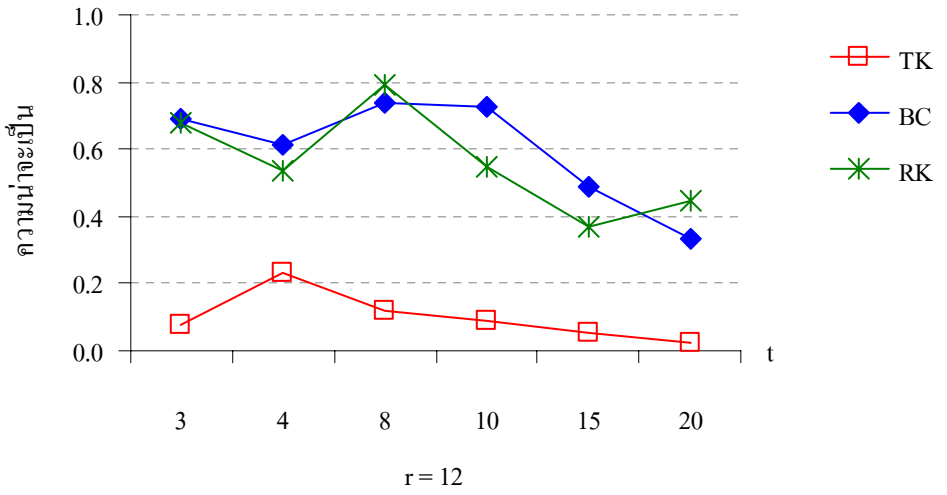
(ก)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ความน่าจะเป็น
TK
BC
RK
t
3 4 8 10 15 20
r = 4

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 10 ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 21 และภาพที่ 10 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ในทุกขนาดการทดลอง เมื่อพิจารณาโดยรวมการแปลงข้อมูลวิธีของ Tukey มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด รองลงมา คือ การแปลงโดยใช้อันดับ และวิธีของ Box และCox มีความน่าจะเป็นสูงที่สุด ยกเว้นการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3 และ10 ทรีทเมนต์ การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 10 และ20 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 8 และ20 ทรีทเมนต์ การแปลงโดยใช้อันดับมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 สูงที่สุด

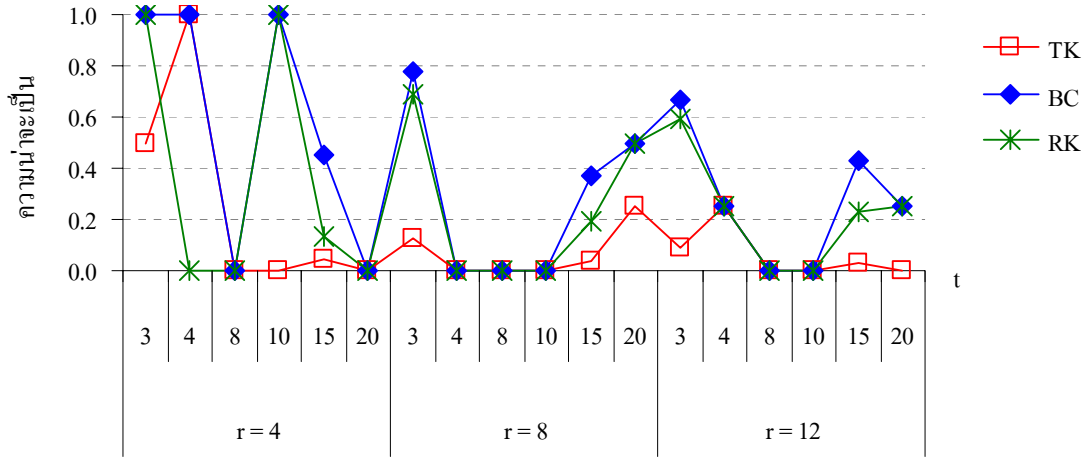
2.2.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงไว้ในตารางที่ 22 ดังนี้

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

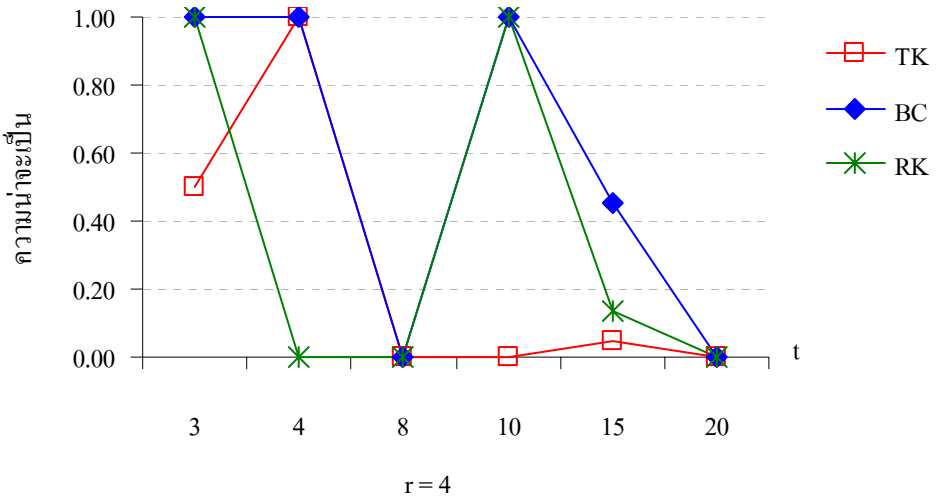
r	t	TK	BC	RK
4	3	**0.500**	1.000	1.000
	4	1.000	1.000	**0**
	8	**0**	**0**	**0**
	10	**0**	1.000	1.000
	15	**0.045**	0.455	0.136
	20	**0**	**0**	**0**

ตารางที่ 22 (ต่อ)

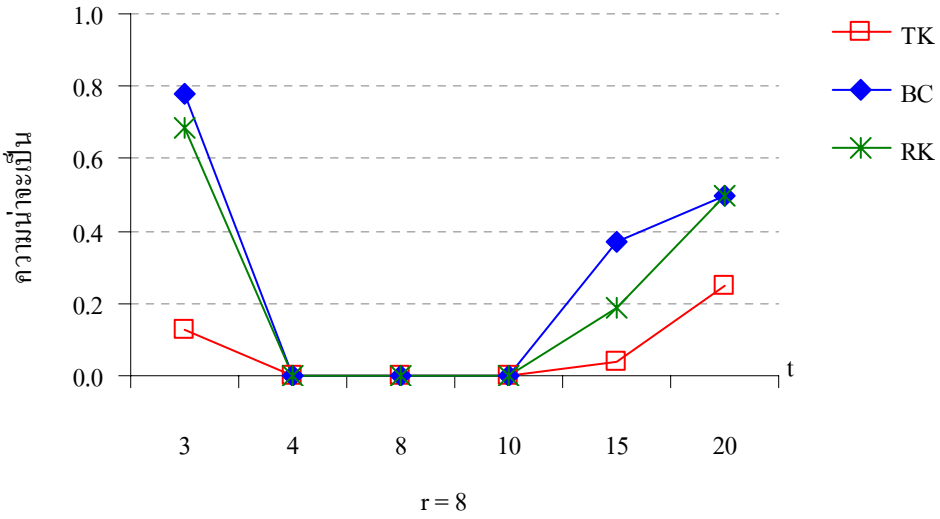
r	t	TK	BC	RK
8	3	**0.125**	0.781	0.688
	4	**0**	**0**	**0**
	8	**0**	**0**	**0**
	10	**0**	**0**	**0**
	15	**0.036**	0.372	0.190
	20	**0.250**	0.500	0.500
12	3	**0.087**	0.667	0.590
	4	**0.250**	**0.250**	**0.250**
	8	**0**	**0**	**0**
	10	**0**	**0**	**0**
	15	**0.029**	0.429	0.231
	20	**0**	0.250	0.250



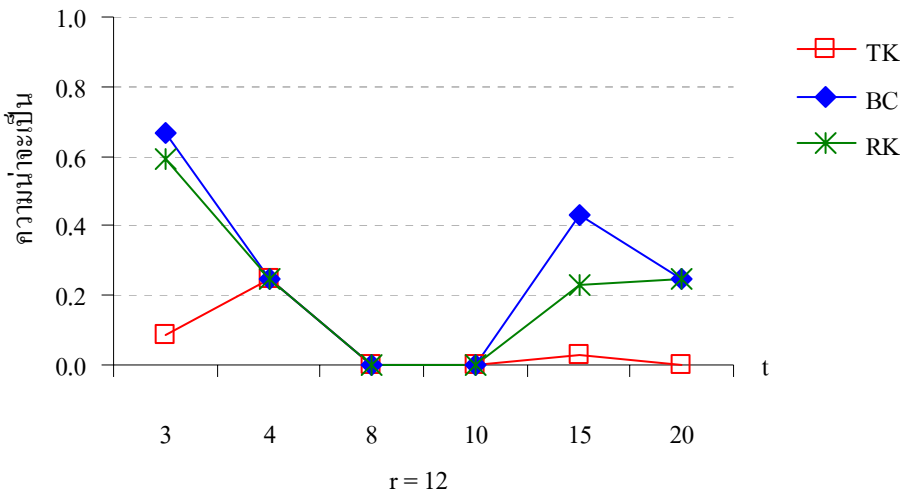
(ก)


1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
ความน่าจะเป็น
t
3
4
8
10
15
20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ความน่าจะเป็น
t
3
4
8
10
15
20
r = 8
TK
BC
RK

(ค)



(ง)

ภาพที่ 11 ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 22 ภาพที่ 11(ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 และ 20 ทรีทเมนต์ การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4, 8 และ 10 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4, 8 และ10 ทรีทเมนต์ การแปลงทั้ง 3 วิธี ให้ผลเหมือนกันคือ ไม่เกิดความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 แต่โดยรวมแล้วการแปลงข้อมูลวิธีของ Tukey มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด รองลงมา ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ และวิธีของ Box และCox ตามลำดับ ยกเว้น การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 ทรีทเมนต์ การแปลงโดยใช้อันดับมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำสุด

2.3 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก

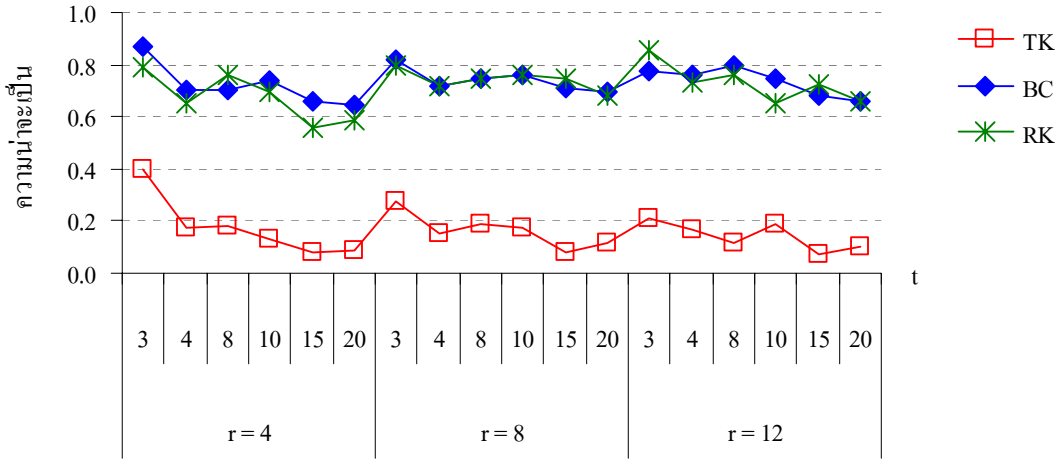
2.3.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงไว้ในตารางที่ 25 ดังนี้

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

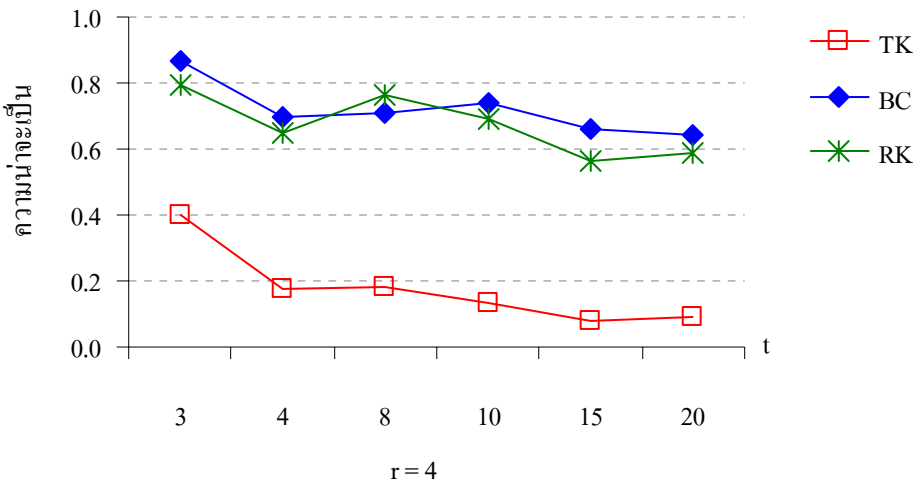
r	t	TK	BC	RK
4	3	**0.399**	0.869	0.792
	4	**0.175**	0.700	0.650
	8	**0.183**	0.706	0.762
	10	**0.131**	0.738	0.694
	15	**0.077**	0.659	0.561
	20	**0.089**	0.643	0.589
8	3	**0.274**	0.820	0.795
	4	**0.151**	0.716	0.716
	8	**0.192**	0.750	0.745
	10	**0.172**	0.764	0.758
	15	**0.077**	0.710	0.746
	20	**0.119**	0.696	0.679

ตารางที่ 23 (ต่อ)

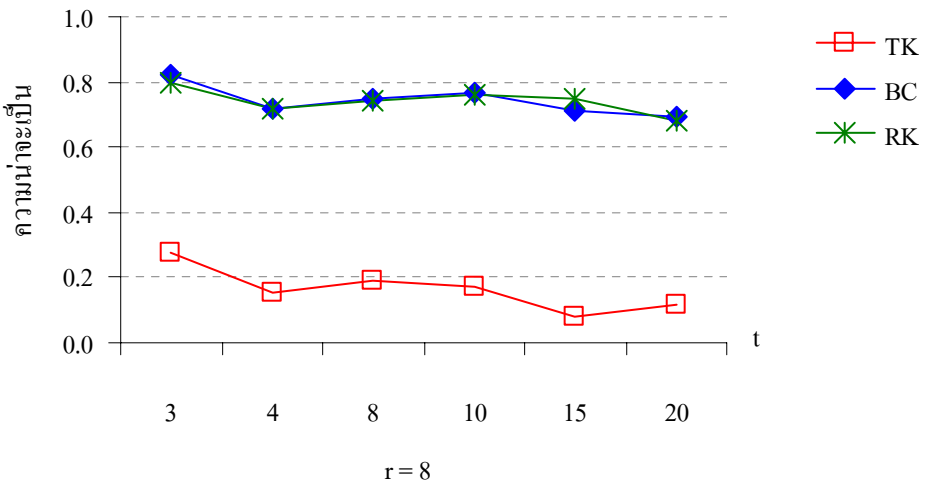
r	t	TK	BC	RK
12	3	**0.213**	0.778	0.853
	4	**0.170**	0.761	0.733
	8	**0.116**	0.800	0.759
	10	**0.189**	0.747	0.652
	15	**0.073**	0.682	0.722
	20	**0.105**	0.660	0.659



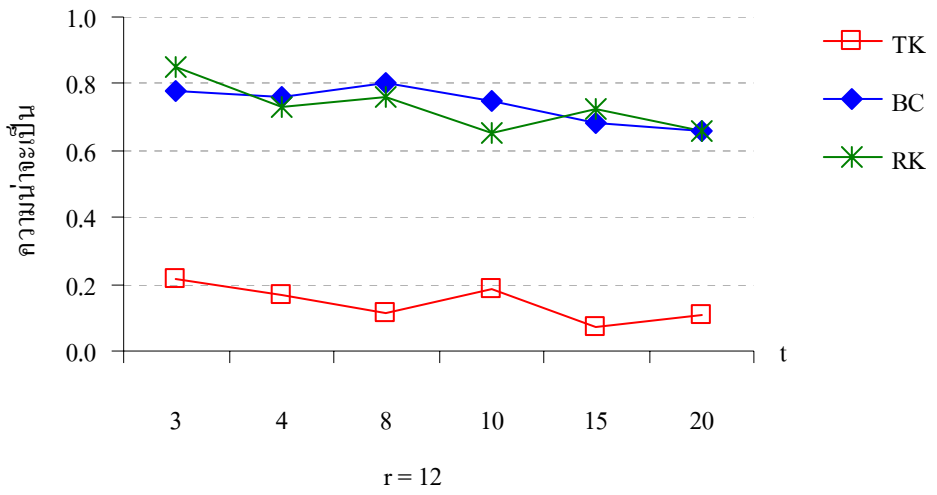
(ก)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ความน่าจะเป็น
t
3
4
8
10
15
20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ความน่าจะเป็น
t
3
4
8
10
15
20
r = 8
TK
BC
RK

(ค)



(ง)

ภาพที่ 12 ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

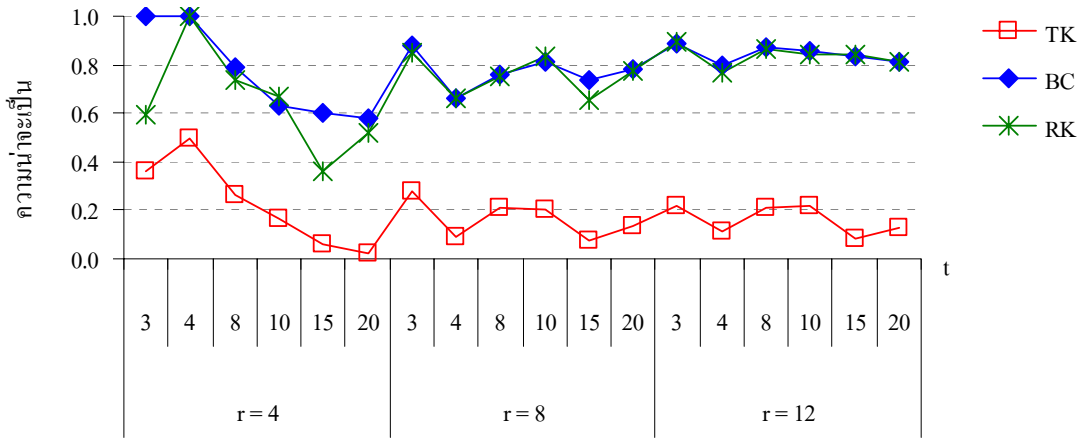
(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 23 และภาพที่ 12 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ในทุกขนาดการทดลอง การแปลงข้อมูลที่มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด คือ วิธีของ Tukey รองลงมา ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ และวิธีของ Box และCox ตามลำดับ ยกเว้นการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 8 ทรีทเมนต์ การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 15 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3 และ15 ทรีทเมนต์ การแปลงโดยใช้อันดับมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 สูงที่สุด

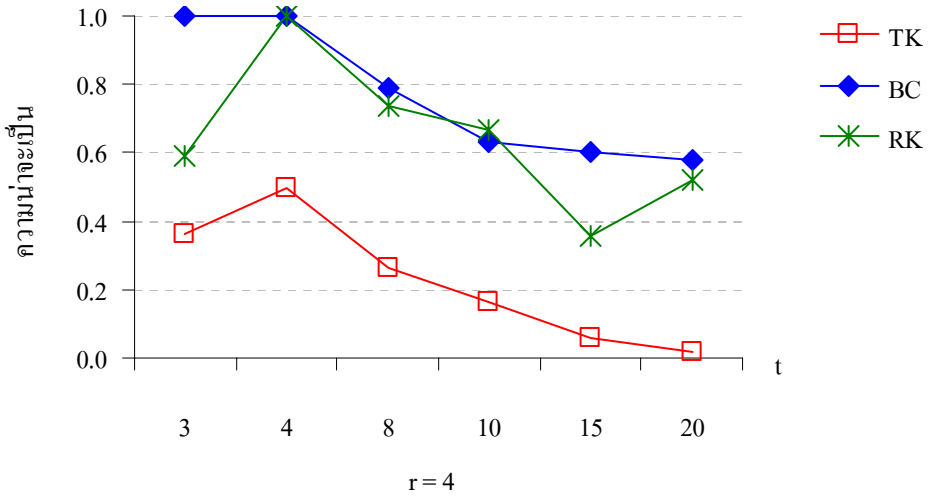
2.3.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงไว้ในตารางที่ 24 ดังนี้

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

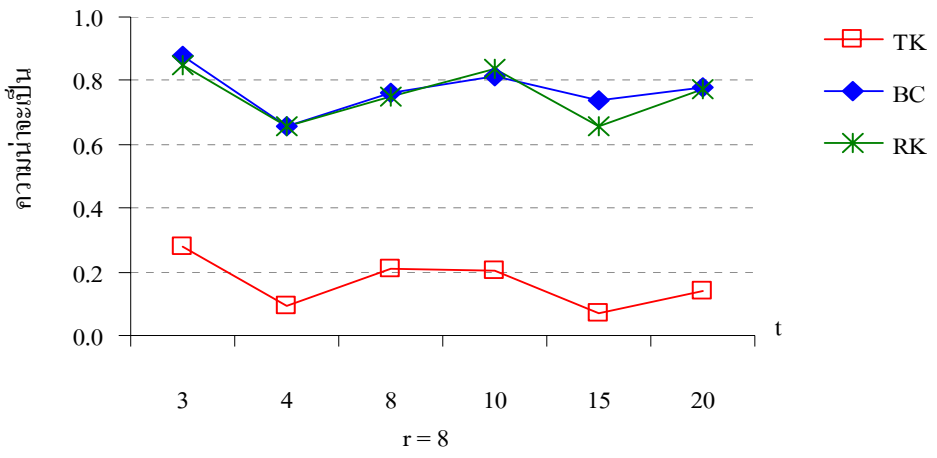
r	t	TK	BC	RK
4	3	**0.364**	1.000	0.591
	4	**0.500**	1.000	1.000
	8	**0.263**	0.789	0.737
	10	**0.167**	0.633	0.667
	15	**0.058**	0.602	0.359
	20	**0.020**	0.580	0.520
8	3	**0.277**	0.877	0.846
	4	**0.091**	0.659	0.659
	8	**0.211**	0.761	0.752
	10	**0.204**	0.813	0.837
	15	**0.072**	0.739	0.657
	20	**0.138**	0.779	0.774
12	3	**0.217**	0.886	0.898
	4	**0.115**	0.795	0.770
	8	**0.207**	0.872	0.862
	10	**0.216**	0.856	0.839
	15	**0.079**	0.832	0.842
	20	**0.129**	0.812	0.811


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ความน่าจะเป็น
t
3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20
r = 4
r = 8
r = 12
TK
BC
RK

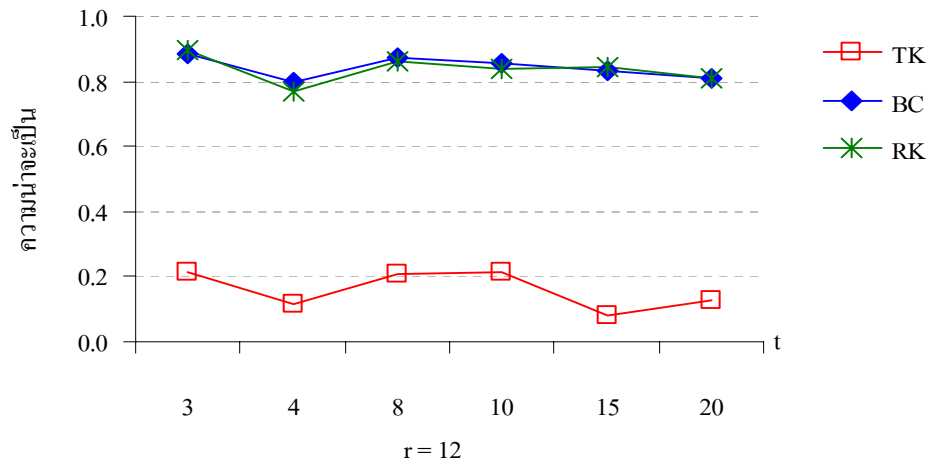
(ก)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ความน่าจะเป็น
t
3 4 8 10 15 20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 13 ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 24 และภาพที่ 13 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ในทุกขนาดการทดลองที่มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด คือ วิธีของ Tukey รองลงมา ได้แก่ วิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับที่ให้ผลใกล้เคียงกัน ยกเว้น การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 และ 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 10 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3 และ15 ทรีทเมนต์ การแปลงโดยใช้อันดับมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 สูงกว่าวิธีของ Box และCox

3. อำนาจการทดสอบของวิธีการแปลงข้อมูล

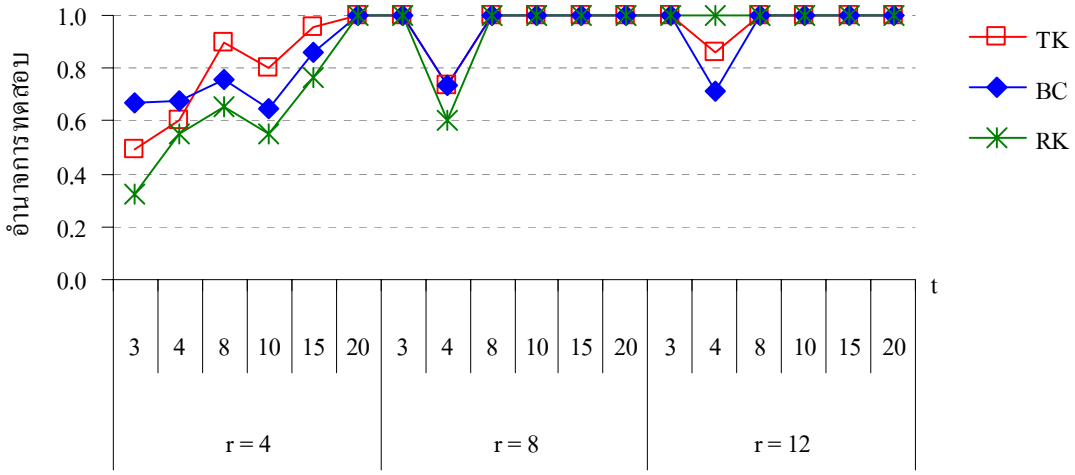
ผลการทดลองสามารถสรุปเปรียบเทียบการแปลงข้อมูล 3 วิธี จากอำนาจการทดสอบสูงที่สุด จำแนกตามข้อสมมติได้ 3 กรณี คือ กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก และกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามทั้ง 2 ข้อสมมติ ที่ระดับนัยสำคัญ 2 ระดับ คือ 0.05 และ 0.01 แสดงในตารางที่ 25 ถึง 24 และภาพที่ 14 ถึง 19 ดังนี้

3.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน

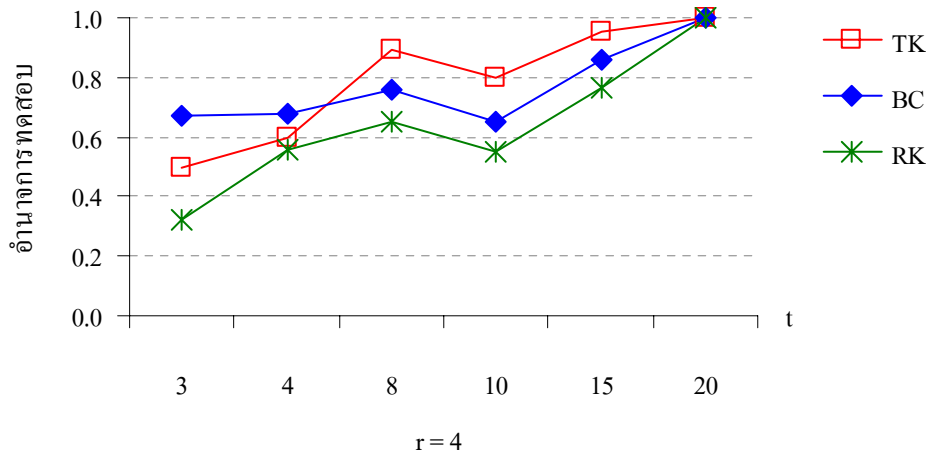
3.1.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงไว้ในตารางที่ 25 ดังนี้

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

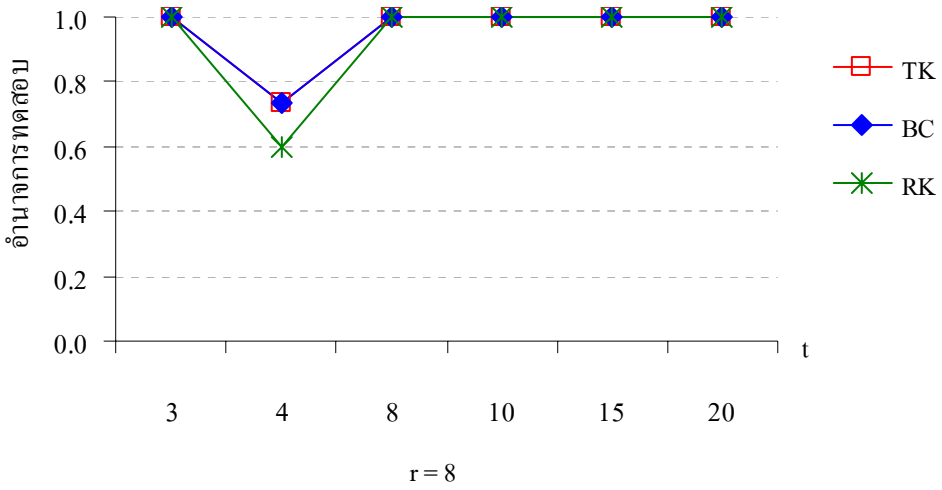
r	t	TK	BC	RK
4	3	0.495	**0.670**	0.321
	4	0.600	**0.677**	0.554
	8	**0.894**	0.758	0.652
	10	**0.800**	0.650	0.550
	15	**0.952**	0.857	0.762
	20	**1.000**	0.909	0.864
8	3	0.640	**0.850**	0.430
	4	**0.733**	**0.733**	0.600
	8	**0.800**	0.600	**0.800**
	10	**1.000**	**1.000**	**1.000**
	15	**1.000**	**1.000**	**1.000**
	20	**1.000**	**1.000**	**1.000**
12	3	0.781	**0.891**	0.594
	4	0.857	0.714	**1.000**
	8	**1.000**	**1.000**	**1.000**
	10	**1.000**	**1.000**	**1.000**
	15	**1.000**	**1.000**	**1.000**
	20	**1.000**	**1.000**	**1.000**


อำนาจการทดสอบ
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
t
3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20
r = 4
r = 8
r = 12
TK
BC
RK

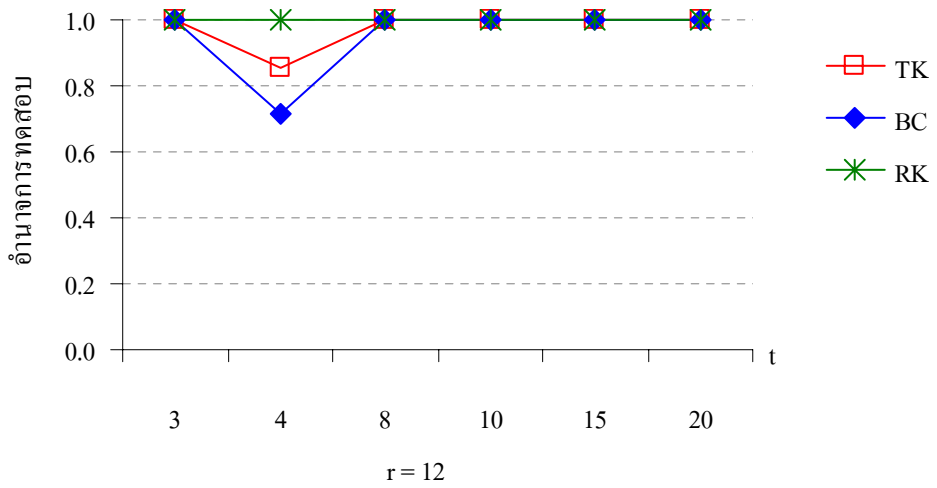
(ก)


อำนาจการทดสอบ
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
t
3 4 8 10 15 20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 14 อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 25 และภาพที่ 14 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน อำนาจการทดสอบของทั้ง 3 วิธี มีค่าใกล้เคียงกัน แต่วิธีการแปลงข้อมูลที่มีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด ได้แก่ วิธีของ Tukey รองลงมา คือ วิธี Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับ มีอำนาจการทดสอบต่ำสุด ยกเว้น การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3 และ 4 ทรีทเมนต์ การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3 และ4 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3 ทรีทเมนต์ วิธี Box และCox มีอำนาจการทดสอบสูงสุด

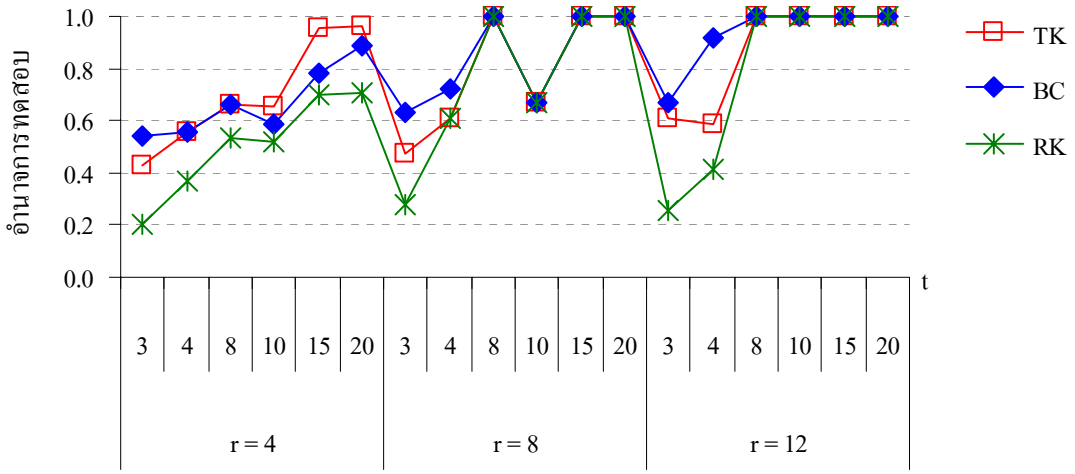
3.1.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงไว้ในตารางที่ 26 ดังนี้

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

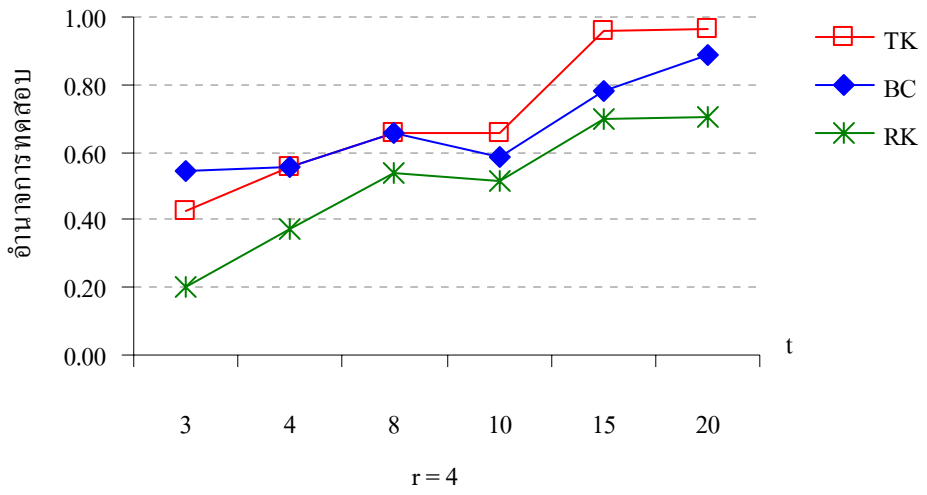
r	t	TK	BC	RK
4	3	0.429	**0.543**	0.200
	4	**0.556**	**0.556**	0.370
	8	**0.659**	**0.659**	0.537
	10	**0.655**	0.586	0.517
	15	**0.957**	0.783	0.696
	20	**0.963**	0.889	0.704
8	3	0.474	**0.632**	0.281
	4	0.611	**0.722**	0.611
	8	0.842	**0.895**	0.842
	10	**0.667**	**0.667**	**0.667**
	15	**1.000**	**1.000**	**1.000**
	20	**1.000**	**1.000**	**1.000**

ตารางที่ 26 (ต่อ)

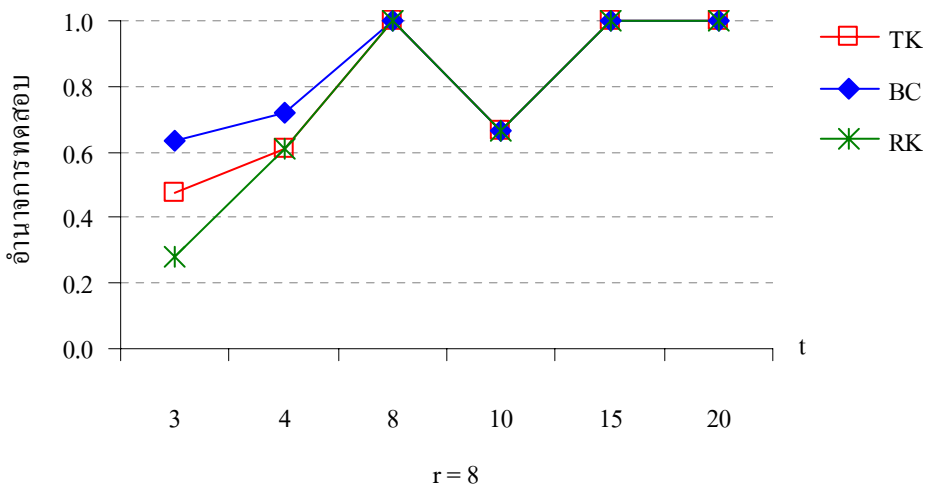
r	t	TK	BC	RK
12	3	0.611	**0.667**	0.259
	4	0.583	**0.917**	0.417
	8	**1.000**	**1.000**	**1.000**
	10	**1.000**	**1.000**	**1.000**
	15	**1.000**	**1.000**	**1.000**
	20	**1.000**	**1.000**	**1.000**



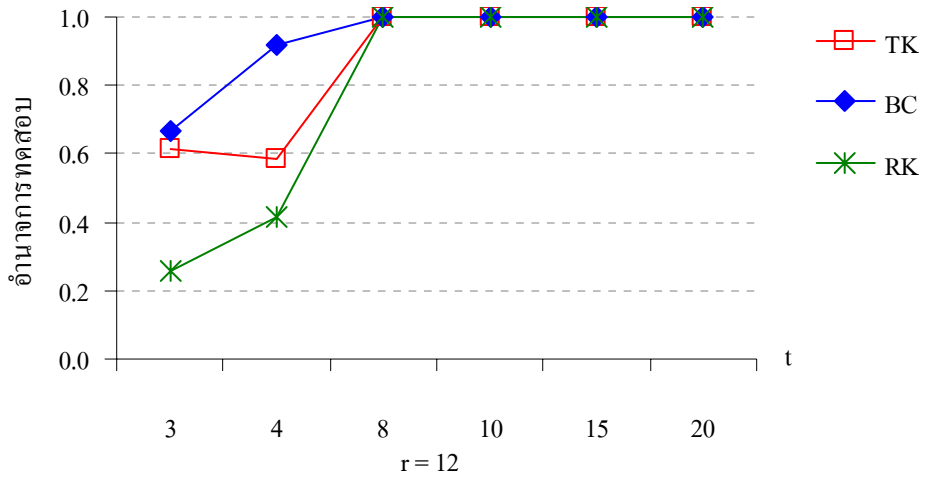
(ก)


1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
อำนาจการทดสอบ
t
3
4
8
10
15
20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
อำนาจการทดสอบ
t
3
4
8
10
15
20
r = 8
TK
BC
RK

(ค)



(ง)

ภาพที่ 15 อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

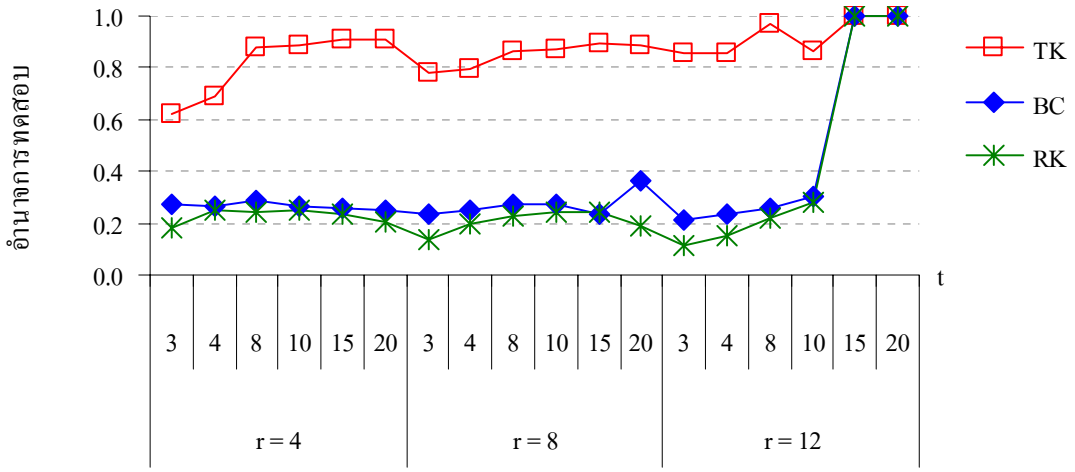
จากตารางที่ 26 และภาพที่ 15 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน ผลเป็นเช่นเดียวกันกับที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คืออำนาจการทดสอบของทั้ง 3 วิธี มีค่าใกล้เคียงกัน แต่วิธีการแปลงข้อมูลที่มีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด ได้แก่ วิธี Box และCox รองลงมา คือ วิธีของ Tukey และการแปลงโดยใช้อันดับ มีอำนาจการทดสอบต่ำสุด ยกเว้น การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 10, 15และ 20 ทรีทเมนต์ วิธีของ Tukey มีอำนาจการทดสอบสูงสุด

3.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก

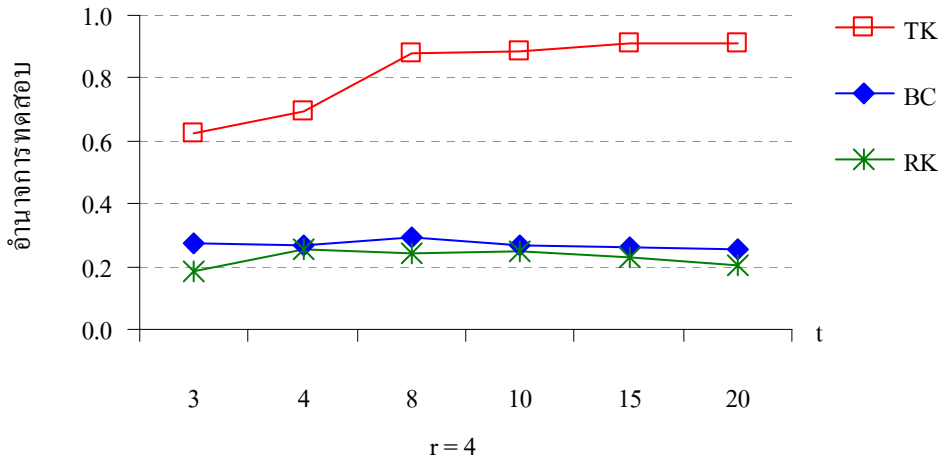
3.2.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงไว้ในตารางที่ 27 ดังนี้

ตารางที่ 27 เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

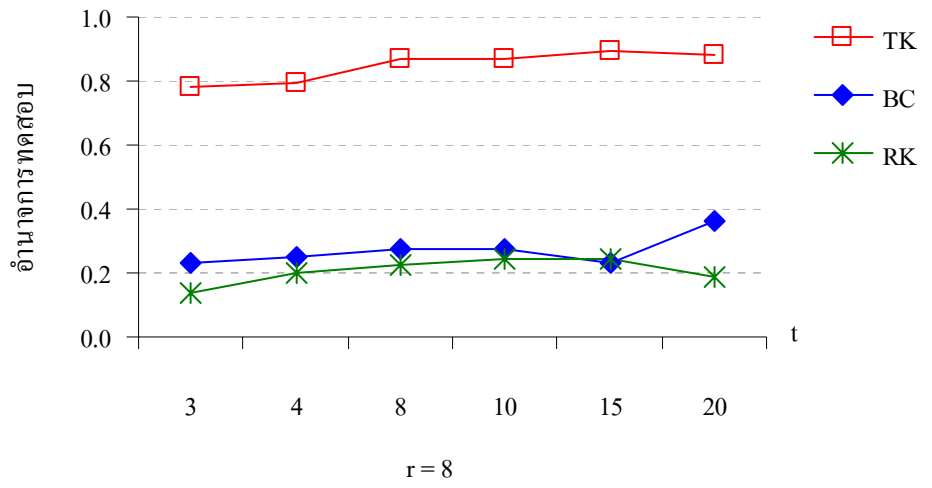
r	t	TK	BC	RK
4	3	**0.621**	0.273	0.185
	4	**0.691**	0.267	0.253
	8	**0.881**	0.291	0.245
	10	**0.887**	0.268	0.249
	15	**0.909**	0.261	0.231
	20	**0.909**	0.253	0.203
8	3	**0.779**	0.232	0.136
	4	**0.796**	0.249	0.200
	8	**0.866**	0.275	0.227
	10	**0.870**	0.274	0.243
	15	**0.892**	0.231	0.242
	20	**0.884**	0.362	0.188
12	3	**0.856**	0.213	0.114
	4	**0.860**	0.235	0.154
	8	**0.973**	0.259	0.218
	10	**0.864**	0.305	0.280
	15	**0.957**	0.391	0.435
	20	**0.833**	0	0.167


อำนาจการทดสอบ
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
t
3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20
r = 4
r = 8
r = 12
TK
BC
RK

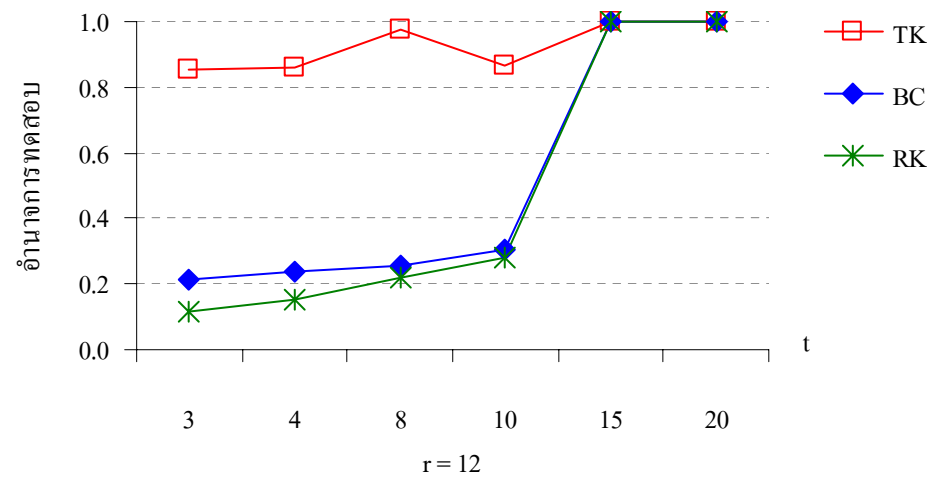
(ก)


อำนาจการทดสอบ
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
t
3 4 8 10 15 20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 16 อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 27 และภาพที่ 16 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ในทุกขนาดการทดลอง วิธีการแปลงข้อมูลที่มีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด ได้แก่ วิธีของ Tukey รองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับ มีอำนาจการทดสอบต่ำสุด ยกเว้น การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 15 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 15 และ 20 ทรีทเมนต์ วิธีของ Box และCox มีอำนาจการทดสอบต่ำที่สุด

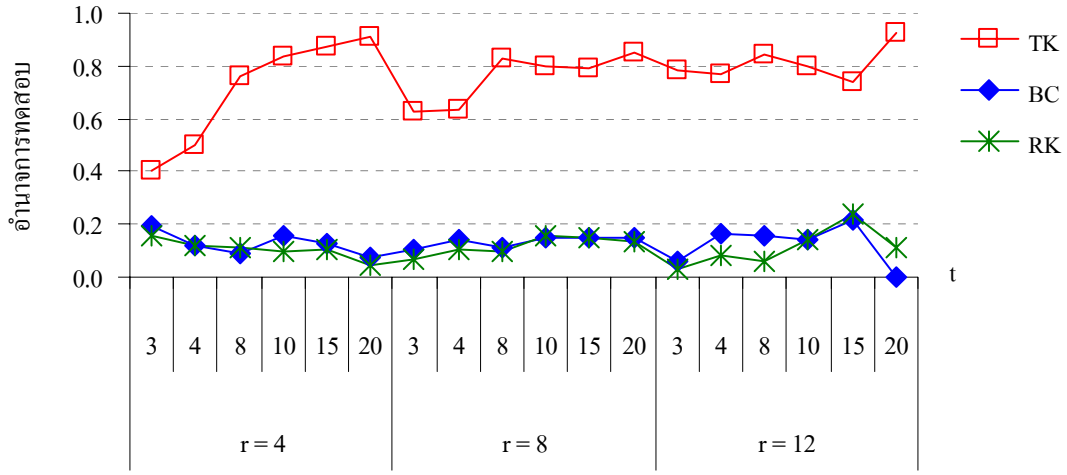
3.2.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงไว้ในตารางที่ 28 ดังนี้

ตารางที่ 28 เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

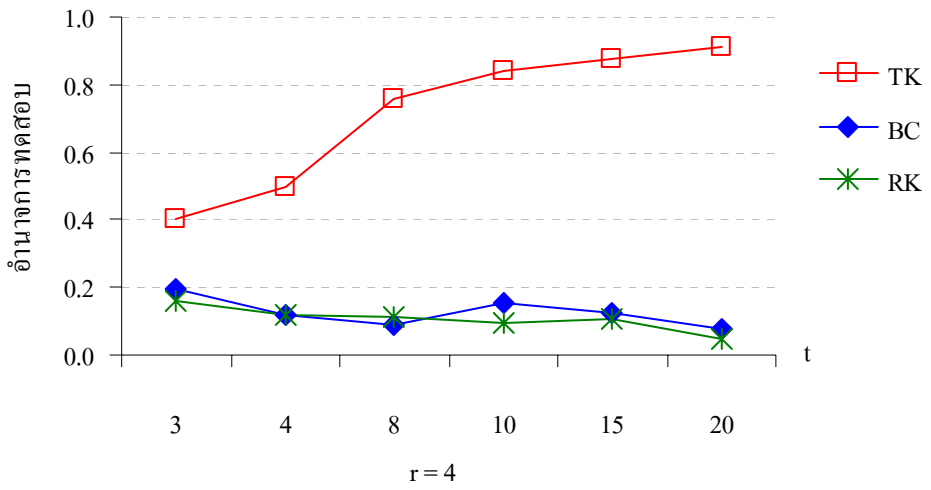
r	t	TK	BC	RK
4	3	**0.402**	0.195	0.159
	4	**0.500**	0.117	0.117
	8	**0.760**	0.091	0.110
	10	**0.839**	0.153	0.095
	15	**0.874**	0.126	0.108
	20	**0.911**	0.078	0.047
8	3	**0.626**	0.106	0.064
	4	**0.631**	0.141	0.106
	8	**0.829**	0.113	0.093
	10	**0.799**	0.150	0.154
	15	**0.788**	0.151	0.151
	20	**0.851**	0.149	0.135

ตารางที่ 28 (ต่อ)

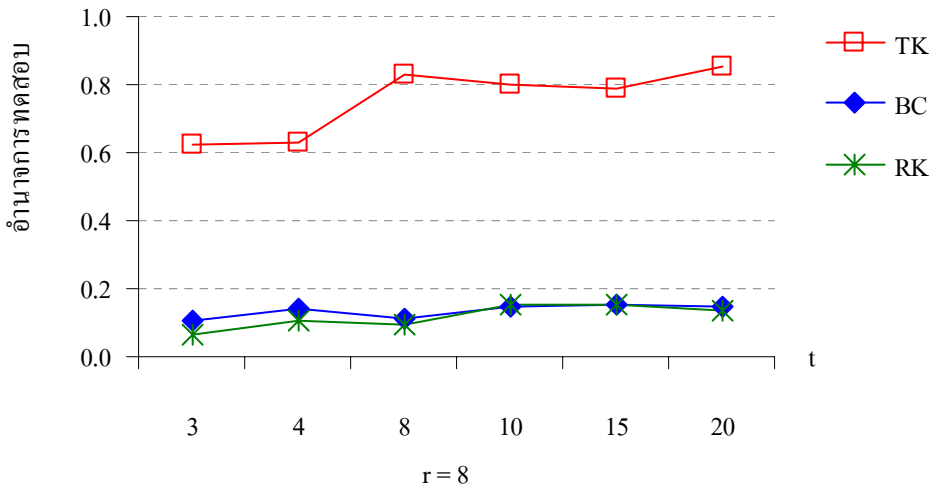
r	t	TK	BC	RK
12	3	**0.787**	0.060	0.032
	4	**0.768**	0.164	0.082
	8	**0.840**	0.155	0.061
	10	**0.799**	0.143	0.143
	15	**0.742**	0.213	0.236
	20	**0.926**	0	0.111



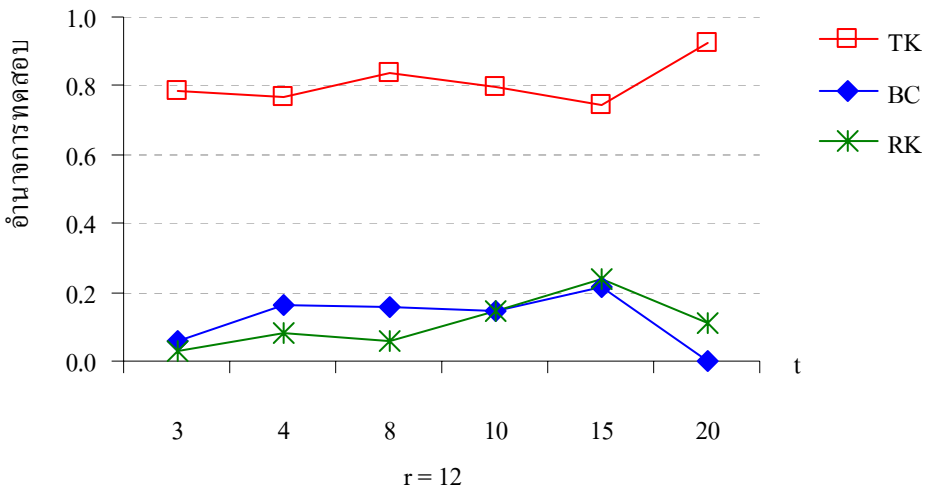
(ก)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
อำนาจการทดสอบ
TK
BC
RK
t
3
4
8
10
15
20
r = 4

(ข)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
อำนาจการทดสอบ
TK
BC
RK
t
3
4
8
10
15
20
r = 8

(ค)



(ง)

ภาพที่ 17 อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 28 และภาพที่ 17 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก วิธีการแปลงข้อมูลที่มีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด ได้แก่ วิธีของ Tukey รองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับที่ให้ผลใกล้เคียงกัน แต่การแปลงโดยใช้อันดับมีอำนาจการทดสอบต่ำกว่า ยกเว้น การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 8 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 15 และ20 ทรีทเมนต์ วิธีของ Box และCox มีอำนาจการทดสอบต่ำกว่าการแปลงโดยใช้อันดับ

3.3 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก

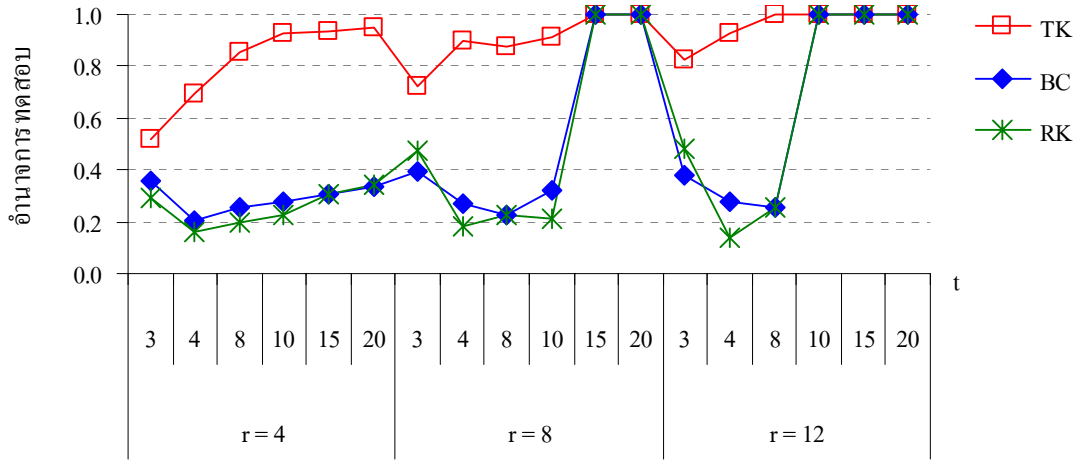
3.3.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงไว้ในตารางที่ 29 ดังนี้

ตารางที่ 29 เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนละอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

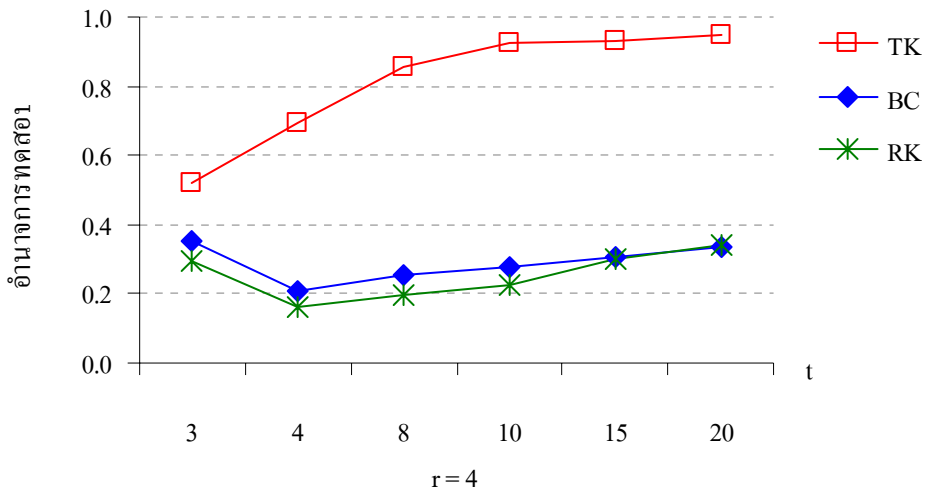
r	t	TK	BC	RK
4	3	**0.521**	0.354	0.295
	4	**0.693**	0.206	0.164
	8	**0.854**	0.255	0.194
	10	**0.928**	0.276	0.228
	15	**0.932**	0.307	0.303
	20	**0.949**	0.333	0.341
8	3	**0.723**	0.394	0.474
	4	**0.897**	0.268	0.184
	8	**0.879**	0.228	0.228
	10	**0.910**	0.320	0.213
	15	**0.905**	0.310	0.238
	20	**1.000**	**1.000**	**1.000**

ตารางที่ 29 (ต่อ)

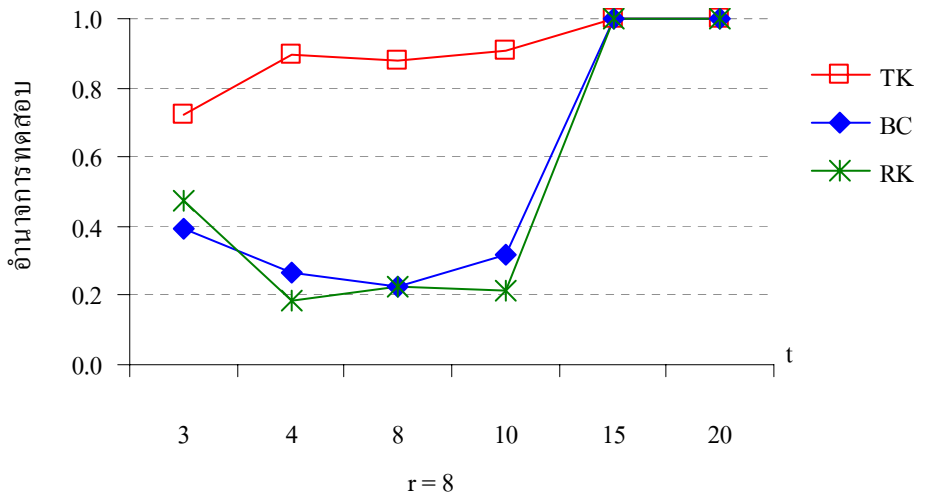
r	t	TK	BC	RK
12	3	**0.828**	0.379	0.483
	4	**0.924**	0.280	0.136
	8	**1.000**	0.257	0.257
	10	**0.900**	0.450	0.450
	15	**1.000**	0	0
	20	**1.000**	**1.000**	**1.000**



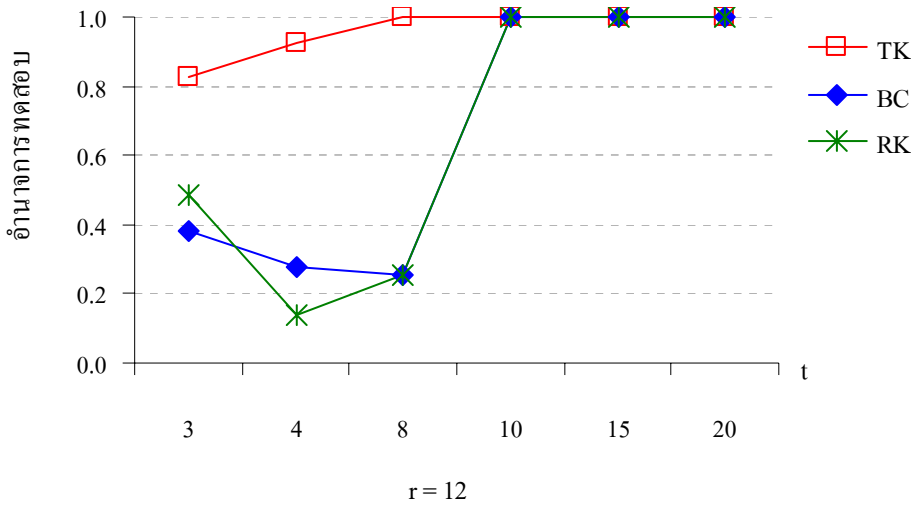
(ก)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
อำนาจการทดสอบ
TK
BC
RK
t
3
4
8
10
15
20
r = 4

(ข)


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
อำนาจการทดสอบ
TK
BC
RK
t
3
4
8
10
15
20
r = 8

(ค)



(ง)

ภาพที่ 18 อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

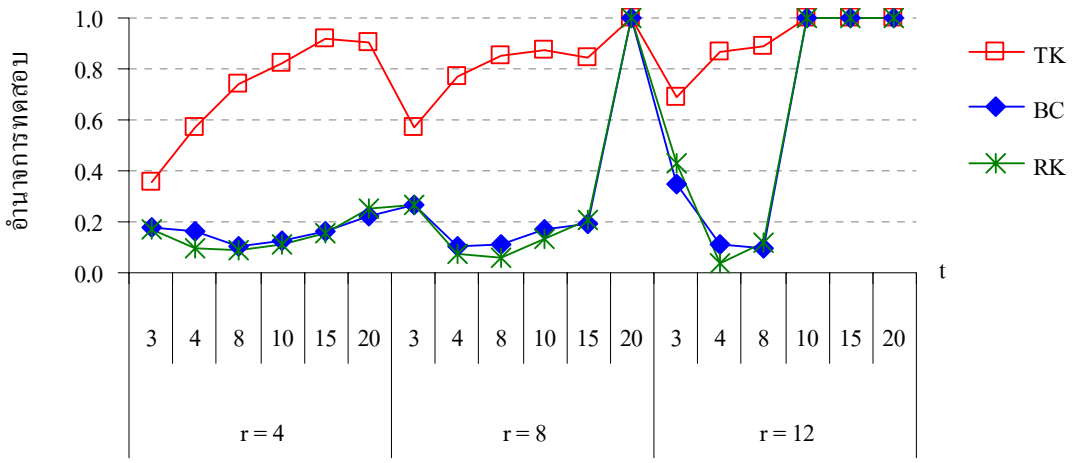
(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 29 และภาพที่ 18 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก โดยรวมวิธีการแปลงข้อมูลที่มีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด ได้แก่ วิธีของ Tukey รองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับ มีค่าประมาณอำนาจการทดสอบต่ำสุด ยกเว้น การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 และ12 บล็อก ที่มีจำนวนทรีทเมนต์ 3 ทรีทเมนต์ วิธีของ Box และCox มีอำนาจการทดสอบต่ำสุด

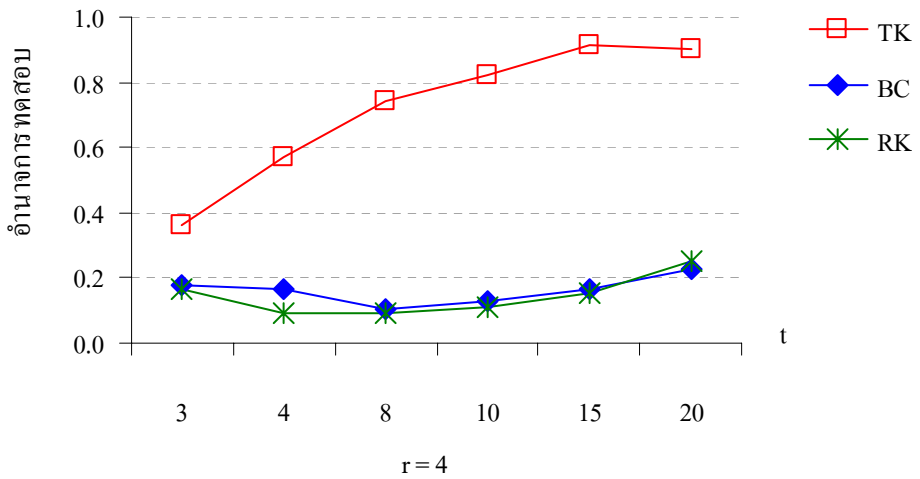
3.3.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงไว้ในตารางที่ 30 ดังนี้

ตารางที่ 30 เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบจากวิธีการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

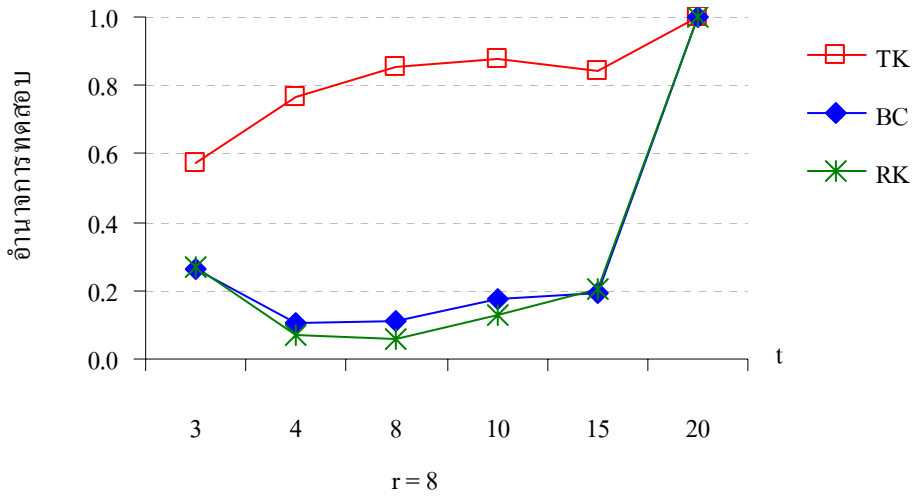
r	t	TK	BC	RK
4	3	**0.359**	0.177	0.168
	4	**0.568**	0.167	0.094
	8	**0.741**	0.107	0.089
	10	**0.824**	0.127	0.108
	15	**0.915**	0.164	0.155
	20	**0.900**	0.224	0.249
8	3	**0.573**	0.263	0.270
	4	**0.767**	0.103	0.072
	8	**0.853**	0.109	0.059
	10	**0.874**	0.174	0.130
	15	**0.843**	0.194	0.204
	20	**0.667**	0.333	0.333
12	3	**0.686**	0.350	0.431
	4	**0.863**	0.109	0.035
	8	**0.892**	0.097	0.118
	10	**0.889**	0.143	0.159
	15	**1.000**	0	0.333
	20	**1.000**	**1.000**	**1.000**


อำนาจการทดสอบ
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
t
3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20 3 4 8 10 15 20
r = 4
r = 8
r = 12
TK
BC
RK

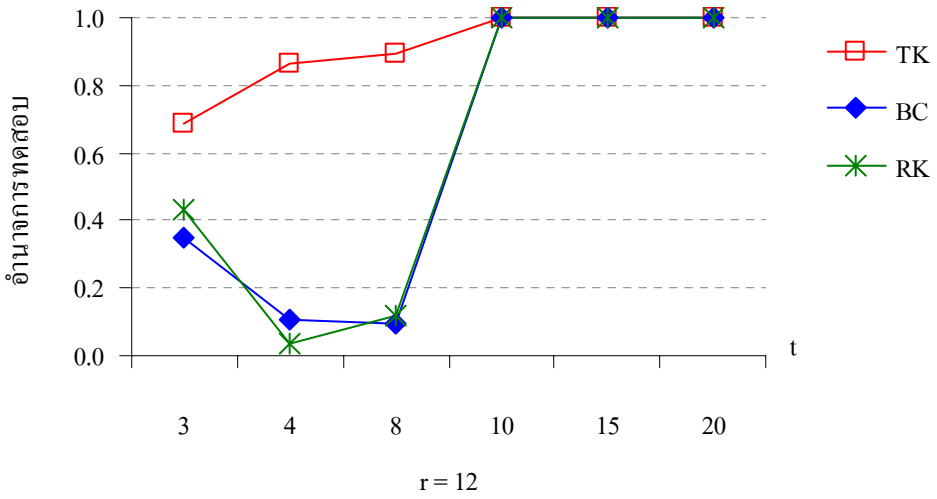
(ก)


อำนาจการทดสอบ
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
t
3 4 8 10 15 20
r = 4
TK
BC
RK

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 19 อำนาจการทดสอบจากการแปลง 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

(ก) การทดลองทุกขนาด

(ข) การทดลองที่มี 4 บล็อก

(ค) การทดลองที่มี 8 บล็อก

(ง) การทดลองที่มี 12 บล็อก

จากตารางที่ 30 และภาพที่ 19 (ก), (ข), (ค) และ(ง) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก วิธีการแปลงข้อมูลที่มีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด ได้แก่ วิธีของ Tukey รองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับที่ให้ผลใกล้เคียงกัน แต่การแปลงโดยใช้อันดับมีอำนาจการทดสอบต่ำกว่าวิธีของ Box และCox

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลของวิธีแบบพาราเมตริก 2 วิธี ได้แก่ วิธีของ Tukey และวิธีของ Box และCox กับวิธีแบบนันพาราเมตริก ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ สร้างข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลให้ไม่เป็นไปตามข้อสมมติ 2 ประการ โดยจำแนกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก และกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามทั้ง 2 ข้อสมมติ จากแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จำนวนการทดลองทั้งหมด 18 ขนาด ข้อมูลทั้งสิ้น 108 ลักษณะ เปรียบเทียบจากร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ0.01 สรุปได้ดังนี้

1. ร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติ

จากผลการทดลองสามารถสรุปโดยเรียงลำดับจากร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติจากน้อยไปหามากของวิธีการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญ แสดงไว้ในตารางที่ 31 ดังนี้

ตารางที่ 31 สรุปเปรียบเทียบร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติจากการแปลงข้อมูล 3 วิธี จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญ

r	t	α	เอกภาพความแปรปรวน			อิทธิพลแบบบวก			ทั้ง 2 กรณี		
			ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**	ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**	ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**
4	3	0.05	BC	TK	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	BC	TK	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	**BC,RK**	
	4	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	BC	TK	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	8	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	10	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	15	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	20	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
8	3	0.05	BC	TK	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	BC	TK	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	4	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	8	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	10	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	15	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	20	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**

ตารางที่ 31 (ต่อ)

r	t	α	เอกภาพความแปรปรวน			อิทธิพลแบบบวก			ทั้ง 2 กรณี		
			ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**	ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**	ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**
12	3	0.05	BC	TK	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	BC	TK	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	4	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	TK,BC		**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	8	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK		**BC,RK**
		0.01	BC	TK	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	10	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	RK	**BC**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
	15	0.05	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	RK	**BC**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	RK	**BC**
	20	0.05	BC	TK	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**
		0.01	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**	TK	BC	**RK**

1.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน

จากตารางที่ 31 ในทุกขนาดการทดลองและที่ทุกระดับนัยสำคัญ เรียงลำดับวิธีการแปลงข้อมูลแล้วเป็นไปตามข้อสมมติจากมากไปหาน้อย ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ รองลงมาโดยรวม คือ วิธีของ Box และCox และวิธีของ Tukey ตามลำดับ ยกเว้น ที่ทุกระดับนัยสำคัญและการทดลองที่ทุกขนาดของบล็อกที่มีจำนวนทรีทเมนต์ 3 ทรีทเมนต์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 20 ทรีทเมนต์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 8 ทรีทเมนต์ วิธีของ Box และCox สามารถแปลงข้อมูลแล้วเป็นไปตามข้อสมมติได้น้อยที่สุด

1.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก

จากตารางที่ 31 ในทุกขนาดการทดลองและที่ทุกระดับนัยสำคัญ วิธีการแปลงโดยใช้อันดับ สามารถแปลงข้อมูลแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุด รองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และวิธีของ Tukey สามารถแปลงข้อมูลแล้วเป็นไปตามข้อสมมติน้อยที่สุด

1.3 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก

จากตารางที่ 31 โดยรวมเรียงลำดับวิธีการแปลงข้อมูลแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุดจากมากไปหาน้อย ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ รองลงมา คือ วิธีของ Box และCox และวิธีของ Tukey ตามลำดับ ยกเว้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 10 และ 15 ทรีทเมนต์ และที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 15 ทรีทเมนต์ วิธีของ Box และCox สามารถแปลงข้อมูลแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุด รองลงมา คือ การแปลงโดยใช้อันดับ และวิธีของ Tukey สามารถแปลงข้อมูลแล้วเป็นไปตามข้อสมมติได้น้อยที่สุด และที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 8 ทรีทเมนต์ และที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3 ทรีทเมนต์ วิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับให้ผลเท่ากัน

2. ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

จากผลการทดลองสามารถสรุปโดยเรียงลำดับจากความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากน้อยไปหามากของวิธีการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญแสดงในตารางที่ 32 ดังนี้

ตารางที่ 32 สรุปเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของวิธีการแปลงข้อมูล 3 วิธี จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญ

r	t	α	เอกภาพความแปรปรวน			อิทธิพลแบบบวก			ทั้ง 2 กรณี		
			ต่ำสุด	ปานกลาง	สูงสุด	**ต่ำสุด**	ปานกลาง	สูงสุด	**ต่ำสุด**	ปานกลาง	สูงสุด
4	3	0.05	**TK**		BC,RK	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK,BC,RK**			**TK**		BC,RK	**TK**	RK	BC
	4	0.05	**TK**	BC	RK	**TK,RK**		BC	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK,BC,RK**			**RK**		TK,BC	**TK**		BC,RK
	8	0.05	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**	BC	RK
		0.01	**TK**	RK	BC	**TK,BC,RK**			**TK**	RK	BC
	10	0.05	**TK**	BC	RK	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK,BC,RK**			**TK**		BC,RK	**TK**	BC	RK
	15	0.05	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK**		BC,RK	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC
	20	0.05	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK,BC,RK**			**TK,BC,RK**			**TK**	RK	BC
8	3	0.05	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK,RK**		BC	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC
	4	0.05	**TK,BC**		RK	**TK**		BC,RK	**TK**		BC,RK
		0.01	**TK,RK**		BC	**TK,BC,RK**			**TK**		BC,RK
	8	0.05	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK**	RK	BC	**TK,BC,RK**			**TK**	RK	BC
	10	0.05	**TK**	BC	RK	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK,BC,RK**			**TK,BC,RK**			**TK**	BC	RK
	15	0.05	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**	BC	RK
		0.01	**TK,BC**		RK	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC
	20	0.05	**BC**	TK	RK	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK**	BC	RK	**TK**		BC,RK	**TK**	RK	BC

ตารางที่ 32 (ต่อ)

r	t	α	เอกภาพความแปรปรวน			อิทธิพลแบบบวก			ทั้ง 2 กรณี		
			ต่ำสุด	ปานกลาง	สูงสุด	**ต่ำสุด**	ปานกลาง	สูงสุด	**ต่ำสุด**	ปานกลาง	สูงสุด
12	3	0.05	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**	BC	RK
		0.01	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**	BC	RK
	4	0.05	**TK,BC**		RK	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK**		BC,RK	**TK,BC,RK**			**TK**	RK	BC
	8	0.05	**BC**		TK,RK	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK,BC**		RK	**TK,BC,RK**			**TK**	RK	BC
	10	0.05	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC
		0.01	**RK**	TK	BC	**TK,BC,RK**			**TK**	RK	BC
	15	0.05	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**	BC	RK
		0.01	**TK,BC**		RK	**TK**	RK	BC	**TK**	BC	RK
	20	0.05	**TK,BC**		RK	**TK**	BC	RK	**TK**	RK	BC
		0.01	**TK**	BC	RK	**TK**		BC,RK	**TK**	RK	BC

2.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน

จากตารางที่ 32 เพื่อให้เข้าใจได้ง่าย จะสรุปแยกตามผลการทดลองที่มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด โดยจำแนกเป็น 3 กรณี คือ

กรณีมีความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุดเท่ากันทั้ง 3 วิธี ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3, 4, 10 และ 20 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 10 ทรีทเมนต์

กรณีมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุดเท่ากัน 2 วิธี คือ วิธีของ Tukey กับวิธีของ Box และCox ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 ทรีทเมนต์ การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 และ 20 ทรีทเมนต์ และที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์

15 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 8 และ15 ทรีทเมนต์ และวิธีของ Tukey กับการแปลงโดยใช้อันดับ ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 3 และ4 ทรีทเมนต์

กรณีมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด 1 วิธี คือ โดยรวมวิธีของ Tukey มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด ยกเว้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 20 ทรีทเมนต์ การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 8 ทรีทเมนต์ วิธีของ Box และCox มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด และที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 10 ทรีทเมนต์ การแปลงโดยใช้อันดับมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด

2.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก

จากตารางที่ 32 สรุปเช่นเดียวกับข้อ 2.1 โดยแยกตามผลการทดลองที่มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด จำแนกเป็น 3 กรณี คือ

กรณีมีความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุดเท่ากัน 3 วิธี ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 8 และ 20 ทรีทเมนต์ การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4, 8 และ10 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4, 8 และ10 ทรีทเมนต์

กรณีมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุดเท่ากัน 2 วิธี คือ วิธีของ Tukey กับการแปลงโดยใช้อันดับ ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 ทรีทเมนต์

กรณีมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด 1 วิธี คือ ในทุกขนาดการทดลองวิธีของ Tukey มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด ยกเว้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 ทรีทเมนต์ การแปลงโดยใช้อันดับมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด

2.3 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก

จากตารางที่ 32 ในทุกขนาดการทดลอง การแปลงข้อมูลวิธีของ Tukey มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด สำหรับวิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับโดยรวมให้ผลที่ใกล้เคียงกันที่มีความน่าจะเป็นสูงกว่าวิธีของ Tukey

3. อำนาจการทดสอบ

จากผลการทดลองสามารถสรุปโดยเรียงลำดับจากอำนาจการทดสอบจากน้อยไปหามากจากวิธีการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญแสดงในตารางที่ 33 ดังนี้

ตารางที่ 33 สรุปเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของวิธีการแปลงข้อมูล 3 วิธี จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญ

			เอกภาพความแปรปรวน			อิทธิพลแบบบวก			ทั้ง 2 กรณี		
r	t	α	ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**	ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**	ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**
4	3	0.05	RK	TK	**BC**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
		0.01	RK	TK	**BC**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
	4	0.05	RK	TK	**BC**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
		0.01	RK		**TK,BC**	BC,RK		**TK**	RK	BC	**TK**
	8	0.05	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
		0.01	RK		**TK,BC**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**
	10	0.05	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
		0.01	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
	15	0.05	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
		0.01	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
	20	0.05	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**	BC	RK	**TK**
		0.01	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**	BC	RK	**TK**

ตารางที่ 33 (ต่อ)

r	t	α	เอกภาพความแปรปรวน			อิทธิพลแบบบวก			ทั้ง 2 กรณี		
			ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**	ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**	ต่ำสุด	ปานกลาง	**สูงสุด**
8	3	0.05	RK	TK	**BC**	RK	BC	**TK**	BC	RK	**TK**
		0.01	RK	TK	**BC**	RK	BC	**TK**	BC	RK	**TK**
	4	0.05	RK		**TK,BC**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
		0.01	TK,RK		**BC**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
	8	0.05	BC		**TK,RK**	RK	BC	**TK**	BC,RK		**TK**
		0.01	TK,RK		**BC**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
	10	0.05			**TK,BC,RK**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
		0.01			**TK,BC,RK**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**
	15	0.05			**TK,BC,RK**	BC	RK	**TK**	RK	BC	**TK**
		0.01			**TK,BC,RK**	BC,RK		**TK**	BC	RK	**TK**
	20	0.05			**TK,BC,RK**	RK	BC	**TK**			**TK,BC,RK**
		0.01			**TK,BC,RK**	RK	BC	**TK**	BC,RK		**TK**
12	3	0.05	RK	TK	**BC**	RK	BC	**TK**	BC	RK	**TK**
		0.01	RK	TK	**BC**	RK	BC	**TK**	BC	RK	**TK**
	4	0.05	BC	TK	**RK**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
		0.01	RK	TK	**BC**	RK	BC	**TK**	RK	BC	**TK**
	8	0.05			**TK,BC,RK**	RK	BC	**TK**	BC,RK		**TK**
		0.01			**TK,BC,RK**	RK	BC	**TK**	BC	RK	**TK**
	10	0.05			**TK,BC,RK**	RK	BC	**TK**	BC,RK		**TK**
		0.01			**TK,BC,RK**	BC,RK		**TK**	BC	RK	**TK**
	15	0.05			**TK,BC,RK**	BC	RK	**TK**	BC,RK		**TK**
		0.01			**TK,BC,RK**	BC	RK	**TK**	BC	RK	**TK**
	20	0.05			**TK,BC,RK**	BC	RK	**TK**			**TK,BC,RK**
		0.01			**TK,BC,RK**	BC	RK	**TK**			**TK,BC,RK**

3.1 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพของความแปรปรวน

จากตารางที่ 33 เพื่อให้เข้าใจได้ง่าย จะสรุปแยกตามผลการทดลองที่มีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด โดยจำแนกเป็น 3 กรณี คือ

กรณีมีอำนาจการทดสอบสูงที่สุดเท่ากันทั้ง 3 วิธี ได้แก่ การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ตั้งแต่ 10 ทรีทเมนต์ขึ้นไป และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ตั้งแต่ 8 ทรีทเมนต์ขึ้นไป

กรณีมีอำนาจการทดสอบสูงที่สุดเท่ากัน 2 วิธี คือ วิธีของ Tukey กับวิธีของ Box และ Cox ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 และ 8 ทรีทเมนต์ การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 ทรีทเมนต์ และวิธีของ Tukey กับการแปลงโดยใช้อันดับ ได้แก่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 8 ทรีทเมนต์

กรณีมีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด 1 วิธี คือ โดยส่วนใหญ่วิธีของ Tukey มีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด ยกเว้น การทดลองที่ทุกระดับนัยสำคัญ ทุกขนาดบล็อกที่มีจำนวนทรีทเมนต์ 3 ทรีทเมนต์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 4 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 ทรีทเมนต์ และที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 และ 8 ทรีทเมนต์ การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 ทรีทเมนต์ วิธีของ Box และCox มีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด และที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 4 ทรีทเมนต์ การแปลงโดยใช้อันดับมีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด

3.2 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก

จากตารางที่ 33 ในทุกขนาดการทดลองวิธีของ Tukey มีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด

3.3 กรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก

จากตารางที่ 33 ในทุกขนาดการทดลองวิธีของ Tukey มีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด และที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การทดลองที่มีจำนวนบล็อก 8 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 20 ทรีทเมนต์ และการทดลองที่มีจำนวนบล็อก 12 บล็อก จำนวนทรีทเมนต์ 20 ทรีทเมนต์ ทั้ง 3 วิธี มีอำนาจการทดสอบเท่ากัน

สรุปเปรียบเทียบหาวิธีการแปลงที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากร้อยละของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุด ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำที่สุด และอำนาจการทดสอบสูงที่สุด จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญ ซึ่งแสดงดังในตารางที่ 34 ดังนี้

ตารางที่ 34 สรุปเปรียบเทียบร้อยละ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการแปลงข้อมูล 3 วิธี จำแนกตามข้อสมมติ ขนาดการทดลอง และระดับนัยสำคัญ

r	t	α	เอกภาพความแปรปรวน			อิทธิพลแบบบวก			ทั้ง 2 กรณี		
			%	Type I	Power	%	Type I	Power	%	Type I	Power
4	3	0.05	RK	TK	BC	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK,BC,RK	BC	RK	TK	TK	BC,RK	TK	TK
	4	0.05	RK	TK	BC	RK	TK,RK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK,BC,RK	TK,BC	RK	RK	TK	RK	TK	TK
	8	0.05	RK	TK	TK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK	TK,BC	RK	TK,BC,RK	TK	RK	TK	TK
	10	0.05	RK	TK	TK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK,BC,RK	TK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
	15	0.05	RK	TK	TK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK	TK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
	20	0.05	RK	TK	TK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK	TK	RK	TK,BC,RK	TK	RK	TK	TK

ตารางที่ 34 (ต่อ)

r	t	α	เอกภาพความแปรปรวน			อิทธิพลแบบบวก			ทั้ง 2 กรณี		
			%	Type I	Power	%	Type I	Power	%	Type I	Power
8	3	0.05	RK	TK	BC	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK,RK	BC	RK	TK	TK	RK	TK	TK
	4	0.05	RK	TK,BC	TK,BC	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK,RK	BC	RK	TK,BC, RK	TK	RK	TK	TK
	8	0.05	RK	TK	TK,RK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK	BC	RK	TK,BC, RK	TK	RK	TK	TK
	10	0.05	RK	TK	TK,BC, RK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK,BC, RK	TK,BC, RK	RK	TK,BC, RK	TK	RK	TK	TK
	15	0.05	RK	TK	TK,BC, RK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK,BC	TK,BC, RK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
	20	0.05	RK	BC	TK,BC, RK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK	TK,BC, RK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
12	3	0.05	RK	TK	BC	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK	BC	RK	TK	TK	RK	TK	TK
	4	0.05	RK	TK,BC	RK	RK	TK	TK	RK	TK	TK
		0.01	RK	TK	BC	RK	TK,BC, RK	TK	RK	TK	TK
	8	0.05	RK	BC	TK,BC, RK	RK	TK	TK	BC,RK	TK	TK
		0.01	RK	TK,BC	TK,BC, RK	RK	TK,BC, RK	TK	RK	TK	TK

ตารางที่ 34 (ต่อ)

r	t	α	เอกภาพความแปรปรวน			อิทธิพลแบบบวก			ทั้ง 2 กรณี		
			%	Type I	Power	%	Type I	Power	%	Type I	Power
12	10	0.05	RK	TK	TK,BC, RK	RK	TK	TK	BC	TK	TK
		0.01	RK	RK	TK,BC, RK	RK	TK,BC, RK	TK	RK	TK	TK
	15	0.05	RK	TK	TK,BC, RK	RK	TK	TK	BC	TK	TK
		0.01	RK	TK,BC	TK,BC, RK	RK	TK	TK	BC	TK	TK
	20	0.05	RK	TK,BC	TK,BC, RK	RK	TK	TK	RK	TK	TK,BC, RK
		0.01	RK	TK	TK,BC, RK	RK	TK	TK	RK	TK	TK

จากตารางที่ 34 สามารถสรุปเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลวิธีแบบพาราเมตริก 2 วิธี ได้แก่ วิธีของ Tukey และวิธีของ Box และCox กับวิธีแบบนันพาราเมตริก ได้แก่ การแปลงโดยใช้อันดับ ภายใต้เงื่อนไขการกำหนดลักษณะของข้อมูลของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ในงานวิจัยนี้ ดังนี้

วิธีแบบพาราเมตริก

- วิธีของ Tukey มีประสิทธิภาพดีในการแปลงข้อมูลกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก และข้อสมมติเกี่ยวกับทั้งเอกภาพความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก มีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ต่ำ และมีอำนาจการทดสอบสูง แต่แปลงข้อมูลได้น้อยที่สุด เพราะมีข้อจำกัดในการคำนวณกรณีค่า $\hat{p}$ มีค่ามากหรือต่ำเกินไป จะทำให้ไม่สามารถแปลงข้อมูลได้

- วิธีของ Box และCox มีประสิทธิภาพดีในการแปลงข้อมูลกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพความแปรปรวน จึงจะให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงที่สุด การคำนวณซับซ้อน

เพราะในการแปลงข้อมูล ต้องคำนวณ ค่า λ ทั้ง 10 ค่า เพื่อหา Sum Square Error ที่ต่ำที่สุด จึงจะได้ค่า λ ที่เหมาะสม

วิธีแบบนันพาราเมตริก

- การแปลงโดยใช้อันดับ เป็นวิธีที่คำนวณง่ายและสะดวกที่สุด สามารถแปลงข้อมูลเป็นไปตามข้อสมมติมากที่สุด ใช้ได้กับข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อสมมติทุกกรณี แต่มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากมีความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 สูง และอำนาจการทดสอบต่ำ ซึ่งผลจากการวิจัยในครั้งนี้ได้ให้คำตอบสอดคล้องตรงกันกับที่ผู้วิจัยได้กล่าวไว้ในเบื้องต้นว่า "วิธีแบบนันพาราเมตริกนั้นไม่จำเป็นต้องมีข้อสมมติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ หรือไม่ต้องมีการกำหนดรูปแบบของการแจกแจง สามารถเลือกใช้วิธีนี้ได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงข้อสมมติของการวิเคราะห์"

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการแปลงข้อมูล 3 วิธี เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติ 2 ข้อสมมติ ได้แก่ ข้อสมมติเกี่ยวกับเอกภาพความแปรปรวน และข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก โดยกำหนดลักษณะข้อมูลให้มีความแปรปรวนเท่ากันและแตกต่างกัน อิทธิพลทรีทเมนต์เท่ากันและแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีแบบหุ่น ระดับนัยสำคัญ และขนาดการทดลองที่ต่างกันด้วย จากงานวิจัยนี้ทำให้พบว่า มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตรวจสอบข้อมูลก่อนใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน เนื่องจากเมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติจะมีผลต่อความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบ หากไม่ตรวจสอบให้ดีก่อนอาจทำให้ผลสรุปที่ได้ผิดพลาดไป และการเลือกใช้วิธีการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลที่มีผลต่อขั้นการตรวจสอบข้อมูลจนถึงขั้นสรุปผลด้วย เพราะถ้าใช้ลักษณะของข้อมูลที่ต่างกัน ก็จะทำให้ผลการทดสอบที่ได้ต่างกันไปด้วย จึงควรศึกษากับข้อมูลในลักษณะอื่น เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้ควรศึกษาการแปลงข้อมูลวิธีอื่นที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ เพื่อให้นักวิจัยมีทางเลือกในการแก้ปัญหากรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวนมากขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรภัทร สุทธิดารา และ สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร. 2543. **Excel 2000.** อินโฟเพรส, นนทบุรี.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2540. **หลักสถิติ.** ครั้งที่ 5. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ ฯ.

จรัญ จันทลักขณา. 2540. **สถิติวิธีวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย.** ครั้งที่ 7. ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพ ฯ.

ชัชวาลย์ เรืองประพันธ์. 2539. **สถิติพื้นฐาน.** ครั้งที่ 2. คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น.

ณรงค์ชัย ปัญญานนทชัย. 2536. **รวมฟังก์ชัน Excel.** นำอักษรการพิมพ์, กรุงเทพ ฯ.

ธีระดา ภิญโญ. 2526. **การศึกษาแบบมอนติคาร์โล : การเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบเอฟ เมื่อข้อมูลได้รับการแปลงในรูปแบบแตกต่างกันภายใต้ลักษณะการแจกแจงประชากร 3 แบบ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริลักษณ์ ดีไพบูลย์. 2524. **การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อก เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุพรรณี อึ้งปัญสัตวงศ์. 2537. **การจำลองแบบและการจัดทำตัวแบบระบบงาน.** มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สุภาภรณ์ วงศ์พฤกษาสูง. 2543. **การเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบแนวโน้มในข้อมูลอนุกรมเวลา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนันต์ชัย เขื่อนธรรม. 2542. **วิธีการทางสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล.** ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

อนามัย นาอุดม. 2541. **สถิติทดสอบที่มีความแกร่งสำหรับทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน กรณีศึกษาสำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอนก พัชรินทร์ศักดิ์. 2536. **แผนการทดลองและการวิเคราะห์ เล่ม 1.** มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

Boos , D.D. and Brownie, C. 1994. Type I Error Robustness of ANOVA and ANOVA On Ranks When the Number of Treatments Is Large. **Biometrics.** 50: 542-549.

Box, G.E. and D.R. Cox. 1982. An Analysis of Transformations Revisited,Rebutted. **Journal of the American Statistical Association.** 77 : 209-210.

Box, G.E., W.G. Hunter and J.S. Hunter. 1978. **Statistics for Experiments : An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building.** John Wiley & Sons, Inc., New York.

Bratley, P., B.L. Fox and L.E. Schrage. 1987. **A Guide to Simulation.** Springer-Verlag, New York.

Budescu, D.D. and M.I.Appelbaum. 1981. Variance Stabilizing Transformations and the Power of the F-test. **Journal of Educational Statistics.** 6: 55-74.

Conover, W.J. and R.L. Iman. 1981. Rank Transformation as a Bridge Between Parametric and Nonparametric Statistics. **The American Statistician.** 35: 124-132.

Freeman, M.F. and J.W. Tukey. 1974. Transformations Related to the Angular and the Square root. **Annals of Mathematics Statistics.** 14: 607-611.

Games, P.A., H.B. Winkler and D.A. Probert. 1972. Robust Tests for Homogeneity of Variance. **Educational and Psychological Measurement.** 32 : 887-909.

Kirk, R.E. 1995. **Experimental Design: Procedures for the Behaviaral Sciences**, 3nd ed., Brooks/Cole Publishing Co. , Montery.

Montgomery, D.C. 1997. **Design and Analysis of Experiment.** John Wiley & Sons, Inc., New York.

Mood, A. M., F.A. Graybill and D.C. Boes. 1984. **Introduction to the Theory of Statistics.** McGrew-Hill, Inc. New York.

Schlesselman, J.J. 1973. Data Transformation in Two-way Analysis of Variance. **Journal of the American Statistical Association**. 68 : 369-378.

Yitnosumarto, S. and O'Nell, M.E. 1986. On Levene's Tests of Variance Homogeneity. **Australian Journal of Statistics.** 28 : 230-241.

ภาคผนวก ก

การกำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ภาคผนวก ก

การกำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ในกรณีการศึกษากำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนแตกต่างกัน กำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนให้แตกต่างกัน จะใช้ตามวิธีของ Games และคณะ(1972) ซึ่งคำนวณจากสูตร

$$\Phi = \sqrt{\sum_{j=1}^{t} \frac{\left(\sigma_j^2 - \overline{\sigma}^2\right)}{t\sigma_1^2}}$$

โดยที่ Φ คือ นอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ (noncentrality parameter)

σ_1^2 คือ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของทรีทเมนต์ที่ 1

σ_j^2 คือ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของทรีทเมนต์ที่ j

$\overline{\sigma}^2$ คือ ค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของทรีทเมนต์ทั้งหมด

โดยถ้าอัตราส่วนความแปรปรวนแตกต่างกันน้อยมีค่า Φ อยู่ระหว่าง (0,1.5) ปานกลาง มีค่า Φ อยู่ระหว่าง (1.5,3.0) และแตกต่างกันมากเมื่อค่า Φ มากกว่า 3

ตารางผนวกที่ ก1 อัตราส่วนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันที่ใช้ในงานวิจัย

t	$\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,\sigma_t^2$	Φ
3	(1.0:7.7:7.0)	3.0
4	(1.0:7.5:8.7:4.6)	3.0
8	(1.0:7.1:8.8:6.9:0.6:5.6:7.7:2.7)	3.0
10	(1.0:4.9:5.6:8.5:0.5:6.0:6.1: 8.5:1.8:9.1)	3.0
15	(1.0:5.5:1.9:2.1:3.1:2.5:9.3:9.0: 9.9:3.2:2.7:8.2:3.6:5.7:8.1)	3.0
20	(1.0:1.2:3.7:4.9:9.8:9.0:2.6:1.6:6.7:8.3:1.6:6.4:1.9:2.5:9.7:4.8:10.0:4.6:4.2:2.5)	3.0

หมายเหตุ $\sigma_1^2:\sigma_2^2:,\ldots,:\sigma_t^2$ = อัตราส่วนความแปรปรวนของทรีทเมนต์ที่ 1: ทรีทเมนต์ที่ 2:,…,t

ภาคผนวก ข

การกำหนดอิทธิพลของบล็อกและอิทธิพลของทรีทเมนต์

ภาคผนวก ข

การกำหนดลักษณะอิทธิพลของบล็อกและอิทธิพลของทรีทเมนต์

ค่าอิทธิพลของบล็อกจะสอดคล้องกับ

$$F = \frac{\text{Block MS}}{\text{Error MS}} = \frac{\sigma^2 + \frac{t\sum_{i}^{t}\rho_i^2}{r-1}}{\sigma^2}$$

ถ้า $F > F_{\alpha,(r-1),(r-1)(t-1)}$ แสดงว่า อิทธิพลของบล็อกที่กำหนดขึ้นแตกต่างกัน

เพื่อเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการแปลงข้อมูล 3 วิธี ได้แก่ วิธีของ Tukey วิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับ การกำหนดอิทธิพลของทรีทเมนต์จึงต้องให้กำหนดขึ้น 2 ลักษณะคือ ไม่มีความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของทรีทเมนต์ ($\tau_j = 0$) และมีความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของทรีทเมนต์ ($\tau_j \neq 0$)ซึ่งค่าอิทธิพลทรีทเมนต์ (Kirk,1995) ที่กำหนดขึ้นจะกำหนดให้สอดคล้องกับ

$$F = \frac{\text{Treatment MS}}{\text{Error MS}} = \frac{\sigma^2 + \frac{r\sum_{j}^{t}\tau_j^2}{t-1}}{\sigma^2}$$

ถ้า $F > F_{\alpha,(t-1),(r-1)(t-1)}$ แสดงว่า อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่กำหนดขึ้นแตกต่างกัน

การกำหนดลักษณะอิทธิพลของบล็อกและอิทธิพลของทรีทเมนต์ ทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 โดยมีค่าทดสอบสถิติ F ตามตารางภาคผนวกที่ ข1 และ ข2 ตามลำดับดังนี้

ตารางภาคผนวกที่ ข1 อิทธิพลของบล็อกที่ศึกษาในงานวิจัย

r	t	$\rho_1,\rho_2,...,\rho_i$	σ^2	F
4	3	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.03^{ns}
4	4	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.04^{ns}
4	8	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.09^{ns}
4	10	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.11^{ns}
4	15	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.17^{ns}
4	20	(0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.22^{ns}
8	3	(-0.1,0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.03^{ns}
8	4	(-0.1,0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.05^{ns}
8	8	(-0.1,0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.09^{ns}
8	10	(-0.1,0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.11^{ns}
8	15	(-0.1,0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.17^{ns}
8	20	(-0.1,0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,-0.1,0.1)	1	1.23^{ns}
12	3	(-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)	1	1.03^{ns}
12	4	(-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)	1	1.04^{ns}
12	8	(-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)	1	1.09^{ns}
12	10	(-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)	1	1.11^{ns}
12	15	(-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)	1	1.16^{ns}
12	20	(-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)	1	1.22^{ns}

หมายเหตุ $\rho_1,\rho_2,...,\rho_{12}$ = อิทธิพลของบล็อกที่ 1, 2,..., 12

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ ข2 อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ศึกษาในงานวิจัย

r	t	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_j$	σ^2	F
4	3	(-0.1,0.2,-0.1)	1	1.12^{ns}
4	3	(1,-2,1)	1	13.00^{*}
4	4	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)	1	1.05^{ns}
4	4	(-2,2,-1,1)	1	14.33^{*}
4	8	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)	1	1.05^{ns}
4	8	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)	1	12.43^{*}
4	10	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)	1	1.01^{ns}
4	10	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)	1	13.44^{*}
4	15	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.2,	1	1.05^{ns}
		0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)		
4	15	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2,-1,2,-2,2,-1)	1	13.00^{*}
4	20	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,	1	1.04^{ns}
		0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)		
4	20	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)	1	12.79^{*}
8	3	(-0.1,0.2,-0.1)	1	1.24^{ns}
8	3	(1,-2,1)	1	25.00^{*}
8	4	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)	1	1.11^{ns}
8	4	(-2,2,-1,1)	1	27.67^{*}
8	8	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)	1	1.09^{ns}
8	8	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)	1	23.86^{*}
8	10	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)	1	1.09^{ns}
8	10	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)	1	25.89^{*}
8	15	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.2,	1	1.10^{ns}
		0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)		
8	15	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2,-1,2,-2,2,-1)	1	25.00^{*}
8	20	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,	1	1.08^{ns}
		0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)		
8	20	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)	1	24.58^{*}

ตารางภาคผนวกที่ ข2 (ต่อ)

r	t	$\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_j$	σ^2	F
12	3	(-0.1,0.2,-0.1)	1	1.36^{n}
12	3	(1,-2,1)	1	37.00^{n}
12	4	(0.1,-0.1,0.1,-0.1)	1	1.16^{n}
12	4	(-2,2,-1,1)	1	41.00^{*}
12	8	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)	1	1.14^{ns}
12	8	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1)	1	35.29^{*}
12	10	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)	1	1.13^{ns}
12	10	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)	1	38.33^{*}
12	15	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.2,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1)	1	1.15^{ns}
12	15	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2,-1,2,-2,2,-1)	1	37.00^{*}
12	20	(0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1, 0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1,0.1,-0.1)	1	1.13^{ns}
12	20	(-2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2, -2,2,-1,1,-2,2,-1,1,-2,2)	1	36.37^{*}

หมายเหตุ $\tau_1,\tau_2,\ldots,\tau_{20}$ = อิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ 1, 2,..., 20

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ภาคผนวก ค

การประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในงานวิจัย

ภาคผนวก ค

การประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ Microsoft Excel ในการสร้างและวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากเป็นโปรแกรมประเภท Spread sheet ที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย และใช้งานได้ง่าย ในขณะที่หลาย ๆ คนใช้ความสามารถไม่ถึง 40% ของความสามารถทั้งหมดของ Microsoft Excel อันเนื่องมาจากความไม่รู้หรือไม่มีความจำเป็นต้องใช้ Function ต่าง ๆ ของ Microsoft Excel ซึ่งผู้วิจัยได้นำเอา Microsoft Excel มาช่วยในการวิจัย ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ผู้ที่สนใจที่ไม่มีโปรแกรมในการช่วยวิเคราะห์ทางสถิติโดยตรง สามารถที่จะนำเอา Microsoft Excel มาช่วยได้ ในงานวิจัยนี้เป็นเพียงตัวอย่างส่วนหนึ่งของการประยุกต์ใช้ความสามารถด้านการคำนวณของ Microsoft Excel ในการวิเคราะห์ทางสถิติเท่านั้น

1. การใช้ฟังก์ชันของ Microsoft Excel ในการวิเคราะห์ทางสถติ แสดงในตารางภาคผนวกที่ ค1 ดังนี้

ตารางผนวกที่ ค1 ฟังก์ชันของ Microsoft Excel ที่ใช้ในงานวิจัย

ฟังก์ชัน	ฟังก์ชันที่ใช้	หน้าที่
ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์		
	ABS(X)	ให้ค่าสัมบูรณ์ของตัวเลข
	COS(X)	ใช้หาค่า Cosine
	COUNTIF(range,criteria)	นับจำนวนของเซลล์ตามเงื่อนไขที่กำหนด
	LN(X)	แปลงค่า X ให้เป็นค่า Natural logarithm
	PI( )	ให้ค่าคงที่ ประมาณ 3.14159265358979
	SIN(X)	ใช้หาค่า Sine ของมุม
	SQRT(X)	ใช้หาค่ารากที่สอง
	SUM(nuber1, number2, ….)	ใช้หาค่าผลรวมของตัวเลขทั้งหมด
	SUMPRODUCT(array1,array2,…)	หาค่าผลคูณของ array
	SUMSQ(number 1 , number 2 , …)	หาค่าผลรวมของกำลังสองของตัวเลข

ตารางภาคผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ฟังก์ชัน	ฟังก์ชันที่ใช้	หน้าที่
ฟังก์ชันทางสถิติ		
	AVERAGE(X1, X2, X3,…..,Xn)	หาค่าเฉลี่ย หรือตัวกลางเลขคณิต (Mean)
	GEOMEAN(X1, X2, X3,…..,Xn)	ใช้หาค่าตัวกลางเรขาคณิต (Geomean Mean)
	COUNT(range 1 , range 2 ,…)	ใช้นับจำนวนข้อมูลประเภทตัวเลข
	MIN(x1, x2, x 3,…)	ใช้หาค่าต่ำสุด
	RANK(X, list ,order)	ใช้หาค่าที่อยู่ในลำดับที่ต้องการ
ฟังก์ชันค้นหาข้อมูล		
	VLOOKUP(lookup value, table array, column index number)	ใช้ค้นหาค่าตามแนวคอลัมน์
ฟังก์ชันตรรกศาสตร์		
	IF(logical , value if true ,value if false)	ให้ค่าเป็นเงื่อนไขถ้านิพจน์ (logical) เป็นจริงจะให้ค่าแบบหนึ่ง

2. การกรองข้อมูลให้เหลือเฉพาะที่ต้องการ (Filter)

ในงานวิจัยนี้ข้อมูลมีปริมาณมากจึงต้องใช้วิธีการกรอง (Filter) เอาเฉพาะข้อมูลผลของการทดลองมาใช้ การกรองเป็นวิธีที่ง่าย และรวดเร็วในการค้นหา และทำงานกับข้อมูลของเซ็ตย่อยในรายการที่กรองแล้วจะแสดงเฉพาะแถวที่ตรงตามเงื่อนไขที่ระบุให้แก่คอลัมน์ Microsoft Excel มีคำสั่งการกรองรายการ 2 คำสั่งด้วยกัน คือ **ตัวกรองอัตโนมัติ** สำหรับใช้งานกับเกณฑ์ธรรมดาทั่วไป ซึ่งรวมถึงตัวกรองที่ได้มาจากการเลือกด้วย และ **ตัวกรองขั้นสูง** สำหรับเกณฑ์ที่ซับซ้อนขึ้น การกรองจะต่างกับการเรียงลำดับ ตรงที่การกรองจะไม่จัดเรียงรายการใหม่ แต่จะซ่อนแถวที่ไม่ต้องการให้แสดงเป็นการชั่วคราว เมื่อ Microsoft Excel ทำการกรองแถว สามารถแก้ไข จัดรูปแบบ ทำแผนภูมิ และพิมพ์ส่วนย่อยของรายการได้โดยไม่ต้องย้ายหรือจัดเรียงใหม่

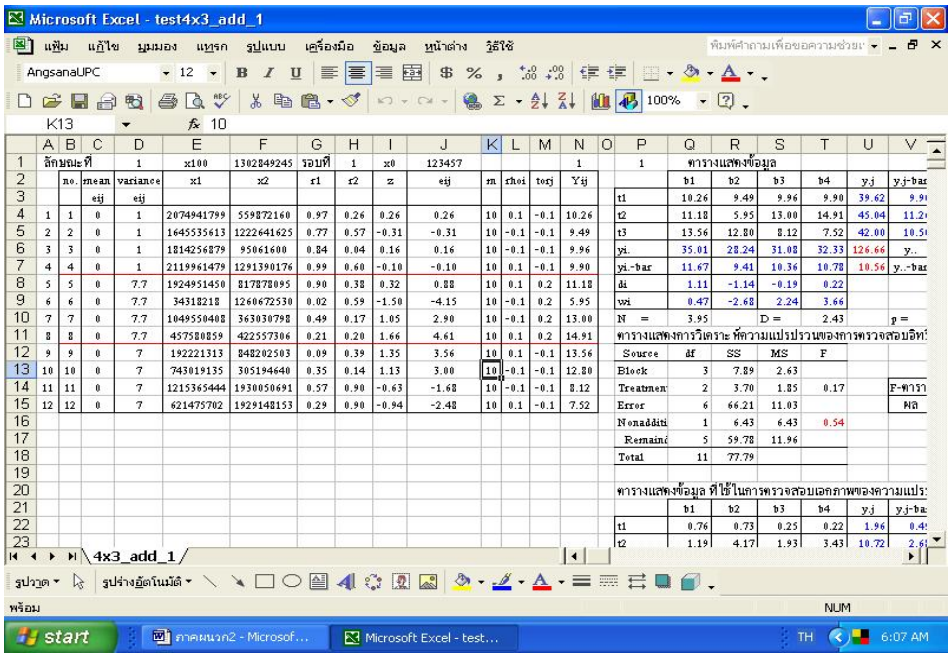
2.1 การใช้ตัวกรองอัตโนมัติ (Auto Filter) มีวิธีการใช้งาน ดังนี้ ลากเมาส์ไปยังคอลัมน์เหนือแถวแรกของข้อมูลที่ต้องการกรอง เลือกเมนู ข้อมูล (Data) แล้วไปที่เมนู ตัวกรอง (filter) แล้วไปที่รายการ ตัวกรองอัตโนมัติ (Auto filter) จะปรากฏลูกศรตัวกรองอัตโนมัติ ▼ ทางขวาของป้ายชื่อคอลัมน์ในรายการที่ถูกกรองไว้ จะระบุรายการที่ถูกกรองด้วยสีน้ำเงิน

2.2 การยกเลิกการกรองอัตโนมัติ สามารถยกเลิกการกรองข้อมูลได้ง่าย ๆ โดยการชี้เมาส์ไปยังเซลล์ที่มีเครื่องหมาย ▼ อยู่ แล้วเลือกเมนู ข้อมูล (Data) แล้วไปที่เมนู ตัวกรอง (filter) หลังจากนั้นไปที่รายการ ตัวกรองอัตโนมัติ (Auto filter) อีกครั้ง

3. ตัวอย่าง การใช้ Microsoft Excel ในงานวิจัย

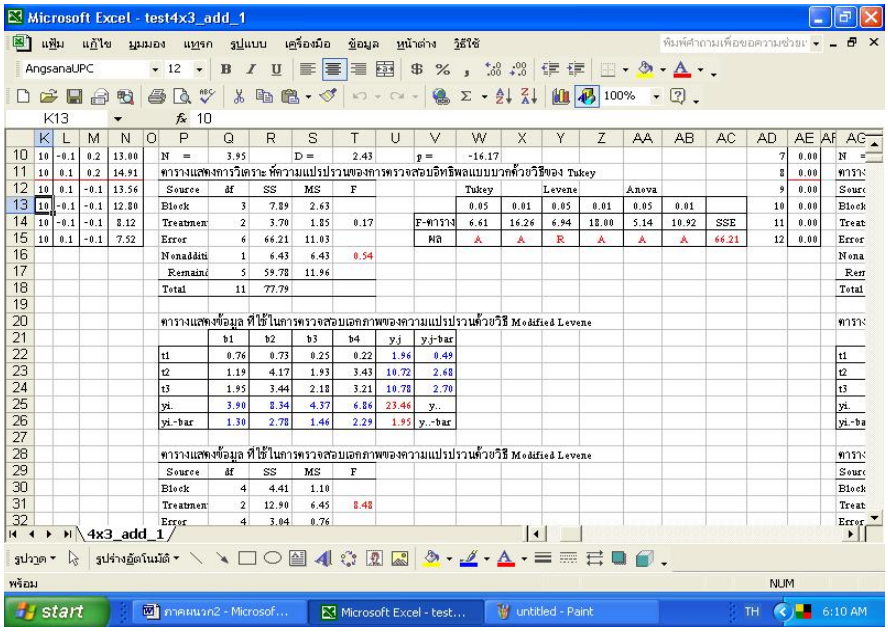
ขอยกตัวอย่างจากงานวิจัยนี้ 1 ขนาดการทดลอง ได้แก่ การทดลองที่มี 4 บล็อก และทรีทเมนต์ 3 ทรีทเมนต์ โดยจะเรียงลำดับตามขั้นตอนการวิจัยดังนี้

3.1 การสร้างข้อมูล



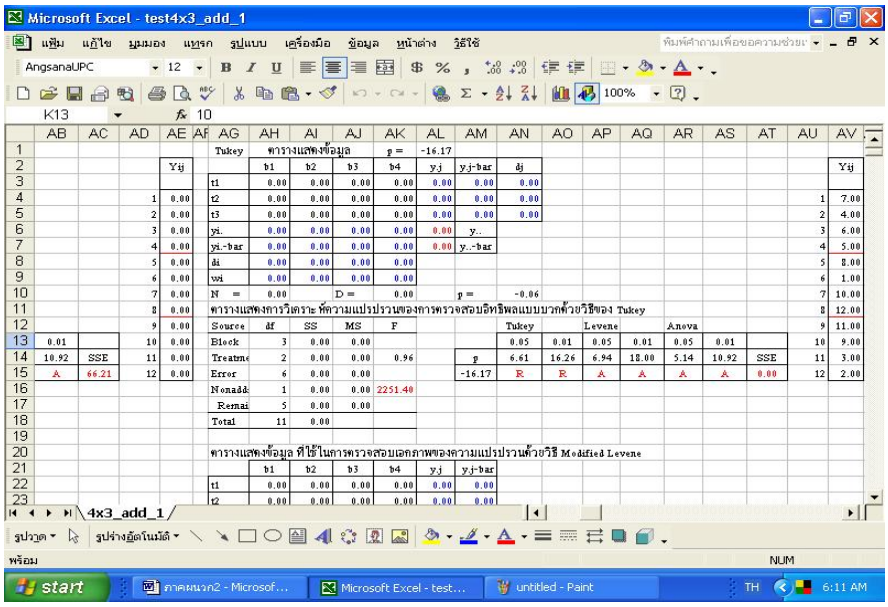
ภาพผนวกที่ ค1 การสร้างข้อมูลจาก Microsoft Excel

3.2 นำข้อมูลมาตรวจสอบว่า ข้อมูลเป็นไปตามข้อสมมติทั้ง 2 ข้อหรือไม่

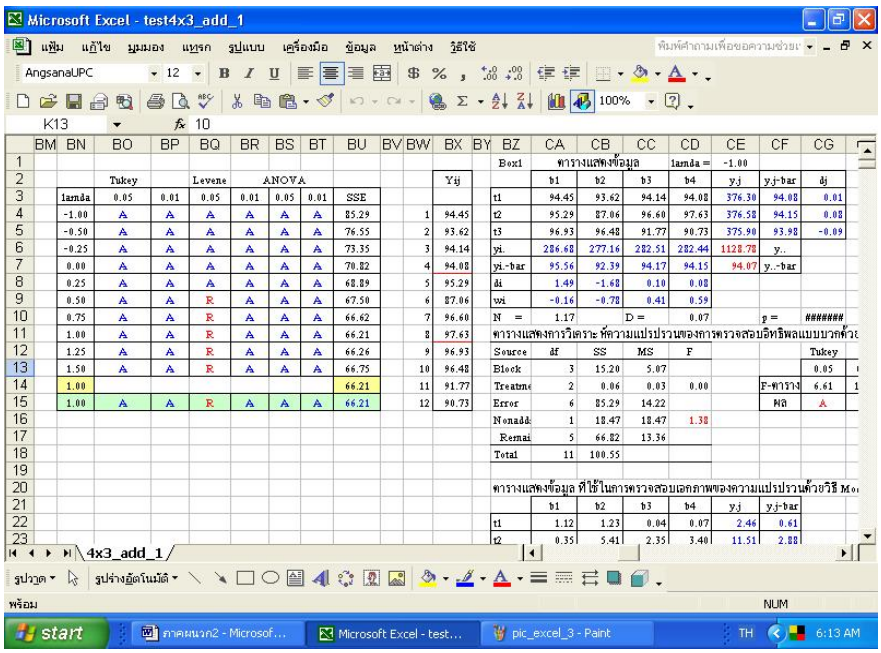


ภาพผนวกที่ ค2 การตรวจสอบข้อสมมติ

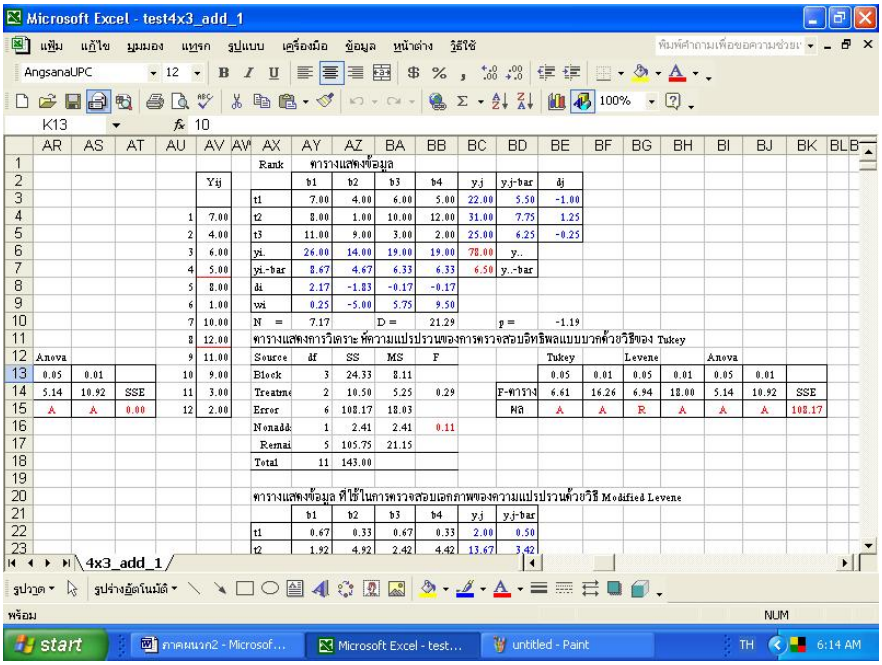
3.3 ทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Tukey วิธีของ Box และCox และการแปลงโดยใช้อันดับ



ภาพผนวกที่ ค3 การแปลงข้อมูลวิธีของ Tukey

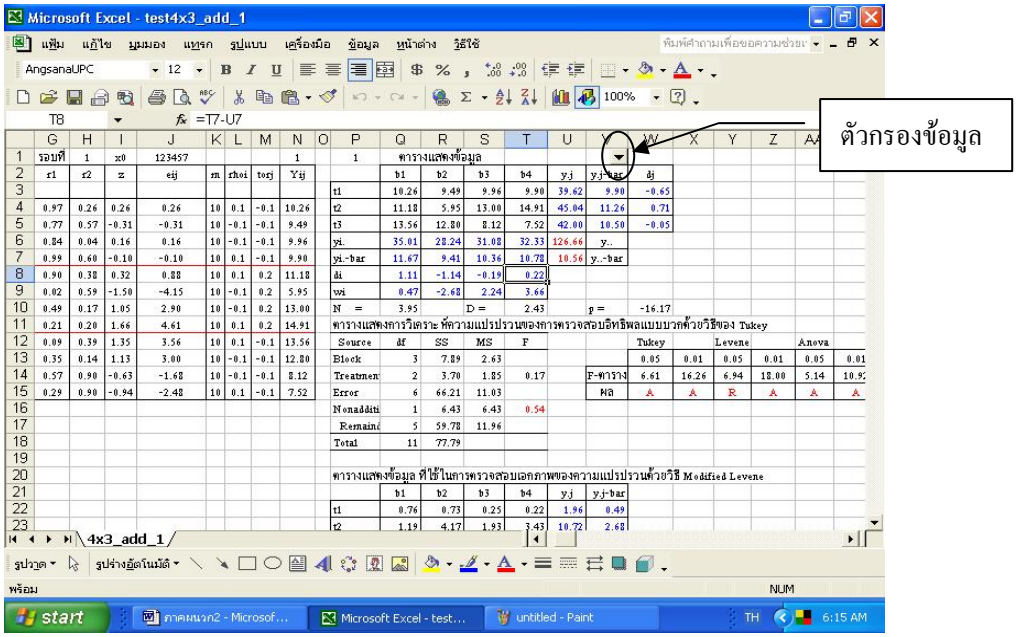


ภาพผนวกที่ ค4 การแปลงข้อมูลวิธีของ Box และCox



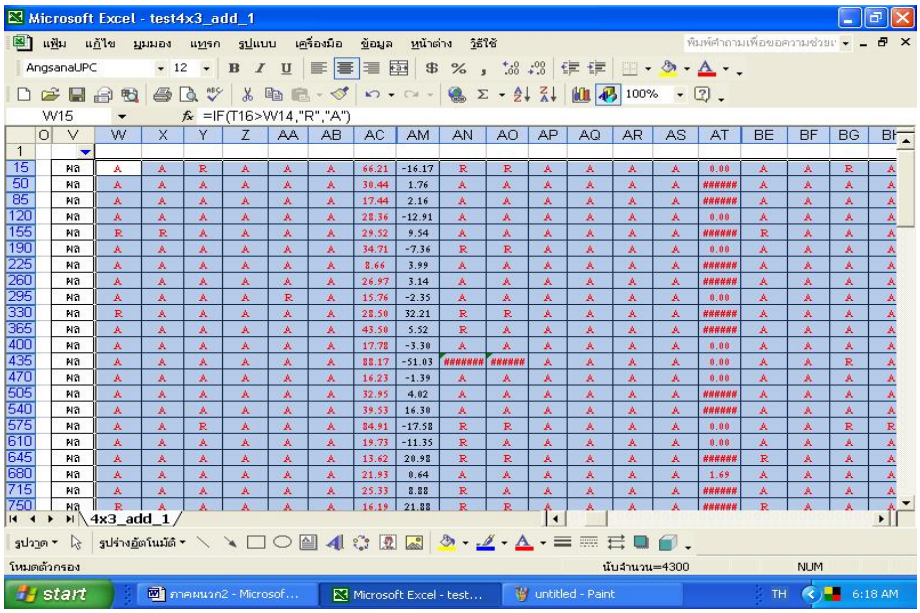
ภาพผนวกที่ ค5 การแปลงโดยใช้อันดับ

3.4 ใช้ตัวกรองข้อมูลอัตโนมัติ



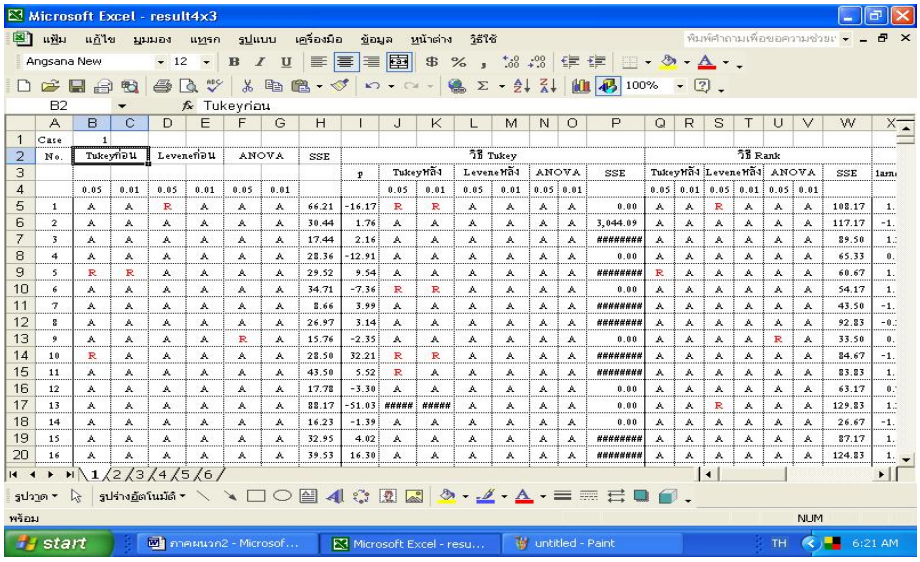
ภาพผนวกที่ ค6 การใช้ตัวกรองข้อมูล

3.5 ทำการกรองข้อมูลที่ได้หลังจากการแปลงแล้ว และซ่อนคอลัมน์ที่ไม่ได้ใช้เอาไว้



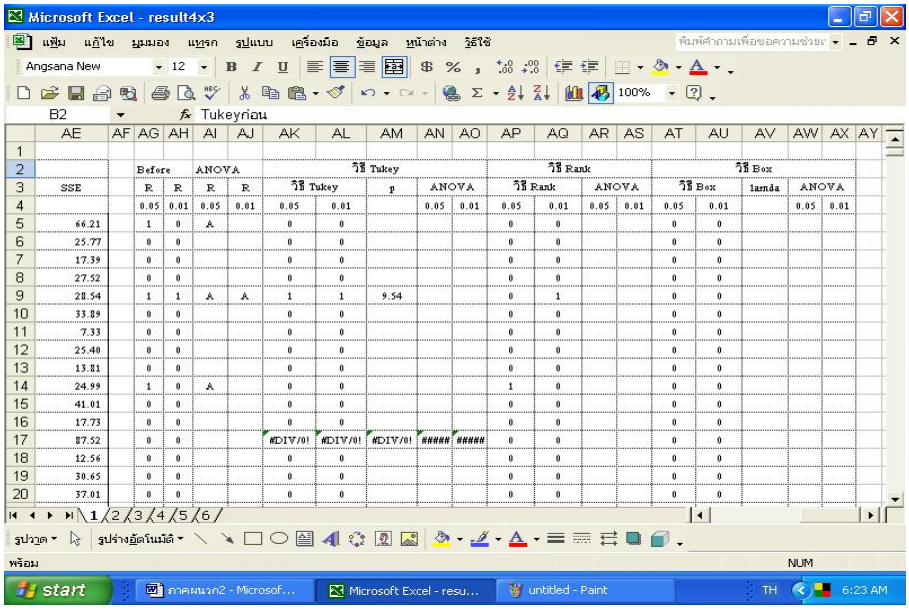
ภาพผนวกที่ ค7 การกรองข้อมูล

3.6 นำผลที่ได้ลงแบบฟอร์มสำหรับนับจำนวนครั้งของการยอมรับหรือปฏิเสธ H_0

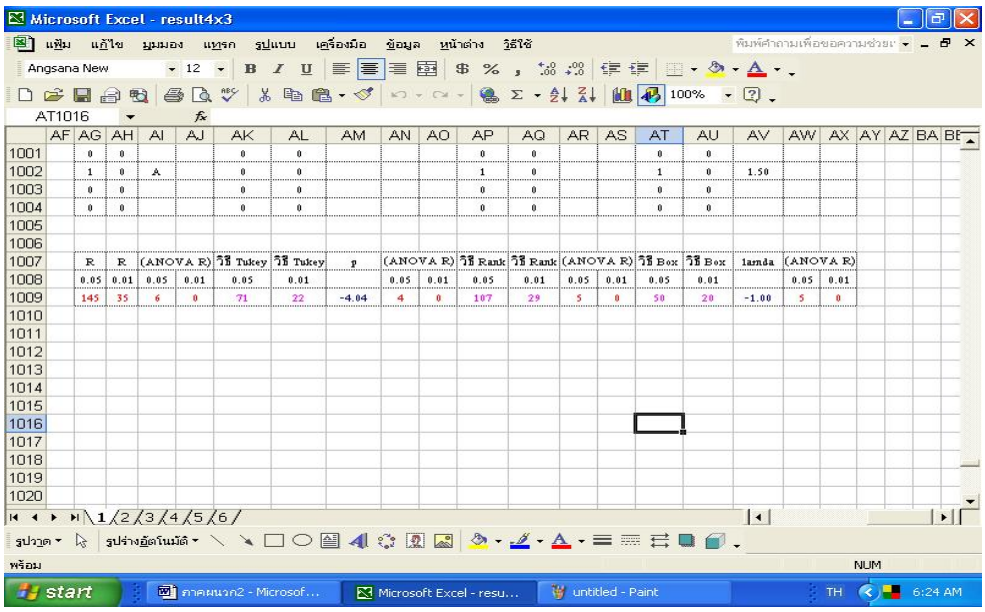


ภาพผนวกที่ ค8 แบบฟอร์มนับจำนวนครั้งของการยอมรับหรือปฏิเสธ H_0

3.7 นับจำนวนครั้งของการยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 ของแต่ละวิธีการแปลงข้อมูล



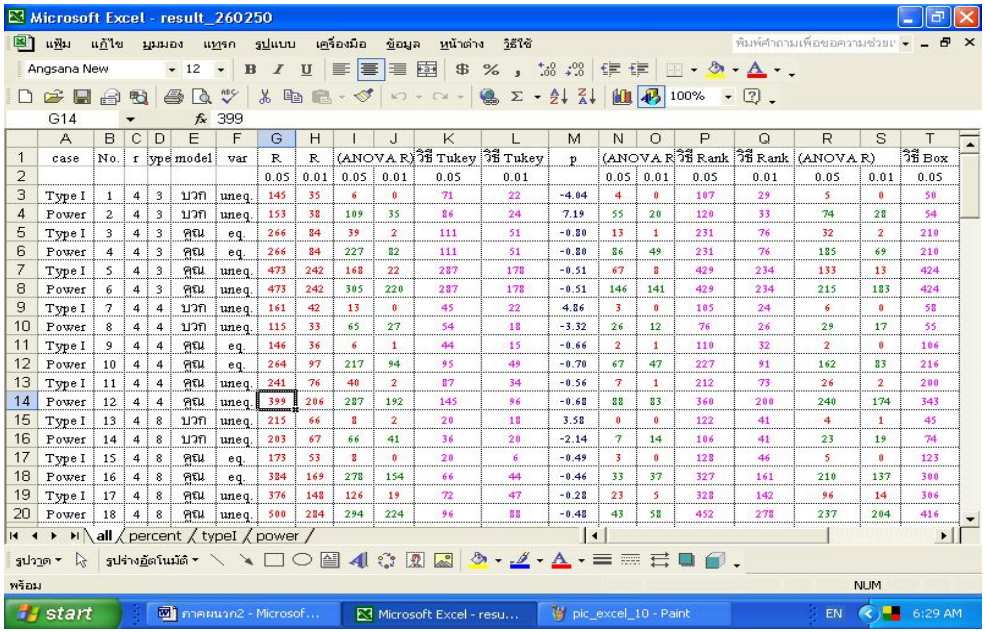
ภาพผนวกที่ ค9 นับจำนวนครั้งของการยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 ของแต่ละวิธีการแปลงข้อมูล



	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX
1001		0	0			0	0				0	0			0	0			
1002		1	0	A		0	0				1	0			1	0	1.50		
1003		0	0			0	0				0	0			0	0			
1004		0	0			0	0				0	0			0	0			
1007		R	R	(ANOVA R)	วิธี Tukey	วิธี Tukey	p		(ANOVA R)	วิธี Rank	วิธี Rank	(ANOVA R)	วิธี Box	วิธี Box	lamda	(ANOVA R)		
1008		0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01		0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01		0.05	0.01
1009		145	35	6	0	71	22	-4.04	4	0	107	29	5	0	50	20	-1.00	5	0

ภาพผนวกที่ ค10 ผลสรุปของแต่ละกรณี

3.8 นำผลทั้งหมดมาคำนวณร้อยละ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบ



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	case	No.	r	type	model	var	R	R	(ANOVA R)		วิธี Tukey	วิธี Tukey	p	(ANOVA R)		วิธี Rank	วิธี Rank	(ANOVA R)		วิธี Box
2							0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01		0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05
3	Type I	1	4	3	บวก	uneq.	145	35	6	0	71	22	-4.04	4	0	107	29	5	0	50
4	Power	2	4	3	บวก	uneq.	153	38	109	35	86	24	7.19	55	20	120	33	74	28	54
5	Type I	3	4	3	คูณ	eq.	266	84	39	2	111	51	-0.80	13	1	231	76	32	2	210
6	Power	4	4	3	คูณ	eq.	266	84	227	82	111	51	-0.80	86	49	231	76	185	69	210
7	Type I	5	4	3	คูณ	uneq.	473	242	168	22	287	178	-0.51	67	8	429	234	133	13	424
8	Power	6	4	3	คูณ	uneq.	473	242	305	220	287	178	-0.51	146	141	429	234	215	183	424
9	Type I	7	4	4	บวก	uneq.	161	42	13	0	45	22	4.86	3	0	105	24	6	0	58
10	Power	8	4	4	บวก	uneq.	115	33	65	27	54	18	-3.32	26	12	76	26	29	17	55
11	Type I	9	4	4	คูณ	eq.	146	36	6	1	44	15	-0.66	2	1	110	32	2	0	106
12	Power	10	4	4	คูณ	eq.	264	97	217	94	95	49	-0.70	67	47	227	91	162	83	216
13	Type I	11	4	4	คูณ	uneq.	241	76	40	2	87	34	-0.56	7	1	212	73	26	2	200
14	Power	12	4	4	คูณ	uneq.	399	206	287	192	145	96	-0.68	88	83	360	280	240	174	343
15	Type I	13	4	8	บวก	uneq.	215	66	8	2	20	18	3.58	0	0	122	41	4	1	45
16	Power	14	4	8	บวก	uneq.	203	67	66	41	36	20	-2.14	7	14	106	41	23	19	74
17	Type I	15	4	8	คูณ	eq.	173	53	8	0	20	6	-0.49	3	0	128	46	5	0	123
18	Power	16	4	8	คูณ	eq.	384	169	278	154	66	44	-0.46	33	37	327	161	210	137	300
19	Type I	17	4	8	คูณ	uneq.	376	148	126	19	72	47	-0.28	23	5	328	142	96	14	306
20	Power	18	4	8	คูณ	uneq.	500	284	294	224	96	88	-0.48	43	58	452	278	237	204	416

ภาพผนวกที่ ค11 ผลทั้งหมดที่ได้เพื่อคำนวณร้อยละ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบ

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสการะ คำมีแสง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 7 ธันวาคม 2517
สถานที่เกิด	มหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (สถิติ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักสถิติ 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กลุ่มดัชนีราคาระหว่างประเทศ สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงพาณิชย์
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-