



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สถิติ)

ปริญญา

สถิติ สาขา สถิติ
สถิติ ภาควิชา

เรื่อง ประสิทธิภาพของวิธีการทางสถิติในการออกแบบการทดลองที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง
เมื่อข้อมูลมีสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติ

Performance of Statistical Methods for Pretest - Posttest Design Under
Assumption Violation

นามผู้วิจัย นางสาววิลาสินี พรหมมานอก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ปรมใจ ตรีสรานวัฒนา , M.Stat.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลีลี อิงศรีสว่าง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พัยคมพงษ์, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

()

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ประสิทธิภาพของวิธีการทางสถิติในการออกแบบการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง
เมื่อข้อมูลมีสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติ

Performance of Statistical Methods for Pretest - Posttest Design
Under Assumption Violation

โดย

นางสาววิลาสินี พรหมมานอก

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิลาสินี พรหมมานอก 2555: ประสิทธิภาพของวิธีการทางสถิติในการออกแบบการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังเมื่อข้อมูลมีสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติ ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ) สาขา สถิติ ภาควิชาสถิติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์เปรมใจ ศรีสุรานูวัฒนา, M.Stat. 131 หน้า

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง 8 วิธี คือ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจาก (1) ค่าหลังการทดลอง (2) ค่าผลต่างของค่าหลังกับค่าก่อนการทดลอง (3) ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่ปรับปรุงใหม่ (4) ค่าล็อกของอัตราส่วนค่าหลังกับค่าก่อนการทดลอง (5) ค่าเศษตกค้าง วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม โดยใช้ (6) ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม (7) ค่าอันดับของข้อมูลก่อนและหลังการทดลอง และ (8) การทดสอบของ Quade ทั้งนี้เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจว่าวิธีการทางสถิติใดเหมาะสมจะพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และค่าอำนาจการทดสอบที่เกิน 0.8 โดยจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล แบ่งเป็น 3 กรณีศึกษา ดังนี้ 1) เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ 2) เมื่อความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน 3) เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ ได้แก่ แบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล แบบล็อกนอร์มอล และแบบไคสแควร์ ภายใต้อันดับก่อนและหลังมีความสัมพันธ์ตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.2, 0.5 และ 0.9 กำหนดอิทธิพลของทรีตเมนต์และค่าความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ น้อย, ปานกลาง และมาก เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 สรุปผลได้ดังนี้

1. วิธีวิเคราะห์ทั้ง 8 วิธี สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ และข้อมูลที่มีค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันน้อยและปานกลาง และรวมถึงข้อมูลมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียลและแบบไคสแควร์

2. การวิจัยนี้ พบว่าจำนวนทรีตเมนต์ในการทดลองไม่มีผลต่อค่าอำนาจการทดสอบ และเมื่อพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีผลต่อค่าอำนาจการทดสอบเมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อยและปานกลาง แต่เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันมากแล้วค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ไม่มีผลต่อค่าอำนาจการทดสอบโดยพบว่าทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมาก

3. เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นและไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นเรื่องความเท่ากันของความแปรปรวน พบว่าวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมคือ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าเศษตกค้าง และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม ในขณะที่เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล แบบล็อกนอร์มอล และแบบไคสแควร์ วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมคือ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าเศษตกค้าง วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมโดยใช้ค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Wilasinee Prommanok 2012: Performance of Statistical Methods for Pretest - Posttest Design Under Assumption Violation. Master of Science (Statistics), Major Field: Statistics, Department of Statistics. Thesis Advisor: Associate Professor Premjai Trisaranuwatana, M.Stat. 131 pages.

This research focused on efficiency of eight statistical methods in analysis of pretest - posttest design. The methods were Anova on: (1) posttest score, (2) different score, (3) modified proportional percent change score, (4) log of ratio of posttest score and pretest score, (5) residual. Ancova on: (6) posttest score with pretest score as the covariate, (7) rank of posttest score with rank of pretest score as the covariate and (8) Quade's test. Controllable of Type I error at specified level of 0.05 and attainable 0.8 power of the test were criterias for decision of appropriate method. Studied data generated by Monte Carlo simulation technique under 3 major circumstances: Case 1: underlying assumption were met, Case 2: variances were heterogeneous, Case 3: distribution of pretest and posttest were Double Exponential distribution, Log-Normal distribution and Chi - Square distribution. The correlation coefficients under studied were 0.2, 0.5 and 0.9 where treatment effect and heterogeneity of error variance of the posttest were classified into 3 different levels (low, medium and high). The number of treatment was 3 and 5 with equal sample sizes of 10. The conclude of the research were as follows :

1. The 8 statistical methods could control type I error for all correlation coefficients : when data met the underlying assumption of the statistical methods, heterogeneity of error variances were at low and medium including when distribution of pretest and posttest were Double Exponential and Chi-Square.

2. The research indicated that the power of test these were not affected by number of treatment but was affected by the degree of correlation coefficients when the treatment effect in each group was different at low and medium level. Moreover, it was found that all methods showed a very high power of the test when treatment effect was difference at high level.

3. According to data in Case 1 and Case 2 these research showed that Anova on residual and Ancova on posttest score with pretest score as the covariate were best. While Anova on residual, Ancova on rank of posttest score with rank of pretest score as the covariate and Quade's test were best for Case 3.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ. เปรมใจ ตริสรานุวัฒนา ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ผศ. ลีลี อิงศรีสว่าง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน
การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบ
ขอบพระคุณประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไข
วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาสถิติทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อัน
เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชา
สถิติที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่าง ๆ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติผู้ใหญ่ที่เคารพ รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่ได้ให้ความ
ช่วยเหลือและคำแนะนำต่าง ๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จได้ด้วยความคิด
ประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้
กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

วิลาสินี พรหมมานอก

เมษายน 2555

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	5
การตรวจเอกสาร	12
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	37
สรุปและข้อเสนอแนะ	95
สรุป	95
ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	103
ภาคผนวก	105
ภาคผนวก ก ตารางแสดงอิทธิพลของทรีตเมนต์ในแต่ละกรณีศึกษา	106
ภาคผนวก ข วิธีคำนวณค่าอนเซนทรีลิตี้พารามิเตอร์	111
ภาคผนวก ค โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้	114
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	131

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราส่วนของความแปรปรวนตามค่าอนเซนทรีลิตีพารามิเตอร์ (ϕ) สำหรับความแปรปรวน ในการศึกษา	7
2	การกำหนดสถานการณ์ที่ใช้ในการจำลองข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้ง 168 สถานการณ์	11
3	ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ของแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง	13
4	แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าก่อนและหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากัน ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	39
5	แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากันตามค่าอนเซนทรีลิตีพารามิเตอร์ ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	40
6	แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากันตามค่าอนเซนทรีลิตีพารามิเตอร์ ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	41

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
7	แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพารามิเตอร์ $\alpha(\text{Alpha})=0$ และ $\beta(\text{Beta})=5$ ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	42
8	แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบลือกนอร์มอล ที่มีพารามิเตอร์ $\mu=1$ และ $\sigma=1$ ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	43
9	แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ ที่มีพารามิเตอร์จำนวนองศาความเป็นอิสระ (n) เท่ากับ 3 ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	44
10	แสดงความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของวิธีการทางสถิติทั้ง 8 วิธี ตามกรณีศึกษา	47
11	แสดงค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าก่อนและหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากัน ที่อิทธิพลทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3	51
12	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าก่อนและหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากัน ที่อิทธิพลทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันน้อย ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 2.5: 3.0 ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3	59
14	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันปานกลาง ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 5.0: 8.0 ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับเมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3	60
15	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันมาก ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 8.0: 14.0 ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3	61
16	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันน้อย ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 2.2: 2.4: 2.8: 3.0 ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5	65
17	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันปานกลาง ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 5.0: 6.0: 8.0: 9.0 ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันมาก ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 3.0: 10.0: 12.0: 14.0 ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5	67
19	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพารามิเตอร์ $\alpha(\text{Alpha})=0$ และ $\beta(\text{Beta})=5$ ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3	72
20	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์ $\alpha(\text{Alpha})=0$ และ $\beta(\text{Beta})=5$ ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5	73
21	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลที่มีพารามิเตอร์ $\mu=1$ และ $\sigma=1$ ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3	78
22	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลที่มีพารามิเตอร์ $\mu=1$ และ $\sigma=1$ ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5	79
23	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ที่มีพารามิเตอร์ จำนวนองศาความเป็นอิสระ(n) เท่ากับ 3 ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ที่มีพารามิเตอร์ จำนวนองศาความเป็นอิสระ (n) เท่ากับ 3 ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5	85
25	วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้น	88
26	วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันน้อย	89
27	วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันปานกลาง	90
28	วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันมาก	91
29	วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์ คือ $\alpha(\text{Alpha}) = 50$ และ $\beta(\text{Beta}) = 7$	92
30	วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล ที่มีค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 1 และความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 1	93
31	วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ ที่มีพารามิเตอร์ คือ จำนวนองศาความเป็นอิสระ (n) เท่ากับ 3	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
32	สรุปวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังการทดลอง แยกตามกรณีศึกษา	99
ตารางผนวกที่		
ก1	อิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3	107
ก2	อิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5	107
ก3	อิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มของประชากรมีค่าไม่เท่ากัน	107
ก4	อิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5 เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มของประชากรมีค่าไม่เท่ากัน	108
ก5	อิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียลตามพารามิเตอร์	109
ก6	อิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5 และมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียลตามพารามิเตอร์	109
ก7	อิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลตามพารามิเตอร์	109

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก8	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 ที่มีการแจกแจง แบบลือกนอร์มอลตามพารามิเตอร์	110
ก9	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 ที่มีการแจกแจง แบบโคสแควร์ตามพารามิเตอร์	110
ก10	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 ที่มีการแจกแจง แบบโคสแควร์ตามพารามิเตอร์	110

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงกราฟของฟังก์ชันที่มีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์ $\theta=0$ และ $\beta=1$	22
2	แสดงกราฟของฟังก์ชันที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล ที่มีพารามิเตอร์ $\sigma=1$ และ μ ใดๆ	23
3	แสดงกราฟของฟังก์ชันที่มีการแจกแจงแบบไคสแควร์ ที่มีพารามิเตอร์ n	24
4	แสดงผังงานในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง ของทั้ง 3 กรณีศึกษา	36
5	การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3	53
6	การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5	54
7	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันน้อย เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3	62
8	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันปานกลาง เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3	63
9	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันมาก เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3	64
10	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันน้อย เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5	68

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันปานกลาง เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5	69
12	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันมาก เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5	70
13	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบคัมเบิ้ลเอ็กซ์โพเนนเชียล เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3	74
14	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบคัมเบิ้ลเอ็กซ์โพเนนเชียล เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5	75
15	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบลือกนอร์มอล เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3	80
16	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบลือกนอร์มอล เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5	81
17	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3	86
18	การเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5	87

ประสิทธิภาพของวิธีการทางสถิติในการออกแบบการทดลองแบบที่มีการวัด ค่าก่อน-หลังเมื่อข้อมูลมีสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติ

Performance of Statistical Methods for Pretest - Posttest Design Under Assumption Violation

คำนำ

ในการวิจัยทางการแพทย์ วิทยาศาสตร์ สังคมและการศึกษามีการใช้แผนการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Design) ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ ที่นิยมและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางรูปแบบหนึ่งก็คือการออกแบบการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง (Pretest - Posttest Design) ตัวอย่างเช่น การศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของสูตรอาหารของวัว 3 สูตร โดยพิจารณาว่าอาหารแต่ละสูตรมีผลต่อน้ำหนักตัวของวัวหรือไม่ เพื่อให้การทดลองมีความน่าเชื่อถือและแม่นยำมากที่สุด วัวที่จะใช้จะเป็นหน่วยทดลอง (Experimental Unit) ควรมีความแตกต่างของขนาดและน้ำหนักตัวของวัวน้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติการลดความแตกต่างของหน่วยทดลองทำได้ยากวิธีการหนึ่งก็คือการนำน้ำหนักตัวของวัวก่อนการทดลองมาพิจารณาเป็นข้อมูลประกอบการทดลอง ตัวอย่างงานวิจัยทางการศึกษา ได้แก่ การเปรียบเทียบวิธีการสอน โดยทำการทดลองแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม นำคะแนนทดสอบหลังการเรียนด้วยวิธีการสอนแบบต่างๆของนักเรียนแต่ละกลุ่มมาทดสอบว่ามีคะแนนเฉลี่ยแตกต่างกันหรือไม่ ทั้งนี้ผลคะแนนหลังการเรียนไม่ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการสอนเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นกับทักษะและความสามารถของนักเรียนแต่ละคน เช่น ความรู้พื้นฐานเดิม สติปัญญา ความสนใจ ความถนัดหรือความขยันที่แตกต่างกัน การนำความรู้ก่อนเรียนของนักเรียนจากการสอบเก็บคะแนนก่อนเรียนมาประกอบการวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างของวิธีการสอนจากหน่วยทดลองที่ไม่สามารถควบคุมความแตกต่างของหน่วยทดลองได้ด้วยวิธีทดลองเพื่อให้การเปรียบเทียบวิธีการสอนเห็นผลชัดเจนขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง เป็นวิธีวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างของวิธีการต่างๆที่ปฏิบัติต่อหน่วยทดลอง เรียกวิธีการต่างๆที่ปฏิบัติต่อหน่วยทดลองว่าทรีตเมนต์ (Treatment) โดยทำการวัดค่าก่อนได้รับทรีตเมนต์และเมื่อทำการทดลองด้วยวิธีการต่างๆแล้วจะทำการวัดค่าหลังได้รับทรีตเมนต์ที่หน่วยทดลองเดิมอีกครั้ง ค่าที่วัดก่อนและหลังการทดลองเป็นค่า

ของตัวแปรผลตอบสนอง (Response variable) นำไปวิเคราะห์ว่าทริตเมนต์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ การวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังมีข้อดี คือผลการวิเคราะห์มีความเที่ยงตรงและแม่นยำเนื่องจากมีข้อมูลช่วยในการเปรียบเทียบคือมีค่าก่อนการทดลอง (Pretest) และค่าหลังการทดลอง (Posttest) และสามารถควบคุมความแตกต่างของหน่วยทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพราะสามารถนำข้อมูลพื้นฐานของหน่วยทดลองมาอธิบายผลจากการทดลอง ข้อเสียของแผนการทดลองนี้ คือ 1) ความยุ่งยากในการเก็บข้อมูล โดยต้องทำการเก็บข้อมูล 2 ค่า คือค่าก่อนและค่าหลังการทดลองจากหน่วยทดลองเดียวกัน 2) ค่าก่อนการทดลองที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์อาจไม่มีอิทธิพลต่อผลการทดลอง และ 3) วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลมีความยุ่งยากกว่าการวิเคราะห์จากค่าหลังการทดลองเพียงอย่างเดียว

ในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังสำหรับการทดลองที่มีเพียงปัจจัยเดียวแต่มีหลายทริตเมนต์ เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรหลายๆกลุ่มพร้อมกัน วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับความนิยมมีอยู่หลายวิธี (Bonate, 2000) เช่น

1. วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ค่าหลังการทดลอง
2. วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ผลต่างของค่าหลังและก่อนการทดลอง
3. วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงจากค่าก่อนและหลังการทดลอง
4. วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าหลังการทดลองโดยใช้ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม

ในการใช้วิธีการวิเคราะห์ข้างต้นข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ควรมีคุณสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้น (Assumptions) ของตัวสถิติทดสอบ เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวนมีข้อสมมติเบื้องต้น ดังนี้ 1) หน่วยทดลองทุกหน่วยมีโอกาสถูกเลือกมาเป็นหน่วยทดลองด้วยความน่าจะเป็นเท่ากัน 2) ค่าคลาดเคลื่อนของการทดลองเป็นอิสระต่อกัน 3) ค่าคลาดเคลื่อนของการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนของประชากรทุกทริตเมนต์มีค่าเท่ากัน ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมมีการกำหนดตัวแปรร่วม (Covariate) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ผู้วิจัยคาดว่าจะมีอิทธิพลต่อตัวแปรผลตอบสนอง โดยเพิ่มข้อสมมติเบื้องต้นจากวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้ 4) ตัวแปรผลตอบสนองและตัวแปรร่วมมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบหนึ่งที่กำหนดและเป็นรูปแบบเดียวกันในทุกทริตเมนต์ 5) ตัวแปรร่วมเป็นอิสระจากอิทธิพลของทริต-

เมนต์ การที่ผู้วิจัยไม่ตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นของหน่วยทดลองก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลอาจทำให้การวิเคราะห์นั้นมีความน่าเชื่อถือลดลงไม่เพียงพอที่จะตรวจพบอิทธิพลของทรีตเมนต์ทำให้ผลการทดลองที่ได้จะมีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือลดลงอันจะนำไปสู่ข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ ทั้งนี้ในงานวิจัยต่างๆมีผู้เสนอวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลในลักษณะต่างๆ เพื่อให้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการทางสถิติที่ให้อำนาจการทดสอบสูงนำไปสู่ข้อสรุปที่ถูกต้องและเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

ผู้วิจัยจึงสนใจเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทางสถิติ ภายใต้ข้อมูลในลักษณะต่างๆ โดยพิจารณาความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I Error) และอำนาจการทดสอบ (Power of the test) ของวิธีการทางสถิติ ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรแต่ละกลุ่มสำหรับแผนการทดลองที่มีการวัดค่าก่อน-หลังที่มีปัจจัยเดียวแต่หลายทรีตเมนต์เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงและไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ โดยแยกกรณีศึกษา ดังนี้

1. เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ คือ ค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อนและหลังการทดลองเป็นแบบเส้นตรง ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าก่อนและหลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากัน
2. เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน
3. เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติดังนี้ กรณีค่าคลาดเคลื่อนของค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบสมมาตรด้วยการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ส่วนกรณีค่าคลาดเคลื่อนของค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไม่สมมาตรด้วยการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลและการแจกแจงแบบไคสแควร์

ตัวสถิติทดสอบที่ผู้วิจัยทำการศึกษาในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง มีจำนวนทรีตเมนต์ที่ศึกษามากกว่า 2 ทรีตเมนต์ คือ ตัวสถิติทดสอบ F ด้วยวิธีการทางสถิติ คือ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม และการทดสอบของ Quade แต่ละวิธีวิเคราะห์นำไปวิเคราะห์ด้วยตัวแปรผลตอบแทนที่แตกต่างกันได้วิธีวิเคราะห์ที่ทำการศึกษา 8 วิธี

ดังนี้ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจาก 1) ค่าหลังการทดลอง 2) ค่าผลต่างของค่าหลังกับค่าก่อนการทดลอง (Different Score) 3) ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่ปรับปรุงใหม่ (Modified Proportional Percent Change Score) 4) ค่าล็อกของอัตราส่วนค่าหลังกับค่าก่อนการทดลอง (Log of Ratio of Posttest Score and Pretest Score) 5) ค่าเศษตกค้าง (Residual) วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจาก 6) ค่าหลังการทดลองโดยใช้ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม 7) ค่าอันดับของค่าหลังการทดลองโดยใช้ค่าอันดับของค่าก่อนทดลองเป็นตัวแปรร่วม และ 8) การทดสอบของ Quade

ทั้งนี้จะทำการศึกษาภายใต้กรณีย่อย 5 กรณี คือ 1) ข้อมูลมีการแจกแจงแบบต่างๆ 2) ค่าก่อนและหลังการทดลองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นณ.ระดับต่างๆ 3) อิทธิพลของทรีตเมนต์มีความแตกต่างกันระดับต่างๆ 4) ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันระดับต่างๆ 5) จำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ทำให้เกิดกรณีศึกษาทั้งหมด 168 สถานการณ์ การศึกษาครั้งนี้ใช้เทคนิคมอนติคาร์โลในการจำลองข้อมูลตามกรณีศึกษา และทำการทดลองซ้ำในแต่ละสถานการณ์จำนวน 1,000 ครั้ง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทางสถิติทั้ง 8 วิธี

วัตถุประสงค์

การศึกษาครั้งนี้ต้องการหาวิธีการทางสถิติที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังเมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงและไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ โดยกำหนดเป็นวัตถุประสงค์การศึกษาดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาวิธีวิเคราะห์ข้อมูล ข้อดีและข้อเสียของวิธีการทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังทั้ง 8 วิธี ดังนี้

1.1. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลอง โดยนำค่าหลังการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน

1.2. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าผลต่างของค่าหลังกับค่าก่อนการทดลอง โดยใช้ผลต่างของค่าหลังการทดลองกับค่าก่อนการทดลองจากแต่ละหน่วยทดลองเดียวกันมาวิเคราะห์ความแปรปรวน

1.3. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่ปรับปรุงใหม่ โดยใช้ผลต่างของค่าหลังการทดลองกับค่าก่อนการทดลองหารด้วยค่าเฉลี่ยของค่าก่อนการทดลองกับค่าหลังการทดลองจากแต่ละหน่วยทดลองเดียวกันมาวิเคราะห์ความแปรปรวน

1.4. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าล็อกของอัตราส่วนของค่าหลังการทดลองกับค่าก่อนการทดลอง โดยใช้ผลต่างจากค่าล็อกของค่าหลังการทดลองกับค่าล็อกของค่าก่อนการทดลองจากแต่ละหน่วยทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน

1.5. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าเศษตกค้าง โดยใช้ค่าผลต่างของค่าหลังการทดลองกับค่าพยากรณ์ของค่าหลังการทดลองที่เกิดจากการพยากรณ์ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายที่ใช้ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรอิสระ นำผลต่างที่ได้เป็นค่าตัวแปรผลตอบสนองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน

1.6. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าหลังการทดลองโดยใช้ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม

1.7. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของค่าหลังการทดลองโดยใช้ค่าอันดับของค่าก่อนทดลองเป็นตัวแปรร่วม

1.8. การทดสอบของ Quade โดยใช้ค่าเศษตกค้างที่เป็นค่าผลต่างของค่าอันดับของค่าหลังการทดลองกับค่าพยากรณ์ค่าอันดับของค่าหลังการทดลองที่ใช้ค่าอันดับของค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรอิสระ นำค่าเศษตกค้างที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและหาวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับแผนการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังเมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงและไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ ภายใต้กรณีศึกษา 3 กรณี ดังนี้

2.1. เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นในการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

2.2. เมื่อความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน

2.3. เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบสมมาตรด้วยการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่สมมาตรด้วยการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลกับการแจกแจงแบบไคสแควร์

ขอบเขตการวิจัย

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้จากการจำลองข้อมูลตามสถานการณ์ที่กำหนดโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลทำซ้ำจำนวน 1,000 ครั้งด้วยโปรแกรม SAS รุ่น 9.1

2. กำหนดจำนวนทรีตเมนต์ที่ทำการศึกษาเท่ากับ 3 และ 5

3. กำหนดขนาดตัวอย่างในแต่ละทรีตเมนต์มีค่าเท่ากัน ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10

4. กำหนดระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่าก่อนและหลังการทดลอง ตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) เป็น 3 กรณี คือกรณีข้อมูลมีความสัมพันธ์กันน้อยด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.2 กรณีข้อมูลมีความสัมพันธ์กันปานกลางด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.5 และกรณีข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมากด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9

5. กำหนดให้อิทธิพลของทริตเมนต์เป็นแบบคงที่ โดยกำหนดอิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ให้แตกต่างกันตามระดับของค่าอนเซนทริลิตี้สำหรับอิทธิพลของทริตเมนต์ (Noncentrality Parameter: λ) ให้อิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกัน 3 ระดับ คืออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ที่กำหนดในแต่ละสถานการณ์แสดงในภาคผนวก ก ที่ตารางผนวกที่ ก1 - ก10

6. กำหนดค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองในกรณีความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน ให้แตกต่างกันตามระดับของค่าอนเซนทริลิตี้พารามิเตอร์สำหรับความแปรปรวน (Noncentrality Parameter: ϕ) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของความแปรปรวนตามค่าอนเซนทริลิตี้พารามิเตอร์สำหรับความแปรปรวน (ϕ) ในการศึกษา

ระดับความแตกต่างของ ความแปรปรวนแตกต่างกัน	จำนวน ทริตเมนต์	ค่าอนเซนทริลิตี้ พารามิเตอร์(ϕ)	อัตราส่วนของ ความแปรปรวน
น้อย	3	0.2887	2.0 : 2.5 : 3.0
	5	0.2623	2.0 : 2.2 : 2.4 : 2.8 : 3.0
ปานกลาง	3	1.7321	2.0 : 5.0 : 8.0
	5	1.7321	2.0 : 5.0 : 6.0 : 8.0 : 9.0
มาก	3	3.4641	2.0 : 8.0 : 14.0
	5	3.4176	2.0 : 3.0 : 10.0 : 12.0 : 14.0

7. กำหนดค่าก่อนและหลังการทดลองให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นกันและมีการแจกแจงแบบเดียวกัน ตามลักษณะการแจกแจงแบบต่างๆ มีดังนี้

7.1. มีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากันเท่ากับ 100

7.1.1. กรณีสมมติฐานหลักเป็นจริง กำหนดให้ค่าก่อนการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50 ความแปรปรวนเท่ากับ 100 และค่าหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70 ความแปรปรวนเท่ากับ 100

7.1.2. กรณีสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง กำหนดให้ค่าก่อนการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50 ความแปรปรวนเท่ากับ 100 และค่าหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70 ความแปรปรวนเท่ากับ 100 และเพิ่มอิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ที่กำหนดตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์สำหรับอิทธิพลของทรีตเมนต์ ที่แสดงในตารางผนวกที่ ก1 - ก2

7.2. มีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน

7.2.1. กรณีสมมติฐานหลักเป็นจริง กำหนดให้ค่าก่อนการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50 ความแปรปรวนเท่ากับ 100 และค่าหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70 ความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์มีค่าไม่เท่ากันตามอัตราส่วนของความแปรปรวนที่กำหนดด้วยค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์สำหรับความแปรปรวน

7.2.2. กรณีสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง กำหนดให้ค่าก่อนการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50 ความแปรปรวนเท่ากับ 100 และค่าหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70 และความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์มีค่าไม่เท่ากันตามอัตราส่วนของความแปรปรวนที่กำหนดด้วยค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์สำหรับความแปรปรวน และเพิ่มอิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ที่กำหนดตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์สำหรับอิทธิพลของทรีตเมนต์ ที่แสดงในตารางผนวกที่ ก3 - ก4

7.3. การแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์ คือ $\alpha(\text{Alpha}) = 50$ และ $\beta(\text{Beta}) = 7$

7.3.1. กรณีสมมติฐานหลักเป็นจริง กำหนดให้ค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียลดังพารามิเตอร์ที่กำหนดและมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

7.3.1. กรณีสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง กำหนดให้ค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียลดังพารามิเตอร์ที่กำหนด โดยค่าหลังการทดลองได้รับอิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ที่กำหนดตามค่าอนเซนทรอลลิตี้พารามิเตอร์สำหรับอิทธิพลของทรีตเมนต์ ที่แสดงในตารางผนวกที่ ก5 - ก6

7.4. การแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล ที่มีพารามิเตอร์ คือค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 1 และความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 1

7.4.1. กรณีสมมติฐานหลักเป็นจริง กำหนดให้ค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลดังพารามิเตอร์ที่กำหนดและมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

7.4.2. กรณีสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง กำหนดให้ค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลดังพารามิเตอร์ที่กำหนด โดยค่าหลังการทดลองได้รับอิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ที่กำหนดตามค่าอนเซนทรอลลิตี้พารามิเตอร์สำหรับอิทธิพลของทรีตเมนต์ ที่แสดงในตารางผนวกที่ ก7 - ก8

7.5. การแจกแจงแบบไคสแควร์ ที่มีพารามิเตอร์ คือจำนวนองศาความเป็นอิสระ (n) เท่ากับ 3

7.5.1. กรณีสมมติฐานหลักเป็นจริง กำหนดให้ค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ดังพารามิเตอร์ที่กำหนดและมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

7.5.2. กรณีสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง กำหนดให้ค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ตั้งพารามิเตอร์ที่กำหนด โดยค่าหลังการทดลองได้รับอิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ที่กำหนดตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์สำหรับอิทธิพลของทรีตเมนต์ ที่แสดงในตารางผนวกที่ ก9 - ก10

จากขอบเขตที่กำหนดจำแนกลักษณะข้อมูลได้ 3 กรณีศึกษา รวมทั้งสิ้น 168 สถานการณ์ ดังแสดงในตารางที่ 2

8. แต่ละสถานการณ์ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังด้วยวิธีวิเคราะห์ทั้ง 8 วิธี

9. เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

9.1. กรณีสมมติฐานหลักเป็นจริง ใช้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ตามเกณฑ์ของ Cochran ที่เสนอในปี 1954 คือ วิธีการทางสถิติสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 อยู่ในช่วง $[0.035, 0.075]$

9.2. กรณีสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง ใช้ค่าอำนาจการทดสอบ โดยพิจารณาว่าค่าประมาณอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติให้ค่าสูงเป็นวิธีการทางสถิติที่ดี เพื่อหาวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดเกณฑ์ในการศึกษาว่าวิธีการทางสถิติใดสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และให้ค่าอำนาจการทดสอบมากกว่า 0.8 เป็นวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล

ตารางที่ 2 การกำหนดสถานการณ์ที่ใช้ในการจำลองข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งหมด 168 สถานการณ์

กรณี	สมมติฐานหลัก (H_0)	จำนวน ทริตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของทริตเมนต์	ระดับความแตกต่าง ของความแปรปรวน	จำนวน (สถานการณ์)
1. ข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อ สมมติเบื้องต้นของตัวสถิติ ทดสอบ	เป็นจริง	3, 5	0.2, 0.5, 0.9	มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน และเท่ากับ 70	มีความแปรปรวนเท่ากัน และเท่ากับ 100	$2 \times 3 \times 1 \times 1 = 6$
	ไม่เป็นจริง	3, 5	0.2, 0.5, 0.9	น้อย, ปานกลาง, มาก	มีความแปรปรวนเท่ากัน และเท่ากับ 100	$2 \times 3 \times 3 \times 1 = 18$
2. ข้อมูลมีสมบัติไม่ตรงตามข้อ สมมติเบื้องต้นของตัวสถิติ ทดสอบ เรื่องการเท่ากันของ ความแปรปรวนของประชากร	เป็นจริง	3, 5	0.2, 0.5, 0.9	มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน และเท่ากับ 70	น้อย, ปานกลาง, มาก	$2 \times 3 \times 1 \times 3 = 18$
	ไม่เป็นจริง	3, 5	0.2, 0.5, 0.9	น้อย, ปานกลาง, มาก	น้อย, ปานกลาง, มาก	$2 \times 3 \times 3 \times 3 = 54$
3.1. ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ ดัดเบิ้ลเอ็กซ์โพเนนเชียล	เป็นจริง	3, 5	0.2, 0.5, 0.9	มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน	มีความแปรปรวนเท่ากัน	$2 \times 3 \times 1 \times 1 = 6$
	ไม่เป็นจริง	3, 5	0.2, 0.5, 0.9	น้อย, ปานกลาง, มาก	มีความแปรปรวนเท่ากัน	$2 \times 3 \times 3 \times 1 = 18$
3.2. ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ ล็อกนอร์มอล	เป็นจริง	3, 5	0.2, 0.5, 0.9	มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน	มีความแปรปรวนเท่ากัน	$2 \times 3 \times 1 \times 1 = 6$
	ไม่เป็นจริง	3, 5	0.2, 0.5, 0.9	น้อย, ปานกลาง, มาก	มีความแปรปรวนเท่ากัน	$2 \times 3 \times 3 \times 1 = 18$
3.3. ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ ไคสแควร์	เป็นจริง	3, 5	0.2, 0.5, 0.9	มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน	มีความแปรปรวนเท่ากัน	$2 \times 3 \times 1 \times 1 = 6$
	ไม่เป็นจริง	3, 5	0.2, 0.5, 0.9	น้อย, ปานกลาง, มาก	มีความแปรปรวนเท่ากัน	$2 \times 3 \times 3 \times 1 = 18$
รวม						168

การตรวจเอกสาร

การตรวจเอกสารแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกกล่าวถึงวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ และส่วนหลังจะกล่าวถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ส่วนที่ 1 วิธีการทางสถิติที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ข้อมูล มีรายละเอียดดังนี้

1. แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) เป็นแผนการทดลองที่ทำการศึกษาปัจจัย (Factor) หนึ่งปัจจัยที่กระทำต่อหน่วยทดลองโดยแต่ละระดับของปัจจัยที่ศึกษาเรียกว่าทริตเมนต์ เพื่อทดสอบว่าอิทธิพลของทริตเมนต์มีผลต่อตัวแปรผลตอบสนองหรือไม่ แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์มีลักษณะดังนี้

1) หน่วยทดลองถูกเลือกมาแบบสุ่ม นั่นคือ แต่ละหน่วยมีโอกาสที่จะถูกเลือกด้วยความน่าจะเป็นเท่าๆกันและแต่ละหน่วยทดลองต้องมีลักษณะเหมือนกัน

2) หน่วยทดลองที่ถูกเลือกแต่ละหน่วยได้รับทริตเมนต์ใดๆโดยการสุ่ม

3) ลำดับของหน่วยทดลองที่จะได้รับทริตเมนต์เป็นไปโดยการสุ่ม

แผนการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน- หลัง (Pretest -Posttest Design) แบบสุ่มสมบูรณ์

เป็นแผนการทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความแตกต่างของอิทธิพลของทริตเมนต์ที่กระทำต่อหน่วยทดลอง เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างและไม่สามารถควบคุมความแตกต่างของหน่วยทดลองได้ก่อนที่จะทำการทดลอง แผนการทดลองนี้จะมีการวัดค่าก่อนได้รับทริตเมนต์ของหน่วยทดลองเรียกว่าค่าก่อนการทดลอง (Pretest Score) เมื่อกระทำการทดลองด้วยวิธีการต่างๆโดยการให้ทริตเมนต์กับหน่วยทดลอง จะมีการวัดค่าหลังได้รับทริตเมนต์ของหน่วยทดลองเดิมอีกครั้งเรียกว่าค่าหลังการทดลอง (Posttest Score) รูปแบบของการเก็บข้อมูลจะต้องเก็บจากหน่วยทดลองเดียวกันด้วยเครื่องมือในการเก็บข้อมูลเดียวกัน ลักษณะการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ใน

การวิเคราะห์สำหรับข้อมูลจากแผนการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน- หลัง จะต้องเก็บค่าของตัวแปรผลตอบสนอง 2 ค่า คือค่าก่อนและค่าหลังการทดลองจากหน่วยทดลองเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ของแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง

		ทรีตเมนต์ (Treatment)			
		1	2	i	t
	X_{11}, Y_{11}	X_{21}, Y_{21}	...	X_{t1}, Y_{t1}	
	X_{12}, Y_{12}	X_{22}, Y_{22}	...	X_{t2}, Y_{t2}	
	⋮	⋮	⋮	⋮	
	X_{1n_i}, Y_{1n_i}	X_{2n_i}, Y_{2n_i}	...	X_{tn_i}, Y_{tn_i}	

เมื่อ X_{ij} แทนค่าสังเกตก่อนได้รับทรีตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j
 Y_{ij} แทนค่าสังเกตหลังได้รับทรีตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j
 $i = 1, 2, \dots, t$ และ $j = 1, 2, \dots, n_i$

สมมติฐานสำหรับแผนการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังการทดลอง ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์ของประชากรเป็นดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t$$

H_1 : มีทรีตเมนต์อย่างน้อย 1 ทรีตเมนต์ที่ค่าเฉลี่ยแตกต่างจากทรีตเมนต์อื่น

2. วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิจัย

ตัวสถิติทดสอบสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการวัดค่าก่อน-หลังเพื่อทดสอบความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ตัวสถิติทดสอบเอฟ ด้วยวิธีการทางสถิติ คือ

วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม และการทดสอบของ Quade แต่ละวิธีการทางสถิตินำไปวิเคราะห์ด้วยตัวแปรผลตอบแทนที่แตกต่างกัน มีรายละเอียดดังนี้

2.1. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน

วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ใช้เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรมากกว่า 2 กลุ่มพร้อมๆกัน สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ทำการศึกษาเพียงปัจจัยเดียวของแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มีตัวแบบเชิงเส้นดังนี้

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ	y_{ij}	หมายถึงค่าสังเกตจากทรีตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j
	μ	หมายถึงค่าเฉลี่ยทั้งหมดของข้อมูล
	τ_i	หมายถึงอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่ i
	ε_{ij}	หมายถึงค่าคลาดเคลื่อนสุ่มของหน่วยทดลองจากทรีตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j
	$i = 1, 2, \dots, t$ และ $j = 1, 2, \dots, n_i$	

ข้อสมมติเบื้องต้นเกี่ยวกับประชากรแต่ละกลุ่มที่จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน มีดังนี้ 1) ข้อมูลของประชากรแต่ละกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ 2) ค่าความแปรปรวนของประชากรทุกกลุ่มมีค่าเท่ากัน 3) หน่วยทดลองถูกสุ่มจากประชากรแต่ละกลุ่มที่เป็นอิสระกัน โดยข้อสมมติเบื้องต้นของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน มีดังนี้

1) ค่าคลาดเคลื่อนสุ่มของการทดลอง (ε_{ij}) เป็นอิสระกันมีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากันและเท่ากับ σ^2

2) อิทธิพลของทรีตเมนต์เป็นแบบคงที่หรือแบบสุ่ม

3) เงื่อนไขของอิทธิพลของทรีตเมนต์ คือ $\sum_{i=1}^t \tau_i = 0$

สมมติฐานสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t$$

H_1 : มีอย่างน้อย 1 ทรีตเมนต์ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากทรีตเมนต์อื่น

ตัวสถิติทดสอบที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน คือตัวสถิติเอฟ ที่ได้จากอัตราส่วนของความผันแปรเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ (MSTrt) กับความผันแปรเฉลี่ยภายในทรีตเมนต์ (MSE) คำนวณค่าสถิติทดสอบ คือ $F = \frac{MSTrt}{MSE}$ ซึ่งเป็นตัวสถิติทดสอบที่มีการแจกแจงแบบเอฟ (F-Distribution) ที่มีองศาความเป็นอิสระ คือ $df = [t-1, n-t]$

2.2. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance: ANCOVA) ใช้กับลักษณะของข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรอื่นนอกจากอิทธิพลของทรีตเมนต์ เรียกตัวแปรอื่นที่มีอิทธิพลกับข้อมูลว่าตัวแปรร่วม (Covariate) การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมเป็นการใช้เทคนิคทางสถิติ 2 วิธีร่วมกันคือ วิธีวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยกำหนดให้ตัวแปร X เป็นตัวแปรอิสระที่เป็นสาเหตุของความผันแปรของข้อมูล เรียกตัวแปร X ว่าตัวแปรร่วม และตัวแปร Y เป็นตัวแปรผลตอบสนอง วิธีการทดสอบทำโดยปรับค่าตัวแปรผลตอบสนอง Y ด้วยอิทธิพลของตัวแปรอิสระ X ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอย และทำการทดสอบความแตกต่างของทรีตเมนต์โดยใช้ค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้วมาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน วิธีนี้จึงมีการวัดค่าก่อนการทดลองและวัดค่าหลังการทดลอง โดยถือว่าข้อมูลก่อนการทดลอง (Pretest) เป็นตัวแปรร่วม มีตัวแบบเชิงเส้นดังนี้

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta(x_{ij} - \bar{x}_{..}) + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ y_{ij} หมายถึงค่าสังเกตจากทรีตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

μ หมายถึงค่าเฉลี่ยทั้งหมดของข้อมูล

β หมายถึงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบเส้นตรงของตัวแปรผลตอบสนองและตัวแปรร่วม

τ_i หมายถึงอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่ i

$\bar{x}_{..}$ หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูล x_{ij}

ε_{ij} หมายถึงค่าคลาดเคลื่อนสุ่มจากทรีตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

$i = 1, 2, \dots, t$ และ $j = 1, 2, \dots, n_i$

ข้อสมมติเบื้องต้นของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม มีดังนี้

- 1) กำหนดข้อสมมติเบื้องต้นเดียวกับข้อสมมติเบื้องต้นของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน
- 2) ตัวแปรร่วมเป็นตัวแปรเสมือนเป็นค่าคงที่และวัดมาโดยไม่มีค่าคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น
- 3) ความสัมพันธ์ของตัวแปรผลตอบสนอง (Y) และตัวแปรร่วม (X) เป็นแบบเส้นตรง
- 4) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y ในแต่ละทรีตเมนต์มีค่าเท่ากัน

สมมติฐานสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม คือ

$$H_0 : \mu_{i(\text{adj})} = \mu_{j(\text{adj})} \text{ สำหรับทุกคู่ของทรีตเมนต์ที่ } i \text{ และ } j$$

$$H_1 : \mu_{i(\text{adj})} \neq \mu_{j(\text{adj})} \text{ สำหรับทรีตเมนต์ที่ } i \text{ และ } j \text{ อย่างน้อย 1 คู่}$$

ตัวสถิติทดสอบที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน คือตัวสถิติเอฟ โดย

$$F = \frac{MST_{\text{rt}(\text{adj})}}{MSE(\text{adj})} \text{ มีการแจกแจงแบบเอฟ ที่มีองศาความเป็นอิสระ คือ } df = [t-1, t(n-1)-1]$$

2.3. การทดสอบของ Quade

เป็นวิธีการทางสถิติแบบนอนพารามตริก ถูกเสนอโดย Quade ในปี 1967 ทำการวิเคราะห์โดยนำค่าเศษตกค้าง (residual) ของ Quade มาวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าเศษตกค้างของ Quade คือค่าผลต่างจากค่าอันดับของค่าหลังการทดลองกับค่าพยากรณ์ค่าอันดับของค่าหลังการทดลองที่สร้างด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) โดยใช้ค่าอันดับของค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรอิสระ ขั้นตอนในการวิเคราะห์ของการทดสอบของ Quade มีดังนี้

1) ให้อันดับแก่ข้อมูลทั้งหมด โดยแยกค่าก่อนการทดลองกับค่าหลังการทดลอง ให้อันดับของค่าก่อนการทดลองและอันดับของค่าหลังการทดลอง กรณีที่ข้อมูลมีอันดับเท่ากันให้หาค่าเฉลี่ยของอันดับและใช้อันดับเฉลี่ย (Average Rank) แทน กำหนดให้

R_{ij} เป็นค่าอันดับของค่าหลังการทดลองที่ได้รับทริตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

C_{ij} เป็นค่าอันดับของค่าก่อนการทดลองที่ได้รับทริตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

2) สร้างสมการพยากรณ์ค่า R_{ij} ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย $\hat{R}_{ij} = b_0 + b_1 C_{ij}$ โดยให้ C_{ij} เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์การถดถอย

3) คำนวณค่าเศษตกค้าง จากสูตร $E_{ij} = R_{ij} - \hat{R}_{ij}$ ซึ่ง $\sum E_{ij} = 0$

4) นำค่าเศษตกค้าง E_{ij} เป็นค่าตัวแปรผลตอบสนองนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน

3. การแปลงข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

เป็นการแปลงค่าก่อนและหลังการทดลองเพื่อเป็นค่าตัวแปรผลตอบสนองนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล มีดังนี้

3.1. ค่าผลต่าง

ค่าผลต่าง (Different Score) คือค่าผลต่างจากค่าหลังกับค่าก่อนการทดลองในรูปแบบ $D_{ij} = Y_{ij} - X_{ij}$

เมื่อ D_{ij} คือค่าผลต่างของข้อมูลก่อนและหลังการทดลองจากทริตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

Y_{ij} คือค่าหลังการทดลองจากทริตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

X_{ij} คือค่าก่อนการทดลองจากทริตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

3.2. ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่ปรับปรุงใหม่

เป็นค่าที่ปรับปรุงจากค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง (Modified Proportional Percent Change Score, C'_{ij}) ถูกเสนอโดย Tornqvist ในปี 1985 (Bonate, 2000) จากเดิมค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง คือค่าผลต่างของค่าหลังการทดลองกับค่าก่อนการทดลองเทียบกับค่าก่อนการทดลองเพียงอย่างเดียว แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่ปรับปรุงใหม่เป็นการนำค่าผลต่างของค่าหลังการทดลองกับค่าก่อนการทดลองเทียบกับค่าเฉลี่ยของค่าก่อนและหลังการทดลองของหน่วยทดลองเดียวกันมาคำนวณเป็นค่าร้อยละ คำนวณได้จาก

$$C'_{ij} = \frac{Y_{ij} - X_{ij}}{\left[\frac{(Y_{ij} + X_{ij})}{2} \right]} \times 100$$

เมื่อ C'_{ij} คือค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่ปรับปรุงใหม่จากทริตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

Y_{ij} คือค่าหลังการทดลองจากทริตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

X_{ij} คือค่าก่อนการทดลองจากทริตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

นำค่า C'_{ij} เป็นค่าของตัวแปรผลตอบสนองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน

3.3. ค่าล็อกของอัตราส่วนของค่าหลังการทดลองกับค่าก่อนการทดลอง

เป็นวิธีการแปลงข้อมูลเสนอโดย Tornqvist ในปี 1985 (Bonate, 2000) โดยแปลงข้อมูลในรูปแบบค่าล็อกของอัตราส่วนของค่าหลังกับค่าก่อนการทดลอง (Log of Ratio of Posttest Score and Pretest Score) ซึ่งคำนวณจาก $L = \text{Ln}\left(\frac{Y}{X}\right) = \text{Ln}(Y) - \text{Ln}(X)$ กำหนดให้ค่า Y เป็นค่าหลังการทดลอง และค่า X เป็นค่าก่อนการทดลอง ข้อจำกัดในการแปลงข้อมูลรูปแบบนี้คือ ข้อมูลที่จะนำมาแปลงต้องมีค่ามากกว่าศูนย์ เนื่องจากค่าล็อกของจำนวนติดลบและศูนย์ไม่สามารถหาค่าได้ การเพิ่มค่าคงที่ในแต่ละส่วนของค่าล็อกเพื่อแก้ปัญหาข้างต้นโดยให้ c คือค่าคงที่ใดๆที่ทำให้ค่า X และ Y มีค่ามากกว่าศูนย์ คำนวณได้ดังรูปแบบ

$$L = \text{Ln}\left(\frac{Y+c}{X+c}\right) = \text{Ln}(Y+c) - \text{Ln}(X+c)$$

นำค่าผลต่างจากค่าล็อกที่ได้เป็นค่าตัวแปรผลตอบสนองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน

3.4. ค่าเศษตกค้าง

ค่าเศษตกค้าง (Residual) คือค่าผลต่างของค่าหลังการทดลองกับค่าพยากรณ์ของค่าหลังการทดลอง ขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

1) สร้างสมการพยากรณ์เพื่อพยากรณ์ค่าหลังการทดลองของทริตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j (Y_{ij}) ตามรูปแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ดังนี้ $\hat{Y}_{ij} = b_0 + b_1X_{ij}$ โดยใช้ค่าก่อนการทดลองจากทริตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j (X_{ij}) เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์การถดถอย

2) คำนวณค่าเศษตกค้าง จากสูตร $E_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_{ij}$ ซึ่ง $\sum E_{ij} = 0$

3) นำค่าเศษตกค้าง E_{ij} เป็นค่าตัวแปรผลตอบสนองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน

4. ความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์

การกำหนดอิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ (τ_i) ให้แตกต่างกัน เพื่อให้อิทธิพลของทรีตเมนต์ที่กระทำต่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน พิจารณาจากค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์สำหรับอิทธิพลของทรีตเมนต์ (λ) ที่เสนอโดย Klaus and Oscar (Douglas and Montgomery, 2005)

สำหรับวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่มีตัวแบบเชิงเส้น $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ หรือ $y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}$ ทำให้ $\tau_i = \mu_i - \mu$ กำหนดค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์สำหรับอิทธิพลของทรีตเมนต์ แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข จำนวนได้จากสูตร

$$\lambda = \frac{\sqrt{n \sum_{i=1}^k \tau_i^2 / k}}{\sigma}$$

เมื่อ n คือขนาดตัวอย่างในแต่ละทรีตเมนต์
 k คือจำนวนทรีตเมนต์ที่ทำการศึกษา $i = 1, 2, 3, \dots, k$
 τ_i คืออิทธิพลของทรีตเมนต์ที่ i (Treatment Effect) จากข้อสมมติเบื้องต้นที่กำหนดให้ $\sum_{i=1}^k \tau_i = 0$ โดยที่ $\tau_i = \mu_i - \mu$ ดังนั้น $\sum_{i=1}^k (\mu_i - \mu) = 0$
 μ_i คือค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่ i
 μ คือค่าเฉลี่ยรวม
 σ^2 คือความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนภายในแต่ละกลุ่มของประชากร

เกณฑ์การพิจารณาระดับความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์ สำหรับค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์สำหรับอิทธิพลของทรีตเมนต์ (λ) ใช้เกณฑ์ของ Games et al. ที่เสนอในปี 1972 ดังนี้

- 1) เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์มีความแตกต่างกันน้อย ค่า λ มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 1.5)$

2) เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์มีความแตกต่างกันปานกลาง ค่า λ มีค่าอยู่ระหว่าง

[1.5,3.0)

3) เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์มีความแตกต่างกันมาก ค่า λ มีค่ามากกว่า 3.0

5. ความแตกต่างของความแปรปรวน

ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนที่กำหนดตามค่าอนเซนทริลิตี้พารามิเตอร์สำหรับความแปรปรวน (ϕ) จะได้อัตราส่วนของความแปรปรวนที่ทำให้ความแปรปรวนในแต่ละกลุ่มของประชากรมีความแตกต่างกัน แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข คำนวณได้จากสูตร

$$\phi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\sigma_i^2 - \bar{\sigma}^2)^2 / k}{\sigma_1^2}}$$

เมื่อ σ_i^2 คือค่าความแปรปรวนของประชากรที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, k$

$\bar{\sigma}^2$ คือค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนของประชากร k กลุ่ม

σ_1^2 คือค่าความแปรปรวนของประชากรที่มีค่าต่ำสุด

k คือจำนวนทริตเมนต์

เกณฑ์การพิจารณาระดับความแตกต่างของความแปรปรวน สำหรับค่าอนเซนทริลิตี้พารามิเตอร์สำหรับความแปรปรวน (ϕ) ใช้เกณฑ์ของ Games et al. ดังนี้

- 1) ความแปรปรวนของประชากรมีความแตกต่างกันน้อย ถ้า $0 < \phi < 1.5$
- 2) ความแปรปรวนของประชากรมีความแตกต่างกันปานกลาง ถ้า $1.5 \leq \phi < 3.0$
- 3) ความแปรปรวนของประชากรมีความแตกต่างกันมาก ถ้า $\phi \geq 3.0$

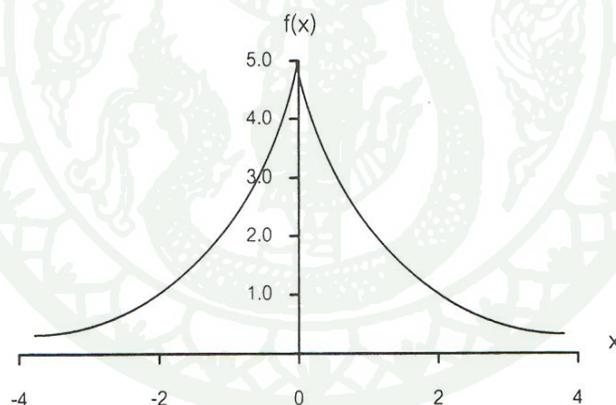
6. การแจกแจงของค่าคลาดเคลื่อน

6.1 การแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล

กำหนดให้ X เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล (Double Exponential Distribution) หรือแบบลาปลาซ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ X เป็นดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{2\beta} e^{-\frac{|x-\theta|}{\beta}} \quad -\infty < x < \infty, -\infty < \theta < \infty, \beta > 0$$

กราฟของฟังก์ชันที่มีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์ $\theta=0$ และ $\beta=1$ (จิริชย์, 2548) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงกราฟของฟังก์ชันที่มีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์ $\theta=0$ และ $\beta=1$

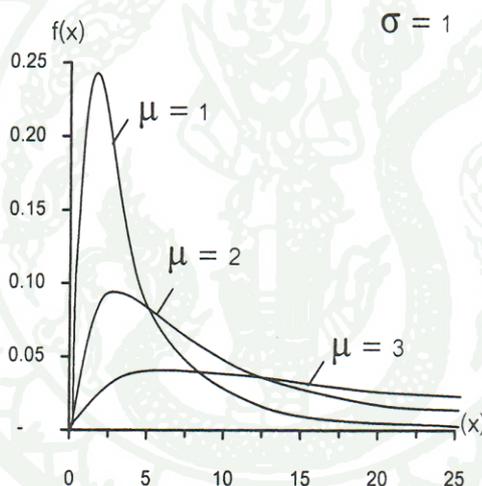
ถ้า X มีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพารามิเตอร์ θ และ β จะได้ $E(x) = \theta$ และ $V(x) = 2\beta^2$ ยกตัวอย่างข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบนี้ เช่น ข้อมูลทางด้านการบิน การนำทาง การประมวลผลของจอภาพ

6.2. การแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล

ถ้า X เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล (Log-normal Distribution) ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ X เป็นดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2} \quad x > 0, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$$

กราฟของฟังก์ชันที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล ที่มีพารามิเตอร์ μ และ $\sigma = 1$ (จิรัชย์, 2548) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงกราฟของฟังก์ชันที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล ที่มีพารามิเตอร์ $\sigma = 1$ และ μ ใดๆ

ถ้า X มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล ที่มีพารามิเตอร์ μ และ σ^2 จะได้

$$E(x) = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} \quad \text{และ} \quad V(x) = e^{2(\mu + \sigma^2)} - e^{2\mu + \sigma^2} \quad \text{หรือ} \quad E(\ln x) = \mu \quad \text{และ} \quad V(\ln x) = \sigma^2$$

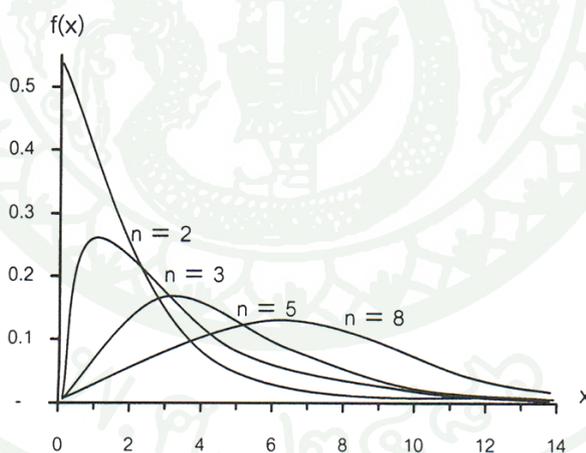
ยกตัวอย่างข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบนี้ เช่น ข้อมูลทางการแพทย์ ข้อมูลน้ำหนักของผู้ใหญ่ ความเข้มข้นของแร่ธาตุ

6.3. การแจกแจงแบบไคสแควร์

การแจกแจงแบบไคสแควร์ (Chi-Square Distribution) เป็นกรณีหนึ่งของการแจกแจงแบบแกมมา ที่ $\alpha = \frac{n}{2}$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวก และ $\beta = 2$ ถ้า X เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบไคสแควร์ที่มีพารามิเตอร์ n คือ จำนวนองศาความเป็นอิสระ เขียนแทนด้วย $X \sim \chi^2(n)$ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ X เป็นดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right) 2^{\frac{n}{2}}} x^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}}, \quad x > 0$$

ถ้า X มีการแจกแจงแบบไคสแควร์ ที่มีพารามิเตอร์ n จะได้ $E(x) = n$ และ $V(x) = 2n$ กราฟของฟังก์ชันที่มีการแจกแจงแบบไคสแควร์จะมีลักษณะเป็นว่า ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ n (จิรัชย์, 2548) ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงกราฟของฟังก์ชันที่มีการแจกแจงแบบไคสแควร์ ที่มีพารามิเตอร์ n

7. เกณฑ์การเปรียบเทียบวิธีการทางสถิติ

7.1. ค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I Error) คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) เมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง

ค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 กำหนดโดยนำจำนวนครั้งที่ปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริงหารด้วยจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง เรียกความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ว่า ระดับนัยสำคัญ (Level of Significance) นั่นคือ

$$P(\text{Type I error}) = P(\text{Re ject } H_0 | H_0 \text{ true}) = \alpha$$

เกณฑ์ในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ใช้เกณฑ์ของ Cochran คือวิธีการทางสถิติสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 อยู่ในช่วง [0.035, 0.075]

7.2. อำนาจการทดสอบ (Power of the Test) คือ ความน่าจะเป็นที่ปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักเป็นเท็จ นั่นคือ

$$1 - \beta = P(\text{Re ject } H_0 | H_0 \text{ false})$$

ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ กำหนดโดยนำจำนวนครั้งที่ปฏิเสธหลัก (H_0) เมื่อสมมติฐานรอง (H_1) เป็นจริงหารด้วยจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง

เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบ คือวิธีการทางสถิติใดให้ค่าประมาณอำนาจการทดสอบสูงแสดงว่าเป็นวิธีการทางสถิติที่ดี

ส่วนที่ 2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีดังนี้

Sheeber *et al.* (1996) ได้ศึกษาเทคนิคสำหรับตรวจสอบอิทธิพลของทรีดเมนต์ของแผนการทดลองแบบที่มีการวัดก่อน-หลังด้วยวิธีวิเคราะห์ 5 วิธี คือวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลอง วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าผลต่างของค่าหลังการทดลองกับค่าก่อนการทดลอง วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีการวัดซ้ำ 2 วิธี คือวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสปลิต-พลอต (Split-Plot ANOVA) กับวิธี Profile Analysis และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าหลังการทดลองที่ใช้ค่าก่อนทดลองเป็นตัวแปรร่วม ทำการศึกษาภายใต้ข้อสมมติเบื้องต้นของแต่ละวิธีวิเคราะห์ เพื่อหาวิธีที่ให้ค่าอำนาจการทดลองสูงที่สุด และพิจารณาลักษณะ

ข้อมูลที่เหมาะสมกับแต่ละวิธีวิเคราะห์ ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลค่าความดันอากาศจำนวน 38 หน่วยทดลอง พบว่า วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลองเหมาะสมกับข้อมูลที่มีการวัดค่าเพียงครั้งเดียวและประชากรแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน แต่ถ้าประชากรมีความแตกต่างกันจะให้ผลในการทดสอบผิดพลาดเพราะเป็นวิธีที่ไม่นำค่าก่อนการทดลองมาช่วยในการลดความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าผลต่างของค่าหลังการทดลองกับค่าก่อนการทดลอง เป็นวิธีทดสอบสมมติฐานให้ผลการทดสอบที่แตกต่างจากวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลอง คือความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าผลต่างขึ้นอยู่กับว่าค่าผลต่างมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ นั่นคือ ค่าผลต่างต้องเป็นอิสระจากกันและมีการแจกแจงแบบปกติที่ความแปรปรวนแต่ละกลุ่มของประชากรมีค่าเท่ากัน และพบว่าถ้าขนาดตัวอย่างในแต่ละกลุ่มมีจำนวนเท่ากันวิธีนี้จะให้อำนาจการทดสอบสูงกว่ากรณีขนาดตัวอย่างไม่เท่ากันและพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็กจะพบว่าค่าความแปรปรวนมีค่ามาก วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีการวัดซ้ำแยกศึกษา 2 วิธี คือวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสปลิต-พลอท สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับตัวแปรตัวเดียว (Univariate Analysis) และวิธี Profile Analysis สำหรับการวิเคราะห์พหุตัวแปร (Multivariate Analysis) พบว่า เมื่อทำการวัดค่าเป็น 2 ช่วงเวลา ค่าสถิติ F ที่คำนวณได้จากวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสปลิต-พลอทมีค่าเท่ากับที่คำนวณได้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าผลต่าง สำหรับวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าหลังการทดลองที่ใช้ค่าก่อนทดลองเป็นตัวแปรร่วมให้อำนาจการทดสอบสูงขึ้นเมื่อข้อมูลที่ทำการศึกษาทดสอบมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างค่าหลังที่เป็นค่าตัวแปรผลตอบสนองและค่าก่อนการทดลองที่เป็นตัวแปรร่วมมีความสัมพันธ์กันในแบบเส้นตรงและเป็นอิสระจากกัน และถ้าความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อนและหลังการทดลองใกล้เคียงแบบเส้นตรง ค่าสถิติ F ที่คำนวณได้จากวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมให้ค่าใกล้เคียงกัน แต่วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนให้อำนาจการทดสอบน้อยกว่าและให้อำนาจการทดสอบเพิ่มขึ้นเมื่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อนและหลังการทดลองลดลง

Bonate (2000) ทำการศึกษาวิธีวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับแผนการทดลองที่มีการวัดค่าก่อน-หลังการทดลองด้วยวิธีวิเคราะห์ทั้งหมด 11 วิธี โดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลในการจำลองข้อมูลเพื่อดำเนินการตรวจสอบอำนาจการทดสอบและอัตราค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I error rate) ภายใต้การแจกแจงทางสถิติแบบต่างๆ ที่ระดับความสัมพันธ์ของค่าก่อนและหลังการทดลองในช่วง 0 ถึง 0.95 เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 และจำนวนทรีตเมนต์ที่ทำการศึกษาเท่ากับ 3 กำหนดให้หน่วยทดลองถูกแทรกแซงจากอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่กำหนดตามค่าอิทธิพลของขนาด

(Effect Size: τ) 4 ระดับ คือ 0, 1.0, 1.5 และ 2.0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า 1) เมื่อระดับความสัมพันธ์ของค่าก่อนและหลังการทดลองเพิ่มขึ้นวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าก่อนการทดลองเพียงอย่างเดียวให้อัตราการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ลดลง 2) เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อนและหลังการทดลองลดลงค่าอำนาจการทดสอบของวิธี Post-hoc blocking ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ 3) เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อนและหลังการทดลองมีค่าน้อยที่ $p < 0.5$ แบ่งวิธีวิเคราะห์ได้ 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงคือวิธีที่ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม และกลุ่มที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำคือวิธีที่ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนมีการเสนอว่าเมื่อความสัมพันธ์ของค่าก่อนและหลังการทดลองต่ำเข้าใกล้ 0 แนะนำให้ใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลองเพียงอย่างเดียวเพื่อความสะดวกในการอธิบายและสรุปผล และเมื่อขนาดความสัมพันธ์เพิ่มมากขึ้นปรากฏว่าวิธีที่ให้อำนาจการทดสอบสูงกว่าวิธีอื่นคือวิธีที่ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

Gliner *et al.* (2003) ทำการศึกษาวิธีวิเคราะห์ข้อมูลของแผนการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง โดยแยกการศึกษาเป็น 2 แบบ คือกรณีที่จำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 2 ศึกษาด้วยวิธีสถิติพารามตริก 5 วิธี ได้แก่ 1) วิธีวิเคราะห์ข้อมูลจากค่าก่อนและค่าหลังภายในแต่ละกลุ่มซึ่งวิธีนี้ไม่สามารถแยกความแตกต่างของทั้งสองกลุ่มประชากรได้ 2) วิธีวิเคราะห์ข้อมูลของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองแยกจากกันทำโดยการเปรียบเทียบค่าก่อนการทดลองของ 2 กลุ่มและเปรียบเทียบค่าหลังการทดลองของ 2 กลุ่ม พบว่าถ้าค่าก่อนการทดลองไม่แตกต่างกันวิธีนี้ให้ผลเหมือนวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลองเพียงอย่างเดียวแต่จะให้อำนาจการทดสอบน้อยกว่าวิธีอื่น 3) วิธีวิเคราะห์จากค่าผลต่างเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม โดยใช้ค่าผลต่างของค่าก่อนและหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มเป็นค่าตัวแปรผลตอบสนองนำไปวิเคราะห์ด้วยตัวสถิติ t เพื่อทดสอบความแตกต่างของทรีตเมนต์เป็นวิธีที่ควรใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลที่มีถูกต้องและเหมือนกันสำหรับการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการทดลองเพื่อสนับสนุนผลการทดสอบให้น่าเชื่อถือยิ่งขึ้น 4) วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบผสม (Mixed Analysis of variance) วิธีนี้คำนวณค่าสถิติ F ที่แตกต่างกัน 3 ค่า คือค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ค่าที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงระหว่างเวลากับเวลา และค่าที่ได้จากอิทธิพลระหว่างทรีตเมนต์กับเวลา ซึ่งค่า F ที่ได้จากอิทธิพลระหว่างทรีตเมนต์กับเวลามีค่าเท่ากับสถิติทดสอบ t ที่ได้จากค่าผลต่าง ซึ่งผู้ทำการศึกษาไม่แนะนำให้ใช้วิธีนี้ในการทดสอบ 5) วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมเป็นวิธีที่นิยมใช้ในงานวิจัยเพราะเป็นวิธีที่ช่วยลดความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน โดยใช้ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วมเพื่อลดความแตกต่างของหน่วยทดลอง วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจะให้อำนาจการทดสอบสูงกว่าวิธีอื่นถ้า

ข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้น คือความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อนและหลังการทดลองต้องเป็นแบบเส้นตรง ความชันของสมการการถดถอยของค่าก่อนและหลังการทดลองที่สัมพันธ์กันแต่ค่าต้องมีค่าเท่ากัน กรณีที่จำนวนทริตเมนต์มากกว่า 2 ทริตเมนต์ ผู้ศึกษาแนะนำ 3 วิธี คือวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลอง วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าผลต่างของค่าก่อนและหลังการทดลอง และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม โดยเปลี่ยนจากตัวสถิติทดสอบ t เป็นตัวสถิติทดสอบ F และแนะนำทางเลือกสำหรับข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อสมมติเบื้องต้น เช่น เรื่องการแจกแจงของข้อมูลที่ไม่เป็นการแจกแจงแบบปกติ เสนอให้ใช้สถิตินอนพารามетริกโดยใช้ค่าผลต่างของค่าก่อนและหลังการทดลองเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ด้วย ได้แก่ ตัวทดสอบสถิติ Mann-Whitney U สำหรับแบบ 2 ทริตเมนต์ และวิธีทดสอบครัสคัล-วัลลิส สำหรับแบบที่มีมากกว่า 2 ทริตเมนต์

Jarmieson (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลก่อนและหลังการทดลอง โดยศึกษาวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม 2 แบบ คือวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าหลังการทดลอง โดยใช้ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าผลต่างของค่าก่อนและหลังการทดลองโดยใช้ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม โดยใช้การสร้างสถานการณ์จำลองจากโปรแกรม SAS เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 2 และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 25 โดยสร้างสถานการณ์ทั้งหมด 12 สถานการณ์ทำซ้ำ 1,000 รอบ ทำการศึกษากรณีที่ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนเท่ากันด้วยความแปรปรวนขนาดต่างๆ จากผลการศึกษาผู้วิจัยสรุปว่าไม่มีข้อดีที่จะใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าผลต่างของค่าก่อนและหลังการทดลองเหนือวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าหลังการทดลองโดยใช้ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม

มานพ (2541) การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากร 3 และ 5 กลุ่ม ได้แก่ ตัวสถิติทดสอบเอฟ (F) ตัวสถิติทดสอบครัสคัล-วัลลิส (KW) ตัวสถิติทดสอบนอร์มอลสกออร์ (NS) และตัวสถิติทดสอบแบบตัดแปลงอย่างต่อเนื่อง (CA) เมื่อสุ่มตัวอย่างมาจากประชากรที่มีการแจกแจงเหมือนกัน ได้แก่ การแจกแจงแลมดาของคูร์กการแจกแจงปกติ การแจกแจงแกมมา และการแจกแจงล็อกนอร์มอล ขนาดของตัวอย่างที่กำหนดเท่ากันและเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01, 0.05 และ 0.10 ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โลกระทำซ้ำ 1,000 ครั้งในแต่ละกรณี พิจารณาอำนาจการทดสอบสรุปได้ดังนี้ กรณีประชากรมีการแจกแจงปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ตัวสถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด และที่

ระดับนัยสำคัญ 0.10 ตัวสถิติทดสอบนอร์มอลสกออร์มีอำนาจการทดสอบสูงสุด กรณีการแจกแจงของประชากรไม่ใช่แบบปกติ โดยทั่วไปตัวสถิติทดสอบครัสคัล-วัลลิสมีอำนาจการทดสอบสูงสุด ยกเว้นกรณีความเบ้อยู่ระหว่าง 0.0 - 0.5 และความโด่งอยู่ในระดับต่ำและปานกลาง พบว่าตัวสถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงกว่า เมื่อ $n < 10$ ตัวสถิติทดสอบนอร์มอลสกออร์มีอำนาจการทดสอบสูงกว่าตัวสถิติอื่น เมื่อ $n > 10$ ค่าอำนาจการทดสอบจะแปรผันตามความเบ้ ความโด่ง จำนวนกลุ่มตัวอย่าง ขนาดตัวอย่าง และระดับนัยสำคัญ โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย

สุพรรณิ (2549) ได้ศึกษาวิธีวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง ทำการศึกษากรณีข้อมูลมีสมบัติตามข้อกำหนดในการวิเคราะห์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม โดยทำการศึกษาวิธีวิเคราะห์ 7 วิธี ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม จากค่าวัดหลังการทดลอง จากค่าผลต่างของค่าวัดหลังทดลองกับค่าก่อนทดลอง และจากค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง ที่ใช้ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าวัดหลังการทดลอง จากค่าผลต่าง จากค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงและจากค่าเศษตกค้าง โดยใช้ข้อมูลจากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ใช้เกณฑ์ความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบ พบว่าทุกวิธีสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ดีและมีค่าอำนาจการทดสอบสูงโดยเฉพาะเมื่อขนาดตัวอย่างใหญ่ขึ้น และค่าสหสัมพันธ์เพิ่มขึ้น ยกเว้นวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าวัดหลังทดลองที่ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ตามระดับนัยสำคัญที่กำหนด และมีอำนาจการทดสอบน้อยลงเมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพิ่มมากขึ้น กรณีขนาดตัวอย่างเล็ก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่ามากใช้ได้ทุกวิธียกเว้นวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าวัดหลังทดลอง เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าน้อยวิธีที่เหมาะสม คือการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าวัดหลังทดลอง กรณีขนาดตัวอย่างใหญ่สามารถใช้วิธีใดก็ได้ผู้วิจัยควรเลือกวิธีที่ง่ายและสะดวก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Statistical Analysis System (SAS) รุ่น 9.1

วิธีการ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลจากการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อหาวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง แยกตามกรณีศึกษา มีขั้นตอนดังนี้

1. กรณีข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ คือค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ความสัมพันธ์ของค่าก่อนกับค่าหลังการทดลองเป็นแบบเส้นตรง และความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าก่อนและหลังการทดลองมีค่าเท่ากัน

1.1. จำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ดังนี้

- 1.1.1. กำหนดจำนวนทริตเมนต์ที่ทำการศึกษาคู่กับ 3 และ 5 ทริตเมนต์

- 1.1.2. กำหนดขนาดตัวอย่างที่ทำการศึกษามีค่าเท่ากันและเท่ากับ 10 ทุกทริตเมนต์

- 1.1.3. สร้างตัวแปรสุ่มตามวิธีการของ Box และ Muller ที่เสนอในปี 1958 (Bonate, 2000) โดยสร้างตัวแปรสุ่มพร้อมกันและเป็นอิสระจากกัน 2 ค่า คือตัวแปรสุ่ม X และ W ให้มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1 ตามฟังก์ชันของรูปแบบในโปรแกรม SAS คือ $X = \mu + \sigma * \text{rannor}(\text{seed})$ และ $W = \mu + \sigma * \text{rannor}(\text{seed})$ จะได้ $X \sim N(0,1)$ และ $W \sim N(0,1)$

1.1.4. สร้างตัวแปรสุ่ม Y ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรสุ่ม X ตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระดับต่างๆด้วยวิธีการของ Mooney ที่เสนอในปี 1997 ตามรูปแบบ

$$Y = \rho X + W \sqrt{1-\rho^2}$$

เมื่อ ρ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าหลังการทดลอง (Y) กับค่าก่อนการทดลอง (X) ทำการศึกษาที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.2, 0.5 และ 0.9 จะได้ตัวแปรสุ่ม X และตัวแปรสุ่ม Y มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตามกำหนดและมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ 1

1.1.5. สร้างค่าคลาดเคลื่อนสุ่มของค่าก่อนการทดลอง (X') ให้มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50 ความแปรปรวนเท่ากับ 100 โดยใช้ฟังก์ชันตามรูปแบบของโปรแกรม SAS คือ $X' = 50 + (X * 10)$

1.1.6. กำหนดระดับความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์ตามค่านอนเซน-ทรัลลิตีพารามิเตอร์สำหรับอิทธิพลของทรีตเมนต์ (λ) แยกเป็น 2 กรณีดังนี้

1) กรณีหน่วยทดลองไม่ได้รับอิทธิพลของทรีตเมนต์ กำหนดให้ค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์มีค่าเท่ากันเท่ากับ 70

2) กรณีหน่วยทดลองได้รับอิทธิพลของทรีตเมนต์ กำหนดอิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 แสดงในตารางผนวกที่ ก1 - ก2

1.1.7. สร้างความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองให้มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยของเท่ากับ 70 และได้รับอิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ (Treatment Effect: τ_i) ที่แตกต่างกัน ความแปรปรวนเท่ากับ 100 โดยใช้ฟังก์ชันตามรูปแบบของโปรแกรม SAS คือ $Y' = (70 + \tau_i) + (Y * 10)$

1.2. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง ด้วยวิธีวิเคราะห์ทั้ง 8 วิธีดังนี้

1.2.1. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลอง

1.2.2. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าผลต่าง

1.2.3. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่ปรับปรุง

ใหม่

1.2.4. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าเศษตกค้าง

1.2.5. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าล็อกของอัตราส่วนของค่าหลังการทดลองกับค่าก่อนการทดลอง

1.2.6. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมโดยใช้ค่าก่อนทดลองเป็นตัวแปรร่วม

1.2.7. วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูลก่อนและหลังการทดลอง

1.2.8. การทดสอบของ Quade

ทำการทดลองซ้ำในแต่ละสถานการณ์ที่ศึกษาจำนวน 1,000 ครั้ง

1.3. คำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และค่าประมาณอำนาจการทดสอบ

1.3.1. กรณีสมมติฐานหลักเป็นจริง คำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 โดยนับจำนวนครั้งที่ปฏิเสธสมมติฐานหลักหารด้วยจำนวนครั้งของการทดลอง นำค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เทียบกับเกณฑ์ของ Cochran ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่อธิบายในส่วนของ การตรวจเอกสาร

1.3.2. กรณีสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง คำนวณค่าประมาณอำนาจการทดสอบ โดยนับจำนวนครั้งที่ปฏิเสธสมมติฐานหลักหารด้วยจำนวนครั้งของการทดลอง

1.4. พิจารณาความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ สรุปผลการศึกษา

2. กรณีข้อมูลมีสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ เรื่องการเท่ากันของความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของประชากรในแต่ละกลุ่ม

2.1. จำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลตามขั้นตอนการจำลองข้อมูลในกรณีที่ 1 กำหนดความแปรปรวนของแต่ละทรีตเมนต์ตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์สำหรับความแปรปรวน (ϕ) เพื่อสร้างค่าคลาดเคลื่อนสุ่มของค่าหลังการทดลองให้มีการแจกแจงแบบปกติที่มีความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์ตามอัตราส่วนความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 1 และกรณีสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง กำหนดอิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ให้หน่วยทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ ก3 - ก4 จะได้รูปแบบข้อมูลตามแผนการทดลองที่มีการวัดค่าก่อน-หลังที่ค่าก่อนการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50 ความแปรปรวนแตกต่างกันตามกำหนด และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าหลังการทดลองตามที่กำหนด เมื่อค่าหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยแต่ละทรีตเมนต์ (μ_i) ตามกำหนด และความแปรปรวนของแต่ละทรีตเมนต์แตกต่างกันตามกำหนด

2.2. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง ด้วยวิธีวิเคราะห์ทั้ง 8 วิธี

2.3. คำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบ สรุปผลการศึกษา

3. กรณีข้อมูลมีสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ เรื่องค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลมีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ

3.1. สร้างค่าก่อนและค่าหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบเดียวกันต่างๆ ดังนี้

3.1.1. สร้างข้อมูลให้มีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์ α (Alpha) = 50 และ β (Beta) = 7 โดยใช้ฟังก์ชันตามรูปแบบของโปรแกรม SAS คือ $X = \alpha - \beta * \text{sign}(\text{ranuni}(\text{seed}) * \log(1 - 2 * \text{abs}(a * \text{ranuni}(\text{seed}) + b))$ และ $W = \alpha - \beta * \text{sign}(\text{ranuni}(\text{seed}) * \log(1 - 2 * \text{abs}(a * \text{ranuni}(\text{seed}) + b))$ กำหนดให้ $a = 1$ และ $b = -0.5$

3.1.2. สร้างข้อมูลให้มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล ที่มีพารามิเตอร์ $\mu = 1$ และ $\sigma = 1$ โดยใช้ฟังก์ชันตามรูปแบบของโปรแกรม SAS คือ $X = \exp(\mu + \text{sqrt}(\sigma^2) * (\text{rannor}(\text{seed})))$ และ $W = \exp(\mu + \text{sqrt}(\sigma^2) * (\text{rannor}(\text{seed})))$

3.1.3. สร้างข้อมูลให้มีการแจกแจงแบบไคสแควร์ ที่มีพารามิเตอร์ จำนวนองศาความเป็นอิสระ (n) เท่ากับ 3 โดยใช้ฟังก์ชันตามรูปแบบของโปรแกรม SAS คือ $X = \text{CInv}(\text{Ranuni}(\text{seed}), n)$ และ $W = \text{CInv}(\text{Ranuni}(\text{seed}), n)$

3.2. สร้างตัวแปรสุ่ม Y ที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรสุ่ม X ตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระดับต่างๆด้วยวิธีการของ Mooney ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.2, 0.5 และ 0.9

3.3. กรณีหน่วยทดลองถูกแทรกแซงจากอิทธิพลของทรีตเมนต์ ปรับค่าหลังการทดลองโดยเพิ่มอิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ (τ_i) ตามรูปแบบ $Y' = Y + \tau_i$ กำหนดอิทธิพลของแต่ละ ทรีตเมนต์สำหรับแต่ละการแจกแจงแสดงในภาคผนวก ก เมื่อมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์-โพเนนเชียลแสดงในตารางผนวกที่ ก5 - ก6 เมื่อมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลแสดงในตารางผนวกที่ ก7 - ก8 และเมื่อมีการแจกแจงแบบไคสแควร์แสดงในตารางผนวกที่ ก9 - ก10 ตามลำดับ

จะได้ค่า X คือค่าก่อนการทดลอง และค่า Y' คือค่าหลังการทดลองที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าก่อนการทดลองและมีการแจกแจงดังที่กำหนด

3.4. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการจำลองข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ทั้ง 8 วิธี

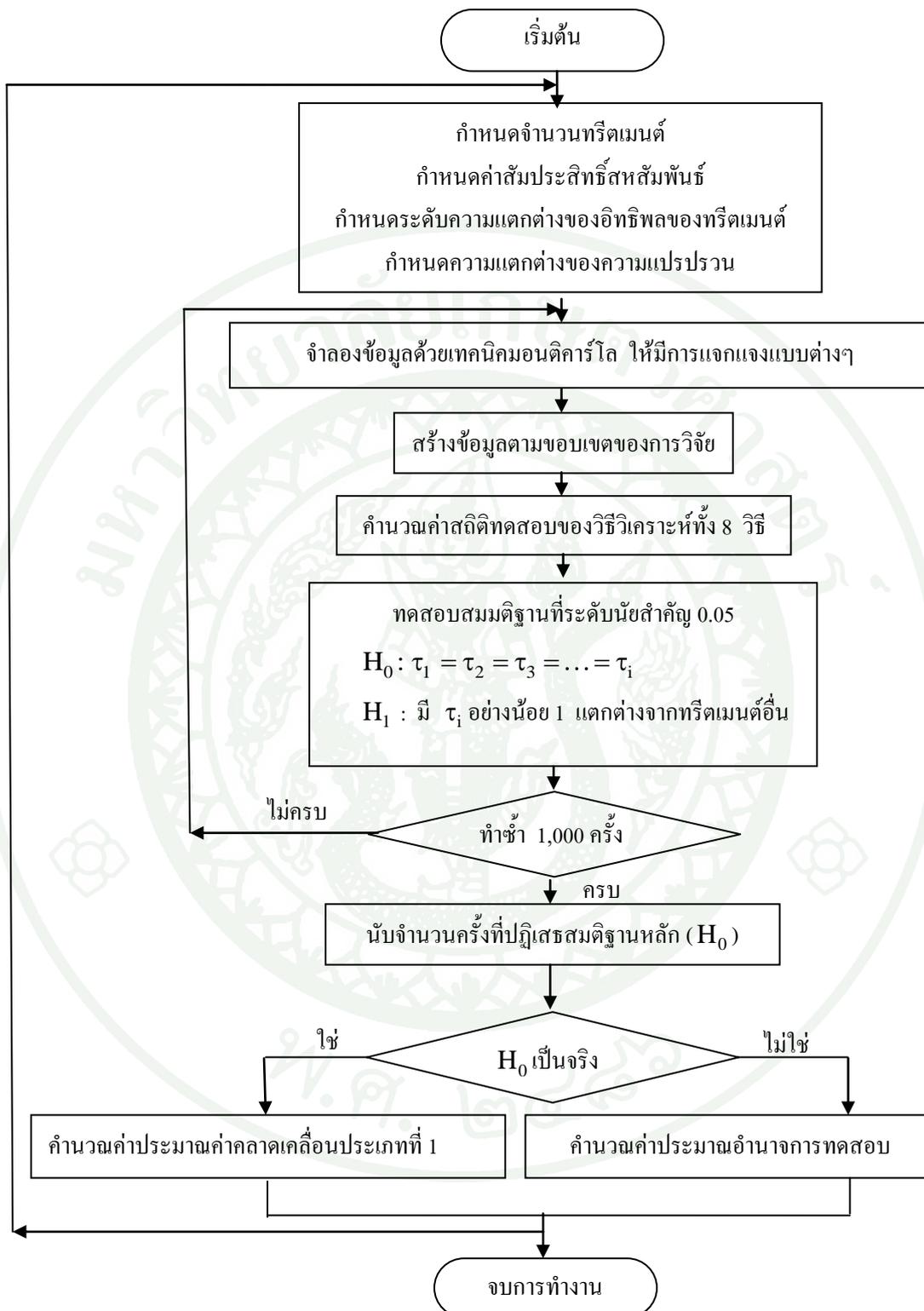
3.5. คำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และ
ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบ สรุปผลการศึกษา

จากวิธีการดำเนินการทั้ง 3 กรณีศึกษา สรุปเป็นผังงานดังแสดงในภาพที่ 4

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

ทำการวิจัยที่ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ใช้ระยะเวลาใน
การวิจัยตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 ถึง เมษายน 2555





ภาพที่ 4 แสดงผังงานในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง ของทั้ง 3 กรณีศึกษา

ผลและวิจารณ์

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง โดยการจำลองข้อมูลภายใต้กรณีข้อมูลมีสมบัติตรงและไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ และทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ทั้ง 8 วิธี แยกเป็นกรณีศึกษา 3 กรณี รวมทั้งสิ้น 168 สถานการณ์ กำหนดให้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ทุกทริตเมนต์ ทำการทดลองซ้ำในแต่ละสถานการณ์จำนวน 1,000 ครั้ง ผลการศึกษาครั้งนี้จะนำเสนอในรูปแบบตารางและกราฟ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

1. ความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 โดยพิจารณาจากค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ตามเกณฑ์ของ Cochran เมื่อวิธีการทางสถิติใดมีค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 อยู่ในช่วง $[0.035, 0.075]$ จะสรุปว่า วิธีการทางสถิตินั้นสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ศึกษาอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ โดยพิจารณาว่าวิธีการทางสถิติใดให้ค่าอำนาจการทดสอบมากกว่า 0.8 เป็นวิธีที่นำมาพิจารณาว่าเป็นวิธีการทางสถิติที่ดี ทั้งนี้ค่าประมาณอำนาจการทดสอบของทุกวิธีวิเคราะห์นำเสนอในรูปแบบตารางและกราฟ

3. พิจารณาหาวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจว่าวิธีการทางสถิติใดเหมาะสมกับข้อมูลจะพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และค่าอำนาจการทดสอบที่เกิน 0.8

สำหรับการนำเสนอในรูปแบบตารางและกราฟ ใช้สัญลักษณ์แทนความหมายต่างๆ ดังนี้

Y หมายถึงวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลอง

D หมายถึงวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าผลต่างจากค่าผลต่างของค่าหลังกับค่าก่อนการทดลอง

MPC หมายถึงวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่ปรับปรุงใหม่

LT หมายถึงวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของค่าหลังการทดลองกับค่าก่อนการทดลอง

RES หมายถึงวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าเศษตกค้าง

Y/X หมายถึงวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมโดยใช้ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม

RY/RX หมายถึงวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากอันดับของค่าหลังการทดลองโดยใช้อันดับของค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม

Quade Test หมายถึงการทดสอบของ Quade

“*” หมายถึงวิธีวิเคราะห์ที่ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

■ หมายถึงวิธีวิเคราะห์นั้นมามีค่าอำนาจการทดสอบต่ำกว่า 0.8

1. ความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

กรณีสมมติฐานหลักของการทดสอบเป็นจริง พิจารณาความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4 – 9 เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ที่ระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่าก่อนและหลังการทดลองเป็นไปตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 3 ระดับ ได้แก่ 0.2, 0.5 และ 0.9 ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 42 สถานการณ์

ตารางที่ 4 แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าก่อนและหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากัน ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จำนวนทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade Test
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
3	0.2	0.044	0.048	0.050	0.047	0.046	0.045	0.048	0.048
	0.5	0.045	0.041	0.048	0.050	0.046	0.045	0.044	0.047
	0.9	0.055	0.044	0.046	0.046	0.046	0.045	0.045	0.044
5	0.2	0.041	0.036	0.040	0.040	0.039	0.038	0.042	0.040
	0.5	0.040	0.035	0.045	0.043	0.039	0.038	0.042	0.043
	0.9	0.056	0.036	0.046	0.045	0.039	0.038	0.046	0.045

ตารางที่ 5 แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากันตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ (อัตราส่วนของความแปรปรวน)	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade Test
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
0.2887 (2.0: 2.5: 3.0)	0.2	0.041	0.047	0.049	0.047	0.045	0.044	0.047	0.042
	0.5	0.044	0.045	0.047	0.046	0.046	0.044	0.042	0.047
	0.9	0.060	0.049	0.041	0.040	0.045	0.046	0.044	0.043
1.7321 (2.0: 5.0: 8.0)	0.2	0.050	0.048	0.056	0.053	0.048	0.051	0.050	0.049
	0.5	0.055	0.053	0.052	0.049	0.052	0.052	0.048	0.049
	0.9	0.063	0.067	0.062	0.063	0.051	0.053	0.067	0.063
3.4641 (2.0: 8.0: 14.0)	0.2	0.055	0.053	0.049	0.053	0.056	0.057	0.058	0.054
	0.5	0.058	0.052	0.049	0.050	0.060	0.059	0.059	0.058
	0.9	0.068	0.076*	0.058	0.069	0.046	0.050	0.088*	0.085*

หมายเหตุ “*” หมายถึง วิธีวิเคราะห์ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 6 แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากันตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ (อัตราส่วนของความแปรปรวน)	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade Test
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
0.2623 (2.0: 2.2: 2.4: 2.8: 3.0)	0.2	0.044	0.035	0.044	0.044	0.041	0.040	0.045	0.046
	0.5	0.046	0.037	0.042	0.043	0.041	0.040	0.050	0.048
	0.9	0.050	0.045	0.047	0.048	0.037	0.038	0.048	0.049
1.7321 (2.0: 5.0: 6.0: 8.0: 9.0)	0.2	0.046	0.049	0.046	0.042	0.047	0.046	0.051	0.054
	0.5	0.053	0.051	0.052	0.056	0.049	0.051	0.057	0.059
	0.9	0.058	0.063	0.055	0.059	0.044	0.046	0.063	0.059
3.4176 (2.0: 3.0: 10.0: 12.0: 14.0)	0.2	0.058	0.058	0.054	0.057	0.059	0.062	0.053	0.058
	0.5	0.065	0.056	0.064	0.070	0.061	0.061	0.061	0.062
	0.9	0.062	0.076*	0.074	0.086*	0.051	0.053	0.084*	0.082*

หมายเหตุ “*” หมายถึง วิธีวิเคราะห์ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 7 แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์ α (Alpha) = 50 และ β (Beta) = 7 ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จำนวนทริตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	Test
3	0.2	0.039	0.038	0.041	0.041	0.038	0.037	0.037	0.036
	0.5	0.038	0.038	0.041	0.041	0.038	0.037	0.041	0.043
	0.9	0.038	0.035	0.041	0.041	0.038	0.037	0.039	0.038
5	0.2	0.040	0.045	0.040	0.039	0.042	0.041	0.042	0.043
	0.5	0.053	0.039	0.040	0.040	0.042	0.041	0.044	0.044
	0.9	0.054	0.037	0.040	0.039	0.042	0.041	0.040	0.040

ตารางที่ 8 แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล ที่มีพารามิเตอร์ $\mu=1$ และ $\sigma=1$ ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จำนวนทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA				ANCOVA		Quade Test	
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X		RY/RX
3	0.2	0.029*	0.044	0.048	0.048	0.036	0.032*	0.040	0.042
	0.5	0.039	0.040	0.052	0.045	0.036	0.032*	0.036	0.037
	0.9	0.038	0.033*	0.043	0.036	0.036	0.032*	0.038	0.038
5	0.2	0.042	0.052	0.040	0.043	0.044	0.045	0.057	0.058
	0.5	0.045	0.048	0.044	0.043	0.044	0.045	0.057	0.057
	0.9	0.049	0.046	0.043	0.040	0.044	0.045	0.059	0.058

หมายเหตุ “*” หมายถึง วิธีวิเคราะห์ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 9 แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ ที่มีพารามิเตอร์ จำนวนองศาความเป็นอิสระ (m) เท่ากับ 3 ที่ความสัมพันธ์ของค่าก่อนและค่าหลังการทดลองระดับต่างๆ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จำนวนทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	Test
3	0.2	0.037	0.053	0.050	0.050	0.043	0.038	0.040	0.045
	0.5	0.040	0.048	0.047	0.051	0.043	0.038	0.044	0.044
	0.9	0.049	0.039	0.052	0.046	0.043	0.038	0.043	0.044
5	0.2	0.037	0.051	0.051	0.049	0.043	0.045	0.043	0.041
	0.5	0.037	0.046	0.053	0.044	0.043	0.045	0.047	0.043
	0.9	0.047	0.043	0.047	0.036	0.043	0.045	0.046	0.044

พิจารณาตามเกณฑ์ของ Cochran เมื่อค่าประมาณความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 อยู่ในช่วง $[0.035, 0.075]$ วิธีการทางสถิติสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ พบว่า วิธีการทางสถิติส่วนใหญ่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ โดยแสดงภาพรวมผลการศึกษาศึกษาความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของวิธีการทางสถิติทั้ง 8 วิธี แสดงในตารางที่ 10 มีรายละเอียดดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ

วิธีการทางสถิติทุกวิธีสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ในทุกกรณีที่ศึกษา ทั้งที่จำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 และที่ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กรณีที่ 2 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มของประชากรมีค่าไม่เท่ากัน

เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 วิธีการทางสถิติทุกวิธีสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันน้อย และปานกลาง แต่เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันมาก วิธีการทางสถิติที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, MPC, LT, RES และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5 วิธีการทางสถิติทุกวิธีสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันน้อย และปานกลาง แต่เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันมาก วิธีการทางสถิติที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, MPC, RES และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

กรณีที่ 3 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติและมีการแจกแจงแบบเดียวกันต่างๆ ดังนี้

3.1 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบคัมเบิร์ตเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพารามิเตอร์ $\alpha(\text{Alpha}) = 50$ และ $\beta(\text{Beta}) = 7$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ในทุกกรณีที่ศึกษาทั้งที่จำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 และที่ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

3.2 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 และความแปรปรวนเท่ากับ 1

เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 วิธีการทางสถิติที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ได้แก่ วิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า MPC, LT, RES วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5 วิธีการทางสถิติทุกวิธีสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกกรณีที่ศึกษา

3.3 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ที่มีจำนวนองศาความเป็นอิสระเท่ากับ 3 วิธีการทางสถิติทุกวิธีสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ในทุกกรณีที่ศึกษาทั้งที่จำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 และที่ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตารางที่ 10 แสดงความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของวิธีการทางสถิติทั้ง 8 วิธี แยกตามกรณีศึกษา

ลักษณะข้อมูล	จำนวน ทรีตเมนต์	ความแตกต่างของ ความแปรปรวนของ ค่าหลังการทดลอง	วิธีวิเคราะห์								
			ANOVA					ANCOVA		Quade Test	
			Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX		
1. เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรง ตามข้อสมมติเบื้องต้น ของตัวสถิติทดสอบ	3	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	5	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2. เมื่อความแปรปรวนของ ค่าคลาดเคลื่อนของค่า หลังการทดลองในแต่ละ กลุ่มมีค่าแตกต่างกัน	3	แตกต่างกันน้อย	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		แตกต่างกันปานกลาง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		แตกต่างกันมาก	✓	S 0.2, 0.5	✓	✓	✓	✓	✓	S 0.2, 0.5	S 0.2, 0.5
	5	แตกต่างกันน้อย	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		แตกต่างกันปานกลาง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		แตกต่างกันมาก	✓	S 0.2, 0.5	✓	S 0.2, 0.5	✓	✓	✓	S 0.2, 0.5	S 0.2, 0.5

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลักษณะข้อมูล	จำนวน ทรีตเมนต์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade Test
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
3.1 เมื่อค่าก่อนและหลังมี การแจกแจงแบบดับเบิ้ล- เอ็กซ์โพเนนเชียล	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.2. เมื่อค่าก่อนและหลังมี การแจกแจงแบบล็อก- นอร์มอล	3	S 0.5, 0.9	S 0.2, 0.5	✓	✓	✓	N	✓	✓
	5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.3. เมื่อค่าก่อนและหลังมี การแจกแจงแบบ ไคสแควร์	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

- หมายเหตุ ✓ หมายถึง วิธีการทางสถิตินั้นสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
- N หมายถึง วิธีการทางสถิตินั้นไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
- S หมายถึง วิธีการทางสถิตินั้นสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ บางค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตามค่าที่แสดง

2. การเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบ

พิจารณาค่าประมาณอำนาจการทดสอบในตารางที่ 11 - 24 และแสดงเป็นภาพไว้ในภาพที่ 5 - 18 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าประมาณอำนาจการทดสอบ ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.2, 0.5 และ 0.9 เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้กำหนดเกณฑ์ว่า วิธีการทางสถิติใดให้ค่าประมาณอำนาจการทดสอบมากกว่า 0.8 เป็นวิธีการทางสถิติที่ดี โดยพิจารณาค่าประมาณอำนาจการทดสอบจากกรณีสมมติฐานหลักของการทดสอบไม่เป็นจริงทั้งหมด 126 สถานการณ์ แยกกรณีศึกษา 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ นั่นคือค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของประชากรในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 11-12 และภาพที่ 5-6 แสดงค่าประมาณอำนาจการทดสอบ และกราฟเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ ที่อิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ ตามค่าอนเซนทรอลลิสต์พารามิเตอร์สำหรับอิทธิพลของทรีตเมนต์ (λ) ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) เท่ากับ 0.2, 0.5 และ 0.9 พบว่า

เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.9037$) เมื่อ $\rho = 0.2$ และ $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำมากและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้ค่าอำนาจการทดสอบจะสูงขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงขึ้น เมื่อค่า $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิวิวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, RES และวิวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.9107$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อค่า $\rho = 0.2$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, RES และวิวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เมื่อค่า $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตาม

เกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade เมื่อค่า $p = 0.9$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดและให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมาก

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันมาก ($\lambda = 4.0537$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดและให้ค่าสูงมากใกล้ 1 ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.8216$) เมื่อ $p = 0.2$ และ $p = 0.5$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้ค่าอำนาจการทดสอบจะสูงขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงขึ้น เมื่อค่า $p = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.9350$) เมื่อค่า $p = 0.2$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, D, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade เมื่อค่า $p = 0.5$ และ $p = 0.9$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด

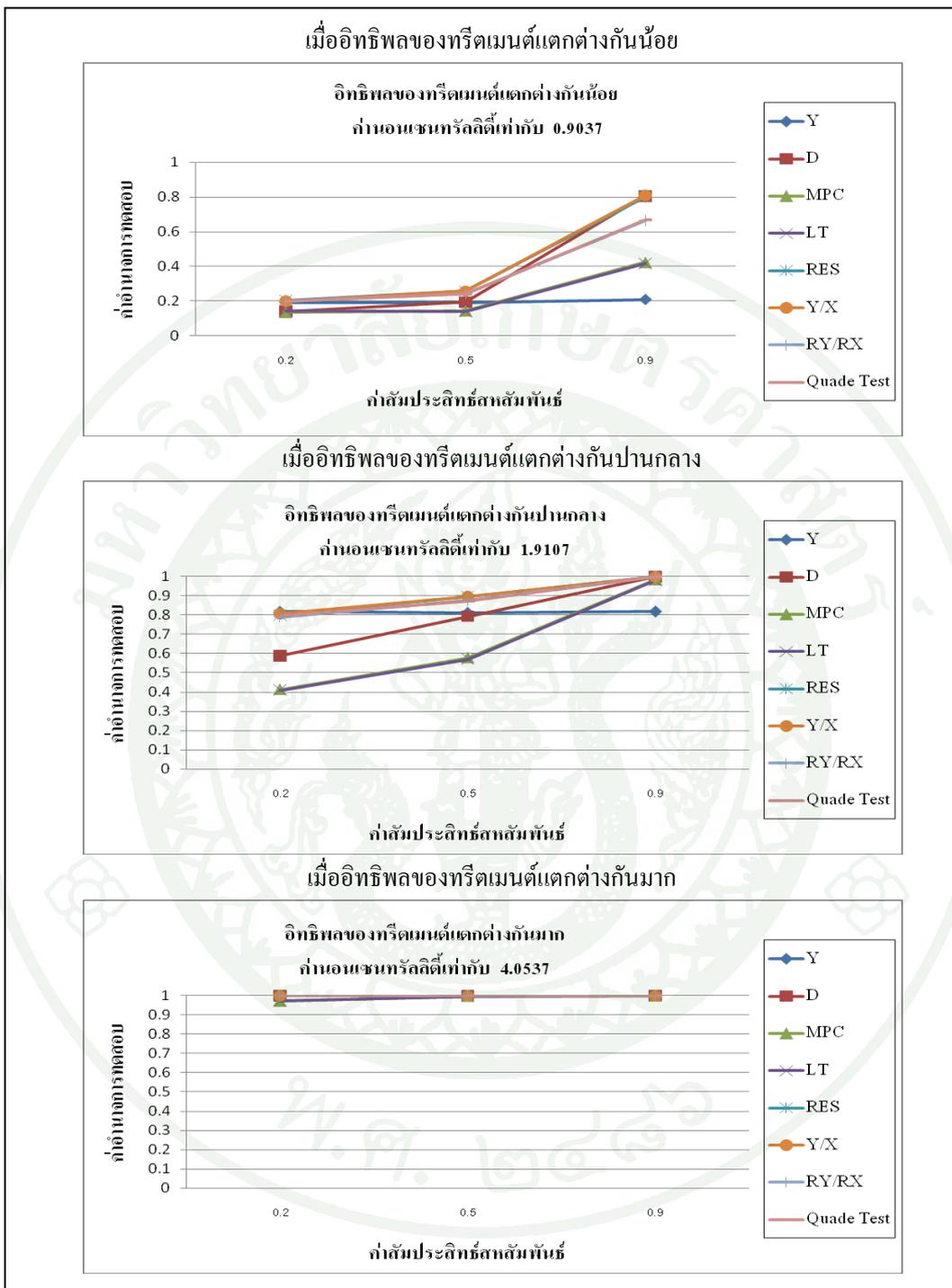
เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันมาก ($\lambda = 3.7213$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดและให้ค่าสูงมากมีค่าเท่ากับ 1 ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตารางที่ 11 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าก่อนและหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากัน ที่อิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3

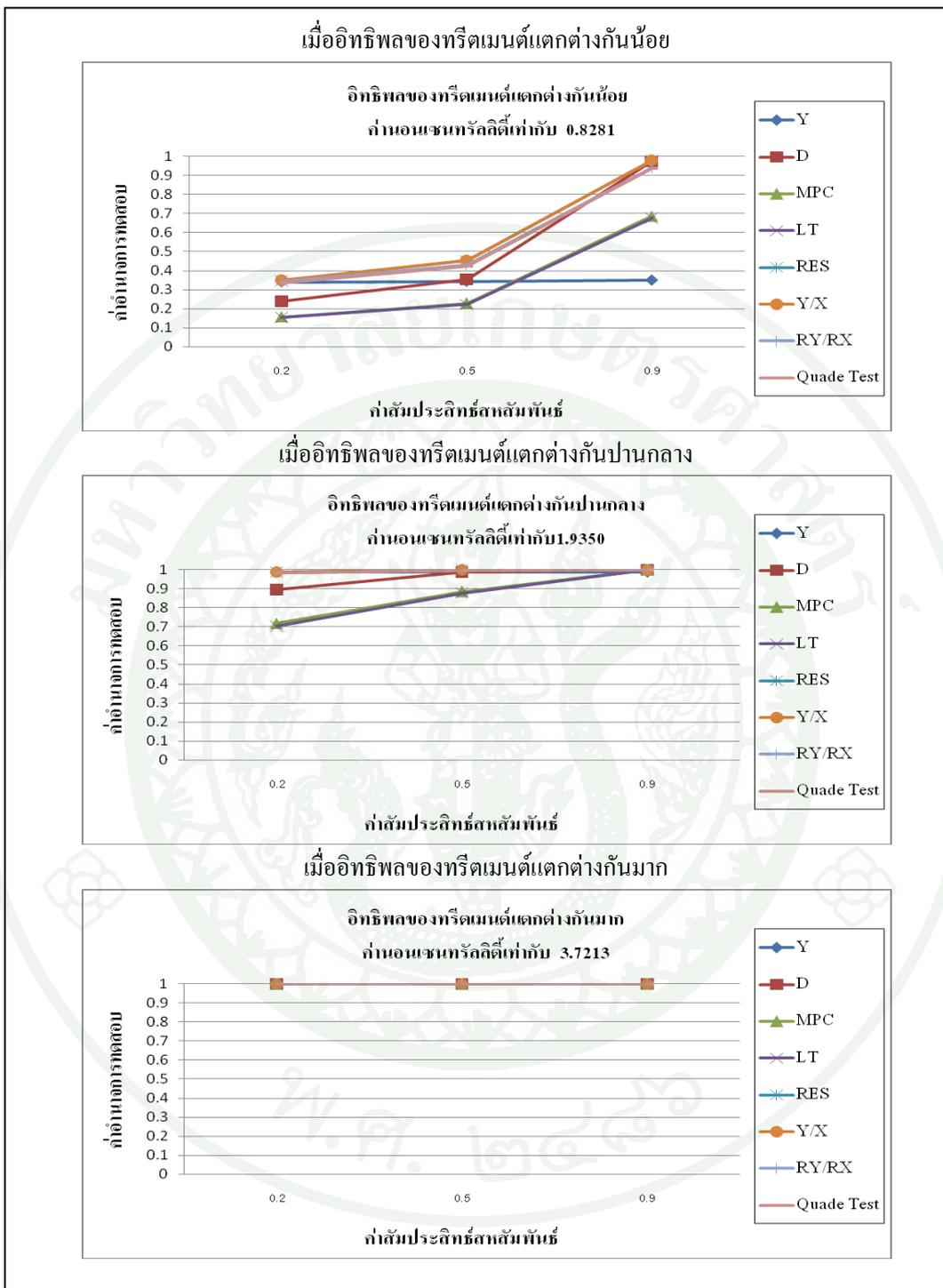
ระดับความแตกต่างของอิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade Test
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	0.192	0.140	0.133	0.144	0.203	0.197	0.197	0.198
	0.5	0.194	0.194	0.142	0.140	0.257	0.256	0.240	0.239
	0.9	0.208	0.807	0.423	0.417	0.801	0.810	0.666	0.670
ปานกลาง	0.2	0.817	0.589	0.413	0.409	0.800	0.807	0.790	0.797
	0.5	0.812	0.794	0.578	0.572	0.895	0.896	0.876	0.874
	0.9	0.818	1	0.984	0.982	0.999	1	1	0.999
มาก	0.2	1	0.999	0.972	0.971	0.999	1	1	0.999
	0.5	1	1	0.997	0.997	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 12 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าก่อนและหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากัน ที่อิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5

ระดับความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade Test
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	0.340	0.238	0.155	0.154	0.346	0.349	0.342	0.336
	0.5	0.342	0.354	0.227	0.222	0.452	0.454	0.429	0.426
	0.9	0.349	0.975	0.687	0.677	0.980	0.980	0.941	0.939
ปานกลาง	0.2	0.989	0.895	0.718	0.702	0.989	0.988	0.986	0.984
	0.5	0.988	0.988	0.886	0.878	0.999	0.999	0.996	0.996
	0.9	0.989	1	1	1	1	1	1	1
มาก	0.2	1	1	1	0.999	1	1	1	1
	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ เมื่อจำนวนทรีดเมนต์เท่ากับ 5

กรณีที่ 2 เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มของประชากรมีค่าไม่เท่ากัน

ตารางที่ 13-15 และภาพที่ 7-9 สำหรับจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 และตารางที่ 16 - 18 และภาพที่ 10 - 12 สำหรับจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 โดยแสดงค่าประมาณอำนาจการทดสอบและกราฟเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ ตามค่าอนเซนทริลิตี้พารามิเตอร์สำหรับความแปรปรวน (ϕ) ที่อิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ ตามค่าอนเซนทริลิตี้พารามิเตอร์สำหรับอิทธิพลของทริตเมนต์ (λ) ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) เท่ากับ 0.2, 0.5 และ 0.9 ตามลำดับ

เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 พบว่า

1. เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันน้อย ($\phi = 0.2887$) ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 2.5: 3.0 จากตารางที่ 13 และภาพที่ 7 พบว่า

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.7348$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าประมาณอำนาจการทดสอบต่ำมากและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.7321$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อค่า $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิวิวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, RES และวิวิวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เมื่อค่า $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, MPC, LT, RES วิวิวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันมาก ($\lambda = 3.0210$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดและให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมากทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

2. เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันปานกลาง ($\phi = 1.7321$) ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 5.0: 8.0 จากตารางที่ 14 และภาพที่ 8 พบว่า วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดเดียวกันกับกรณีเมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันน้อย ดังนี้

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.7390$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำมากและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.7205$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อค่า $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, RES และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เมื่อค่า $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, MPC, LT, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันมาก ($\lambda = 3.0138$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดและให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมากทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

3. เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันมาก ($\phi = 3.4641$) ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 8.0: 14.0 จากตารางที่ 15 และภาพที่ 9 พบว่า

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.7120$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำมากและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.7071$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อค่า $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D เมื่อค่า $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิธี

วิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, LT, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันมาก ($\lambda = 3.0764$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดและให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมากทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 พบว่า

1. เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันน้อย ($\phi = 0.2623$) ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 2.2: 2.4: 2.8: 3.0 จากตารางที่ 16 และภาพที่ 10 พบว่า

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.7640$) เมื่อค่า $p = 0.2$ และ $p = 0.5$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อค่า $p = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, MPC, LT, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงที่สุดเท่ากับ 0.947

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.7191$) และมาก ($\lambda = 3.0953$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดและให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมากทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

2. เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันปานกลาง ($\phi = 1.7321$) ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 5.0: 6.0: 8.0: 9.0 จากตารางที่ 17 และภาพที่ 11 พบว่า

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.7439$) เมื่อค่า $p = 0.2$ และ $p = 0.5$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อค่า $p = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความ

แปรปรวนจากค่า RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.7272$) และมาก ($\lambda = 3.0138$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดและให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมากทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

3. เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันมาก ($\phi = 3.4176$) ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 3.0: 10.0: 12.0: 14.0 จากตารางที่ 18 และภาพที่ 12 พบว่า

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.7667$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ และ $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อค่า $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.6428$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, D, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า RES ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงที่สุดเท่ากับ 0.983 เมื่อค่า $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, D, LT, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า RES ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงที่สุดเท่ากับ 0.996 เมื่อค่า $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดและให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมาก โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า RES และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงที่สุดเท่ากับ 1

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันมาก ($\lambda = 3.0460$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดและให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมากมีค่าเท่ากับ 1 ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตารางที่ 13 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันน้อย ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 2.5: 3.0 ที่อิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3

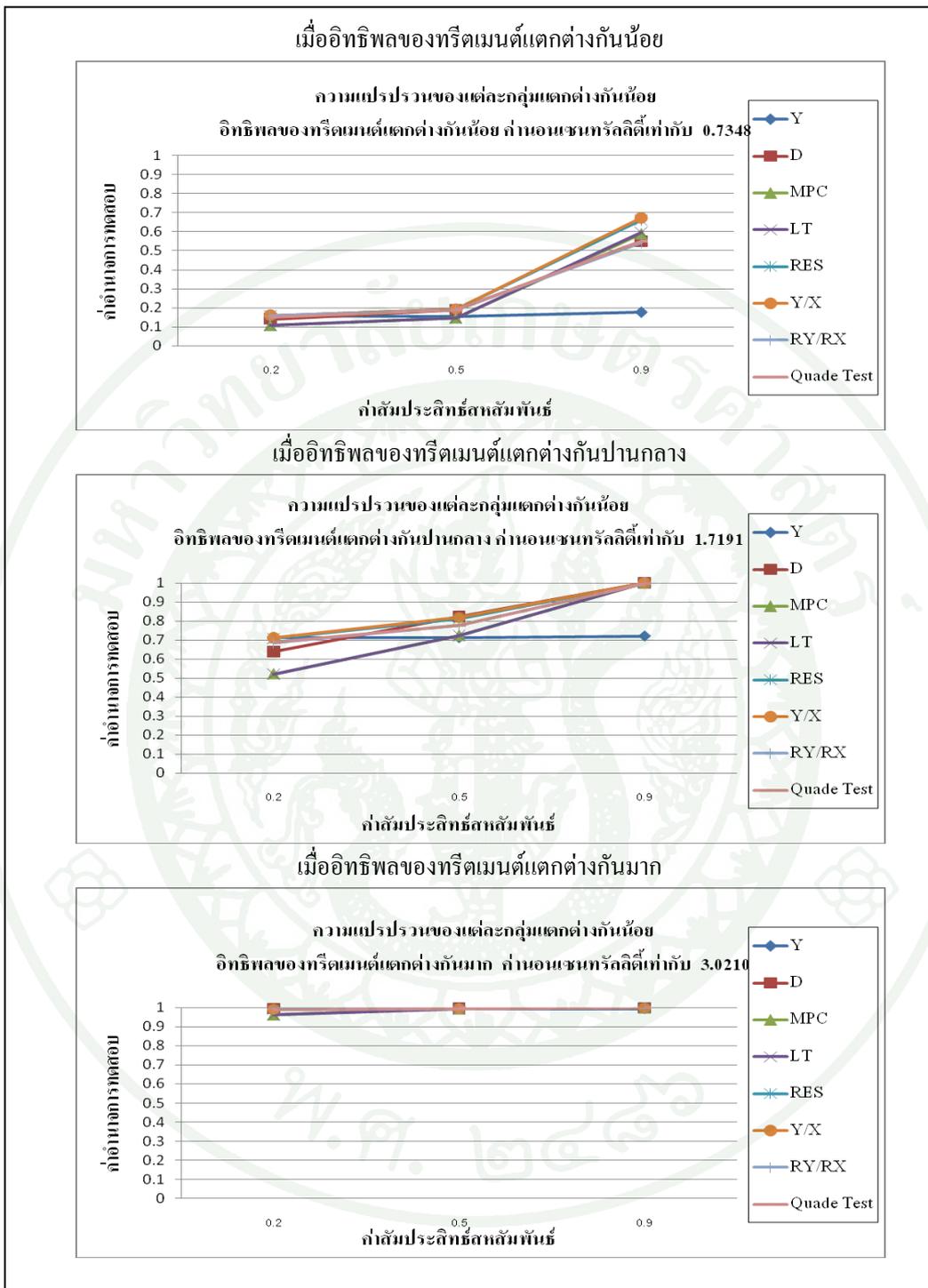
ระดับความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	Test
น้อย	0.2	0.159	0.140	0.107	0.108	0.157	0.159	0.156	0.151
	0.5	0.154	0.188	0.147	0.145	0.190	0.193	0.187	0.189
	0.9	0.176	0.550	0.590	0.596	0.662	0.672	0.542	0.549
ปานกลาง	0.2	0.710	0.639	0.521	0.520	0.708	0.710	0.683	0.688
	0.5	0.712	0.824	0.723	0.724	0.810	0.817	0.778	0.775
	0.9	0.721	1	0.999	0.999	0.999	1	0.998	0.997
มาก	0.2	0.995	0.998	0.963	0.962	0.992	0.993	0.992	0.991
	0.5	0.995	1	0.995	0.994	0.998	0.998	0.996	0.995
	0.9	0.995	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 14 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันปานกลาง ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 5.0: 8.0 ที่อิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3

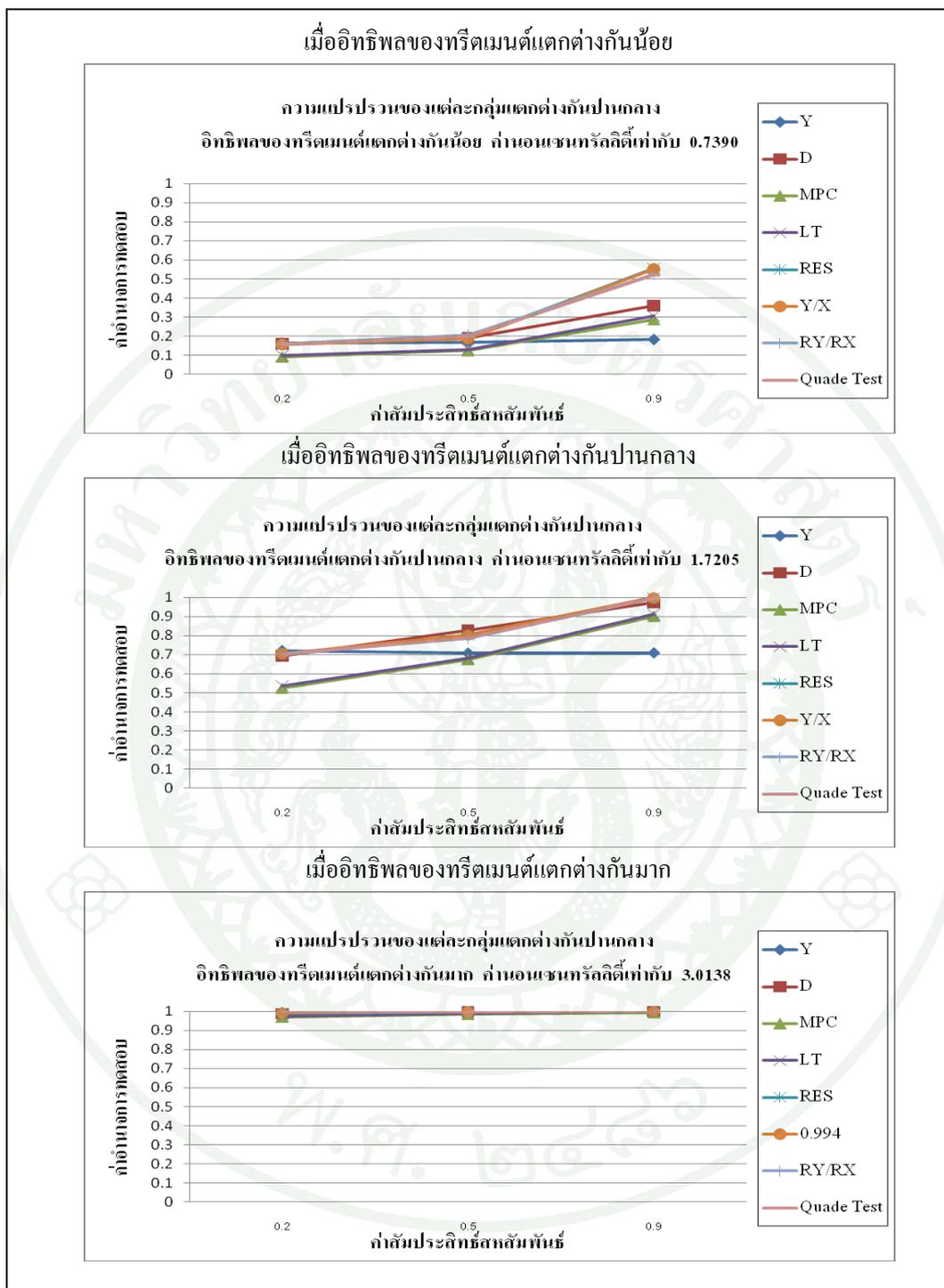
ระดับความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	Test
น้อย	0.2	0.164	0.159	0.091	0.096	0.154	0.155	0.158	0.156
	0.5	0.166	0.191	0.124	0.129	0.188	0.186	0.204	0.199
	0.9	0.182	0.361	0.287	0.306	0.557	0.552	0.524	0.522
ปานกลาง	0.2	0.720	0.694	0.525	0.537	0.699	0.706	0.706	0.700
	0.5	0.708	0.830	0.676	0.684	0.802	0.805	0.786	0.789
	0.9	0.709	0.975	0.901	0.913	1	1	0.998	0.998
มาก	0.2	0.994	0.990	0.969	0.974	0.991	0.994	0.996	0.996
	0.5	0.997	1	0.984	0.990	0.998	0.999	0.998	0.996
	0.9	0.995	1	0.993	1	1	1	1	1

ตารางที่ 15 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันมาก ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 8.0: 14.0 ที่อิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3

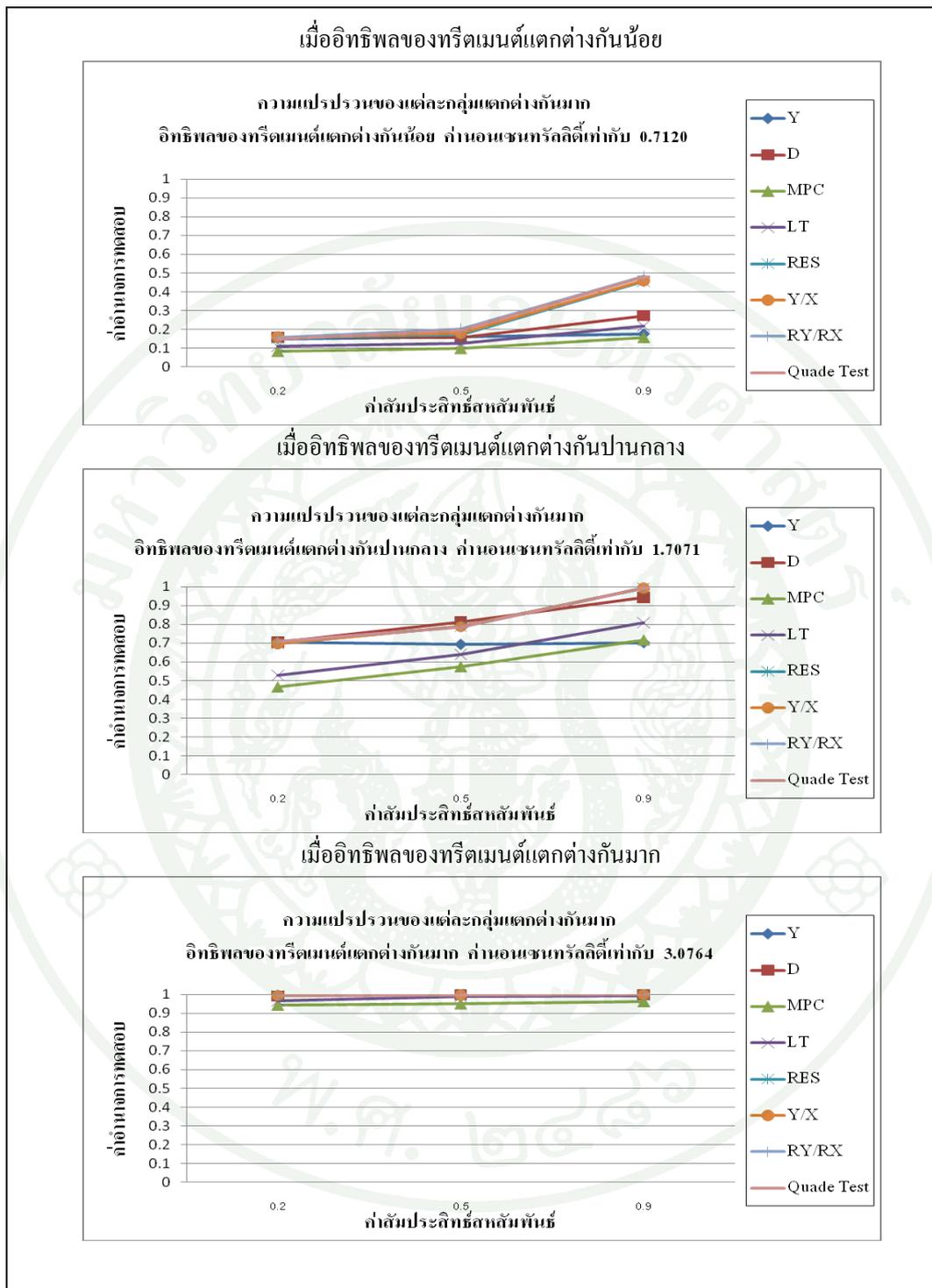
ระดับความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	Test
น้อย	0.2	0.149	0.157	0.082	0.108	0.151	0.157	0.156	0.148
	0.5	0.159	0.158	0.097	0.123	0.172	0.178	0.202	0.195
	0.9	0.175	0.272*	0.157	0.217	0.455	0.458	0.482*	0.480*
ปานกลาง	0.2	0.705	0.704	0.467	0.527	0.697	0.696	0.709	0.710
	0.5	0.694	0.813	0.575	0.640	0.789	0.788	0.785	0.788
	0.9	0.703	0.943*	0.718	0.810	0.994	0.995	0.994*	0.993*
มาก	0.2	0.996	0.994	0.943	0.965	0.996	0.996	0.996	0.995
	0.5	0.997	1	0.950	0.988	0.998	0.998	0.999	0.997
	0.9	0.996	1*	0.962	0.994	1	1	1*	1*



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันน้อย เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันปานกลาง เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3



ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันมาก เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3

ตารางที่ 16 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันน้อย ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 2.2: 2.4: 2.8: 3.0 ที่อิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5

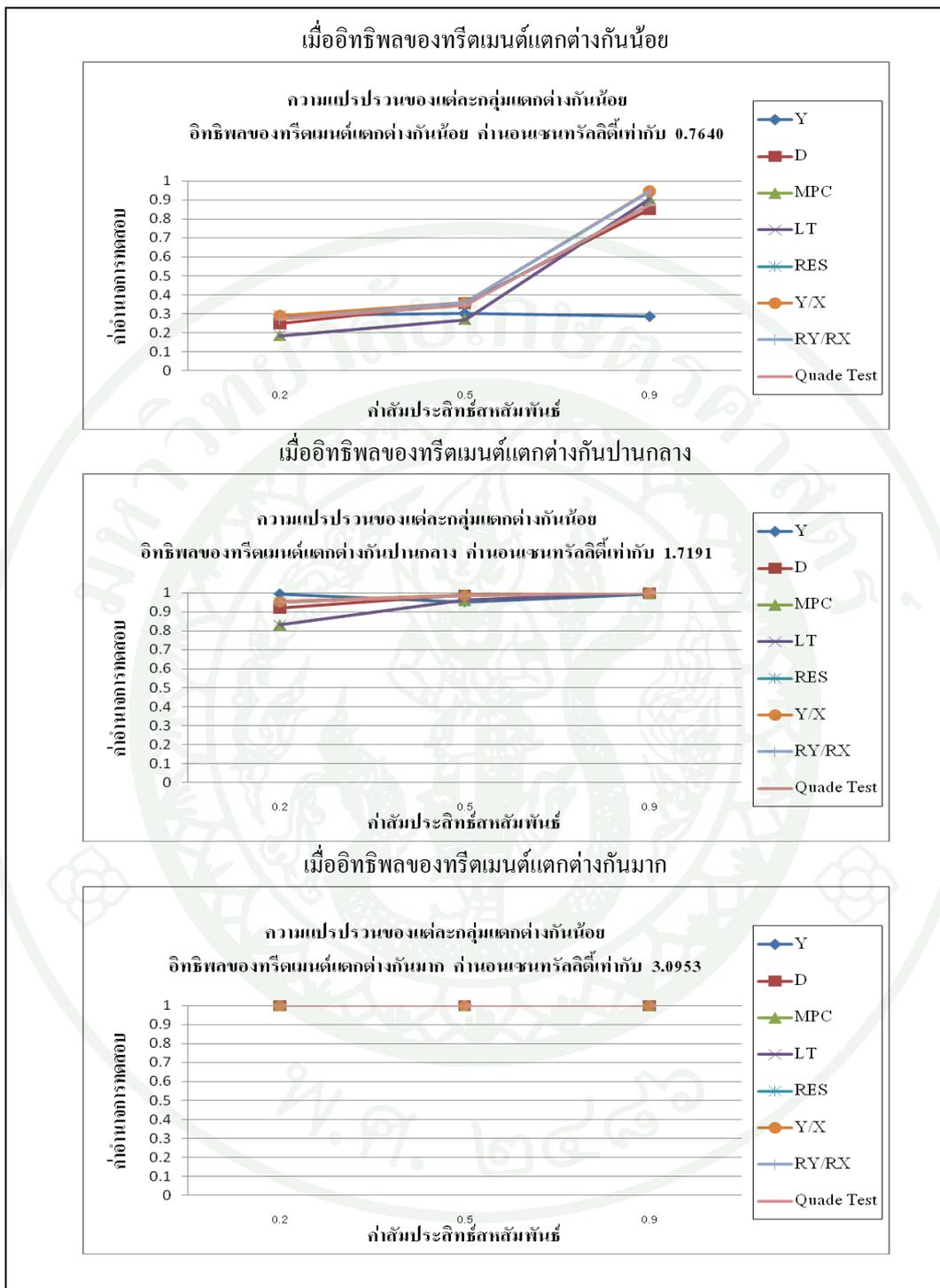
ระดับความแตกต่างของอิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	Test
น้อย	0.2	0.290	0.248	0.184	0.184	0.289	0.289	0.269	0.271
	0.5	0.303	0.357	0.270	0.270	0.345	0.359	0.357	0.346
	0.9	0.287	0.851	0.904	0.904	0.875	0.947	0.942	0.876
ปานกลาง	0.2	0.995	0.921	0.832	0.831	0.951	0.954	0.951	0.950
	0.5	0.953	0.988	0.962	0.961	0.987	0.987	0.985	0.985
	0.9	0.995	1	1	1	1	1	1	1
มาก	0.2	1	1	1	1	1	1	1	1
	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1
	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 17 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันปานกลาง ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 5.0: 6.0: 8.0: 9.0 ที่อิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5

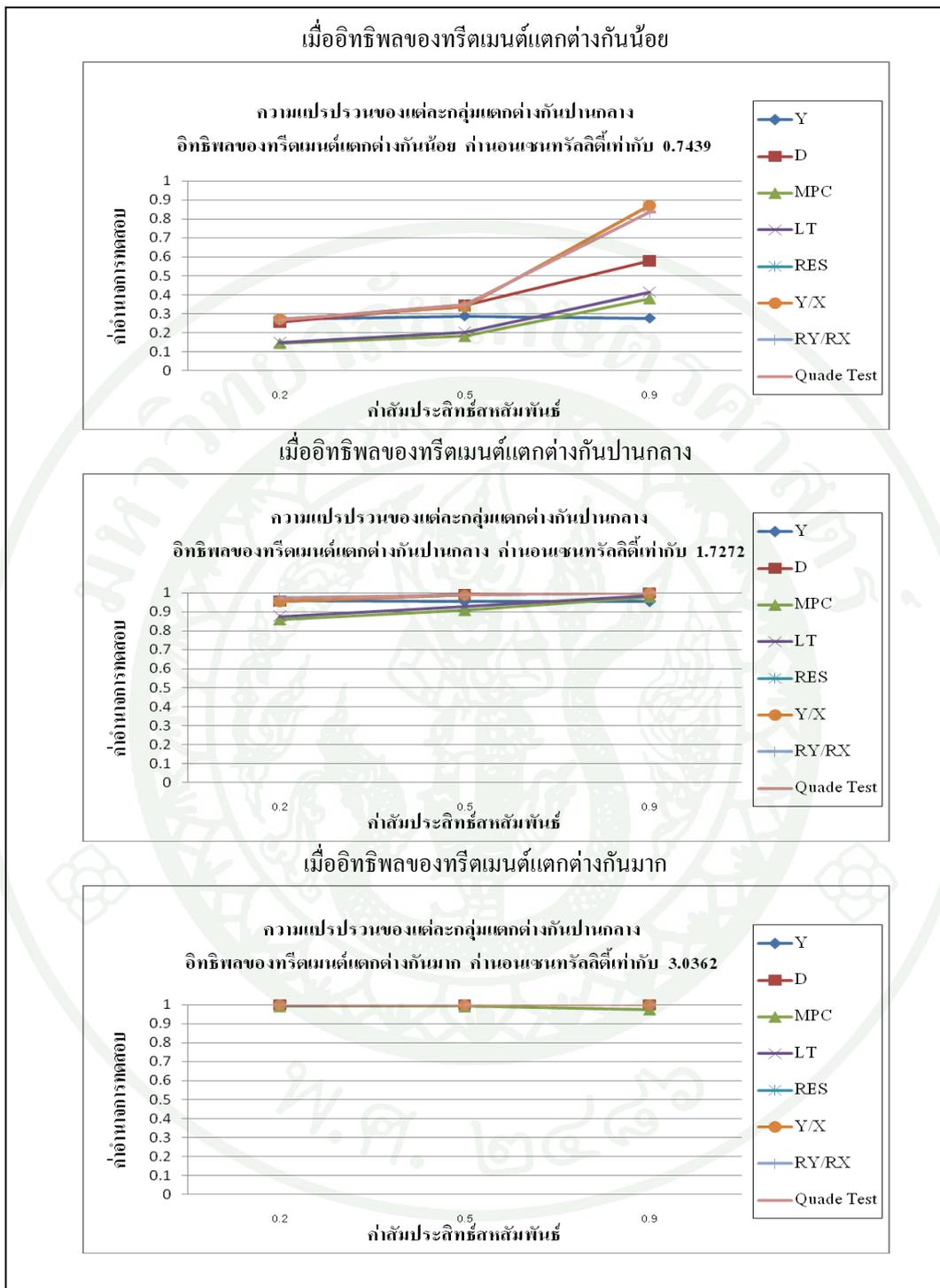
ระดับความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	Test
น้อย	0.2	0.272	0.254	0.143	0.149	0.271	0.270	0.266	0.265
	0.5	0.288	0.344	0.180	0.202	0.336	0.336	0.346	0.348
	0.9	0.276	0.579	0.380	0.414	0.869	0.871	0.837	0.837
ปานกลาง	0.2	0.959	0.958	0.858	0.876	0.955	0.956	0.973	0.969
	0.5	0.955	0.993	0.907	0.929	0.989	0.990	0.988	0.989
	0.9	0.955	1	0.977	0.986	1	1	1	1
มาก	0.2	1	1	0.992	0.999	1	1	1	1
	0.5	1	1	0.991	1	1	1	1	1
	0.9	1	1	0.975	1	1	1	1	1

ตารางที่ 18 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ และความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันมาก ที่อัตราส่วนความแปรปรวน 2.0: 3.0: 10.0: 12.0: 14.0 ที่อิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5

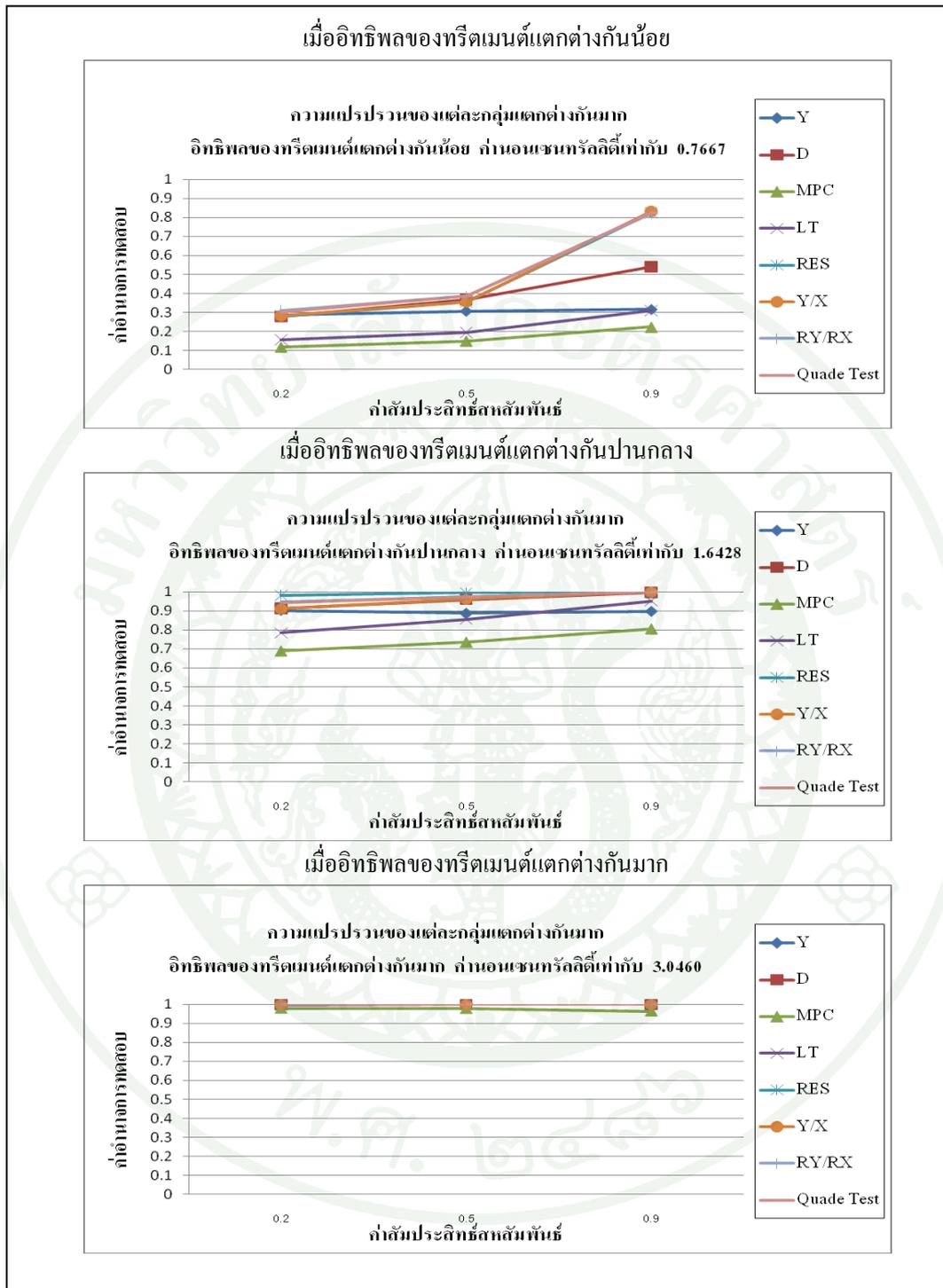
ระดับความแตกต่างของ อิทธิพลของทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	Test
น้อย	0.2	0.288	0.278	0.117	0.156	0.280	0.283	0.308	0.301
	0.5	0.306	0.367	0.149	0.194	0.355	0.355	0.384	0.384
	0.9	0.315	0.541*	0.223	0.309*	0.826	0.831	0.822*	0.826*
ปานกลาง	0.2	0.903	0.913	0.688	0.784	0.983	0.911	0.946	0.943
	0.5	0.888	0.961	0.735	0.856	0.996	0.962	0.973	0.974
	0.9	0.898	0.998*	0.805	0.953*	1	1	1*	1*
มาก	0.2	1	1	0.979	0.998	1	1	1	1
	0.5	1	1	0.978	1	1	1	1	1
	0.9	1	1*	0.964	1*	1	1	1*	1*



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันน้อย เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5



ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันปานกลาง เมื่อจำนวนพารามิเตอร์เท่ากับ 5



ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันมาก เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5

กรณีที่ 3 เมื่อค่าคลาดเคลื่อนของค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบเดียวกัน ดังนี้

1. การแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์ $\alpha(\text{Alpha}) = 50$ และ $\beta(\text{Beta}) = 7$

ตารางที่ 19-20 และภาพที่ 13-14 แสดงค่าประมาณอำนาจการทดสอบ และกราฟเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่อิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) เท่ากับ 0.2, 0.5 และ 0.9 พบว่า

เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.8346$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ และ $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำกว่าเกณฑ์ เมื่อค่า $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, RES วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.7214$) และมาก ($\lambda = 3.2081$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนดและให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมาก

เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.8211$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.7556$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ และ $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อค่า $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมากกว่า 0.8 ได้แก่ วิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, MPC, LT, RES วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

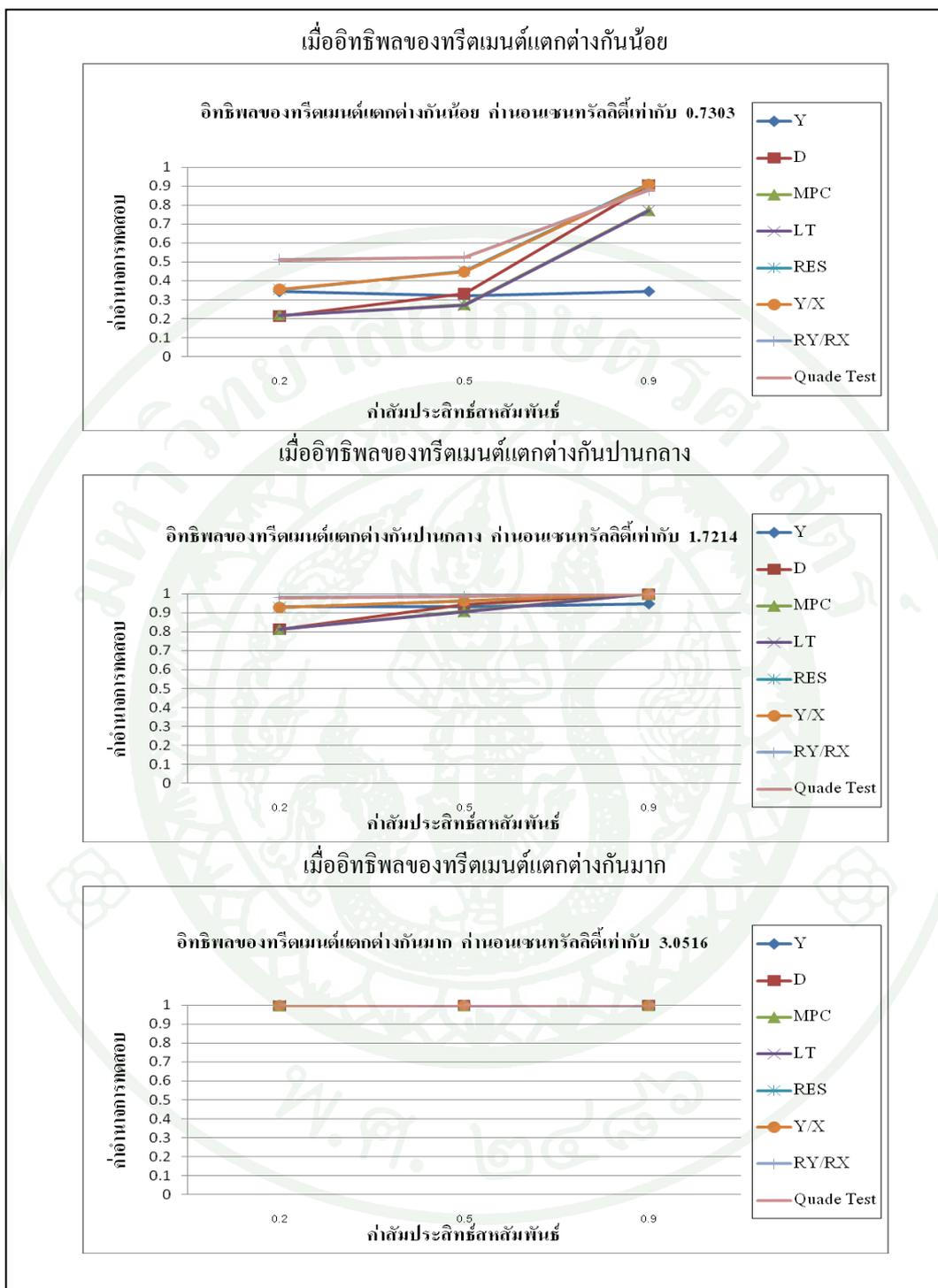
เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันมาก ($\lambda = 3.0702$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์และให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตารางที่ 19 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์ α (Alpha) = 50 และ β (Beta) = 7 ที่อิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3

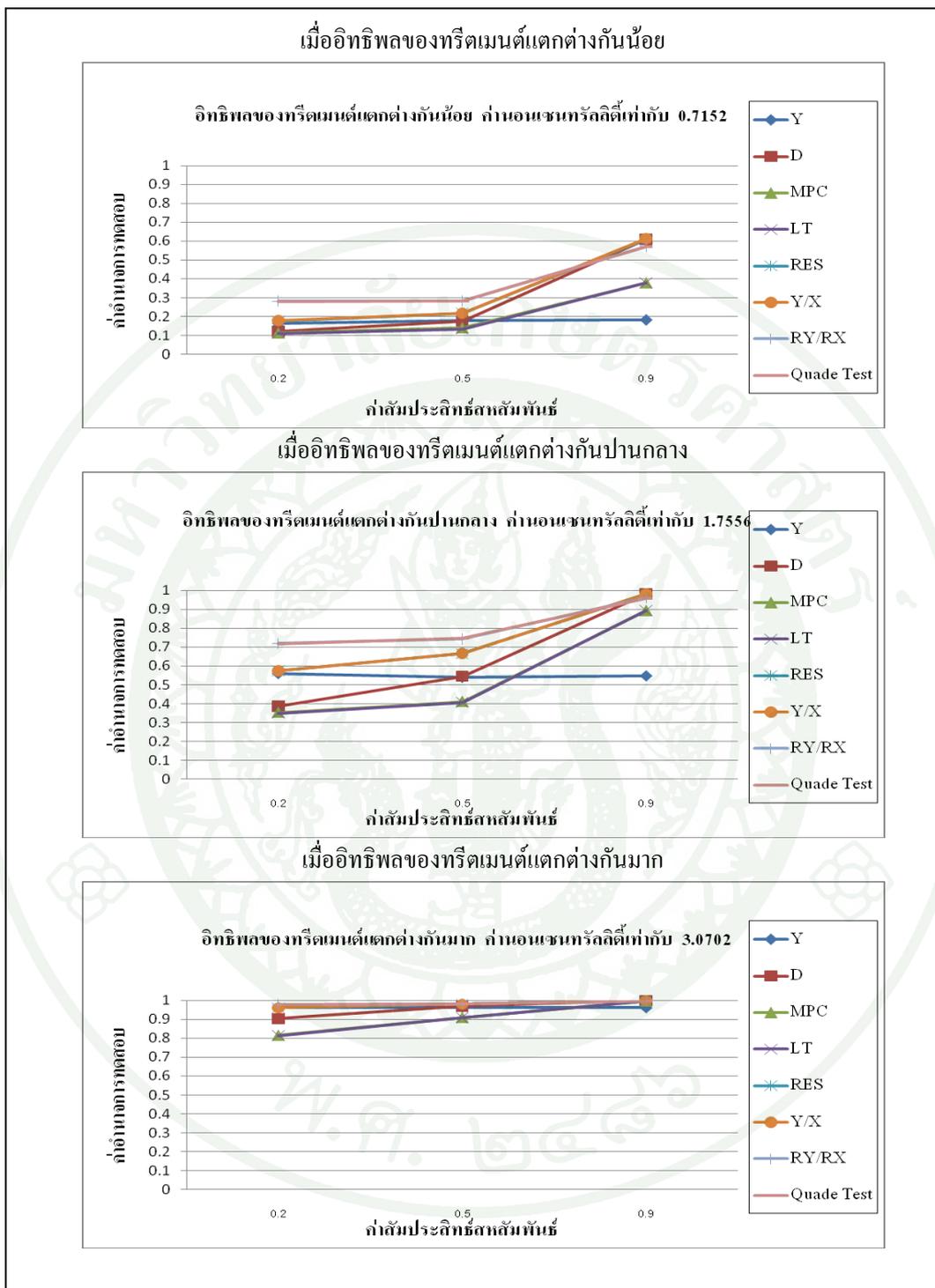
ระดับความแตกต่างของ อิทธิพลของทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade Test
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	0.343	0.213	0.218	0.271	0.353	0.355	0.511	0.510
	0.5	0.320	0.334	0.274	0.271	0.451	0.449	0.524	0.525
	0.9	0.344	0.906	0.773	0.771	0.911	0.910	0.880	0.878
ปานกลาง	0.2	0.933	0.813	0.813	0.811	0.930	0.929	0.981	0.979
	0.5	0.933	0.943	0.909	0.905	0.962	0.962	0.989	0.986
	0.9	0.949	1	1	1	1	1	1	1
มาก	0.2	0.999	0.997	0.998	0.999	1	0.999	1	1
	0.5	1	1	0.999	0.999	1	1	1	1
	0.9	0.999	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 20 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดัดเบิ้ลเอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์ $\alpha(\text{Alpha}) = 50$ และ $\beta(\text{Beta}) = 7$ ที่อิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5

ระดับความแตกต่างของ อิทธิพลของทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade Test
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	0.164	0.121	0.114	0.111	0.175	0.177	0.281	0.278
	0.5	0.177	0.176	0.142	0.134	0.218	0.216	0.281	0.282
	0.9	0.182	0.608	0.379	0.379	0.610	0.612	0.572	0.569
ปานกลาง	0.2	0.560	0.387	0.353	0.349	0.573	0.575	0.719	0.717
	0.5	0.540	0.546	0.411	0.406	0.664	0.667	0.743	0.746
	0.9	0.548	0.982	0.894	0.894	0.982	0.982	0.961	0.959
มาก	0.2	0.962	0.904	0.816	0.814	0.962	0.962	0.979	0.977
	0.5	0.964	0.969	0.911	0.909	0.982	0.982	0.983	0.982
	0.9	0.961	1	0.999	0.999	1	1	0.999	0.999



ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดัดเบิ้ลเอ็กซ์โพเนนเชียล เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3



ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดัดเบิ้ลเอ็กซ์โพเนนเชียล เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5

2. การแจกแจงแบบสีกอนอร์มอล ที่มีพารามิเตอร์ $\mu=1$ และ $\sigma=1$

ตารางที่ 21-22 และภาพที่ 15-16 แสดงค่าประมาณอำนาจการทดสอบ และกราฟเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบสีกอนอร์มอลที่มีพารามิเตอร์ $\mu=1$ และ $\sigma=1$ ที่อิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อยปานกลาง และมาก ตามลำดับ ตามค่าอนเซนทริลิตี้พารามิเตอร์ (λ) ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) เท่ากับ 0.2, 0.5 และ 0.9 พบว่า

เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.8790$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ และ $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อค่า $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.8020$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, RES วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade เมื่อค่า $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า RES วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงที่สุดเท่ากับ 0.981 และ 0.983 ตามลำดับ เมื่อค่า $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, LT, RES วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงที่สุดเท่ากับ 0.999 และ 1 ตามลำดับ

เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันมาก ($\lambda = 3.2963$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ และ $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิเคราะห์ความ

แปรปรวนจากค่า Y, D, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม จากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่า อันดับ และการทดสอบของ Quade ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงที่สุดเท่ากับ 1 เมื่อค่า $p = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน จากค่า Y, D, LT, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่า อันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.7555$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่า อำนาจการทดสอบต่ำและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.7481$) เมื่อค่า $p = 0.2$ และ $p = 0.5$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade เมื่อค่า $p = 0.9$ วิธีการ ทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงและเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความ แปรปรวนจากค่า D, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจาก ค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

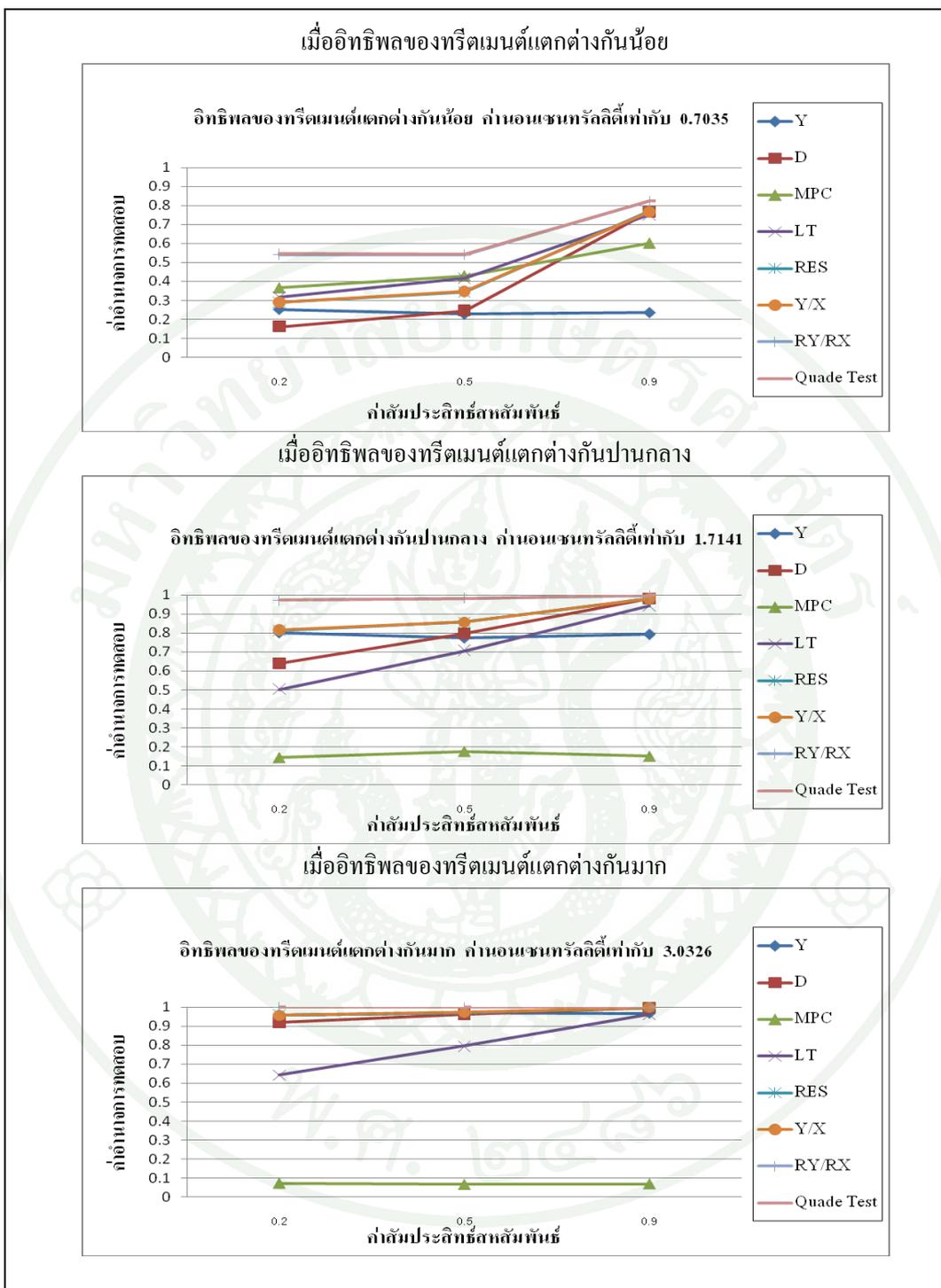
เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันมาก ($\lambda = 3.0767$) เมื่อค่า $p = 0.2, 0.5$ และ $p = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงและตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธี วิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, D, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความ แปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

ตารางที่ 21 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลที่มีพารามิเตอร์ $\mu=1$ และ $\sigma=1$ ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3

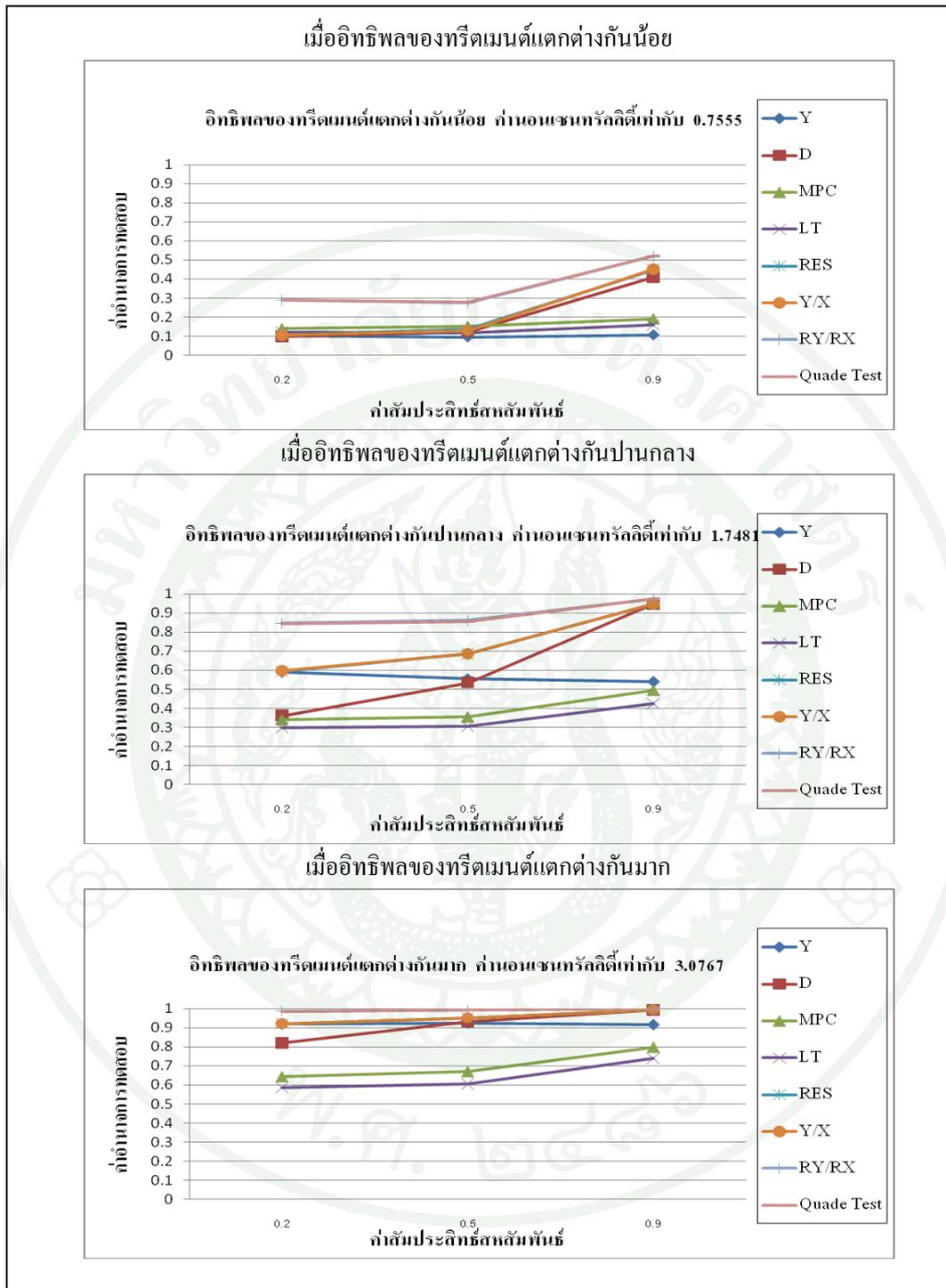
ระดับความแตกต่างของ อิทธิพลของทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade Test
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	0.252*	0.161	0.366	0.317	0.288	0.290*	0.542	0.546
	0.5	0.227	0.246	0.430	0.417	0.342	0.349*	0.541	0.544
	0.9	0.235	0.767*	0.603	0.751	0.771	0.768*	0.823	0.824
ปานกลาง	0.2	0.802*	0.638	0.143	0.503	0.812	0.815*	0.973	0.974
	0.5	0.775	0.796	0.176	0.707	0.857	0.857*	0.983	0.981
	0.9	0.794	0.981*	0.150	0.943	0.981	0.983*	0.999	1
มาก	0.2	0.960*	0.920	0.072	0.642	0.960	0.957*	1	1
	0.5	0.972	0.964	0.066	0.794	0.972	0.972*	1	1
	0.9	0.968	0.998*	0.069	0.961	0.998	0.998*	1	1

ตารางที่ 22 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลที่มีพารามิเตอร์ $\mu=1$ และ $\sigma=1$ ที่อิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5

ระดับความแตกต่างของ อิทธิพลของทรีตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade Test
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	0.104	0.098	0.139	0.122	0.106	0.105	0.289	0.289
	0.5	0.095	0.123	0.151	0.117	0.136	0.130	0.275	0.279
	0.9	0.106	0.41	0.191	0.158	0.449	0.452	0.522	0.522
ปานกลาง	0.2	0.589	0.361	0.339	0.296	0.594	0.597	0.847	0.845
	0.5	0.554	0.534	0.354	0.304	0.687	0.687	0.861	0.857
	0.9	0.540	0.947	0.493	0.424	0.947	0.949	0.975	0.975
มาก	0.2	0.920	0.821	0.644	0.587	0.922	0.922	0.987	0.986
	0.5	0.925	0.931	0.670	0.605	0.952	0.953	0.992	0.992
	0.9	0.917	0.994	0.799	0.739	0.994	0.994	1	1



ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3



ภาพที่ 16 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบลือกนอร์มอล เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5

3. การแจกแจงแบบไคสแควร์ที่มีพารามิเตอร์ จำนวนองศาความเป็นอิสระ (n) เท่ากับ 3

ตารางที่ 23-24 และภาพที่ 17-18 แสดงค่าประมาณอำนาจการทดสอบ และกราฟเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ที่มีพารามิเตอร์ จำนวนองศาความเป็นอิสระ (n) เท่ากับ 3 ที่อิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ ตามค่าอนเซนทรลิตี้พารามิเตอร์ (λ) ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) เท่ากับ 0.2, 0.5 และ 0.9 พบว่า

เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.8433$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.7920$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade เมื่อค่า $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงและตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade เมื่อค่า $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมากและตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, LT, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันมาก ($\lambda = 3.2667$) เมื่อค่า $\rho = 0.2$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงและตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, D, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade เมื่อค่า $\rho = 0.5$ และ $\rho = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงและตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, D, LT, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ($\lambda = 0.8963$) เมื่อค่า $p = 0.2$ และ $p = 0.5$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อค่า $p = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงและตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, RES วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันปานกลาง ($\lambda = 1.7678$) วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำและต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

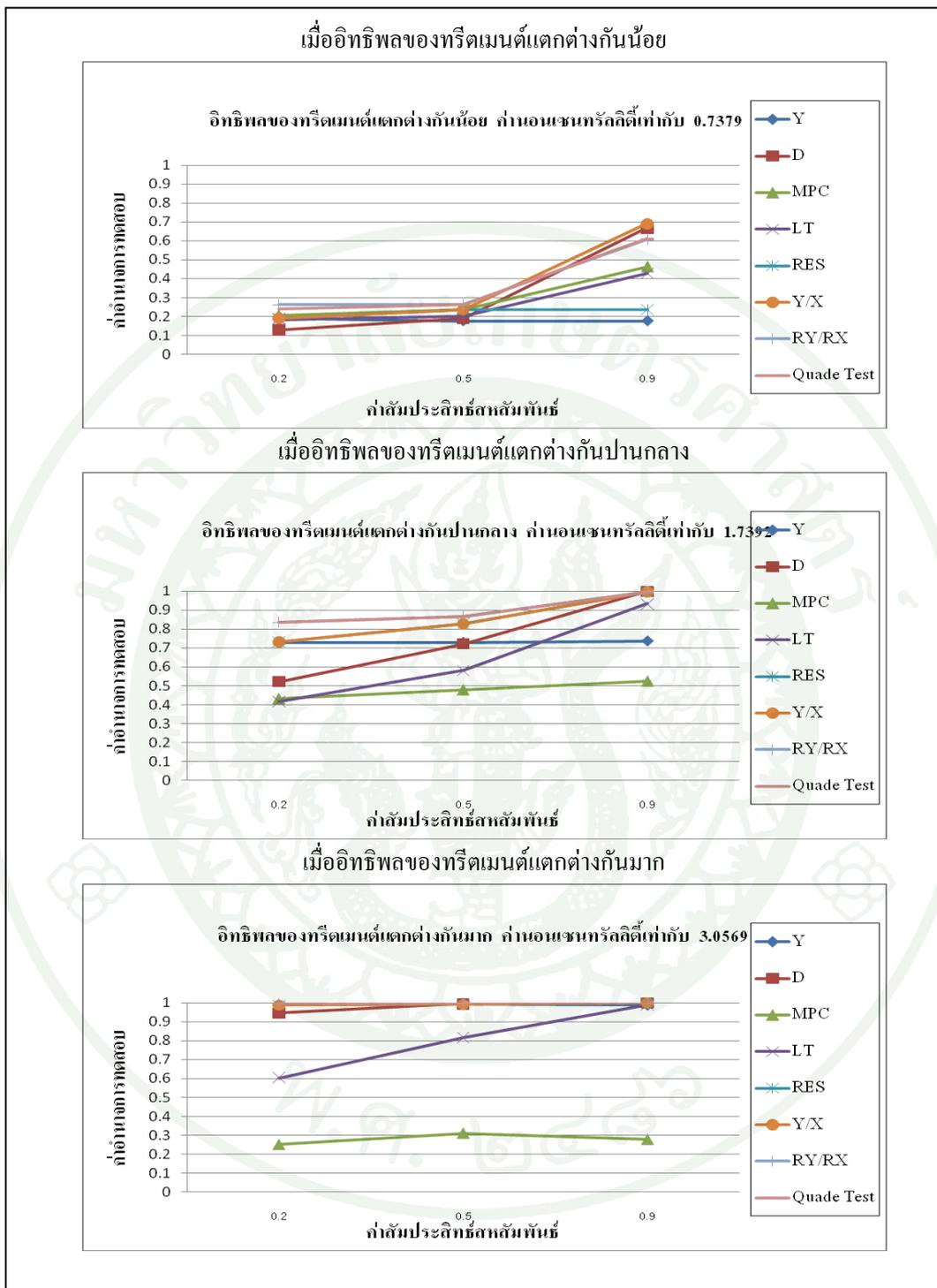
เมื่ออิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันมาก ($\lambda = 3.3850$) เมื่อค่า $p = 0.2$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงและตามเกณฑ์คือมีค่ามากกว่า 0.8 ได้แก่ วิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, RES วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade เมื่อค่า $p = 0.5$ และ $p = 0.9$ วิธีการทางสถิติที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงและตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ วิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y, D, RES วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

ตารางที่ 23 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ที่มีพารามิเตอร์ จำนวนองศาความเป็นอิสระ (n) เท่ากับ 3 ที่อิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3

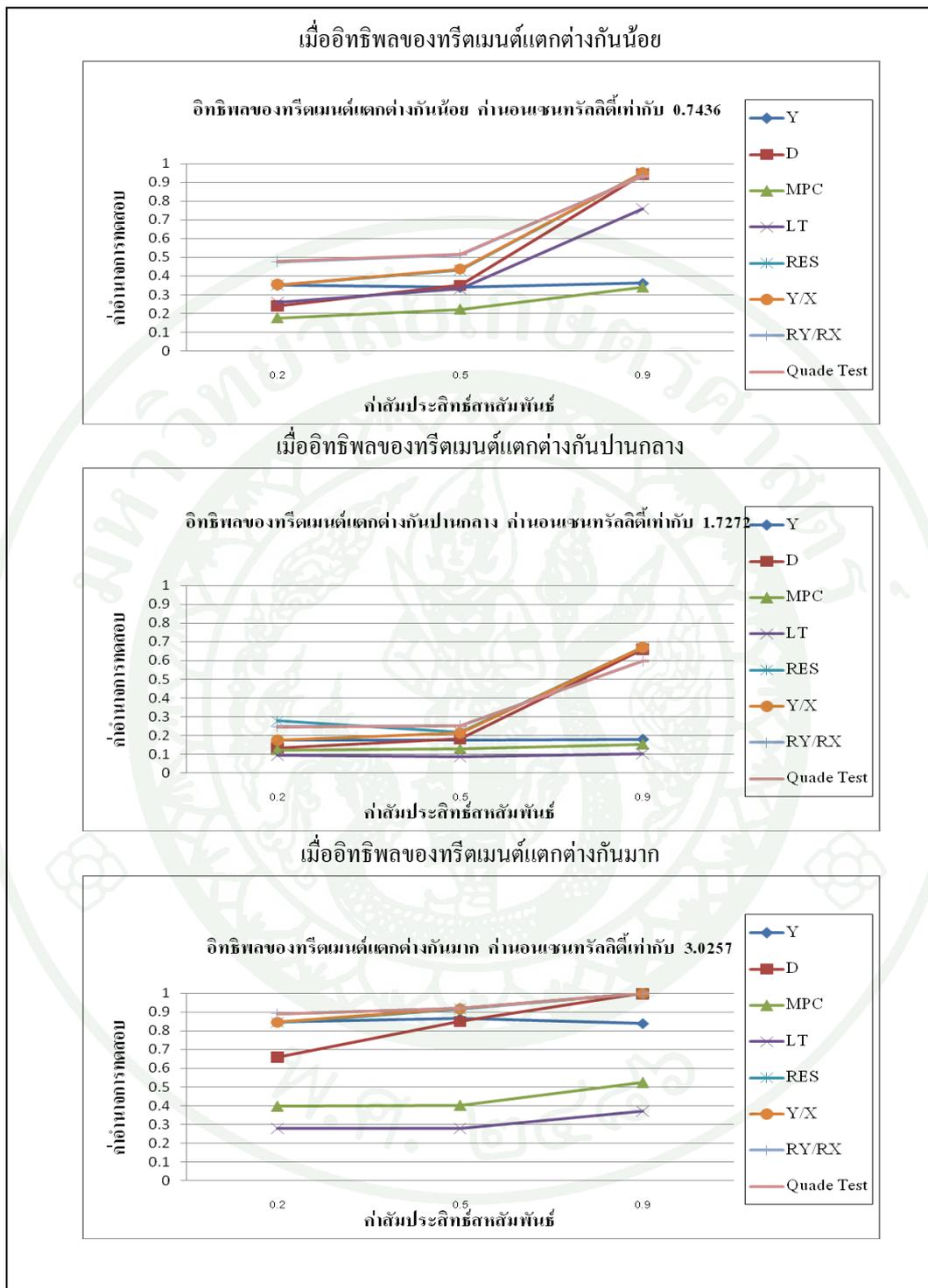
ระดับความแตกต่างของ อิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade Test
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	0.190	0.129	0.207	0.184	0.191	0.189	0.262	0.238
	0.5	0.176	0.192	0.239	0.204	0.237	0.236	0.262	0.262
	0.9	0.176	0.669	0.462	0.429	0.236	0.692	0.610	0.611
ปานกลาง	0.2	0.731	0.522	0.433	0.417	0.731	0.732	0.836	0.836
	0.5	0.730	0.722	0.480	0.581	0.828	0.830	0.867	0.866
	0.9	0.737	1	0.526	0.934	0.999	0.999	0.999	0.999
มาก	0.2	0.992	0.947	0.250	0.603	0.988	0.989	0.996	0.996
	0.5	0.991	0.995	0.310	0.816	0.993	0.994	1	1
	0.9	0.989	1	0.278	0.990	1	1	1	1

ตารางที่ 24 ค่าประมาณอำนาจการทดสอบ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบโคสแควร์ที่มีพารามิเตอร์ จำนวนองศาความเป็นอิสระ (n) เท่ากับ 3 ที่อิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5

ระดับความแตกต่างของอิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	วิธีวิเคราะห์							
		ANOVA					ANCOVA		Quade
		Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	Test
น้อย	0.2	0.350	0.238	0.176	0.259	0.352	0.353	0.476	0.477
	0.5	0.339	0.348	0.222	0.331	0.433	0.436	0.514	0.515
	0.9	0.361	0.944	0.341	0.760	0.950	0.951	0.934	0.933
ปานกลาง	0.2	0.175	0.133	0.122	0.094	0.276	0.173	0.246	0.242
	0.5	0.175	0.183	0.128	0.086	0.216	0.213	0.250	0.249
	0.9	0.180	0.660	0.153	0.102	0.669	0.670	0.599	0.599
มาก	0.2	0.847	0.658	0.398	0.278	0.845	0.847	0.891	0.890
	0.5	0.865	0.851	0.403	0.277	0.916	0.918	0.922	0.919
	0.9	0.839	1	0.524	0.371	1	1	1	1



ภาพที่ 17 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3



ภาพที่ 18 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5

3. วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล

กำหนดเกณฑ์ในการศึกษาครั้งนี้ว่าวิธีการทางสถิติใดให้ค่าประมาณอำนาจการทดสอบมากกว่า 0.8 และสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เป็นวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล แสดงวิธีการทางสถิติแยกตามกรณีศึกษาในตารางที่ 25 – 31

ตารางที่ 25 วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้น

ความแตกต่าง ของอิทธิพล ทรีตเมนต์	ค่า สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	จำนวน ทรีต- เมนต์	วิธีวิเคราะห์							
			ANOVA					ANCOVA		Quade Test
			Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.5	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.9	3	-	A	-	-	A	A	-	-
		5	-	A	-	-	A	A	A	A
ปานกลาง	0.2	3	A	-	-	-	A	A	-	-
		5	A	A	-	-	A	A	A	A
	0.5	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	-	A	-	-	A	A	-	-
	0.9	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	-	A	A	A	A	A	A	A
มาก	0.2	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.5	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.9	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A

หมายเหตุ A หมายถึง วิธีวิเคราะห์นั้นผ่านเกณฑ์ที่กำหนดเป็นวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล

ตารางที่ 26 วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่า
หลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันน้อย

ความแตกต่าง ของอิทธิพล ทรีตเมนต์	ค่า สัมประสิทธิ์	จำนวน ทรีต- เมนต์	วิธีวิเคราะห์								
			ANOVA					ANCOVA		Quade Test	
			Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX		
น้อย	0.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	
		5	-	-	-	-	-	-	-	-	
	0.5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	
		5	-	-	-	-	-	-	-	-	
	0.9	3	-	-	-	-	-	-	-	-	
		5	-	A	A	A	A	A	A	A	
	ปานกลาง	0.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
			5	A	A	A	A	A	A	A	A
0.5		3	-	A	-	-	A	A	-	-	
		5	A	A	A	A	A	A	A	A	
0.9		3	-	A	A	A	A	A	A	A	
		5	A	A	A	A	A	A	A	A	
มาก		0.2	3	A	A	A	A	A	A	A	A
			5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.5	3	A	A	A	A	A	A	A	A	
		5	A	A	A	A	A	A	A	A	
	0.9	3	A	A	A	A	A	A	A	A	
		5	A	A	A	A	A	A	A	A	

หมายเหตุ A หมายถึง วิธีวิเคราะห์นั้นผ่านเกณฑ์ที่กำหนดเป็นวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล

ตารางที่ 27 วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของ
ค่าหลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันปานกลาง

ความแตกต่าง ของอิทธิพล ทรีดเมนต์	ค่า สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	จำนวน ทรีด- เมนต์	วิธีวิเคราะห์							
			ANOVA					ANCOVA		Quade Test
			Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.5	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.9	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	A	A	A	A
ปานกลาง	0.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.5	3	-	A	-	-	A	A	-	-
		5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.9	3	-	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A
มาก	0.2	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.5	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.9	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A

หมายเหตุ A หมายถึง วิธีวิเคราะห์นั้นผ่านเกณฑ์ที่กำหนดเป็นวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล

ตารางที่ 28 วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันมาก

ความแตกต่าง ของอิทธิพล ทรีตเมนต์	ค่า สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	จำนวน ทรีต- เมนต์	วิธีวิเคราะห์							
			ANOVA					ANCOVA		Quade Test
			Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.5	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.9	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	A	A	-	-
ปานกลาง	0.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	A	A	-	-	A	A	A	A
	0.5	3	-	A	-	-	-	-	-	-
		5	A	A	-	A	A	A	A	A
	0.9	3	-	-	-	A	A	A	-	-
		5	A	-	-	-	A	A	-	-
มาก	0.2	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.5	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.9	3	A	-	A	A	A	A	-	-
		5	A	-	-	-	A	A	-	-

หมายเหตุ A หมายถึง วิธีวิเคราะห์นั้นผ่านเกณฑ์ที่กำหนดเป็นวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล

ตารางที่ 29 วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพารามิเตอร์ คือ $\alpha(\text{Alpha}) = 50$ และ $\beta(\text{Beta}) = 7$

ความแตกต่าง ของอิทธิพล ทรีตเมนต์	ค่า สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	จำนวน ทรีต- เมนต์	วิธีวิเคราะห์							
			ANOVA					ANCOVA		Quade Test
			Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.5	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.9	3	-	A	-	-	A	A	A	A
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
ปานกลาง	0.2	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.5	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.9	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	-	A	A	A	A	A	A	A
มาก	0.2	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.5	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.9	3	A	A	A	A	A	A	A	A
		5	A	A	A	A	A	A	A	A

หมายเหตุ A หมายถึง วิธีวิเคราะห์นั้นผ่านเกณฑ์ที่กำหนดเป็นวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล

ตารางที่ 30 วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบลิกนอร์มอล ที่มีค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 1 และความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 1

ความแตกต่าง ของอิทธิพล ทรีตเมนต์	ค่า สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	จำนวน ทรีต- เมนต์	วิธีวิเคราะห์								
			ANOVA					ANCOVA		Quade Test	
			Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX		
น้อย	0.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	
		5	-	-	-	-	-	-	-	-	
	0.5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	
		5	-	-	-	-	-	-	-	-	
	0.9	3	-	-	-	-	-	-	A	A	
		5	-	-	-	-	-	-	-	-	
	ปานกลาง	0.2	3	-	-	-	-	A	-	A	A
			5	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5		3	-	-	-	-	A	-	A	A	
		5	-	-	-	-	-	-	-	-	
0.9		3	-	-	-	A	A	-	A	A	
		5	-	A	A	A	A	A	A	A	
มาก		0.2	3	-	A	-	-	A	-	A	A
			5	A	A	A	A	A	A	A	A
	0.5	3	A	A	-	-	A	-	A	A	
		5	A	A	A	A	A	A	A	A	
	0.9	3	A	-	-	A	A	-	A	A	
		5	A	A	A	A	A	A	A	A	

หมายเหตุ A หมายถึง วิธีวิเคราะห์นั้นผ่านเกณฑ์ที่กำหนดเป็นวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล

ตารางที่ 31 วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลเมื่อก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ ที่มีพารามิเตอร์ คือจำนวนองศาความเป็นอิสระ (n) เท่ากับ 3

ความแตกต่าง ของอิทธิพล ทรีตเมนต์	ค่า สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	จำนวน ทรีต- เมนต์	วิธีวิเคราะห์							
			ANOVA					ANCOVA		Quade Test
			Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
น้อย	0.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.5	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.9	3	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	-	A	-	-	A	A	A	A
ปานกลาง	0.2	3	-	-	-	-	-	-	A	A
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.5	3	-	-	-	-	A	A	A	A
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.9	3	-	A	-	A	A	A	A	A
		5	-	-	-	-	-	-	-	-
มาก	0.2	3	A	A	-	-	A	A	A	A
		5	A	-	-	-	A	A	A	A
	0.5	3	A	A	-	A	A	A	A	A
		5	A	A	-	-	A	A	A	A
	0.9	3	A	A	-	A	A	A	A	A
		5	A	A	-	-	A	A	A	A

หมายเหตุ A หมายถึง วิธีวิเคราะห์นั้นผ่านเกณฑ์ที่กำหนดเป็นวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อหาวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูล จากแผนการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังเมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงและไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบด้วยวิธีวิเคราะห์ 8 วิธี ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y , D , MPC , LT , RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade ภายใต้ข้อมูลที่กำหนดไว้ในขอบเขตการวิจัย สรุปได้ดังนี้

1. ความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

จากผลการศึกษาพบว่าวิธีการทางสถิติที่ทำการศึกษาร้อยละส่วนใหญ่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด สรุปความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของวิธีการทางสถิติ ได้ดังนี้

1. จำนวนทริตเมนต์ที่ทำการศึกษา และระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่าก่อนและหลังการทดลอง ไม่มีผลต่อความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของวิธีการทางสถิติเนื่องจากวิธีการทางสถิติทั้ง 8 วิธีสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้งในกรณีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงกับกรณีศึกษาดังต่อไปนี้ 1) เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ 2) เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติและความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันน้อย และปานกลาง 3) เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดัดเบิ้ลเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพารามิเตอร์ α (Alpha) = 50 และ β (Beta) = 7 4) เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ที่มีพารามิเตอร์จำนวนองศาความเป็นอิสระ (n) เท่ากับ 3

2. ระดับความแตกต่างของความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลอง มีผลต่อความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9 พบว่า

วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า D, LT วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

3. เมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลที่มีพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 1 และความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 1 เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 พบว่าวิธีการทางสถิติที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า MPC, LT, RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม และการทดสอบของ Quade และพบว่าวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมเป็นวิธีเดียวในการศึกษาครั้งนี้ที่ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ในทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แต่เมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 พบว่าวิธีการทางสถิติทั้ง 8 วิธีสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

2. เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ

การเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบ พิจารณาว่าวิธีการทางสถิติใดให้ค่าประมาณอำนาจการทดสอบสูงเป็นวิธีการทางสถิติที่ดี โดยกำหนดเกณฑ์ว่าวิธีการทางสถิติใดให้ค่าประมาณอำนาจการทดสอบมากกว่า 0.8 เป็นวิธีการทางสถิติที่ดี เมื่อพิจารณาค่าอำนาจการทดสอบของทั้ง 3 กรณีศึกษา ได้ข้อสรุปในภาพรวมดังนี้

1. เมื่อพิจารณาจำนวนทริตเมนต์ที่ทำการศึกษา จำนวนทริตเมนต์ไม่มีผลต่อค่าอำนาจการทดสอบ โดยพบว่าเมื่อจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 ให้ค่าอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน

2. เมื่อพิจารณาตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีผลต่อค่าอำนาจการทดสอบในกรณีอิทธิพลของทริตเมนต์แตกต่างกันน้อย และปานกลาง พบว่าเมื่อค่า $\rho = 0.2$ และ $\rho = 0.5$ วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่า 0.5) โดยมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แต่เมื่อค่า $\rho = 0.9$ ทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงใกล้ 1 สรุปได้ว่าวิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงขึ้นตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สูงขึ้น ยกเว้นวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า Y ให้ค่าอำนาจการทดสอบค่อนข้างคงที่ทุกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

3. เมื่อพิจารณาตามระดับความแตกต่างของความแปรปรวน ในกรณีค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองของประชากรในแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน พบว่าเมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันน้อย ปานกลาง และมาก วิธีการทางสถิติทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบไม่แตกต่างกัน แต่ให้ค่าอำนาจการทดสอบลดลงเล็กน้อยเมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองแตกต่างกันมากขึ้น

4. เมื่อพิจารณาตามระดับความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์ ความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์มีผลต่อค่าอำนาจการทดสอบ พบว่าในทุกกรณีศึกษาเมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย วิธีการทางสถิติส่วนใหญ่ให้ค่าอำนาจการทดสอบต่ำ แต่เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันมากกับพบว่าวิธีการทางสถิติเกือบทุกวิธีให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงและสูงมากจนสรุปได้ว่าทุกวิธีเป็นวิธีการทางสถิติที่ดี และผลจากความแตกต่างของอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่มีต่อค่าอำนาจการทดสอบทำให้มีวิธีการทางสถิติที่ดีแตกต่างกันไปในแต่ละกรณีศึกษา

3. วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดเกณฑ์ว่าวิธีการทางสถิติใดให้ค่าประมาณอำนาจการทดสอบมากกว่า 0.8 และสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เป็นวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล สรุปวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมในแต่ละกรณีศึกษาแสดงในตารางที่ 32 และได้ข้อสรุปในภาพรวมดังนี้

1. กรณีข้อมูลมีสมบัติตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ เมื่ออิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย และปานกลาง พบว่าวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมที่สุดในทุกสถานการณ์ คือวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า RES และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม และเมื่ออิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันมาก พบว่าวิธีการทางสถิติทั้ง 8 วิธีมีความเหมาะสมกับข้อมูลในทุกสถานการณ์

2. เมื่อข้อมูลมีสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ เมื่ออิทธิพลทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย พบว่าไม่มีวิธีการทางสถิติใดในการศึกษาครั้งนี้เหมาะสมกับข้อมูลในทุกกรณีศึกษา

3. เมื่อข้อมูลมีสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ เรื่องความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มของประชากรมีค่าไม่เท่ากัน พบว่าวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมที่สุดในทุกสถานการณ์ คือ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า RES และวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

4. เมื่อข้อมูลมีสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบเรื่องการแจกแจงของไม่เป็นแบบปกติ คือเมื่อค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบเดียวกันต่างๆ ดังนี้ มีการแจกแจงแบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพารามิเตอร์ คือ $\alpha(\text{Alpha}) = 50$ และ $\beta(\text{Beta}) = 7$ มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลที่มีพารามิเตอร์ คือค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 ความแปรปรวนเท่ากับ 1 และมีการแจกแจงแบบไคสแควร์ที่มีจำนวนองศาความเป็นอิสระเท่ากับ 3 พบว่าวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมที่สุดในทุกสถานการณ์ คือ วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่า RES วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าอันดับของข้อมูล และการทดสอบของ Quade

ตารางที่ 32 สรุปวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังการทดลอง แยกตามกรณีศึกษา

ลักษณะข้อมูล	ความแตกต่างของ ความแปรปรวนของ ค่าหลังการทดลอง	อิทธิพล ทรีตเมนต์ แตกต่างกัน	วิธีวิเคราะห์							
			ANOVA					ANCOVA		Quade Test
			Y	D	MPC	LT	RES	Y/X	RY/RX	
1. เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรง ตามข้อสมมติเบื้องต้น ของตัวสถิติทดสอบ	-	น้อย	No	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No
		ปานกลาง	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No
		มาก	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
2. เมื่อความแปรปรวนของ ค่าคลาดเคลื่อนของค่า หลังการทดลองในแต่ละ กลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน	แตกต่างกันน้อย	น้อย	No	No	No	No	No	No	No	No
		ปานกลาง	No	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No
		มาก	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	แตกต่างกันปานกลาง	น้อย	No	No	No	No	No	No	No	No
		ปานกลาง	No	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No
		มาก	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	แตกต่างกันมาก	น้อย	No	No	No	No	No	No	No	No
		ปานกลาง	No	No	No	No	Yes	Yes	No	No
		มาก	Yes	No	No	No	Yes	Yes	No	No

ตารางที่ 32 (ต่อ)

ลักษณะข้อมูล	ความแตกต่างของ ความแปรปรวนของ ค่าหลังการทดลอง	อิทธิพล ทรีตเมนต์ แตกต่างกัน	วิธีวิเคราะห์								
			ANOVA				ANCOVA		Quade Test		
			Y	D	MPC	LT	RES	Y/X		RY/RX	
3.1. เมื่อข้อมูลการแจก แจงแบบดับเบิลเอ็กซ์- โพเนนเชียล	-	น้อย	No	No	No	No	No	No	No	No	No
		ปานกลาง	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
		มาก	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
3.2. เมื่อข้อมูลการแจก แจงแบบสี่กอนอร์- มอล	-	น้อย	No	No	No	No	No	No	No	No	No
		ปานกลาง	No	No	No	No	Yes	No	Yes	Yes	
		มาก	No	No	No	No	Yes	No	Yes	Yes	
3.3. เมื่อข้อมูลมีการแจก แจงแบบไคสแควร์	-	น้อย	No	No	No	No	No	No	No	No	No
		ปานกลาง	No	No	No	No	No	No	No	No	No
		มาก	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

หมายเหตุ “Yes” หมายถึง วิธีการทางสถิตินั้นมีความเหมาะสมกับข้อมูล

“No” หมายถึง วิธีการทางสถิตินั้นไม่เหมาะสมกับข้อมูล

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาวิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลในแผนการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง มีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับวิธีการทางสถิติทั้ง 8 วิธี และข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าการแจกแจงของข้อมูล ความเท่ากันของความแปรปรวนในแต่ละกลุ่มของประชากร และอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่ทำการศึกษามีผลต่อค่าอำนาจการทดสอบของวิธีการทางสถิติ ดังนั้นก่อนทำการวิเคราะห์ข้อมูลในแผนการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง ควรทำการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้น เช่น การแจกแจงของข้อมูล ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน เพื่อเลือกใช้วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลในแต่ละลักษณะ

2. ในกรณีอิทธิพลของทรีตเมนต์แตกต่างกันมาก เมื่อข้อมูลมีสมบัติตรงและไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ พบว่าวิธีการทางสถิติทุกวิธีที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงมาก ผู้ทำวิจัยแนะนำวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลองในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูลและลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ข้อมูล เพราะเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและมีโปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการวิเคราะห์ และแม้ว่าวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลองเป็นวิธีที่คำนวณง่ายและรวดเร็ว แต่ก็ไม่เหมาะนำมาใช้ในกรณีค่าก่อนและหลังการทดลองมีความสัมพันธ์กันมาก

3. แม้ผลการวิจัยจะแสดงว่าจำนวนทรีตเมนต์ที่ทำการศึกษามีผลต่อค่าอำนาจการทดสอบเนื่องจากให้ค่าอำนาจการทดสอบใกล้เคียงกัน แต่กับพบว่าบางกรณีที่ทำการศึกษานับจำนวนทรีตเมนต์ที่ทำการศึกษาให้วิธีการทางสถิติที่ดีแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อใช้ในการหาวิธีการทางสถิติที่ดี

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ขนาดตัวอย่างในแต่ละทริตเมนต์มีค่าเท่ากันและเท่ากับ 10 ผู้วิจัยที่สนใจจะศึกษาเรื่องนี้ต่อไปควรศึกษากรณีแต่ละทริตเมนต์มีขนาดตัวอย่างไม่เท่ากันและมีขนาดต่างๆ
2. การวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาวิธีการทางสถิติที่มีประสิทธิภาพไปเปรียบเทียบกับตัวสถิติทดสอบอื่นๆที่เป็นสถิตินอนพาราเมตริก เพื่อหาวิธีการทางสถิติที่ง่ายต่อการคำนวณและมีประสิทธิภาพสูงกว่า โดยอาจใช้การแปลงข้อมูลที่เสนอไว้ เช่น ตัวสถิติทดสอบครัสคัล-วัลลิส และตัวสถิติทดสอบนอร์มอลสกออร์ เป็นต้น
3. การกำหนดลักษณะการแจกแจงของค่าคลาดเคลื่อน ผู้วิจัยอาจสนใจที่จะศึกษาเพิ่มเติมในกรณีการแจกแจงของค่าคลาดเคลื่อนแบบอื่นๆ เช่น การแจกแจงแบบแกมมา การแจกแจงเบ้ซ้าย การแจกแจงที่มีความโด่ง โดยอาจพิจารณานำขนาดของความโด่ง และความเบ้ มาทำการศึกษาเพิ่มเติม
4. กรณีข้อมูลมีสมบัติไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ ผู้วิจัยอาจเลือกศึกษาในกรณีอื่นๆ เช่น กรณีความสัมพันธ์ของค่าก่อนและหลังการทดลองไม่เป็นแบบเส้นตรง กรณีค่าก่อนการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติและค่าหลังการทดลองแจกแจงแบบอื่นๆ เป็นต้น
5. ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาปัจจัยสำหรับแผนการทดลองนี้เพียง 1 ปัจจัย ในกรณีที่การทดลองมีปัจจัยที่ต้องการศึกษา 2 ปัจจัย ควรมีการศึกษาในแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสำหรับข้อมูลแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังการทดลอง
6. ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อหาวิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลจากแผนการทดลองแบบที่มีการวัดค่าก่อน-หลังเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทริตเมนต์ ผู้วิจัยเสนอแนะให้นำข้อมูลในแต่ละกรณีศึกษาไปศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทริตเมนต์เป็นคู่ๆ (Multiple Comparison) ที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับข้อมูล

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- จรัญ จันทลักขณา. 2549. สถิติการวิเคราะห์และการวางแผนงานวิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จิรัชย์ สุขะเกตุ. 2548. ความน่าจะเป็นและทฤษฎีสถิติเบื้องต้น. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จิราวัลย์ จิตรถเวช. 2552. การวางแผนและการวิเคราะห์การทดลอง. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นิตา ชาญบรรจง. 2543. หลักสถิติ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บุญอ้อม โจมที. 2549. สถิติการวางแผนการทดลอง: ทฤษฎีและการวิเคราะห์ด้วย SAS. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปิยวรรณ ถือแก้ว. 2552. การเปรียบเทียบวิธีทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มานพ วรภักดิ์. 2541. การเปรียบเทียบตัวสถิติทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรหลายกลุ่ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุพรรณิ นวสิทธิ์ไพศาล. 2549. การวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองที่มีการวัดค่าก่อน-หลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรไท สงวนสิทธิ์. 2545. การเปรียบเทียบการทดสอบเอฟและการทดสอบมอนติคาร์โลด้วยอัตราส่วนภาวะน่าจะเป็นสำหรับแผนการทดลองสุ่มตลอดที่มีปัจจัยทดลองคงที่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Bonate, P.L. 2000. **Analysis of Pretest - Posttest Design**. Chapman & Hall/CRC, The United States of American.

Douglas, C. and Montgomery. 2005. **Design and Analysis of Experiments**. 6th ed. John Wiley & Sons, New Jersey.

Gliner, J.A., G.A. Morgan and R.J. Harmon. 2003. Pretest-posttest comparison group design: analysis and interpretation. **J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry**. 42(4): 500 - 503.

Hendrex, L.J., M.W. Carter and J.L. Hintze. 1979. A comparison of five statistical methods for analyzing pretest - posttest designs. **The Journal of Experimental Education**. 42(2): 96 - 102.

Jamieson, J. 2004. Analysis of covariance (ANCOVA) with difference scores. **International Journal of Psychophysiology**. 53: 277 - 283.

Sheeber, L.B., E.D. Sorensen and S.R. Howe. 1996. Data analytic techniques for treatment Outcome studies with pretest/posttest measurement: an extensive primer. **J. Psychian. Res.** 30(3): 185 - 199.





ภาคผนวก ก
ตารางแสดงอิทธิพลของทริตเมนต์ในแต่ละกรณีศึกษา

ตารางผนวกที่ ก1 อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3

ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ)	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์		
		τ_1	τ_2	τ_3
แตกต่างกันน้อย	0.9037	-3.5	0	3.5
แตกต่างกันปานกลาง	1.9107	-7.4	0	7.4
แตกต่างกันมาก	4.0537	-15.7	0	15.7

ตารางผนวกที่ ก2 อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5

ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ)	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์				
		τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5
แตกต่างกันน้อย	0.8216	-4.2	-2.7	0	2.7	4.2
แตกต่างกันปานกลาง	1.9351	-10.3	-5.3	0	5.3	10.3
แตกต่างกันมาก	3.7213	-19.7	-10.5	0	10.5	19.7

ตารางผนวกที่ ก3 อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มของประชากรมีค่าไม่เท่ากัน

ระดับความแตกต่างของ ความแปรปรวน	ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของ ทริตเมนต์	ค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ)	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์		
			τ_1	τ_2	τ_3
น้อย	น้อย	0.7348	-4.5	0	4.5
	ปานกลาง	1.7191	-10.5	0	10.5
	มาก	3.0210	-18.5	0	18.5

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ระดับความแตกต่างของ ความแปรปรวน	ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของ ทรีตเมนต์	ค่าอน เซนทรัลลิตี้(λ)	อิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์		
			τ_1	τ_2	τ_3
ปานกลาง	น้อย	0.7390	-6.4	0	6.4
	ปานกลาง	1.7205	-14.9	0	14.9
	มาก	3.0138	-26.1	0	26.1
มาก	น้อย	0.7120	-7.8	0	7.8
	ปานกลาง	1.7071	-18.7	0	18.7
	มาก	3.0764	-33.7	0	33.7

ตารางผนวกที่ ก4 อิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์ตามค่าอนเซนทรัลลิตี้พารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 5 เมื่อความแปรปรวนของค่าหลังการทดลองในแต่ละกลุ่มของประชากรมีค่าไม่เท่ากัน

ระดับความแตกต่างของ ความแปรปรวน	ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของ ทรีตเมนต์	ค่าอน เซนทรัลลิตี้ (λ)	อิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์				
			τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5
น้อย	น้อย	0.7640	-6.5	-3	0	3	6.5
	ปานกลาง	1.7191	-14.2	-8	0	8	14.2
	มาก	3.0953	-24	-18	0	18	24
ปานกลาง	น้อย	0.7439	-10	-4	0	4	10
	ปานกลาง	1.7272	-22	-13	0	13	22
	มาก	3.0362	-39	-22	0	22	39
มาก	น้อย	0.7667	-12	-5	0	5	12
	ปานกลาง	1.6428	-25	-13	0	13	25
	มาก	3.0460	-44	-30	0	30	44

ตารางผนวกที่ ก5 อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 และมีการแจกแจงแบบดัดเบิ้ล-เอ็กซ์โพเนนเชียลตามพารามิเตอร์

ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าอนเซนทรลิตี พารามิเตอร์ (λ)	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์		
		τ_1	τ_2	τ_3
แตกต่างกันน้อย	0.7303	-2.8	0	2.8
แตกต่างกันปานกลาง	1.7214	-6.6	0	6.6
แตกต่างกันมาก	3.0516	-11.7	0	11.7

ตารางผนวกที่ ก6 อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 และมีการแจกแจงแบบดัดเบิ้ล-เอ็กซ์โพเนนเชียล ตามพารามิเตอร์

ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าอนเซนทรลิตี พารามิเตอร์ (λ)	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์				
		τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5
แตกต่างกันน้อย	0.7152	-3.9	-1.5	0	1.5	3.9
แตกต่างกันปานกลาง	1.7556	-9.4	-4.3	0	4.3	-9.4
แตกต่างกันมาก	3.0702	-16.7	-6.6	0	6.6	16.7

ตารางผนวกที่ ก7 อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 และมีการแจกแจงแบบลือกนอร์มอลตามพารามิเตอร์

ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าอนเซนทรลิตี พารามิเตอร์ (λ)	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์		
		τ_1	τ_2	τ_3
แตกต่างกันน้อย	0.7032	-1.6	0	1.6
แตกต่างกันปานกลาง	1.7141	-3.9	0	3.9
แตกต่างกันมาก	3.0326	-6.9	0	6.9

ตารางผนวกที่ ก8 อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 ที่มีการแจกแจงแบบลิออนอร์มอลตามพารามิเตอร์

ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าอนเซนทรลิตี พารามิเตอร์ (λ)	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์				
		τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5
แตกต่างกันน้อย	0.7555	-2.4	-1.1	0	1.1	2.4
แตกต่างกันปานกลาง	1.7481	-5.7	-2	0	2	5.7
แตกต่างกันมาก	3.0767	-10.2	-2.7	0	2.7	10.2

ตารางผนวกที่ ก9 อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 ที่มีการแจกแจงแบบโคสแควร์ตามพารามิเตอร์

ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าอนเซนทรลิตี พารามิเตอร์ (λ)	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์		
		τ_1	τ_2	τ_3
แตกต่างกันน้อย	0.7379	-0.7	0	0.7
แตกต่างกันปานกลาง	1.7393	-1.65	0	1.65
แตกต่างกันมาก	3.0569	-2.9	0	2.9

ตารางผนวกที่ ก10 อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์ตามค่าอนเซนทรลิตีพารามิเตอร์ (λ) สำหรับแผนการทดลองที่มีจำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 ที่มีการแจกแจงแบบโคสแควร์ตามพารามิเตอร์

ระดับความแตกต่าง ของอิทธิพลของทริตเมนต์	ค่าอนเซนทรลิตี พารามิเตอร์ (λ)	อิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์				
		τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5
แตกต่างกันน้อย	0.7439	-1	-0.4	0	0.4	1
แตกต่างกันปานกลาง	1.7272	-2.2	-1.3	0	1.3	2.2
แตกต่างกันมาก	3.0257	-4.1	-1.5	0	1.5	4.1



การคำนวณค่าอนเซนทรีลิตี้พารามิเตอร์ (λ) สำหรับอิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์

ตัวอย่าง กำหนด $\tau_1 = -3.5$, $\tau_2 = 0$ และ $\tau_3 = 3.5$ ที่จำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 และ ความแปรปรวนเท่ากับ 100

$$\lambda = \frac{\sqrt{n \sum_{i=1}^k \tau_i^2 / k}}{\sigma}$$

$$\therefore \tau_1^2 = (-3.5)^2 = 12.25$$

$$\therefore \tau_2^2 = 0$$

$$\therefore \tau_3^2 = (3.5)^2 = 12.25$$

$$\sum_{i=1}^k \tau_i^2 = 12.25 + 0 + 12.25 = 24.5$$

$$\text{ดังนั้น } \lambda = \frac{\sqrt{10(24.5)/3}}{10} = 0.9037$$

จากเกณฑ์ของ Games et al. นั่นคือ เมื่ออิทธิพลของทรีตเมนต์มีความแตกต่างกันน้อย ค่า λ มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 1.5)$

จะได้ $\lambda = 0.9037$ อยู่ในช่วง $[0, 1.5)$ ดังนั้น อิทธิพลของแต่ละทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย

การคำนวณค่าอนเซนทรลิตี้พารามิเตอร์ (ϕ) สำหรับความแปรปรวนของแต่ละทรีตเมนต์

ตัวอย่าง กำหนด $\sigma_1^2=90$, $\sigma_2^2=100$ และ $\sigma_3^2=110$ ที่จำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10

$$\phi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\sigma_i^2 - \bar{\sigma}^2)^2 / k}{\sigma_1^2}}$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2}{3} = \frac{90 + 100 + 110}{3} = 100$$

$$\sigma_1^2 - \bar{\sigma}^2 = (90 - 100)^2 = 100$$

$$\sigma_2^2 - \bar{\sigma}^2 = (100 - 100)^2 = 0$$

$$\sigma_3^2 - \bar{\sigma}^2 = (110 - 100)^2 = 100$$

$$\text{ดังนั้น } \phi = \sqrt{\frac{(100 + 0 + 100) / 3}{90}} = 0.8607$$

จากเกณฑ์ของ Games et al. นั่นคือ ความแปรปรวนของประชากรมีความแตกต่างกันน้อย ถ้า $0 < \phi < 1.5$

จะได้ $\phi = 0.8607$ อยู่ในช่วง $[0, 1.5)$ ดังนั้น ความแปรปรวนของแต่ละทรีตเมนต์แตกต่างกันน้อย



ภาคผนวก ค
โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

โปรแกรม SAS ที่ใช้จำลองข้อมูลให้ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ ที่ค่าก่อนการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50 และความแปรปรวนเท่ากับ 100 ค่าหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70 และความแปรปรวนเท่ากับ 100 เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.2

```
dm 'log;clear;out;clear';
option linesize =100 nodate nonumber spool erase nosource nosource2;
%macro gen (reps,n,mu_x,mu1,mu2,mu3,rho,var_e);
  %do j=1 %to &reps;
data sim&j;
  do i=1 to &n;
    Xss= rannor(56788+&j);
    Ws = rannor(58431+&j);
    Zs = &rho*Xss+Ws*(sqrt(1-&rho**2));
    Xs = &mu_x + Xss*10;
    output;
  end;
data trt&j; set sim&j;
var1=1.0*&var_e;
var2=1.0*&var_e;
var3=1.0*&var_e; /*phi=0*/
  if _n_ <=10 then y = &mu1+Zs*sqrt(var1);
  if 11<= _n_ <=20 then y = &mu2+Zs*sqrt(var2);
  if _n_ >20 then y = &mu3+Zs*sqrt(var3);
data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest diff;
  if _n_ <=10 then trt=1;
  if 11<= _n_ <=20 then trt=2;
  if _n_ >20 then trt=3;
```

```

pretest=xs; posttest=y;

%mend;

%gen(1000,30,50,70,70,70,0.2,100) *Ho_true;

*****

โปรแกรม SAS ที่ใช้จำลองข้อมูลให้ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นของตัวสถิติทดสอบ ที่ค่า
ก่อนการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50 และความแปรปรวนเท่ากับ 100 ค่า
หลังการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70 และความแปรปรวนเท่ากับ 100 เมื่อ
จำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.2
*****

dm 'log;clear;out;clear';
option linesize=100 nodate nonumber spool erase nosource nosource2;
%macro gen (reps,n,mu_x,mu1,mu2,mu3,mu4,mu5,rho,var_e);
%do j=1 %to &reps;
data sim&j;
do i=1 to &n;
Xss= rannor(56788+&j);
Ws = rannor(58431+&j);
Zs = &rho*Xss+Ws*(sqrt(1-&rho**2));
Xs = &mu_x + Xss*10;
output;
end;
data trt&j; set sim&j;
var1=1.0*&var_e;
var2=1.0*&var_e;
var3=1.0*&var_e;
var4=1.0*&var_e;
var5=1.0*&var_e; /*phi=0*/
if _n_ <=10 then y = &mu1+Zs*sqrt(var1);

```

```

if 11<=_n_<20 then y = &mu2+Zs*sqrt(var2);
if 21<=_n_<30 then y = &mu3+Zs*sqrt(var3);
if 31<=_n_<40 then y = &mu4+Zs*sqrt(var4);
if 40<_n_ then y = &mu5+Zs*sqrt(var5);
data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest diff ;
if _n_<=10 then trt=1;
if 11<=_n_<=20 then trt=2;
if 21<=_n_<=30 then trt=3;
if 31<=_n_<=40 then trt=4;
if _n_>40 then trt=5;
pretest=xs; posttest=y;
%mend;
%gen(1000,50,50,70,70,70,70,0.2,100) * Ho_true;

*****
โปรแกรม SAS ที่ใช้จำลองข้อมูล ที่ค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบดัดเบิ้ล
เอ็กซ์โพเนนเชียล ที่มีพารามิเตอร์  $\alpha$ (Alpha) = 50 และ  $\beta$  (Beta) = 7 เมื่อจำนวนทรีตเมนต์
เท่ากับ 3 และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.2
*****

dm 'log;clear;out;clear';
option linesize=100 nodate nonumber spool erase nosource nosource2;
%macro gen (reps,n,mu_x,mu1,mu2,mu3,rho);
%do j=1 %to &reps;
data lognor&j;
do i=1 to &n;

xs = 50-7*sign(ranuni(126572+&j))*log(1-2*abs(1*ranuni(598143+&j)-0.5));
ws = 50-7*sign(ranuni(965743+&j))*log(1-2*abs(1*ranuni(867219+&j)-0.5));
Zs = &rho*xs+ws*(sqrt(1-&rho**2));
x = xs+&mu_x;

```

```

output;

end;

data trt&j; set lognor&j;

    if _n_ <= 10 then y = &mu1 + Zs;
    if 11 <= _n_ <= 20 then y = &mu2 + Zs;
    if 21 <= _n_ <= 30 then y = &mu3 + Zs;

data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest diff;

    if _n_ <= 10 then trt = 1;
    if 11 <= _n_ <= 20 then trt = 2;
    if 21 <= _n_ <= 30 then trt = 3;

    pretest = x; posttest = y;

%mend;

%gen(1000,30,0,0,0,0,0.2) *H0:TRUE;

*****

โปรแกรม SAS ที่ใช้จำลองข้อมูล ที่ค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบล็อก
นอร์มอล ที่มีพารามิเตอร์ที่มีค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) เท่ากับ 1 ความแปรปรวน ( $\sigma^2$ ) เท่ากับ 1 เมื่อจำนวน
ทริตเมนต์เท่ากับ 3 และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.2

*****

dm 'log;clear;out;clear';

option linesize=100 nodate nonumber spool erase nosource nosource2;

%macro gen (reps,n,mu_x,mu1,mu2,mu3,rho);

%do j=1 %to &reps;

data lognor&j;

do i=1 to &n;

    xs = EXP(1+(sqrt(1)*(rannor(643781+&j))));
    ws = EXP(1+(sqrt(1)*(rannor(586158+&j))));
    Zs = &rho*xs+ws*(sqrt(1-&rho**2));
    x = xs+&mu_x;

```

```

output;

end;

data trt&j; set lognor&j;

    if _n_ <= 10 then y = &mu1 + Zs;
    if 11 <= _n_ <= 20 then y = &mu2 + Zs;
    if 21 <= _n_ <= 30 then y = &mu3 + Zs;

data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest diff;

    if _n_ <= 10 then trt = 1;
    if 11 <= _n_ <= 20 then trt = 2;
    if 21 <= _n_ <= 30 then trt = 3;

    pretest = x; posttest = y;

%mend;

%gen(1000,30,0,0,0,0,0.2) *H0:TRUE;

*****

โปรแกรม SAS ที่ใช้จำลองข้อมูล ที่ค่าก่อนและหลังการทดลองมีการแจกแจงแบบ
โคสเคอร์ ที่มีพารามิเตอร์จำนวนองศาความเป็นอิสระคือ  $n = 3$  เมื่อจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3
และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.2

*****

dm 'log;clear;out;clear';

option linesize=100 nodate nonumber spool erase nosource nosource2;

%macro gen (reps,n,mu_x,mu1,mu2,mu3,rho);

%do j=1 %to &reps;

data lognor&j;

do i=1 to &n;

    xs = CInv(RanUni(142589+&j),3);
    ws = CInv(RanUni(954362+&j),3);
    Zs = &rho*xs+ws*(sqrt(1-&rho**2));
    x = xs+&mu_x;

```

```

output;
end;

data trt&j; set lognor&j;
    if _n_ <= 10 then y = &mu1 + Zs;
    if 11 <= _n_ <= 20 then y = &mu2 + Zs;
    if 21 <= _n_ <= 30 then y = &mu3 + Zs;
data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest diff;
    if _n_ <= 10 then trt = 1;
    if 11 <= _n_ <= 20 then trt = 2;
    if 21 <= _n_ <= 30 then trt = 3;
    pretest = x; posttest = y;
%mend;
%gen(1000,30,0,0,0,0,0.2) *H0:TRUE;

*****
โปรแกรม SAS แสดงคำสั่งของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าหลังการทดลอง
*****

data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest;
    pretest = xs; posttest = y;
ods output ModelAnova = models&j;
proc glm data = loop&j;
    class trt;
    model posttest = trt/ss3;
    output out = diagpost p = pred r = resid;
    title 'ANOVA BY Posttest';
run;

ods output close;
%end;

data combine (keep = ProbF);

```

```

set
    %do j=1 %to &reps;
        Models&j
    %end;
;
run;

proc print data = combine;
title'ProbF for Anova of posttest'; run;

*****
โปรแกรม SAS แสดงคำสั่งของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าผลต่างจากค่าหลังกับ
ค่าก่อนการทดลอง
*****

data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest diff;
    pretest=xs; posttest=y;
    diff = posttest-pretest;
ods output ModelAnova=models&j;
proc glm data = loop&j;
    class trt;
    model diff = trt/ss3;
/*means trt;
means trt/tukey;*/
output out=diagdif p=pred r=resid;
title 'ANOVA BY DIFFERENT SCORE';
run;
ods output close;
%end;
data combine (keep = ProbF);
set

```

```

        %do j=1 %to &reps;
            Models&j
        %end;
    ;
run;

proc print data = combine;
title'ProbF for Anova of differrent Score';
run;

*****
        โปรแกรม SAS แสดงคำสั่งของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าเปอร์เซ็นต์การ
        เปลี่ยนแปลงที่ปรับปรุงใหม่
*****

data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest mpc;
    pretest=xs; posttest=y;
    mpc=((posttest-pretest)/((posttest+pretest)/2))*100;
ods output ModelAnova=models&j;
proc glm data = loop&j;
    class trt;
    model mpc = trt/ss3;
    output out=diagmpc p=pred r=resid;
    title 'ANOVA BY Modified Proportional Percent Change Score';
run;

ods output close;
%end;

data combine (keep = ProbF);
set
    %do j=1 %to &reps;
        Models&j

```

```

        %end;
    ;
run;

proc print data = combine;
title'ProbF for Anova of Modified Percent Change Score';
run;

*****
โปรแกรม SAS แสดงคำสั่งของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าลือของอัตราส่วนของ
ค่าหลังการทดลองกับค่าก่อนการทดลอง
*****

data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest L;
    pretest=xs; posttest=y;
    L= log(posttest)-log(pretest);
ods output ModelAnova=models&j;
proc glm data = loop&j ;
class trt;
model L = trt/ss3;
output out=diaglogt p=pred r=resid;
title 'ANOVA BY Log-tranform';
run;

ods output close;
%end;

data combine (keep = ProbF);
set

    %do j=1 %to &reps;
        Models&j
    %end;
;

```

```

run;

proc print data = combine;
title'ProbF for Anova of Log- transform';
run;

*****
โปรแกรม SAS แสดงคำสั่งของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนจากค่าเศษตกค้าง
*****

data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest ;
      pretest=xs; posttest=y;
/*****regression*****/
data regress&j;
      set loop&j;
      proc reg data =regress&j ;
      model posttest = pretest;
      output out=diag&j r=resid_r;
run;
proc print data = diag&j;
title 'Regression of data and keep resid_r';
run;
ods output ModelAnova=models_r&j;
/***** Anova For Resid_r of Rank data *****/
proc glm data = diag&j;
      class trt;
      model resid_r = trt/ss3;
      /*means trt;
      means trt/tukey;*/
      output out=diagR ;
      title 'Anova of resid ';
```

```

run;

ods output close;

%end;

data combine (keep = ProbF);
set
    %do j=1 %to &reps;
        Models_r&j
    %end;
;
run;

proc print data = combine;
title'ProbF for Anova of resid';
run;

*****
โปรแกรม SAS แสดงคำสั่งของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากค่าหลังการทดลอง
โดยใช้ค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม
*****

data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest;
pretest=xs; posttest=y;

ods output ModelAnova=models&j;
PROC GLM ;
CLASS trt ;
MODEL posttest = trt pretest/ss3;
title 'ANCOVA BY Posttest';

run;

ods output close;

data test_pre&j test_trt&j ;
set Models&j;

```

```

        if source = 'pretest' then output test_pre&j;
        else if source = 'trt' then output test_trt&j;

run;

%end;

data combine_pre (keep = source ProbF);
set
    %do j=1 %to &reps;
        test_pre&j
    %end;
;

run;

proc print data = combine_pre;
title'ProbF for ANCOVA of pretest(CO)';
run;

data combine_trt (keep = source ProbF);
set
    %do j=1 %to &reps;
        test_trt&j
    %end;
;

run;

proc print data = combine_trt;
title'ProbF for ANCOVA of Treatment';
run;

```

โปรแกรม SAS แสดงคำสั่งของวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจากอันดับของค่าหลังการทดลองโดยใช้อันดับของค่าก่อนการทดลองเป็นตัวแปรร่วม

```

data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest;
      pretest=xs; posttest=y;
/*****rank data*****/
data rank&j;
      set loop&j;
      proc rank data=loop&j out=rankings&j ;
            var pretest posttest;
            ranks pre_rank post_rank;
      run;
ods output ModelAnova=models&j;
proc GLM;
      CLASS trt ;
      MODEL post_rank = trt pre_rank/ss3;
      title 'ANCOVA BY RANK';
run;
ods output close;
data test_pre&j test_trt&j ;
      set Models&j;
      if source = 'pre_rank' then output test_pre&j;
      else if source = 'trt' then output test_trt&j;

run;
%end;
data combine_pre (keep = source ProbF);
set
      %do j=1 %to &reps;
            test_pre&j
      %end;
      ;
run;
proc print data = combine_pre;

```

```

title'ProbF for ANCOVA of Rank pretest(CO)';
run;
data combine_trt (keep = source ProbF);
set
    %do j=1 %to &reps;
        test_trt&j
    %end;
;
run;
proc print data = combine_trt;
title'ProbF for ANCOVA of Rank'; run;

*****
โปรแกรม SAS แสดงคำสั่งของการทดสอบของ Quade
*****

data loop&j; set trt&j; keep trt pretest posttest;
    pretest=xs; posttest=y;
/*****rank data*****/
data rank&j;
    set loop&j;
    proc rank data=loop&j out=rankings&j ;
        var pretest posttest;
        ranks pre_rank post_rank;
    run;
/*****Regression of Rank data*****/
proc reg data = rankings&j;
    model post_rank = pre_rank;
    output out=diag&j p=pred r=resid_Q;
run;

```

```

proc print data = diag&j;
title 'Regression of Rank data and keep resid_Q';
run;

ods output ModelAnova=models_Q&j;

/***** Anova For Resid_Q of Rank data *****/
proc glm data = diag&j;
class trt;
model resid_Q = trt/ss3;
means trt;
means trt/tukey;
output out=diagQ p=pred r=resid;
title 'Quade Test for Nonparametric Analysis of Covariance';
run;

proc print data=diagQ;
run;
ods output close;
%end;
data combine (keep = ProbF);
set
    %do j=1 %to &reps;
        Models_Q&j
    %end;
;

run;

proc print data = combine;
title'ProbF for Anova from Quade Test';
run;

```

โปรแกรม SAS แสดงคำสั่งของการเก็บค่าอำนาจการทดสอบ

```
data Type1 Type2;
```

```
set combine;
```

```
    IF ProbF<0.05 THEN output Type2;
```

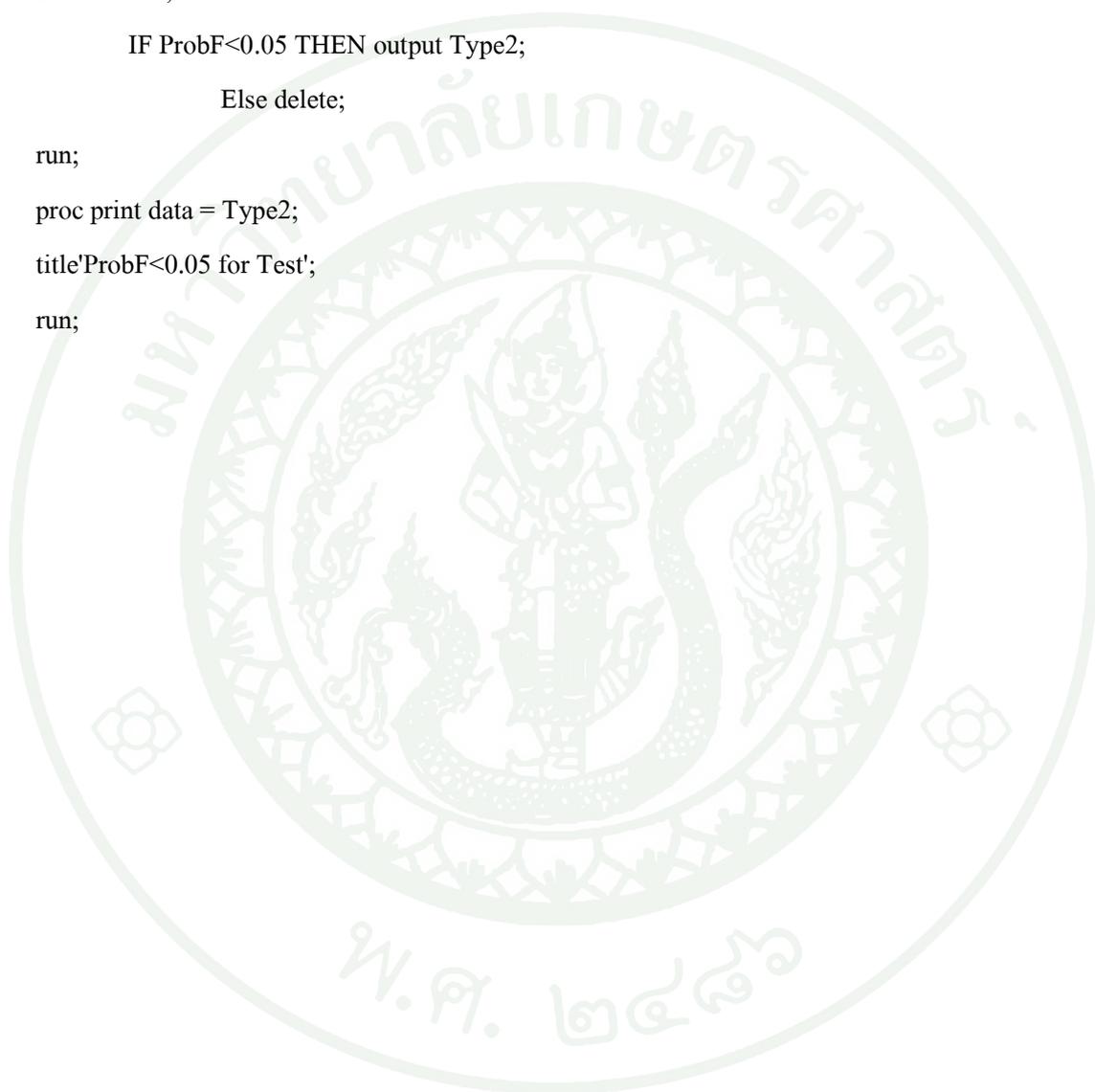
```
        Else delete;
```

```
run;
```

```
proc print data = Type2;
```

```
title'ProbF<0.05 for Test';
```

```
run;
```



ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ - นามสกุล	นางสาววิลาสินี พรหมมานอก
เกิดวันที่	วันที่ 17 ธันวาคม 2526
สถานที่เกิด	นครสวรรค์
ประวัติการศึกษา	วท.บ.(คณิตศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับสอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต(การสอนวิทยาศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งปัจจุบัน	รับราชการครู
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย 132/11 ถนนพระรามหก แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนจากโครงการส่งเสริมการผลิตครูผู้มีความสามารถพิเศษ ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์(สควค.) ในปีการศึกษา 2544 - 2548