Journal of Research Methodology, Volume 20, Number 2 (May-August 2007)

วารสารวิธีวิทยาการวิจัย ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม 2550)

Comparisons of Type I Error Rates and Power of the Test in Multiple Comparison Procedures at Equal Variances Not Assumed for Completely Randomized Design

Zithimawor Bunma

Suchada Bowarnkitiwong

ABSTRACT

The purposes of this research were to compare type I error rates and power of the test in completely randomized design for 4 statistics in multiple comparison procedures at equal variances not assumed, when each population had equal variances not assumed and normally distributed using α *=0.05. Sample sizes of concern were to be equal and unequal. Each category, data were simulated for 3 to 8 groups. The findings were summarized as follows: When the sample sizes were equal, 3 groups, 4 methods, Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell, and Dunnett's C can control the type I error rates in every cases. When k increased, 4 groups, 4 methods can control the type I error rates in the only small sample size case. When 5 groups, 1 method, Dunnett's C, can control the type I error rates in the only small sample size case. For 6 to 8 groups, 4 methods cannot control the type I error rates in every cases. For unequal sample size cases, 3 groups, 4 methods can control the type I error rates in every cases and k increased, 4 groups, 4 methods can control the type I error rates in the only small sample size case. For 5 to 8 groups, 4 methods cannot control the type I error rates in every cases. In every procedures, power of the test would be increased according to the sizes of sample. For 3 groups, Games-Howell method gave the highest power of the test in every cases.*

การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

ชิธิมาโวร์ บุญมา

สุชาดา บวรกิติวงศ์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อน 4 วิธี ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ที่ $\alpha = 0.05$ ภายใต้การแจกแจงปกติของประชากร และประชากรทั้ง k กลุ่ม ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน ซึ่งพิจารณาเปรียบเทียบทั้งกรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากันและไม่เท่ากันตั้งแต่ 3 ถึง 8 กลุ่ม ผลการวิจัยพบว่า การควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน เมื่อ k = 3 ทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C สามารถควบคุมได้ทุกกรณี เมื่อ k เพิ่มขึ้น k = 4 ทั้ง 4 วิธี สามารถควบคุมได้เฉพาะกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก เมื่อ k = 5 วิธี Dunnett's C เพียงวิธีเดียวเท่านั้นที่สามารถควบคุมได้เฉพาะกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก และตั้งแต่ k = 6 ถึง k = 8 ทั้ง 4 วิธี ไม่สามารถควบคุมได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดทุกกรณี สำหรับกรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน เมื่อ k = 3 ทั้ง 4 วิธี สามารถควบคุมได้ทุกกรณี เมื่อ k เพิ่มขึ้น k = 4 ทั้ง 4 วิธี สามารถควบคุมได้เฉพาะกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก และตั้งแต่ k = 5 ถึง k = 8 ทั้ง 4 วิธี ไม่สามารถควบคุมได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดทุกกรณี ทั้งนี้ทุกวิธีการทดสอบที่นำมาคำนวณหาอำนาจการทดสอบจะมีอำนาจการทดสอบเพิ่มขึ้นตามขนาดกลุ่มตัวอย่าง และพบว่า กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากันและไม่เท่ากัน เมื่อ k = 3 วิธี Games-Howell มีอำนาจการทดสอบสูงสุดทุกกรณี

บทนำ

นักสถิติหลายท่านได้พัฒนาคิดค้นหาวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนหรือการเปรียบเทียบพหุคูณไว้หลากหลายวิธี ซึ่ง Kirk (1995) ได้รวบรวมไว้ในหนังสือ Experimental Design: Procedures for the Behavioral Sciences แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มแรก เป็นกลุ่มวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณที่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของค่าสถิติที่ว่า ความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน (Homogeneous Variances) วิธีการเปรียบเทียบพหุคูณในกลุ่มนี้มีหลายวิธี แบ่งได้เป็นการเปรียบเทียบแบบวางแผนล่วงหน้า (Planned Contrast) เช่น Dunnett's test และ Holm's test และการเปรียบเทียบภายหลัง (Post Hoc Contrast) เช่น Tukey's test, Fisher-Hayter test และ Scheffe's test เป็นต้น ส่วนกลุ่มที่สอง คือ กลุ่มวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณที่ไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของค่าสถิติ คือ ความแปรปรวนต่างกัน (Heterogeneous Variances) วิธีการเปรียบเทียบพหุคูณในกลุ่มนี้มีหลายวิธี แบ่งได้เป็นการเปรียบเทียบแบบวางแผนล่วงหน้า (Planned Contrast) เช่น Dunett's test with modifications และ Holm's test with Welch degrees of freedom และการเปรียบเทียบภายหลัง (Post Hoc Contrast) เช่น Dunnett's T3 test, Dunnett's C test, Games-Howell test และ Brown-Forsythe test

การเปรียบเทียบภายหลัง เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังจากการทดสอบด้วยสถิติทดสอบเอฟแล้ว เพื่อหาผลสรุปว่าการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ให้ทรีทเมนต์ต่างกันนั้นเป็นผลมาจากทรีทเมนต์ใด และทรีทเมนต์ใดบ้างที่แตกต่างกับทรีทเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการวิเคราะห์เปรียบเทียบนี้จึงขึ้นอยู่กับการทดสอบด้วยสถิติทดสอบเอฟ ถ้าการทดสอบด้วยสถิตทดสอบเอฟไม่แสดงนัยสำคัญแล้วไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์เปรียบเทียบภายหลัง แต่ในกรณีที่การทดสอบด้วยสถิติทดสอบเอฟมีนัยสำคัญจำเป็นจะต้องใช้วิธีการวิเคราะห์เปรียบเทียบภายหลัง ซึ่งมีหลายวิธีอยู่ในโปรแกรม SPSS for Windows

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมายังไม่ปรากฏผลงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนที่เป็น Pairwise Test 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาเรื่องนี้ เนื่องจากการเลือกใช้สถิติทดสอบที่เป็นการทดสอบภายหลังนี้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญที่จะทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน สำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เพื่อเป็นแนวทาง

ให้ผู้วิจัยทางสังคมศาสตร์ได้ใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจในการเลือกวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่อยู่ในโปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูล SPSS for Windows ภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนในกลุ่มการเปรียบเทียบภายหลัง (Post Hoc Contrast) ที่เป็น Pairwise Test 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ภายใต้การแจกแจงปกติของประชากร และประชากรทั้ง k กลุ่ม ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน (Equal Variances not Assumed) เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน จะทำการเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่าง 3 ขนาด ได้แก่ กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (n=10) กลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง (n=30) และกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (n=60) และมีทรีทเมนต์ตั้งแต่ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 กลุ่ม

2. เพื่อเปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนในกลุ่มการเปรียบเทียบภายหลัง (Post Hoc Contrast) ที่เป็น Pairwise Test 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ภายใต้การแจกแจงปกติของประชากร และประชากรทั้ง k กลุ่ม ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน (Equal Variances not Assumed) เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน จะทำการเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่าง 3 ขนาด ได้แก่ กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (เพิ่มขึ้นจาก 10 ครั้งละ 2) กลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง(เพิ่มขึ้นจาก 30 ครั้งละ 4) และกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (เพิ่มขึ้นจาก 60 ครั้งละ 10) และมีทรีทเมนต์ตั้งแต่ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 กลุ่ม

ขอบเขตของการวิจัย

1. กำหนดให้ทรีทเมนต์เป็นปัจจัยกำหนด (Fixed Effect)

2. ระดับนัยสำคัญที่ใช้ คือ 0.05

3. ระดับทรีทเมนต์ที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 กลุ่ม

4. ทำการทดสอบวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อน เมื่อทราบว่าประชากร k กลุ่ม ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน ที่เป็น Pairwise Test 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C

5. ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ทั้งกรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากันและไม่เท่ากัน โดยกำหนดให้กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน มีกลุ่มตัวอย่าง 3 ขนาด คือ 10, 30 และ 60 ซึ่งผู้วิจัยกำหนดให้ขนาดกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวเป็นตัวแทนของกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ตามลำดับ และกำหนดให้กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน มีจำนวนตัวอย่างเพิ่มขึ้นจาก 10

ครั้งละ 2 ในกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก เพิ่มขึ้นจาก 30 ครั้งละ 4 ในกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง และเพิ่มขึ้นจาก 60 ครั้งละ 10 ในกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ μ = 500 และอัตราส่วนความแปรปรวนของประชากรไม่เท่ากัน

6. ทำการเปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อน ในกรณีที่ประชากรทั้ง k กลุ่ม ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน และสุ่มมาจากประชากรที่เป็นอิสระต่อกันทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง จำลองข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ใช้เทคนิคมอนติคาร์โล ซิมูเลชั่น ทำการทดลองซ้ำ 10,000 ครั้ง ด้วยโปรแกรม MATLAB 7.0 โดยมีรายละเอียดแผนการดำเนินงานและขั้นตอนการวิจัยดังนี้

แผนการดำเนินงาน

กำหนดสถานการณ์ต่างๆ สำหรับการเปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน โดยสร้างประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่กำหนดให้มีทรีทเมนต์ตั้งแต่ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 กลุ่มตามลำดับ สำหรับขนาดของกลุ่มตัวอย่างจะแบ่งเป็น 3 ขนาด คือ กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก กลุ่มตัวอย่างขนาดกลางและกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ ซึ่งผู้วิจัยกำหนดให้การทดลองมี 2 กรณี คือ กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากันและกรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งตามปกติในงานวิจัยที่ใช้การซิมูเลชั่น จะแบ่งข้อมูลเป็นขนาดต่างๆ ไม่เท่ากัน ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงกำหนดให้มีกลุ่มตัวอย่าง 3 ขนาด โดยกำหนดให้กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน จะมีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กเท่ากับ 10 กลุ่มตัวอย่างขนาดกลางเท่ากับ 30 และกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่เท่ากับ 60 สำหรับกรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน ในกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กจะมีจำนวนตัวอย่างเพิ่มขึ้นจาก 10 ครั้งละ 2 ในกลุ่มตัวอย่างขนาดกลางจะมีจำนวนตัวอย่างเพิ่มขึ้นจาก 30 ครั้งละ 4 และในกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่จะมีจำนวนตัวอย่างเพิ่มขึ้นจาก 60 ครั้งละ 10 โดยใช้ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ μ = 500 และอัตราส่วนความแปรปรวนของประชากรไม่เท่ากัน

การสรุปอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ในแบบการทดลองต่างๆ ทำโดยการทำการทดลองซ้ำ 10,000 ครั้ง ด้วยชุดตัวเลขสุ่มที่สร้างขึ้น แล้วนับจำนวนครั้งที่ผลการทดสอบปฏิเสธ

สมมติฐานศูนย์ ซึ่งพิจารณาโดยใช้เกณฑ์ของ Bradley ผลการทดสอบที่แสดงว่าสามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้จะต้องอยู่ในช่วง 0.025 ถึง 0.075 ดังนี้

$$0.025 < \frac{H}{n} < 0.075 \; ; \; \alpha = 0.05$$

เมื่อ H คือ จำนวนครั้งที่ปฏิเสธสมมติฐานศูนย์
n คือ จำนวนครั้งที่ทดสอบ

เมื่อพบว่าแบบการทดลองใดสามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด จะทำการคำนวณหาอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบดังกล่าว โดยการเพิ่มขนาดอิทธิพลเข้าไปในระดับทรีทเมนต์ของแผนการทดลอง เพื่อทำให้อิทธิพลในระดับทรีทเมนต์แตกต่างกัน และเพื่อดูความไวของตัวสถิติที่นำมาทดสอบ โดยกำหนดขนาดการเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์เป็น 2 แบบ คือ แบบ A (เพิ่ม 0.1) และแบบ B (เพิ่ม 0.5)

การสรุปผลจะดูค่าอำนาจการทดสอบ เมื่อทำการทดลองซ้ำ 10,000 ครั้ง ด้วยชุดตัวเลขสุ่ม แล้วนับจำนวนครั้งที่ยอมรับสมมติฐานศูนย์ โดยคำนวณหาอำนาจการทดสอบดังนี้

$$\text{Power of the test} = 1 - \frac{\chi}{n} \; ; \; \alpha = 0.05$$

เมื่อ χ คือ จำนวนครั้งที่ยอมรับสมมติฐานศูนย์
n คือ จำนวนครั้งที่ทดสอบ

ขั้นตอนในการวิจัย

1. สร้างข้อมูลให้เป็นไปตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ตามแบบการทดลองในระดับทรีทเมนต์ที่กำหนด ดังสมการ $X_{ij} = \mu + \alpha_j + \varepsilon_{ij}$ โดยสร้างข้อมูลจากตัวเลขสุ่ม ที่มีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ μ = 500 และอัตราส่วนความแปรปรวนของประชากรไม่เท่ากัน

2. คำนวณการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนที่เป็น Pairwise Test ทั้ง 4 วิธี

3. ทำการทดสอบความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ในแต่ละกรณีของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน ที่ α = 0.05 โดยทำการทดลองซ้ำ 10,000 ครั้ง

4. พิจารณาอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 โดยใช้เกณฑ์ของ Bradley ที่ว่า ถ้าอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 0.025 ถึง 0.075 แสดงว่าวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนดังกล่าวสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้

5. หาอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน ที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ โดยการเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์ตามแบบที่กำหนด แล้วทำการทดลองซ้ำ 10,000 ครั้ง ในแต่ละขนาดการทดลอง

6. เปลี่ยนขนาดตัวอย่างในระดับทรีทเมนต์นั้น ๆ จนครบทุกขนาดตามที่กำหนด

7. เปลี่ยนระดับทรีทเมนต์จนครบทุกระดับตามที่กำหนด

8. สรุปผลการทดลอง

ผลการวิจัย

1. การควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1

ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัยการควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนเป็น 2 กรณี คือ กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากันและกรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากันดังต่อไปนี้

1.1 กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน

จากการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 จากการทดลองโดยใช้วิธีการทดสอบ 4 วิธี กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน

จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	ขนาดกลุ่มตัวอย่าง	อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ของวิธีการทดสอบ			
		T2	T3	GH	C
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3					
k = 3	เล็ก	0.0373	0.0380	0.0419	0.0313
	กลาง	0.0505	0.0506	0.0540	0.0502
	ใหญ่	0.0541	0.0574	0.0582	0.0561
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4					
k = 4	เล็ก	0.0558	0.0577	0.0650	0.0491
	กลาง	0.0781[a]	0.0784[a]	0.0862[a]	0.0793[a]
	ใหญ่	0.0837[a]	0.0894[a]	0.0911[a]	0.0880[a]
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5					
k = 5	เล็ก	0.0789[a]	0.0827[a]	0.0968[a]	0.0703[a]
	กลาง	0.1138[a]	0.1146[a]	0.1262[a]	0.1170[a]
	ใหญ่	0.1229[a]	0.1314[a]	0.1339[a]	0.1297[a]
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6					
k = 6	เล็ก	0.1059[a]	0.1125[a]	0.1310[a]	0.0973[a]
	กลาง	0.1568[a]	0.1584[a]	0.1741[a]	0.1616[a]
	ใหญ่	0.1658[a]	0.1771[a]	0.1802[a]	0.1752[a]
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7					
k =7	เล็ก	0.1402[a]	0.1502[a]	0.1749[a]	0.1295[a]
	กลาง	0.2049[a]	0.2065[a]	0.2267[a]	0.2115[a]
	ใหญ่	0.2164[a]	0.2319[a]	0.2352[a]	0.2283[a]
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7:8					
k =8	เล็ก	0.1727[a]	0.1853[a]	0.2174[a]	0.1615[a]
	กลาง	0.2456[a]	0.2542[a]	0.2517[a]	0.2600[a]
	ใหญ่	0.2748[a]	0.2944[a]	0.2995[a]	0.2899[a]

หมายเหตุ [a]หมายถึง อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

จากตารางที่ 1 พบว่า การเปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ μ = 500 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C จะมีค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนและขนาดกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนในภาพรวมทั้งหมดของการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่อ k = 3 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett' s T3, Games-Howell และ Dunnett's C สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดทุกขนาดกลุ่มตัวอย่าง

เมื่อ k = 4 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดเฉพาะกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กเท่านั้น ส่วนกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดกลางและขนาดใหญ่ ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

เมื่อ k = 5 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5 เมื่อกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก มีวิธีการทดสอบเพียง 1 วิธี ได้แก่ วิธี Dunnett' s C สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนอีก 3 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3 และ Games-Howell ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อกลุ่มตัวอย่างขนาดกลางและขนาดใหญ่นั้น วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

เมื่อ k เพิ่มขึ้นตั้งแต่ k = 6 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6 ถึง k = 8 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7:8 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกขนาดกลุ่มตัวอย่าง

1.2 กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน

จากการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน สรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 จากการทดลองโดยใช้วิธีการทดสอบ 4 วิธี กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน

จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	ขนาดกลุ่มตัวอย่าง	อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ของวิธีการทดสอบ			
		T2	T3	GH	C
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3					
k = 3	เล็ก	0.0406	0.0411	0.0425	0.0345
	กลาง	0.0489	0.0520	0.0526	0.0487
	ใหญ่	0.0540	0.0539	0.0573	0.0532
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4					
k = 4	เล็ก	0.0623	0.0633	0.0704	0.0554
	กลาง	0.0785[a]	0.0858[a]	0.0856[a]	0.0801[a]
	ใหญ่	0.0854[a]	0.0855[a]	0.0925[a]	0.0855[a]
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5					
k = 5	เล็ก	0.0938[a]	0.0961[a]	0.1069[a]	0.0868[a]
	กลาง	0.1119[a]	0.1230[a]	0.1231[a]	0.1148[a]
	ใหญ่	0.1239[a]	0.1239[a]	0.1329[a]	0.1242[a]
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6					
k = 6	เล็ก	0.1282[a]	0.1308[a]	0.1476[a]	0.1208[a]
	กลาง	0.1530[a]	0.1682[a]	0.1689[a]	0.1591[a]
	ใหญ่	0.1667[a]	0.1663[a]	0.1792[a]	0.1680[a]
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7					
k =7	เล็ก	0.1705[a]	0.1735[a]	0.1959[a]	0.1618[a]
	กลาง	0.2037[a]	0.2231[a]	0.2236[a]	0.2113[a]
	ใหญ่	0.2225[a]	0.2222[a]	0.2377[a]	0.2246[a]
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7:8					
k =8	เล็ก	0.2172[a]	0.2213[a]	0.2463[a]	0.2074[a]
	กลาง	0.2545[a]	0.2771[a]	0.2787[a]	0.2640[a]
	ใหญ่	0.2763[a]	0.2752[a]	0.2950[a]	0.2821[a]

หมายเหตุ [a]หมายถึง อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

จากตารางที่ 2 พบว่า การเปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ μ = 500 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C จะมีค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนและขนาดกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนในภาพรวมทั้งหมดของการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่อ k = 3 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดทุกขนาดกลุ่มตัวอย่าง

เมื่อ k = 4 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดเฉพาะกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กเท่านั้น ส่วนกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดกลางและขนาดใหญ่ ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

เมื่อ k เพิ่มขึ้นตั้งแต่ k = 5 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5 ถึง k = 8 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7:8 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกขนาดกลุ่มตัวอย่าง

2. การเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบ

วิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนที่นำมาคำนวณหาอำนาจการทดสอบนั้น เป็นวิธีที่สามารถควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยผู้วิจัยได้เพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์ในแผนการทดลอง เพื่อทำให้อิทธิพลในระดับทรีทเมนต์แตกต่างกัน 2 แบบ คือ แบบ A (เพิ่ม 0.1) และแบบ B (เพิ่ม 0.5)

2.1 กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน

จากผลการวิเคราะห์อำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน ที่ผ่านเกณฑ์การควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B สรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของวิธีการทดสอบ 4 วิธี กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B

จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	ขนาดกลุ่มตัวอย่าง	อำนาจการทดสอบ							
		เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A				เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ B			
		T2	T3	GH	C	T2	T3	GH	C
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3									
k = 3	เล็ก	0.0510	0.0519	0.0573	0.0435	0.1445	0.1465	0.1581	0.1292
	กลาง	0.0826	0.0828	0.0887	0.0824	0.3424	0.3428	0.3542	0.3418
	ใหญ่	0.1027	0.1077	0.1084	0.1061	0.5302	0.5395	0.5410	0.5362
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4									
k = 4	เล็ก	0.0742	0.0768	0.0873	0.0663	0.2200	0.2256	0.2488	0.2038
	กลาง	–	–	–	–	–	–	–	–
	ใหญ่	–	–	–	–	–	–	–	–
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5									
k = 5	เล็ก	–	–	–	0.0944	–	–	–	0.2932
	กลาง	–	–	–	–	–	–	–	–
	ใหญ่	–	–	–	–	–	–	–	–
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6									
k = 6	เล็ก	–	–	–	–	–	–	–	–
	กลาง	–	–	–	–	–	–	–	–
	ใหญ่	–	–	–	–	–	–	–	–
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7									
k =7	เล็ก	–	–	–	–	–	–	–	–
	กลาง	–	–	–	–	–	–	–	–
	ใหญ่	–	–	–	–	–	–	–	–
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7:8									
k =8	เล็ก	–	–	–	–	–	–	–	–
	กลาง	–	–	–	–	–	–	–	–
	ใหญ่	–	–	–	–	–	–	–	–

จากตารางที่ 3 พบว่า การเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B จะให้ค่าอำนาจการทดลองต่างกัน โดยการเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ B จะทำให้ค่าอำนาจการทดสอบมากกว่าเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A ทุกวิธีการทดสอบ เมื่อพิจารณาที่จำนวนกลุ่มตัวอย่างและขนาดกลุ่มตัวอย่างในการทดสอบ พบว่า เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น ค่าอำนาจการทดสอบจะสูงขึ้น แต่เมื่อจำนวนกลุ่มตัวอย่างยิ่งเพิ่มขึ้น พบว่า ทุกขนาดกลุ่มตัวอย่างเป็นแบบการทดลองที่ไม่ผ่านเกณฑ์การควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1

เมื่อพิจารณาวิธีการทดสอบที่มีอำนาจการทดสอบสูงสุดในการเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B สามารถสรุปในภาพรวมได้ดังนี้

เมื่อ k = 3 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3 วิธีการทดสอบของ Games-Howell มีอำนาจการทดสอบสูงสุดทุกขนาดกลุ่มตัวอย่าง ทั้งกรณีที่เพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B

เมื่อ k = 4 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4 วิธีการทดสอบของ Games-Howell มีอำนาจการทดสอบสูงสุดเฉพาะกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B ทั้งนี้วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ไม่มีการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดกลางและขนาดใหญ่ เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B เนื่องจากเป็นแบบการทดลองที่ไม่ผ่านเกณฑ์การควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1

เมื่อ k = 5 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5 กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ทั้งกรณีที่เพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B วิธีการทดสอบของ Dunnett's C เพียงวิธีเดียวเท่านั้นที่มีอำนาจการทดสอบสูง ทั้งนี้วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhas T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ไม่มีการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดกลางและขนาดใหญ่ เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B เนื่องจากเป็นแบบการทดลองที่ไม่ผ่านเกณฑ์การควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1

เมื่อ k เพิ่มขึ้นตั้งแต่ k = 6 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6 ถึง k = 8 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7:8 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ไม่มีการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบทุกขนาดกลุ่มตัวอย่าง เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B เนื่องจากเป็นแบบการทดลองที่ไม่ผ่านเกณฑ์การควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1

2.2 กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน

จากผลการวิเคราะห์อำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน ที่ผ่านเกณฑ์การควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B สรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบอำนาจการทดสอบของวิธีการทดสอบ 4 วิธี กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B

จำนวนกลุ่มตัวอย่าง	ขนาดกลุ่มตัวอย่าง	อำนาจการทดสอบ							
		เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A				เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ B			
		T2	T3	GH	C	T2	T3	GH	C
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3									
k = 3	เล็ก	0.0558	0.0568	0.0611	0.0490	0.1792	0.1816	0.1914	0.1630
	กลาง	0.0794	0.0843	0.0850	0.0793	0.3860	0.3955	0.3797	0.3853
	ใหญ่	0.1101	0.1099	0.1159	0.1090	0.5929	0.5926	0.6038	0.5903
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4									
k = 4	เล็ก	0.0870	0.0887	0.0984	0.0791	0.3005	0.3041	0.3258	0.2793
	กลาง	–	–	–	–	–	–	–	–
	ใหญ่	–	–	–	–	–	–	–	–
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5									
k = 5	เล็ก	–	–	–	–	–	–	–	–
	กลาง	–	–	–	–	–	–	–	–
	ใหญ่	–	–	–	–	–	–	–	–
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6									
k = 6	เล็ก	–	–	–	–	–	–	–	–
	กลาง	–	–	–	–	–	–	–	–
	ใหญ่	–	–	–	–	–	–	–	–
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7									
k =7	เล็ก	–	–	–	–	–	–	–	–
	กลาง	–	–	–	–	–	–	–	–
	ใหญ่	–	–	–	–	–	–	–	–
อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7:8									
k =8	เล็ก	–	–	–	–	–	–	–	–
	กลาง	–	–	–	–	–	–	–	–
	ใหญ่	–	–	–	–	–	–	–	–

จากตารางที่ 4 พบว่า การเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B จะให้ค่าอำนาจการทดสอบต่างกัน โดยการเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ B จะทำให้ค่าอำนาจการทดสอบมากกว่าการเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A ทุกวิธีการทดสอบ เมื่อพิจารณาที่จำนวนกลุ่มตัวอย่างและขนาดกลุ่มตัวอย่างในการทดสอบ พบว่า เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น ค่าอำนาจการทดสอบจะสูงขึ้น แต่เมื่อจำนวนกลุ่มตัวอย่างยิ่งเพิ่มขึ้น พบว่า ทุกขนาดกลุ่มตัวอย่างเป็นแบบการทดลองที่ไม่ผ่านเกณฑ์การควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1

เมื่อพิจารณาวิธีการทดสอบที่มีอำนาจการทดสอบสูงสุดในการเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B สามารถสรุปในภาพรวมได้ดังนี้

เมื่อ k = 3 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3 วิธีการทดสอบของ Games-Howell มีอำนาจการทดสอบสูงสุดทุกขนาดกลุ่มตัวอย่าง ทั้งกรณีที่เพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B

เมื่อ k = 4 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4 วิธีการทดสอบของ Games-Howell มีอำนาจการทดสอบสูงสุดเฉพาะกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B ทั้งนี้วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ไม่มีการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบกรณีกลุ่มตัวอย่างขนาดกลางและขนาดใหญ่ เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B เนื่องจากเป็นแบบการทดลองที่ไม่ผ่านเกณฑ์การควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1

เมื่อ k เพิ่มขึ้นตั้งแต่ k = 5 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5 ถึง k = 8 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7:8 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ไม่มีการเปรียบเทียบอำนาจการทดสอบทุกขนาดกลุ่มตัวอย่าง เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B เนื่องจากเป็นแบบการทดลองที่ไม่ผ่านเกณฑ์การควบคุมอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1

อภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 จากการทดลองโดยใช้วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากันและไม่เท่ากันนั้น พบว่า เมื่อ k = 3 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3 เมื่อ k เพิ่มขึ้นเป็น k = 4 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4 ถึง k = 8 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7:8 จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 เพิ่มสูงขึ้นเมื่อขนาดกลุ่มตัวอย่างใหญ่ขึ้น นั่นคือ กลุ่มตัวอย่างขนาดกลางจะมีอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่า

กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก และกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่ากลุ่มตัวอย่างขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปุณยนุช พินชู (2548) ที่ได้เปรียบเทียบอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ของวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ 14 วิธี ได้แก่ วิธี LSD, Tukey's HSD, Bonferroni, Tukey's b, Sidak, Duncan, Scheffe's, Hochberg's GT2, R-E-G-WF, Gabriel, R-E-G-WQ, Waller-Duncan, S-N-K และ Dunnett ซึ่งเป็นวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนในกลุ่มที่มีเงื่อนไขความแปรปรวนของข้อมูลทุกชุดเท่ากัน และมีการแจกแจงแบบปกติ โดยการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ซิมูเลชั่น ทำการทดลองซ้ำ 10,000 ครั้ง พบว่า เมื่อขนาดกลุ่มตัวอย่างใหญ่ขึ้นจะมีอัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงขึ้นตามขนาดกลุ่มตัวอย่างเช่นเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่มีเงื่อนไขความแปรปรวนของข้อมูลทุกชุดเท่ากันหรือการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนก็ตาม อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่งานวิจัยนี้จะไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปุณยนุช พินชู (2548) เมื่อจำนวนกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง k เพิ่มขึ้น การเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน จะให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงขึ้นเมื่อจำนวนกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น แต่การเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่มีเงื่อนไขความแปรปรวนของข้อมูลทุกชุดเท่ากันนั้น จะมี 12 วิธี ได้แก่ วิธี Tukey's HSD, Bonferroni, Tukey's b, Sidak, Duncan, Scheffe's, Hochberg's GT2, R-E-G-WF, Gabriel, R-E-G-WQ, S-N-K และ Dunnett ให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ลดลงเมื่อจำนวนกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น และมี 2 วิธี ได้แก่ วิธี LSD และ Waller-Duncan ที่อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ไม่เปลี่ยนแปลงตามจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น ทั้งกรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากันและไม่เท่ากัน ทั้ง 4 วิธีนี้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในสถานการณ์ที่กลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากันและไม่เท่ากัน เมื่อจำนวนกลุ่มตัวอย่างมากขึ้น อันเนื่องจากให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนหนึ่งเป็นเพราะความแปรปรวนของประชากรต่างกัน ทำให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ของสถิติทดสอบดังกล่าวสูงขึ้น และเมื่อความแปรปรวนของประชากรต่างกันมากขึ้น อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 จะยิ่งสูงขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาที่ความไวของวิธีการทดสอบที่นำมาคำนวณหาอำนาจการทดสอบ พบว่า ทุกวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน จะมีอำนาจการทดสอบเพิ่มขึ้นตามขนาดกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปุณยนุช พินชู (2548) คือ การเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ B จะทำให้มีค่าอำนาจการทดสอบมากกว่าการเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A ทุกการทดสอบ และพบว่า วิธี Games-Howell มีอำนาจการทดสอบสูงสุดทุกกรณี ทั้งในสถานการณ์ที่มีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน

และไม่เท่ากัน เมื่อ k = 3 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3 เมื่อเพิ่มอิทธิพลทรีทเมนต์แบบ A และแบบ B ซึ่งจากผลการวิจัยนี้พบว่า สอดคล้องกับเอกสารของ Kirk (1982) เมื่อความแปรปรวนของประชากรไม่เท่ากัน วิธี Games-Howell มีอำนาจการทดสอบมากกว่าวิธี Dunnett's C และสอดคล้องกับผลสรุปของ Games, Keselman และ Rogan (1981) เกี่ยวกับวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของ Games-Howell, Dunnett's T3 และ Tamhane's T2 ซึ่งเป็นแบบที่ใช้การประมาณค่าความแปรปรวนของการเปรียบเทียบด้วยวิธีของ Behrens-Fisher ที่ว่า วิธีการทดสอบทั้ง 3 วิธีนี้สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ดีกว่าการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบที่ใช้ MSW (mean square within groups) เป็นตัวประมาณค่าความแปรปรวนของการเปรียบเทียบ เช่น วิธีของ Gabriel ซึ่งแม้ว่าควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ เมื่อความแปรปรวนของประชากรเท่ากัน แต่วิธีนี้จะไม่แกร่งต่อการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นด้านความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน ดังนั้นสำหรับงานวิจัยที่ต้องใช้วิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนเมื่อความแปรปรวนของประชากรไม่เท่ากัน ควรเลือกใช้วิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบที่ใช้การประมาณค่าความแปรปรวนของการเปรียบเทียบด้วยวิธีของ Behrens-Fisher เช่น Games-Howell, Dunnett's T3 และ Tamhane's T2 ซึ่งสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ดีกว่า

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การเลือกใช้สถิติทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhan's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ผู้วิจัยขอเสนอแนะว่า ในการตัดสินใจเลือกใช้สถิติทดสอบตัวใดนั้น ควรพิจารณาจากวิธีที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดของ Bradley ณ ระดับนัยสำคัญที่ระบุ

ผลสรุปของการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า งานวิจัยที่ต้องการเลือกใช้วิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนในกลุ่มการเปรียบเทียบภายหลัง (Post Hoc Contrast) ที่เป็น Pairwise Test 4 วิธี กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากันและไม่เท่ากันเป็นดังนี้

กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน

เมื่อ k = 3 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhan's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C สามารถนำไปใช้ได้ทุกวิธีในทุกกรณี เนื่องจากสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นวิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ทั้งในสถานการณ์ที่มีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

เมื่อ k = 4 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhan's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C สามารถนำไปใช้ได้ทุกวิธี ในบางกรณีเท่านั้น เนื่องจากสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด เฉพาะในกรณีที่มีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ดังนั้นวิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในสถานการณ์ที่มีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กเท่านั้น

เมื่อ k = 5 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5 วิธีการทดสอบของ Dunnett's C เป็นวิธีที่ควรนำไปใช้มากที่สุด ในจำนวนวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวน 4 วิธี ทั้งนี้วิธีการทดสอบของ Dunnett's C สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ดีกว่าอีก 3 วิธี เฉพาะในกรณีที่มีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก

เมื่อ k = 6 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6 ถึง k = 8 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7:8 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhans's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกกรณี ทั้งในสถานการณ์ที่มีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ดังนั้นวิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เมื่อจำนวนกลุ่มตัวอย่างมากขึ้น

กรณีกลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน

เมื่อ k = 3 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane' s T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C สามารถนำไปใช้ได้ทุกวิธี ในทุกกรณี เนื่องจากสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นวิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ทั้งในสถานการณ์ที่มีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่

เมื่อ k = 4 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhans's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C สามารถนำไปใช้ได้ทุกวิธีในบางกรณีเท่านั้น เนื่องจากสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด เฉพาะในกรณีที่มีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ดังนั้นวิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในสถานการณ์ที่มีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กเท่านั้น

เมื่อ k = 5 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5 ถึง k = 8 อัตราส่วนความแปรปรวนเป็น 1:2:3:4:5:6:7:8 วิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธี Tamhane's T2, Dunnett's T3, Games-Howell และ Dunnett's C ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด

โดยให้อัตราความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกกรณี ทั้งในสถานการณ์ที่มีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ดังนั้นวิธีการทดสอบทั้ง 4 วิธี จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เมื่อจำนวนกลุ่มตัวอย่างมากขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนภายใต้การแจกแจงแบบต่าง ๆ ของประชากร ที่ไม่ใช่การแจกแจงแบบปกติ

2. ควรศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนในแผนการทดลองแบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

3. ควรศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับการเท่ากันของค่าความแปรปรวนกับสถิตินอนพาราเมตริก

รายการอ้างอิง

ปุณยนุช พินชู. (2548). *การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบของวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ สำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์.* วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Games, P. A., Keselman, H. J., and Rogan, J. C. (1981). Simultaneous Pairwise Multiple Comparison Procedures for Means When Sample Size Are Unequal. *Psychological Bulletin.* 90: 594-598.

Kirk, R. E. (1982). *Experimental Design: Procedures for the Behavioral Sciences.* 2nded. USA: Brooks/Cole Publishing Company.

Kirk, R. E. (1995). *Experimental Design: Procedures for the Behavioral Sciences.* 3nded. USA: Brooks/Cole Publishing Company.