



การเปรียบเทียบกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ
สำหรับแผนการทดลองแบบ 2x2 แฟคทอเรียล

A Comparison of the Power of Test of Test Statistics
for 2x2 Factorial Designs

พรนภา ด่านไทยวัฒนา¹ และ กมลชนก พานิชการ^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบกำลังของสถิติทดสอบอิงและไม่อิงพารามิเตอร์สำหรับแผนการทดลองแบบ 2x2 แฟคทอเรียลแบบสมดุลซึ่งมีทั้งการทดสอบอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมกำลังสถิติทดสอบมี 3 วิธี ได้แก่ สถิติทดสอบเอฟ (F-Test) สถิติทดสอบโดยการแปลงเป็นอันดับ (RT-Test) และสถิติทดสอบโดยการแปลงเป็นอันดับที่ถูกปรับ (ART-Test) โดยจำลองข้อมูล 10,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์ข้อมูลถูกสร้างจากความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงไคกำลังสอง ที่มีองศาเสรีเท่ากับ 1 3 และ 5 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าในกรณีความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงไคกำลังสองกรณีทดสอบอิทธิพลหลักของปัจจัย A และอิทธิพลหลักของปัจจัย B และเมื่อจำนวนการทำซ้ำตั้งแต่ 5 ซ้ำ โดยส่วนใหญ่สถิติทดสอบ RT มีค่ากำลังการทดสอบสูงสุด และกรณีทดสอบอิทธิพลร่วม AB สถิติทดสอบ ART มีค่ากำลังการทดสอบสูงสุด

ABSTRACT

The objective of this research is to compare the power of test of parametric and non-parametric test statistics, namely F-test, ranked transform test (RT-Test) and adjusted ranked transform test (ART-Test) for balanced 2x2 factorial designs including tests of main effects and interaction effect. The power of tests was calculated with 10,000 replications in each situation. The data was conducted from error distributed as chi-square. The results indicated that ART-Test performs well for interaction effect test in the most of situations. For main effect tests, the RT-Test gives the most power of test

¹ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จ.นครปฐม 73000

*Corresponding Author, E-mail: kamolcha@su.ac.th

คำสำคัญ: อำนาจการทดสอบ 2x2 แฟคทอเรียล การแจกแจงแบบไคกำลังสอง

Keywords: Power of test, 2x2 factorial, Chi-square distribution

บทนำ

การทดสอบสมมติฐานในงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างผลกระทบของปัจจัยทดลองนิยมใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยสถิติทดสอบเอฟ (F-Test) ในการทดสอบสมมติฐาน โดยมีข้อสมมติว่าค่าสังเกตถูกสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติอย่างเป็นอิสระ และความแปรปรวนในแต่ละกลุ่มเท่ากัน แต่ในความเป็นจริงข้อมูลมักไม่เป็นตามข้อสมมติกล่าวคือข้อมูลอาจไม่ได้มีการแจกแจงปกติ ซึ่งอาจแก้ปัญหาเกี่ยวกับการแจกแจงนี้โดยใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์แทน

แผนการทดลองหนึ่งที่นักวิจัยนิยมใช้คือแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial design) เพราะเป็นการทดลองที่สามารถศึกษาปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัย และหลายระดับโดยสามารถทดสอบอิทธิพลในแต่ละระดับรวมทั้งอิทธิพลร่วมของปัจจัยเหล่านั้น ทำให้การวิเคราะห์ที่ได้ข้อสรุปที่กว้างขวางกว่าการศึกษาเพียงปัจจัยเดียว

การใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแผนการทดลองส่วนใหญ่มักจะนำมาใช้กับแผนการทดลองที่ซับซ้อน เช่น แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ สามารถใช้ Kruskal-Wallis test ส่วนแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสามารถใช้ Friedman test ได้ แต่สำหรับแผนการทดลองที่ซับซ้อนกว่า เช่น แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล ซึ่งต้องมีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลัก และอิทธิพลร่วม (interaction) มักไม่ค่อยมีสถิติที่ไม่อิงพารามิเตอร์มารองรับ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีทดสอบสมมติฐานสำหรับสถิติอิงพารามิเตอร์คือสถิติทดสอบเอฟ และวิธีทดสอบสมมติฐานสำหรับสถิติไม่อิงพารามิเตอร์ 2 แบบคือสถิติทดสอบโดยการแปลงเป็นอันดับ (rank transformation: RT) สำหรับแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่ขนาดตัวอย่างในแต่ละสิ่งทดลองไม่เท่ากันซึ่งเสนอโดย Michael et al. (1997) และนิยามสมมติฐานของสถิติไม่อิงพารามิเตอร์ในทอมของฟังก์ชันการแจกแจงของเซลในลักษณะที่เหมือนกับสมมติฐานของสถิติแบบอิงพารามิเตอร์ที่นิยามในรูปแบบค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง ซึ่งข้อกำหนดดังกล่าวไม่มีข้อสมมติว่าในสิ่งทดลองที่ต่างกันความแปรปรวนต้องเท่ากัน และสถิติทดสอบอีกตัวที่นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้คือสถิติทดสอบโดยการแปลงเป็นอันดับที่ถูกรับ (the adjusted rank transform test: ART) เสนอโดย Charistophe and Sandy (2010) ในงานวิจัยด้านจิตวิทยา ซึ่งข้อมูลที่ศึกษาเป็นแบบ 2x2 แฟคทอเรียลโดยทำการปรับข้อมูลก่อนแล้วจึงนำข้อมูลที่ปรับมาจัดอันดับแล้วนำค่าอันดับไปวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากที่กล่าวมาข้างต้นประสิทธิภาพของสถิติทดสอบทั้ง 3 แบบเป็นที่น่าสนใจ ประกอบกับยังไม่มีหลักฐานเพียงพอในการเลือกใช้สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์โดยการแปลงเป็นอันดับและสถิติทดสอบแบบ ART โดยใช้แผนการทดลองแบบ 2x2 แฟคทอเรียล ด้วยการพิจารณากำลังการทดสอบ (power of test)

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือต้องการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพสถิติทดสอบสำหรับแผนการทดลองแบบ 2×2 แฟคทอเรียลเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงโคกกำลังสอง โดยพิจารณากำลังการทดสอบ (power of test) ของตัวสถิติ โดยใช้ตัวสถิติทดสอบดังนี้

1. สถิติทดสอบเอฟ, F-Test (Douglas, 2005)
2. สถิติทดสอบโดยการแปลงเป็นอันดับ, RT-Test (Akritas et al., 1997)
3. สถิติทดสอบโดยการแปลงเป็นอันดับที่ถูกปรับ, ART-Test (Christophe and Sandy, 2010)

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองแบบข้อมูลด้วยโปรแกรม MATLAB โดยจำลองค่าคลาดเคลื่อนให้มีการแจกแจงโคกกำลังสอง

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ 3 วิธี ได้แก่ สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์โดยการแปลงเป็นอันดับ และสถิติทดสอบ ART ในการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างระหว่างอิทธิพลร่วมของปัจจัยการทดลอง และสมมติฐานความแตกต่างของอิทธิพลหลักของปัจจัยการทดลอง โดยการจำลองข้อมูล ซึ่งมีขอบเขตของวิจัยดังนี้

1. กำหนดให้อิทธิพลของปัจจัยการทดลองเป็นอิทธิพลคงที่ (fixed effect) โดยมีตัวแบบคือ

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}; \quad i=1, 2 \quad j=1, 2 \quad \text{และ} \quad k=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

เมื่อ Y_{ijk} แทนค่าสังเกตจากหน่วยทดลองตัวที่ k ที่เกิดจากอิทธิพลระดับที่ i ของปัจจัย A และระดับ ที่ j ของปัจจัย B

μ แทนค่าเฉลี่ยรวมของประชากร

τ_i แทนอิทธิพลระดับที่ i ของปัจจัย A โดยที่ $\sum_i \tau_i = 0$

β_j แทนอิทธิพลระดับที่ j ของปัจจัย B โดยที่ $\sum_j \beta_j = 0$

$(\tau\beta)_{ij}$ แทนอิทธิพลร่วมของระดับที่ i ของปัจจัย A กับระดับที่ j ของปัจจัย B โดยที่ $\sum_i (\tau\beta)_{ij} = 0$

และ $\sum_j (\tau\beta)_{ij} = 0$

ε_{ijk} แทนความคลาดเคลื่อนสุ่มโดยที่ $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

2. กำหนดการทำซ้ำในแต่ละวิธีทดลอง (treatment combination) เท่ากันคือ $n = 3 \ 5 \ 10 \ 20$ และ 30
3. กำหนดให้ค่าเฉลี่ยรวมของประชากร (μ) คือ 5

4. กำหนดให้ข้อมูลถูกสร้างจากความคลาดเคลื่อนสุ่มที่มีการแจกแจงโคกกำลังสองที่มีค่าองศาเสรีเท่ากับ 1 3 และ 5

5. กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบคือ $\alpha = 0.05$

6. กำหนดความแตกต่างระหว่างอิทธิพลหลักของปัจจัยการทดลองเป็นดังนี้

6.1. กำหนดค่าอิทธิพลหลักของปัจจัย A ซึ่งมี 2 ระดับ ได้แก่

กรณีที่ 1 พิจารณา $\tau_1 = -0.5$ และ $\tau_2 = 0.5$

กรณีที่ 2 พิจารณา $\tau_1 = -0.75$ และ $\tau_2 = 0.75$

กรณีที่ 3 พิจารณา $\tau_1 = -1$ และ $\tau_2 = 1$

6.2. กำหนดค่าอิทธิพลหลักของปัจจัย B ซึ่งมี 2 ระดับ ได้แก่

กรณีที่ 1 พิจารณา $\beta_1 = -0.5$ และ $\beta_2 = 0.5$

กรณีที่ 2 พิจารณา $\beta_1 = -0.75$ และ $\beta_2 = 0.75$

กรณีที่ 3 พิจารณา $\beta_1 = -1$ และ $\beta_2 = 1$

7. จำลองข้อมูล 10,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์การทดลอง

และวิธีดำเนินงานวิจัยสามารถทำตามขั้นตอนดังนี้

1. สร้างความคลาดเคลื่อนให้มีการแจกแจงโคกกำลังสองที่มีองศาเสรีตามที่กำหนด

2. สร้างข้อมูลให้เป็นไปตามแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัยดังแสดงในสมการ (1)

3. คำนวณค่าสถิติทดสอบทั้ง 3 ตัวในแต่ละกรณี

4. คำนวณค่ากำลังการทดสอบของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธีโดยจำลองข้อมูล 10,000 ครั้ง และคำนวณจากสัดส่วนของจำนวนครั้งในการปฏิเสธสมมติฐานกับ 10,000 โดยสมมติฐานหลักในการพิจารณามี 3 สมมติฐาน ได้แก่

4.1. ทดสอบอิทธิพลหลักของปัจจัย A โดยมีสมมติฐานหลักคือ $H_{0(A)}: \tau_i = 0, \forall i; i=1,2$

4.2. ทดสอบอิทธิพลหลักของปัจจัย B โดยมีสมมติฐานหลักคือ $H_{0(B)}: \beta_j = 0, \forall j; j=1,2$

4.3. ทดสอบอิทธิพลร่วม AB โดยมีสมมติฐานหลักคือ $H_{0(AB)}: (\tau\beta)_{ij} = 0, \forall ij; i=1,2; j=1,2$

5. เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบ

ผลการวิจัย

ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3

ผลจากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงโคกกำลังสอง องศาเสรีเท่ากับ 1 3 และ 5 เมื่อกำหนด $\tau_1 = -0.5, \tau_2 = 0.5, \beta_1 = -0.5, \beta_2 = 0.5$ ในทุกการทดสอบ ทุกสถิติทดสอบมีกำลังการทดสอบเพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มจำนวนการทำซ้ำ สำหรับกรณีทดสอบอิทธิพลหลักของปัจจัย A และอิทธิพลหลักของปัจจัย B สถิติทดสอบ RT มีกำลังการทดสอบสูงสุด รองมาคือสถิติทดสอบ ART และสถิติทดสอบ F ตามลำดับและกรณี

ทดสอบอิทธิพลร่วม AB โดยส่วนใหญ่ ($\varepsilon_{ijk} \sim \chi^2_{(1)}$) และ $\varepsilon_{ijk} \sim \chi^2_{(3)}$ เมื่อ $n \geq 20$) สถิติทดสอบ ART มีกำลังการทดสอบสูงสุด รองมาคือสถิติทดสอบ RT และสถิติทดสอบ F ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1

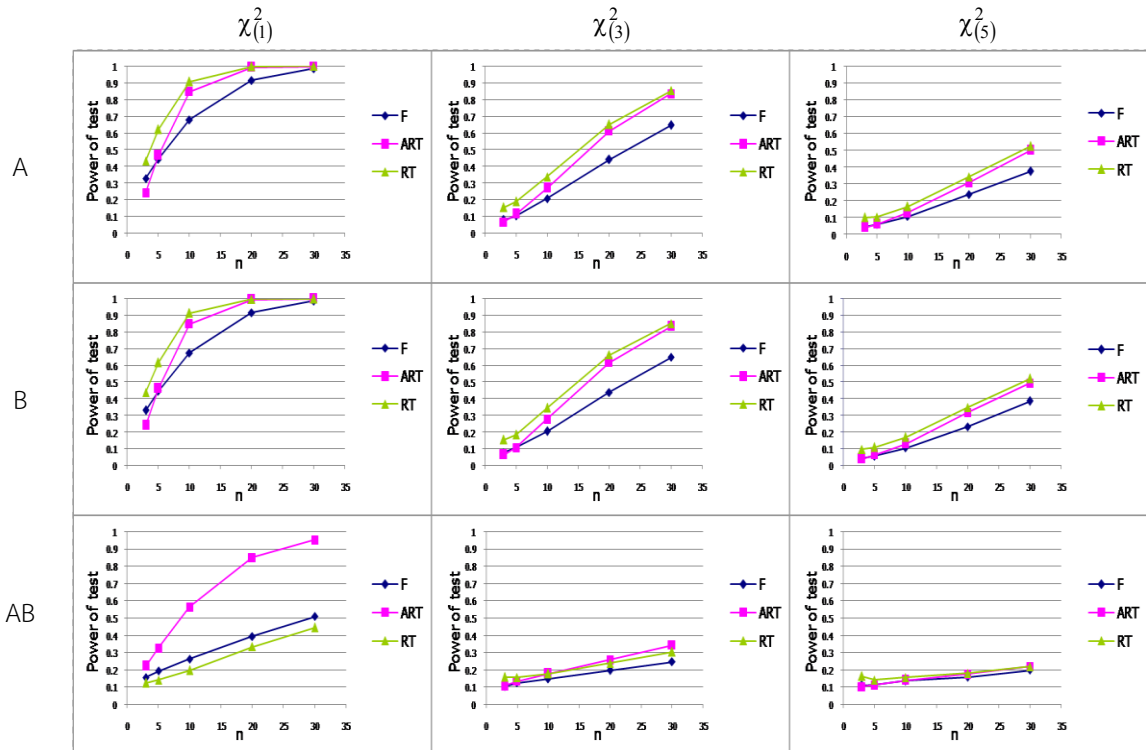
ผลจากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงโคกำลังสอง องศาเสรีเท่ากับ 1, 3 และ 5 เมื่อกำหนด $\tau_1 = -0.75$, $\tau_2 = 0.75$, $\beta_1 = -0.75$, $\beta_2 = 0.75$ ในทุกการทดสอบ ทุกสถิติทดสอบมีกำลังการทดสอบเพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มจำนวนการทำซ้ำ สำหรับกรณีทดสอบอิทธิพลหลักของปัจจัย A และอิทธิพลหลักของปัจจัย B กรณีจำนวนการทำซ้ำเท่ากับ 3 และ 5 โดยส่วนใหญ่สถิติทดสอบ RT มีกำลังการทดสอบสูงสุด รองมาคือสถิติทดสอบ F และสถิติทดสอบ ART ตามลำดับ กรณีจำนวนการทำซ้ำตั้งแต่ 10 ขึ้นไปสถิติทดสอบ RT และสถิติทดสอบ ART ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงพอๆกัน และกรณีทดสอบอิทธิพลร่วม AB โดยส่วนใหญ่สถิติทดสอบ ART มีกำลังการทดสอบสูงสุดในทุกสถานการณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2

ผลจากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงโคกำลังสอง องศาเสรีเท่ากับ 1, 3 และ 5 เมื่อกำหนด $\tau_1 = -1$, $\tau_2 = 1$, $\beta_1 = -1$, $\beta_2 = 1$ สำหรับกรณีทดสอบอิทธิพลหลักของปัจจัย A และอิทธิพลหลักของปัจจัย B กรณีจำนวนการทำซ้ำเท่ากับ 3 และ 5 สถิติทดสอบ ทั้ง 3 แบบ มีกำลังการทดสอบสูงใกล้เคียงกัน กรณีจำนวนการทำซ้ำตั้งแต่ 10 ขึ้นไปโดยส่วนใหญ่และสถิติทดสอบ ART มีกำลังการทดสอบสูงสุด รองมาคือสถิติทดสอบ RT และกรณีทดสอบอิทธิพลร่วม AB โดยส่วนใหญ่สถิติทดสอบ ART มีกำลังการทดสอบสูงสุดในทุกสถานการณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 1 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบทั้ง 3 แบบ เมื่อจำลองความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงโคกำลังสอง ที่มีองศาความเป็นเสรี 1, 3 และ 5 และกำหนดค่าอิทธิพลหลักของปัจจัย A และ B แตกต่างกันโดย

$$\tau_1 = -0.5, \tau_2 = 0.5, \beta_1 = -0.5, \beta_2 = 0.5$$

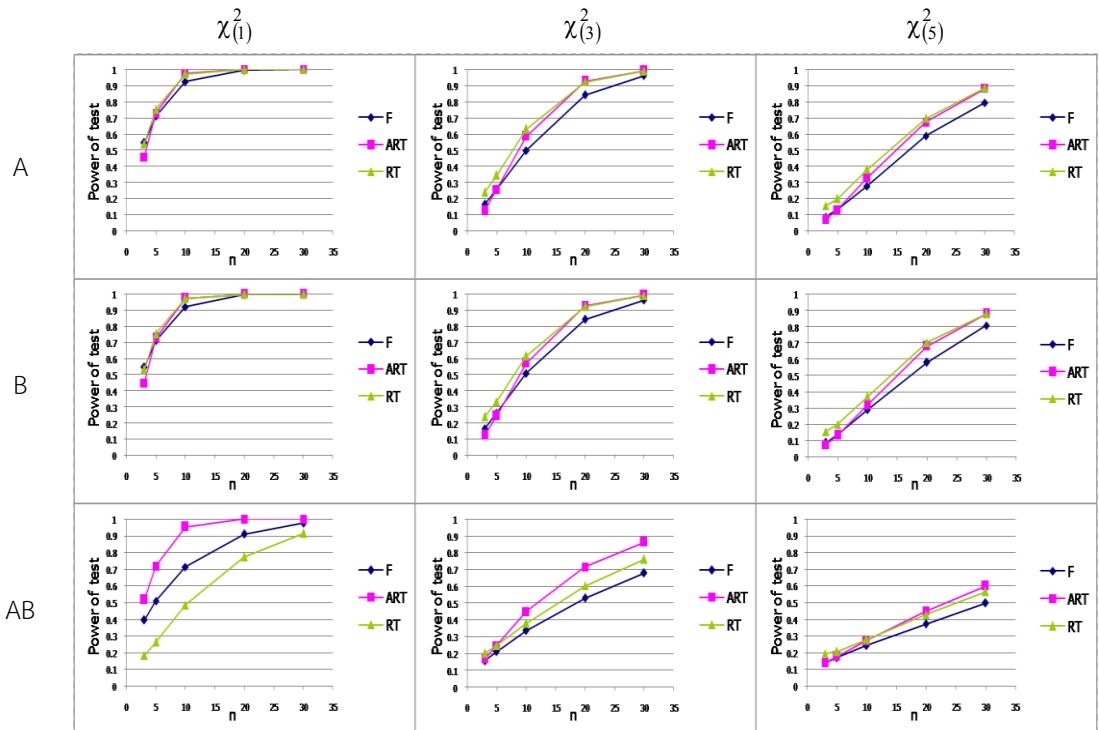
n	อิทธิพล	$\varepsilon_{ijk} \sim \chi^2_{(1)}$			$\varepsilon_{ijk} \sim \chi^2_{(3)}$			$\varepsilon_{ijk} \sim \chi^2_{(5)}$		
		F	ART	RT	F	ART	RT	F	ART	RT
3	A	0.3260	0.2417	0.4333	0.0789	0.0660	0.1535	0.0441	0.0410	0.0998
	B	0.3296	0.2398	0.4381	0.0773	0.0649	0.1535	0.0445	0.0378	0.0961
	AB	0.1535	0.2195	0.1238	0.1029	0.1065	0.1572	0.1080	0.1008	0.1612
5	A	0.4423	0.4660	0.6213	0.1037	0.1133	0.1878	0.0607	0.0600	0.1035
	B	0.4460	0.4619	0.6176	0.1072	0.1061	0.1856	0.0569	0.0640	0.1101
	AB	0.1921	0.3246	0.1389	0.1241	0.1339	0.1550	0.1101	0.1109	0.1404
10	A	0.6798	0.8486	0.9087	0.2078	0.2691	0.3377	0.1065	0.1291	0.1653
	B	0.6740	0.8496	0.9141	0.2037	0.2788	0.3450	0.1054	0.1290	0.1691
	AB	0.2618	0.5632	0.1962	0.1464	0.1752	0.1770	0.1341	0.1382	0.1545
20	A	0.9147	0.9935	0.9973	0.4410	0.6125	0.6521	0.2376	0.3072	0.3417
	B	0.9173	0.9942	0.9981	0.4390	0.6176	0.6636	0.2317	0.3184	0.3493
	AB	0.3935	0.8480	0.3329	0.1954	0.2554	0.2360	0.1565	0.1733	0.1782
30	A	0.9864	0.9997	0.9998	0.6470	0.8346	0.8538	0.3737	0.4986	0.5248
	B	0.9862	1	1	0.6486	0.8331	0.8500	0.3849	0.4951	0.5220
	AB	0.5075	0.9506	0.4428	0.2453	0.3424	0.3027	0.1967	0.2179	0.2168



รูปที่ 1 กำลังการทดสอบเมื่อจำลองความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบ $\chi^2_{(1)}$, $\chi^2_{(3)}$ และ $\chi^2_{(5)}$ ค่าอิทธิพลหลักของปัจจัย A และอิทธิพลหลักของปัจจัย B แตกต่างกันโดย $\tau_1 = -0.5, \tau_2 = 0.5, \beta_1 = -0.5, \beta_2 = 0.5$

ตารางที่ 2 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบทั้ง 3 แบบ เมื่อจำลองความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงโคกกำลังสองที่มืองศาเสรี 1 3 และ 5 และกำหนดค่าอิทธิพลหลักของปัจจัย A และ B แตกต่างกันโดย $\tau_1 = -0.75, \tau_2 = 0.75, \beta_1 = -0.75, \beta_2 = 0.75$

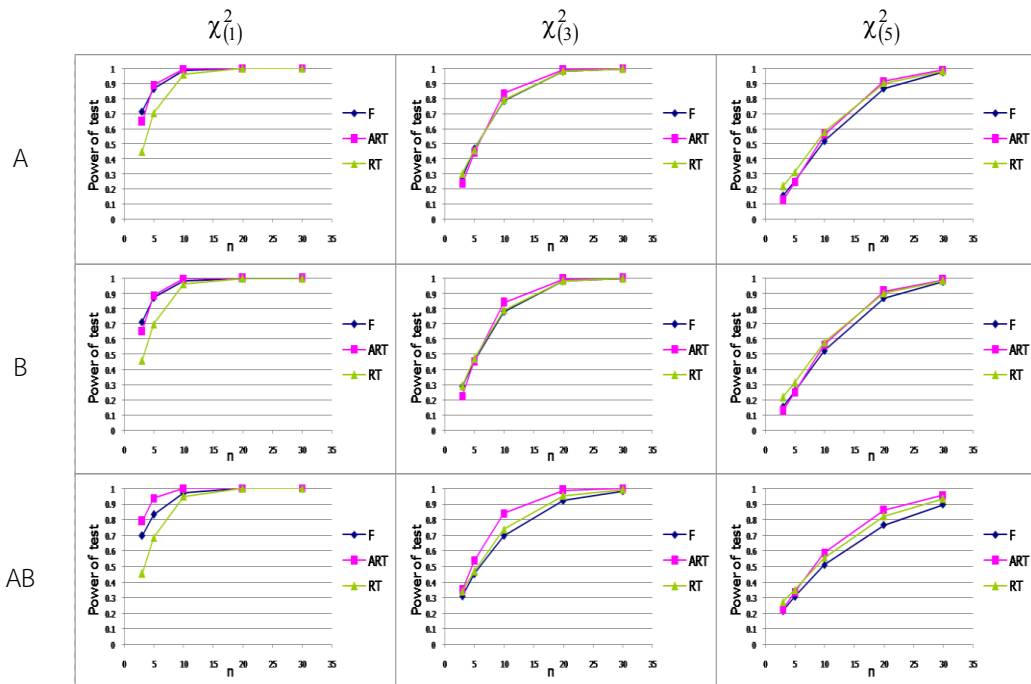
n	อิทธิพล	$\epsilon_{ijk} \sim \chi^2_{(1)}$			$\epsilon_{ijk} \sim \chi^2_{(3)}$			$\epsilon_{ijk} \sim \chi^2_{(5)}$		
		F	ART	RT	F	ART	RT	F	ART	RT
3	A	0.5466	0.4585	0.5391	0.1627	0.1242	0.2399	0.0859	0.0691	0.1547
	B	0.5476	0.4482	0.5311	0.1658	0.1244	0.2406	0.0865	0.0732	0.1536
	AB	0.3948	0.5153	0.1824	0.1565	0.1681	0.2016	0.1368	0.1364	0.1933
5	A	0.7126	0.7283	0.7547	0.2581	0.2581	0.3453	0.1324	0.1299	0.1998
	B	0.7130	0.7281	0.7547	0.2620	0.2454	0.3338	0.1339	0.1320	0.1989
	AB	0.5078	0.7179	0.2638	0.2119	0.2485	0.2473	0.1688	0.1766	0.2059
10	A	0.9248	0.9753	0.9740	0.4974	0.5866	0.6321	0.2773	0.3295	0.3812
	B	0.9227	0.9749	0.9744	0.5101	0.5717	0.6171	0.2883	0.3185	0.3718
	AB	0.7131	0.9535	0.4843	0.3360	0.4500	0.3809	0.2417	0.2719	0.2774
20	A	0.9966	0.9999	0.9999	0.8416	0.9281	0.9241	0.5899	0.6739	0.6980
	B	0.9966	1	0.9999	0.8437	0.9301	0.9245	0.5801	0.6806	0.7023
	AB	0.9087	0.9993	0.7740	0.5294	0.7138	0.6025	0.3702	0.4492	0.4274
30	A	0.9999	1	1	0.9640	0.9933	0.9911	0.7950	0.8839	0.8887
	B	1	1	1	0.9630	0.9936	0.9908	0.8082	0.8787	0.8804
	AB	0.9750	1	0.9143	0.6793	0.8619	0.7594	0.4969	0.5976	0.5650



รูปที่ 2 กำลังการทดสอบเมื่อจำลองความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบ $\chi^2_{(1)}$, $\chi^2_{(3)}$ และ $\chi^2_{(5)}$ ค่าอิทธิพลหลักของปัจจัย A และอิทธิพลหลักของปัจจัย B แตกต่างกันโดย $\tau_1 = -0.75, \tau_2 = 0.75, \beta_1 = -0.75, \beta_2 = 0.75$

ตารางที่ 3 กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบทั้ง 3 แบบ เมื่อจำลองความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงได้กำลังสองที่มีองศาเสรี 1 3 และ 5 และกำหนดค่าอิทธิพลหลักของปัจจัย A และ B แตกต่างกัน โดย $\tau_1 = -1, \tau_2 = 1, \beta_1 = -1, \beta_2 = 1$

n	อิทธิพล	$\epsilon_{ijk} \sim \chi^2_{(1)}$			$\epsilon_{ijk} \sim \chi^2_{(3)}$			$\epsilon_{ijk} \sim \chi^2_{(5)}$		
		F	ART	RT	F	ART	RT	F	ART	RT
3	A	0.7154	0.6459	0.4480	0.2745	0.2339	0.3011	0.1540	0.1232	0.2183
	B	0.7135	0.6532	0.4588	0.2851	0.2245	0.2915	0.1510	0.1268	0.2158
	AB	0.6955	0.7886	0.4538	0.3080	0.3459	0.3389	0.2135	0.2231	0.2705
5	A	0.8651	0.8910	0.7043	0.4663	0.4395	0.4568	0.2528	0.2454	0.3118
	B	0.8722	0.8882	0.6974	0.4553	0.4519	0.4701	0.2557	0.2494	0.3128
	AB	0.8307	0.9370	0.6837	0.4508	0.5364	0.4674	0.3055	0.3350	0.3478
10	A	0.9853	0.9964	0.9614	0.7845	0.8360	0.7931	0.5183	0.5617	0.5780
	B	0.9853	0.9973	0.9629	0.7804	0.8392	0.7898	0.5235	0.5617	0.5786
	AB	0.9706	0.9983	0.9483	0.6958	0.8378	0.7378	0.5079	0.5868	0.5560
20	A	0.9999	1	1	0.9801	0.9946	0.9845	0.8682	0.9147	0.9039
	B	0.9997	1	0.9996	0.9810	0.9945	0.9837	0.8704	0.9139	0.9012
	AB	0.9991	1	0.9988	0.9223	0.9867	0.9522	0.7644	0.8617	0.8210
30	A	1	1	1	0.9993	0.9999	0.9993	0.9767	0.9903	0.9841
	B	1	1	1	0.9987	0.9998	0.9996	0.9779	0.9895	0.9852
	AB	1	1	1	0.9823	0.9988	0.9914	0.8956	0.9562	0.9331



รูปที่ 3 กำลังการทดสอบเมื่อจำลองความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบ $\chi^2_{(1)}$, $\chi^2_{(3)}$ และ $\chi^2_{(5)}$ ค่าอิทธิพลหลักของปัจจัย A และ อิทธิพลหลักของปัจจัย B แตกต่างกันโดย $\tau_1 = -1$, $\tau_2 = 1$, $\beta_1 = -1$, $\beta_2 = 1$

สรุปผลการวิจัย

กรณีทดสอบอิทธิพลหลักของปัจจัย A และอิทธิพลหลักของปัจจัย B สถิติทดสอบ RT มีกำลังการทดสอบสูง และกรณีทดสอบอิทธิพลร่วม AB สถิติทดสอบ ART มีกำลังการทดสอบสูงที่สุด แต่บางกรณีเมื่อจำนวนการทำซ้ำมีขนาดเล็ก (n=3) สถิติทดสอบ RT มีกำลังการทดสอบสูงสุด ดังจะเห็นได้ว่าภายใต้ข้อสมมติที่ไม่เป็นจริง กล่าวคือเมื่อความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงปกติ การใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (RT-Test และ ART-Test) มีประสิทธิภาพดีกว่าสถิติอิงพารามิเตอร์ สำหรับ A และ B ยกเว้นกรณีที่ n=3 ในตารางที่ 2 และ 3 สถิติทดสอบ F ดีกว่า ART และ RT เมื่อ $\chi^2_{(1)}$

เอกสารอ้างอิง

Akritis, M.G. and Arnold, S.F. (1994). Fully nonparametric hypotheses for factorial design I: Multivariate repeated measures designs. *Journal of American Statistical Association* 89: 336-343.

Akritis, M.G., Arnold, S.F. and Brunner, E. (1997). Nonparametric hypotheses and rank statistics for unbalanced factorial designs. *Journal of American Statistical Association* 89: 258-265.

Ley, C. and Schumann, S. (2010). A nonparametric method to analyze interactions: The adjusted rank transform test. *Journal of Experimental Social Psychology*. 46: 684-688.

Conover, W.J. and Iman, R.L. (1981). Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics (with discussion). *American Statistician*. 35: 124-133.

Douglas, C. M. (2005). *Design and Analysis of Experiments*. 6th ed. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc.