Journal of Research Methodology, Volume 18, Number 3 (September - December 2005)

วารสารวิธีวิทยาการวิจัย ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม 2548)

การเปรียบเทียบที่วางแผนไว้: ทางเลือกในการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

สังวรณ์ งัดกระโทก

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบที่วางแผนไว้เป็นวิธีการทางสถิติใช้เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่สนใจโดยใช้การวิเคราะห์ contrast *ซึ่ง* contrast *เป็นผลรวมเชิงเส้นตรงแบบถ่วงน้ำหนักของค่าเฉลี่ย วิธีการนี้เหมาะสมกับการตรวจสอบสมมติฐานหรือคำถามวิจัยที่จำเพาะเจาะจงที่กำหนดขึ้นจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ข้อดีของการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบนี้ คือการช่วยให้ตรวจสอบคำถามวิจัยได้ตรงตามที่ผู้วิจัยต้องการ กล่าวอีกนัยหนึ่งผู้วิจัยสามารถเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคู่ที่จำเพาะเจาะจงตามทฤษฎีได้ โดยไม่ต้องเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทุกคู่เหมือนการวิเคราะห์ความแปรปรวน การดำเนินการเช่นนี้ช่วยเพิ่มอำนาจทางสถิติและช่วยให้ผลการวิเคราะห์มีความชัดเจนมากขึ้น*

Journal of Research Methodology, Volume 18, Number 3 (September - December 2005)
วารสารวิธีวิทยาการวิจัย ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 (กันยายน - ธันวาคม 2548)

Planned Comparisons: An Alternative Approach to Mean Comparisons

Sungworn Ngudgratoke

ABSTRACT

Planned comparison or contrast analysis is a statistical method used to compare means across groups using contrast analysis which is a combination of linearly weighted means. This method is recommended using for testing focused hypotheses/ questions supported by theories by using contrast analysis. The major advantage of contrast analysis over traditional methods is that it enables a researcher to test only the hypotheses specific to the relevant theories and researcher's interests. In other words, we do not have to test all of the possible pairs of means. When it is applied to focused questions, contrast analysis results in increased statistical power and clear results.

1. แนวคิดของการเปรียบเทียบที่วางแผนไว้

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) มีจุดประสงค์สำคัญเพื่อวิเคราะห์ว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มต่าง ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบกันหรือไม่ (Rutherford, 2001) การวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเริ่มต้นจากการพิจารณาความมีนัยสำคัญของค่าสถิติ F หากสถิติ F มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อยหนึ่งคู่แตกต่างกัน ความมีนัยสำคัญทางสถิติ F บอกเป็นนัยว่ามีโอกาสน้อยมากที่ความแตกต่างนั้นจะเกิดขึ้นโดยบังเอิญ (Kirk, 1982) ต่อจากนั้นจะต้องการวิเคราะห์ต่อไปเพื่อตรวจสอบว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างมีความแตกต่างกัน การเปรียบเทียบด้วยขั้นตอนและวิธีการนี้ เรียกว่า *การเปรียบเทียบภายหลัง* (Post hoc comparisons) หรือการเปรียบเทียบที่ไม่ได้วางแผนไว้ล่วงหน้า (unplanned comparisons) นั่นคือ ผู้วิจัยดำเนินการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหลังจากดำเนินการเก็บข้อมูลแล้ว หรือผู้วิจัยไม่ได้มีสมมติฐานจำเพาะเจาะจงเกี่ยวกับความมากน้อยของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มที่นำมาเปรียบเทียบกัน การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มด้วยวิธีการเปรียบเทียบภายหลังมีลักษณะของการวิเคราะห์เชิงสำรวจ (exploratory analysis) กล่าวคือ เป็นการวิเคราะห์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลและข้อค้นพบที่ได้จากการทดลอง

โดยทั่วไปการเปรียบเทียบภายหลังจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทุกคู่ที่มี ดังนั้นการเปรียบเทียบภายหลังโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้น ยิ่งมีจำนวนคู่ของการเปรียบเทียบมากเท่าไรความคลาดเคลื่อนประเภทที่หนึ่ง (type I error) ก็มีโอกาสเกิดขึ้นมากขึ้นด้วย (Keppel, 1991) ตามแนวคิดของการแยกความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบรายคู่ เราสามารถแยกความคลาดเคลื่อนออกเป็นสองส่วน ซึ่งความคลาดเคลื่อนทั้งสองส่วนนี้มีความสัมพันธ์กัน ความคลาดเคลื่อนส่วนที่หนึ่ง คือ ความคลาดเคลื่อนประเภทที่หนึ่งที่เกิดจากการเปรียบเทียบรายคู่แต่ละครั้ง (percomparison, PC) เช่น เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่หนึ่งกับกลุ่มที่สอง โดยกำหนด α เท่ากับ .05 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มสองกับกลุ่มที่สามก็กำหนด α เท่ากับ .05 ดังนั้นความคลาดเคลื่อนประเภทนี้ ก็คือ α หรือความคลาดเคลื่อนประเภทที่หนึ่งนั่นเอง ส่วนความคลาดเคลื่อนส่วนที่สอง เป็นความคลาดเคลื่อนสะสม (Familywise,α_{FW}) ซึ่งเป็นผลรวมของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเปรียบเทียบรายคู่แต่ละครั้ง ความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนทั้งสองส่วนนี้คือ

$\alpha_{FW} = 1 - (1 - \alpha)^{C}$, C คือจำนวนครั้งที่เปรียบเทียบ

ตัวอย่าง เช่น เมื่อกำหนด α = .05 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่ม A, B, และ C โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นว่าจำนวนครั้งที่ต้องเปรียบเทียบ คือ 3 คู่ (A-B, A-C, B-C) ดังนั้นความคลาดเคลื่อนสะสมจะเท่ากับ

$\alpha_{FW} = 1 - (1 - .05)^3 = 1 - .857 = .143$

เราสามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนสะสมด้วยวิธีง่าย ๆ จากสมการ $\bar{\alpha}_{FW} = C(\alpha)$ แต่สมการนี้จะให้ค่าประมาณความคลาดเคลื่อนสะสมสูงกว่าค่าที่แท้จริงเล็กน้อย (Keppel, 1991)

ในทางตรงกันข้ามกับการเปรียบเทียบภายหลัง มีวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยที่มีการวางแผนเพื่อเปรียบเทียบขึ้นโดยนักวิจัยก่อนดำเนินการเก็บข้อมูล การเปรียบเทียบในลักษณะดังกล่าวมีลักษณะของการวิเคราะห์เชิงยืนยัน (Confirmatory analysis) ภาษาอังกฤษจะใช้คำว่า planned comparisons, priori comparisons และ contrasts comparisons หรือ contrasts ซึ่งเป็นคำที่ใช้เรียกวิธีการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่นักวิจัยมีสมมติฐานไว้ก่อนเก็บข้อมูล เมื่อนักวิจัยมีสมมติฐานแล้วจึงได้วางแผนไว้ก่อนล่วงหน้าแล้วว่าจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคู่ใดหรือชุดใดบ้าง (Howell, 2002)

contrast (L) เป็นผลรวมเชิงเส้นตรงแบบถ่วงน้ำหนักของค่าเฉลี่ย (Kirk, 1982; Rosenthal, Rosnow, & Rubin, 2000; Anderson, 2001) และเป็นกระบวนการทางสถิติที่ใช้กับคำถามวิจัยที่จำเพาะเจาะจงกับสมมติฐาน (Rosenthal, Rosnow, & Rubin, 2000; Anderson, 2001; Howell, 2002) จึงมีความเหมาะสมในการใช้ มีประสิทธิภาพ และทำให้ได้ข้อเท็จจริงมากกว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ใช้การเปรียบเทียบภายหลัง (Rosenthal, Rosnow, & Rubin, 2000; Anderson, 2001) โดยทั่วไป รูปแบบของผลรวมเชิงเส้นตรงของค่าเฉลี่ยมักจะแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสองค่าที่นำมาเทียบกันหรือแสดงถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยชุดหนึ่งกับค่าเฉลี่ยอีกชุดหนึ่ง ตัวอย่างเช่น เมื่อ $\bar{Y}_1$, $\bar{Y}_2$, และ $\bar{Y}_3$ เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่ม 1, 2, และ 3 ตามลำดับ เราอาจเขียนสมการแสดง contrast1 (L1) และ contrast2 (L2) ได้ดังนี้

$$L_1 = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_2$$

$$L_2 = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2}{2} - \bar{Y}_3$$

การกำหนด contrast1 เป็นการเปรียบเทียบแบบง่ายที่สุดคือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสองค่า (Anderson, 2001) ส่วนการกำหนด contrast2 เป็นการกำหนดที่ซับซ้อนขึ้น ซึ่งเรียกว่า complex contrast

2. ความสำคัญของการเปรียบเทียบที่วางแผนไว้

ก่อนที่จะกล่าวถึงความสำคัญของการ contrast analysis ขอเน้นให้ผู้อ่านทราบว่าการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการนี้จะมีความเหมาะสมก็ต่อเมื่อผู้วิจัยมีเอกสารงานวิจัยสนับสนุนสิ่งที่

ต้องการเปรียบเทียบอยู่ก่อนแล้ว การวิเคราะห์เช่นนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อยืนยันทฤษฎี สำหรับความสำคัญที่วิธีการนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย มาจากเหตุผลสำคัญสองประการ คือ

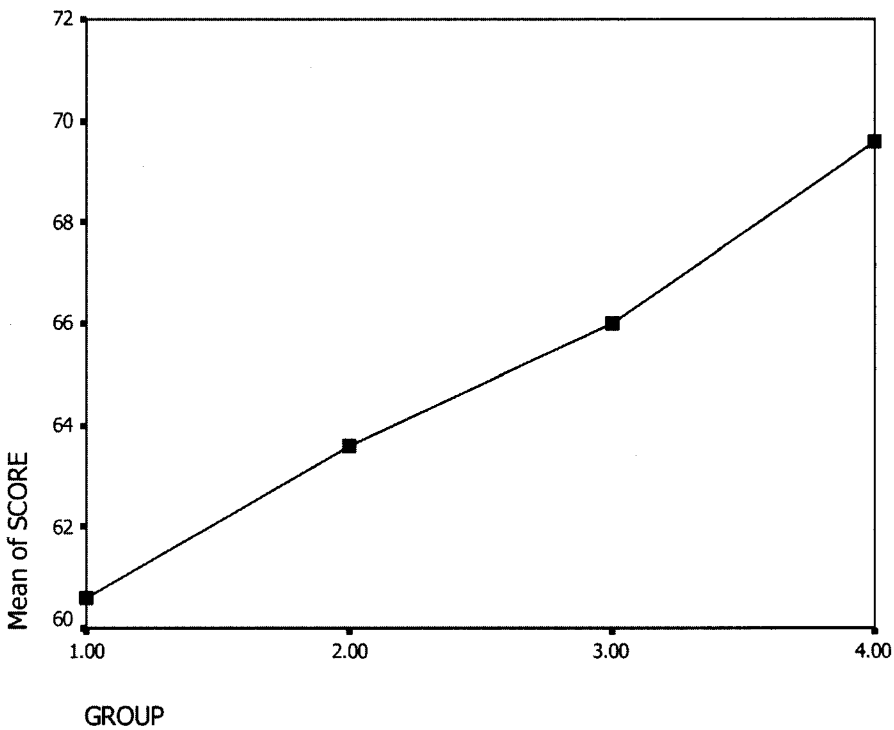
ประการที่หนึ่ง คือ การดำเนินการทดลองใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้ทรีตเมนท์กับกลุ่มทดลอง ผู้วิจัยมักจะมีสมมติฐานไว้ในใจแล้วว่ากลุ่มที่เป็นกลุ่มทดลองควรจะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มควบคุม หรือกลุ่มที่ได้รับทรีตเมนท์ที่มีคุณภาพดีกว่าย่อมจะมีผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นดีกว่า การกำหนดสมมติฐานนี้เป็นการคาดหมายคำตอบจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับทรีตเมนท์ที่ให้กับกลุ่มทดลอง เช่นนี้ในทางทฤษฎี ผู้วิจัยควรจะดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบสมมติฐานที่มีอยู่ โดยมีหลักอยู่ว่าจะไม่เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทุกคู่ที่เป็นไปได้แต่จะเปรียบเทียบเฉพาะคู่หรือชุดที่มีสมมติฐานกำหนดไว้เท่านั้น และจะไม่สนใจความมีนัยสำคัญของค่าสถิติทดสอบเอฟ (*F*-test) ดังนั้น การดำเนินการวิเคราะห์ตามแนวทางนี้ ก็คือ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามสมมติฐานที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว การมีคำถามที่จำเพาะเจาะจงจะช่วยให้ผลการวิเคราะห์มีความกระจ่างและชัดเจนมากกว่าคำถามวิจัยที่ไม่จำเพาะเจาะจง และหากผลของการให้ treatment เกิดขึ้นจริง เรามีแนวโน้มที่จะค้นพบ ผลนั้นมากขึ้น และเราจะมีความเชื่อมั่นมากขึ้นด้วยที่จะสรุปว่าผลที่ค้นพบเป็นความจริง (Rosenthal, Rosnow, & Rubin, 2000)

เหตุผลประการที่สอง เป็นเหตุผลเกี่ยวกับการเลือกสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตอบคำถามวิจัยที่จำเพาะเจาะจงตามเหตุผลประการที่ 1 กล่าวคือ เมื่อผู้วิจัยมีสมมติฐานการวิจัยที่จำเพาะเจาะจงแล้ว จำนวนครั้งของการเปรียบเทียบจะน้อยกว่าการเปรียบเทียบภายหลัง ทำให้ α_{FW} ลดลง จึงช่วยให้อำนาจทางสถิติเพิ่มขึ้น Rosenthal, Rosnow, และ Rubin (2000) กล่าวว่าการเปรียบเทียบด้วยวิธีนี้ไม่ใช่เป็นเพียงแค่วิธีการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยเท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มอำนาจทางสถิติ (statistical power) ด้วย ตัวอย่างเช่น ผู้วิจัยดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาผลของให้การบ้านต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้น ป. 3 โดยมีกลุ่มทดลอง 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่หนึ่งไม่ได้รับการบ้านเลย กลุ่มที่สองได้รับการบ้าน 1 ครั้งต่อสัปดาห์ กลุ่มที่สามได้รับการบ้าน 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และกลุ่มที่ 4 ได้รับการบ้าน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยผู้วิจัยมีสมมติฐานที่กำหนดจากทฤษฎีว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนทั้งสี่กลุ่มน่าจะมีลักษณะของการเพิ่มเป็นแบบเส้นตรง (Linear) เมื่อได้รับการบ้านเพิ่มขึ้น

ข้อมูลในตารางที่ 1 แสดงคะแนนของนักเรียนแต่ละคนจำแนกตามกลุ่มทดลองทั้งสี่กลุ่ม ส่วนรูปที่ 1 เป็นการพล๊อตค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม ซึ่งค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในลักษณะเกือบเป็นกราฟเส้นตรง

ตารางที่ 1 การแจกแจงของคะแนน (score) ของนักเรียนสี่กลุ่มที่ได้รับปริมาณการบ้านต่างกัน

กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4
42	54	54	54
60	60	66	66
66	66	54	66
60	66	78	72
66	54	60	66
72	72	72	72
66	60	60	66
60	66	60	72
54	66	72	72
60	72	84	90
$\bar{Y}$=60.6	$\bar{Y}$=63.6	$\bar{Y}$=66	$\bar{Y}$=69.6



รูปที่ 1 ค่าเฉลี่ยคะแนนสอบของนักเรียนที่ได้รับปริมาณการบ้านแตกต่างกัน

จากข้อมูลชุดนี้ เมื่อผู้วิจัยต้องการตรวจสอบว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นเป็นแบบเส้นตรงเมื่อได้รับการบ้านเพิ่มขึ้นหรือไม่ สมมติว่าถ้านำข้อมูลนี้ไปวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) โดยพิจารณาความมีนัยสำคัญทางสถิติของค่า *F* (omnibus F) และได้ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 2 โดยพบว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน ($F_{3,36}$ =1.966, p =.136) ผู้วิจัยจะสรุปผลการทดลองได้ว่านักเรียนที่ได้รับปริมาณการบ้านแตกต่างกันมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่แตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์นี้ดูจะขัดกับการแจกแจงของค่าเฉลี่ยในรูปที่ 1 เพราะเมื่อดูกราฟในรูปที่ 1 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนของนักเรียนแต่ละกลุ่มมีลักษณะเพิ่มขึ้นเกือบเป็นเส้นตรงสอดคล้องกับความเชื่อตามทฤษฎีที่นักวิจัยตั้งไว้ก่อนหน้านี้ในทางตรงกันข้าม ถ้าวิเคราะห์ข้อมูลชุดเดิมด้วย contrast analysis จะได้ผลวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ผลการวิจัยสรุปว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นเมื่อได้รับการบ้านมากขึ้น ($F_{1,36}$ =5.866, p =.021) ผลการวิเคราะห์นี้สนับสนุนทฤษฎีที่ผู้วิจัยต้องการตรวจสอบ (ดูผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ โดยใช้ contrast ในตารางที่ 3 ประกอบ)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	*F*	*p*
Between Groups	434.700	3	144.900	1.966	136
Within Groups	2653.200	36	73.700		
Total	**3087.900**	**39**			

อย่างไรก็ตาม การนำเสนอตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีข้างต้น ไม่ใช่การสรุปว่า omnibus *F* test และ contrast analysis จะให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันเสมอไปทุกครั้ง และไม่ใช่การสรุปว่า contrast analysis เหมาะสมกว่า omnibus *F* test ในทุก ๆ กรณี แต่การเสนอตัวอย่างนี้เพียงเพื่อต้องการชี้ให้เห็นว่าการเลือกวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลให้สอดคล้องกับทฤษฎีหรือความต้องการตรวจสอบของนักวิจัยมีความสำคัญมาก เพราะการเลือกใช้การวิเคราะห์ข้อมูลที่เหมาะสมกว่าจะช่วยให้ค่า *p*-value ของสถิติทดสอบมีนัยสำคัญมากขึ้นเมื่อ H_o ไม่เป็นจริง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าช่วยให้เพิ่มอำนาจการทดสอบ จากตัวอย่างข้างต้น วิธีการแยกการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยออกเป็นคู่ ๆ แล้วพิจารณาค่านัยสำคัญทางสถิติของ omnibus *F* test จะไม่สามารถตอบคำถามที่นักวิจัยต้องการทราบในกรณีนี้ได้เลย ผลการวิเคราะห์จะทำให้ทราบแค่เพียงว่าค่าเฉลี่ยแต่ละคู่ที่นำมาเทียบกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ แต่ไม่บอกถึงภาพรวมเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยแบบเส้นตรงเมื่อได้รับปริมาณการบ้านเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นคำถาม

วิจัยที่ผู้วิจัยต้องการทราบ ส่วนการใช้ contrast วิเคราะห์ข้อมูลชุดนี้เป็นการผสมผสานทฤษฎี สมมติฐาน หรือความเชื่อของผู้วิจัยกับสถิติวิเคราะห์ให้สอดคล้องกัน จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมมากกว่าเพราะใช้ตรวจสอบคำถามวิจัยได้ตรงประเด็นมากกว่า ดังนั้นจึงขอย้ำอีกทีว่า contrast analysis จะมีประโยชน์ก็ต่อเมื่อผู้วิจัยมีคำถามวิจัยที่ต้องการตรวจสอบอย่างจำเพาะเจาะจง นักวิจัยต้องพิจารณาใคร่ครวญอย่างถี่ถ้วนเกี่ยวกับสมมติฐานการวิจัย ผู้วิจัยควรมีการคาดคะเนผลลัพธ์ที่ได้จากการทำวิจัยไว้ก่อนขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล หรือก่อนการดำเนินการทดลอง นั่นก็คือนักวิจัยต้องมีทฤษฎีหรือข้ออ้างทางทฤษฎีช่วยในการพิจารณาว่าจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้าง หรือชุดของค่าเฉลี่ยชุดใดกับชุดใด เพื่อจะได้ตอบคำถามวิจัยให้ตรงประเด็นมากที่สุด จากนั้นจึงเลือกประเภทของ contrast ซึ่งอยู่ในหัวข้อที่ 5 ให้เหมาะสมกับการออกแบบการวิจัยต่อไป

3. การระบุสมมติฐานในการเปรียบเทียบที่วางแผนไว้

ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการกำหนดสมมติฐานในการเปรียบเทียบที่วางแผนไว้ สมมติง่าย ๆ ว่า ถ้าการวิเคราะห์ contrast เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเป็นคู่ ๆ เช่น $L_1 = \bar{Y}_1 + \bar{Y}_2$ บ่งบอกว่าเรากำลังสนใจเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 จึงสามารถเขียนสมมติฐานศูนย์(H_0) ของการทดสอบได้ดังนี้

$$H_0:\ \mu_j = \mu_{j'} \text{ สำหรับ } j \text{ และ } j' = 1, 2, ..., k \text{ เมื่อ } j \neq j'$$
$$H_1:\ \mu_j \neq \mu_{j'} \text{ สำหรับ } j \text{ และ } j' = 1, 2, ..., k \text{ เมื่อ } j \neq j'$$

ตัวอย่างถัดไปเป็นการกำหนดสมมติฐานทางเลือกของ contrast ที่มีความซับซ้อนขึ้น เพราะผู้วิจัยมีความสนใจเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมากกว่า 2 กลุ่ม เช่น $L_2 = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2}{2} - \bar{Y}_3$ เราสามารถเขียนสมมติฐานของการทดสอบได้ดังนี้

$$H_0:\ \frac{(\mu_1 + \mu_2)}{2} = \mu_3 \text{ หรือ}$$

$$H_0:\ \frac{(\mu_1 + \mu_2)}{2} - \mu_3 = 0$$

สมมติฐานศูนย์นี้มีความหมายว่า ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยในประชากรกลุ่ม 1 และ 2 เท่ากับค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 3

และเราสามารถเขียนสมมติฐานทางเลือก (H_1) ที่ตรงข้ามกับสมมติฐานศูนย์ได้ดังต่อไปนี้

$$H_1:\ \frac{(\mu_1 + \mu_2)}{2} \neq \mu_3$$

ความหมายของสมมติฐานทางเลือกนี้ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยในประชากรกลุ่ม 1 และ 2 แตกต่างหรือไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 3

โดยทั่วไปเมื่อเราเขียนสมการแสดงถึง contrast ของประชากร เรามักจะใช้สัญลักษณ์ Ψ ซึ่งเป็นอักษรกรีกเพื่อแสดงถึง contrast โดยสมการทั่วไปของ contrast คือ

$$\Psi = \Sigma \lambda_j \mu_j$$

ดังนั้น contrast1 จะเขียนสมการของประชากรได้ดังนี้

$$\Psi_1 = \Sigma \lambda_j \mu_j = (\mu_1 - \mu_2)$$

ซึ่งเรากำลังทดสอบสมมติฐานว่า

$$H_0: \Psi_1 = 0$$
$$H_1: \Psi_1 \neq 0$$

สำหรับ contrast2 จะเขียนสมการได้ดังนี้

$$\Psi_2 = \Sigma \lambda_j \mu_j = \frac{(\mu_1 + \mu_2)}{2} - \mu_3$$

และเช่นเดียวกันเรากำลังทดสอบสมมติฐานของ contrast2 ว่า

$$H_0: \Psi_2 = 0$$
$$H_1: \Psi_2 \neq 0$$

จากสมการทั่วไป มีสัญลักษณ์ λ เข้ามาเกี่ยวข้องกับการคำนวณ โดย λ เป็นสัมประสิทธิ์ของค่าเฉลี่ยที่กำหนดขึ้นมา สัมประสิทธิ์นี้จะถูกนำไปใช้คูณกับค่าเฉลี่ยที่เกี่ยวข้องเพื่อคำนวณ contrast หากมีค่าเฉลี่ย k ค่า ผู้วิจัยต้องกำหนดสัมประสิทธิ์ λ จำนวน k ค่าด้วย

กฎอย่างง่าย ๆ สำหรับการกำหนดสัมประสิทธิ์ λ มีดังนี้

1. ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดขึ้นมาสำหรับแต่ละ contrast ต้องมีค่าเป็นศูนย์ และในแต่ละ contrast ต้องมีสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์อย่างน้อยหนึ่งค่า
2. ควรกำหนดสัมประสิทธิ์เป็นเลขจำนวนเต็ม เพื่อให้การคำนวณความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ contrast ได้ง่ายขึ้น
3. ค่าเฉลี่ยที่ผู้วิจัยกำหนดให้มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าบวก แสดงว่าผู้วิจัยคิดว่าค่าเฉลี่ยนั้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยที่มีสัมประสิทธิ์เป็นลบ และค่าเฉลี่ยที่มีสัมประสิทธิ์เป็นศูนย์แสดงว่าผู้วิจัยไม่ต้องการนำค่าเฉลี่ยนั้นมาวิเคราะห์

หากกำหนด contrast มากกว่า 1 contrast เราสามารถพิจารณาได้ว่า contrast ต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นมาเป็นอิสระจากกันหรือไม่ การพิจารณาดังกล่าว ดูจากผลรวมของผลคูณของสัมประสิทธิ์

ของ contrast ทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบกัน ถ้าผลรวมของผลคูณรวมกันแล้วเท่ากับศูนย์แสดงว่า contrast ทั้งสองเป็นอิสระจากกัน แต่ถ้าผลรวมไม่เท่ากับศูนย์แสดงว่า contrast ทั้งสองนั้นไม่เป็นอิสระจากกัน

ความหมายของการเปรียบเทียบที่เป็นอิสระจากกัน คือ ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดหนึ่งไม่ได้บอกเกี่ยวกับผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดอื่นๆ หรือสะท้อนให้ทราบว่าการเปรียบเทียบทั้งสองนั้นมีข้อมูลที่ไม่คาบเกี่ยวกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสอง contrast ดังต่อไปนี้

contrast A : ต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม ($\bar{Y}_C$) กับค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองสองกลุ่ม ($\bar{Y}_{E1}$ และ $\bar{Y}_{E2}$)

contrast B : ต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองสองกลุ่ม ($\bar{Y}_{E1}$ และ $\bar{Y}_{E2}$)

หากวิเคราะห์แล้วทราบว่า ผลต่างของค่าเฉลี่ยใน contrast A เท่ากับศูนย์ เช่น ค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุมเท่ากับ 10 ($\bar{Y}_C = 10$) และค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองสองกลุ่มเท่ากับ 10 ($\frac{\bar{Y}_{E1} + \bar{Y}_{E2}}{2} = 10$) จะเห็นว่าผลของการวิเคราะห์ข้อมูลของ contrast A ไม่ได้บอกว่าผลต่างของค่าเฉลี่ยในcontrast B จะเป็นเท่าไร เพราะการที่ทราบว่าค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองสองกลุ่มเท่ากับ 10 ไม่ได้บอกให้ทราบถึงค่าผลต่างที่แท้จริงของค่าเฉลี่ยใน contrast B เลย ตัวอย่างเช่นนี้ถือว่าเป็นการเปรียบเทียบที่เป็นอิสระจากกัน

ในทางตรงกันข้าม ถ้าผลของการเปรียบเทียบชุดหนึ่งบอกถึงผลของการเปรียบเทียบอีกชุดหนึ่งจะถือว่าเป็นการเปรียบเทียบที่ไม่เป็นอิสระจากกัน เช่น การรู้ว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่หนึ่งมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่สองและที่สาม บอกเป็นนัยๆ ว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่หนึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่สอง เป็นต้น การเปรียบเทียบที่ไม่เป็นอิสระจากกันแสดงว่าสมมติฐานของการทดสอบไม่สามารถแยกออกจากกัน และข้อค้นพบที่แท้จริงหรือข้อค้นพบที่เกิดขึ้นอย่างบังเอิญจากการเปรียบเทียบครั้งหนึ่ง อาจเกิดขึ้นได้อีกในการเปรียบเทียบอื่นๆ ที่สัมพันธ์กัน (Anderson, 2001)

ตัวอย่างของการตรวจสอบว่า contrast เป็นอิสระจากกันหรือไม่ ให้พิจารณาจากข้อมูลเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของคะแนนของนักเรียน 5 กลุ่ม ที่เรียนจากสื่อการสอน 5 ประเภท ดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1: สื่อประเภท interactive video ($n = 10$, $\bar{Y} = 48.7$)
กลุ่มที่ 2: สื่อประเภท CAI ($n = 10$, $\bar{Y} = 43.4$)
กลุ่มที่ 3: สื่อประเภท standard video ($n = 10$, $\bar{Y} = 47.2$)

กลุ่มที่ 4: สื่อประเภท slide tape (n = 10, $\bar{Y}$ = 36.7)
กลุ่มที่ 5: การสอนด้วยการบรรยาย (n = 10, $\bar{Y}$ = 40.3)

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยมีสมมติฐานสามข้อที่ต้องการเปรียบเทียบ คือ

A. เพื่อเปรียบเทียบคะแนนระหว่างนักเรียนที่เรียนจากสื่อประเภท interactive video และ standard video โดยผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าสื่อประเภท interactive video มีประสิทธิภาพมากกว่าสื่อประเภท standard video เราสามารถเขียน contrast A ได้ดังนี้

$$L_A = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_2$$

B. เพื่อเปรียบเทียบคะแนนระหว่างนักเรียนที่เรียนจากสื่อประเภท video และ สื่อการสอนประเภทอื่น โดยผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าสื่อการสอนประเภท video มีประสิทธิภาพมากกว่าสื่อประเภทอื่น เราสามารถเขียน contrast B ได้ดังนี้

$$L_B = \frac{(\bar{Y}_1 + \bar{Y}_3)}{2} - \frac{(\bar{Y}_2 + \bar{Y}_4 + \bar{Y}_5)}{3}$$

C. เพื่อเปรียบเทียบคะแนนระหว่างนักเรียนที่เรียนจากการบรรยายกับสื่อประเภทอื่น ๆ โดยผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าการสอนด้วยการบรรยายมีประสิทธิภาพด้อยกว่าการสอนด้วยสื่อประเภทอื่น เราสามารถเขียน contrast C ได้ดังนี้

$$L_c = \frac{(\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3 + \bar{Y}_4)}{4} - \bar{Y}_3$$

และผู้วิจัยกำหนดสัมประสิทธิ์ของ contrast A, B, และ C ดังต่อไปนี้

	กลุ่ม 1	**กลุ่ม 2**	**กลุ่ม 3**	**กลุ่ม 4**	**กลุ่ม 5**
L_A	1	0	−1	0	0
L_B	3	−2	3	−2	−2
L_C	1	1	1	1	−4

การตรวจสอบว่า L_A และ L_B เป็นอิสระจากกันหรือไม่ ทำได้โดยการคำนวณผลรวมของผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์ของ L_A และ L_B ซึ่งเท่ากับ (1x 3) + (0 x −2) + (−1 x 3) + (0 x −2) + (0 x −2) = 3 + 0 + (−3) + 0 + 0 = 0 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า L_A และ L_B เป็นอิสระจากกัน

การตรวจสอบว่า L_B และ L_C เป็นอิสระจากกันหรือไม่ ทำได้โดยการคำนวณผลรวมของผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์ของ L_B และ L_C ซึ่งเท่ากับ (3 x 1) + (−2 x 1) + (3 x 1) + (−2 x 1) + (−2 x −4) = 3 + (−2) + 3 + (−2) + 8 = 10 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า L_B และ L_C ไม่เป็นอิสระจากกัน

และการตรวจสอบว่า L_A และ L_C เป็นอิสระจากกันหรือไม่ ทำได้โดยการคำนวณผลรวมของผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์ของ L_A และ L_C ซึ่งเท่ากับ (1x 1) + (0 x 1) + (-1 x 1) + (0 x 1) + (0 x -4) = 1 + 0 + (-1) + 0 + 0 = 0 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า L_A และ L_C เป็นอิสระจากกัน

4. วิธีการวิเคราะห์เปรียบเทียบด้วยวิธี Planed or Contrast comparisons

วิธีการนี้มีหลักการว่า เราต้องการคำนวณค่าสถิติ F ที่จำเพาะเจาะจงกับสมมติฐานที่มีอยู่ (focused F) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า $F_{contrast}$ การวิเคราะห์เริ่มต้นที่การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ (λ) โดย λ เป็นค่าน้ำหนักของค่าเฉลี่ยที่กำหนดให้ในแต่ละกลุ่ม เช่น หากมีกลุ่มทดลองห้ากลุ่ม อาจกำหนด λ ของแต่ละกลุ่ม ดังนี้ -2, -1, 0, 1, และ 2 ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงคำนวณ contrast (L) ซึ่งเป็นผลรวมของผลคูณระหว่างค่าเฉลี่ยและค่าสมประสิทธิ์ของทุก ๆ กลุ่ม

$$L = \sum \bar{Y}_j \lambda_j = \bar{Y}1\lambda_1 + \bar{Y}2\lambda_2 + \ldots + \bar{Y}_k \lambda_k$$

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ของ L คำนวณได้จาก

$$SE = \sqrt{MSW\left[\sum \frac{\lambda_j^2}{n_j}\right]}$$

จากนั้นจึงคำนวณ $F_{contrast}$ จากสมการ

$$t = \frac{L}{SE} = \frac{\sum \bar{Y}_j \lambda_j}{\sqrt{MSW\left[\sum \frac{\lambda_j^2}{n_j}\right]}}$$

MSW คือ mean square within group และ n_j คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างของกลุ่ม j เมื่อยกกำลังสองค่าสถิติที่จะมีค่าเท่ากับสถิติทดสอบเอฟ ($t^2 = F_{contrast}$) หรือ

$$F_{contrast} = t^2 = \frac{L^2}{SE^2} = \frac{\left[\sum \bar{Y}_j \lambda_j\right]^2}{\sqrt{MSW\left[\sum \frac{\lambda_j^2}{n_j}\right]}} = \frac{SS_{contrast}}{MSW}$$

เมื่อ $SS_{contrast} = \dfrac{nL^2}{\sum \lambda_j^2}$ โดย n คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างของแต่ละกลุ่ม (แต่ละกลุ่มมีขนาด

เท่ากัน คือ n) และ F_{contrast} มี $df_{Between}$ = 1 และ df_{within} = จำนวนองศาความเป็นอิสระภายในกลุ่ม หรือเท่ากับจำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดลบด้วยจำนวนกลุ่ม

ค่า $F_{contrast}$ จากสมการนี้อาจดูเหมือนไม่สอดคล้องกับหลักของการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพราะตามหลักการแล้ว $F=MSB/MSW$ แต่เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองกลุ่ม ค่าองศาความเป็นอิสระระหว่างกลุ่ม ($df_{Between}$) จะเท่ากับ 1 ทำให้ $SS_{contrast} = MS_{contrast}$ จึงสามารถเขียนสมการที่ใช้คำนวณ $F_{contrast}$ ได้ใหม่ดังนี้

$$F_{contrast} = \frac{MS_{contrast}}{MSW}$$

อนึ่ง เมื่อมี contrast ตั้งแต่สอง contrast ขึ้นไป การเปรียบเทียบก็ต้องใช้ใช้สถิติทดสอบที (t-test) หลายครั้ง (multiple t-statistics) แต่เรายังคงใช้ MSW เป็นตัวหารเหมือนเดิม Kirk (1981) ตั้งข้อสังเกตว่า การทดสอบเช่นนี้ทำให้การทดสอบนัยสำคัญไม่เป็นอิสระจากกันในเชิงสถิติวิเคราะห์ ถึงแม้ว่า contrasts จะเป็นอิสระจากกันแล้วก็ตาม อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ เมื่อองศาความเป็นอิสระของ MSW มีจำนวนค่อนข้างมาก (df=40) ก็จะถือว่าสถิติทดสอบที่เป็นอิสระจากกันได้

5. ประเภทของ contrast

การจำแนกประเภทของ contrast เมื่อใช้เกณฑ์ 4 เกณฑ์ดังต่อไปนี้ในการจำแนก จะสามารถจำแนกได้ดังนี้

5.1 แบ่งตามจำนวนค่าเฉลี่ยที่เปรียบเทียบ จำแนกออกได้ 2 ประเภท ได้แก่ pairwise contrast และ non-pairwise contrast ตัวอย่างของ contrast ทั้งสอง เช่น

(1 0 −1 0 0) เป็น pairwise contrast

(3 −2 3 −2 −2) เป็น non-pairwise contrast

บางครั้งเรียก contrast ทั้งสองว่า การเปรียบเทียบอย่างง่ายและการเปรียบเทียบแบบซับซ้อน ตามลำดับ

5.2 แบ่งตามคุณสมบัติ จำแนกออกได้ 2 ประเภท ได้แก่ เป็น orthogonal contrast และ nonorthogonal contrast ซึ่งได้อธิบายไว้ข้างต้น

5.3 แบ่งตามลักษณะการเปรียบเทียบ จำแนกออกได้ 6 ประเภท ได้แก่ deviation, simple, different, Helmert, repeated, และ polynomial contrast

5.4 แบ่งตามจำนวนตัวแปรตามในโมเดล จำแนกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ univariate contrast และ multivariate contrast

โปรแกรม SPSS ได้จัดจำแนกประเภทของ contrast ออกเป็น 6 ประเภทตามเกณฑ์ข้อ 5.3 นอกจากนี้ การวิเคราะห์ univariate และ multivariate ใน SPSS ต่างก็ใช้ contrast ทั้ง 6 ประเภทนี้เหมือนกัน ดังนั้นผู้เขียนจะได้อธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับ contrast ทั้ง 6 ประเภทนี้ต่อไป สิ่งสำคัญประการหนึ่งของการเลือกใช้ contrast ทั้ง 6 ประเภทนี้ คือ ลำดับ(ก่อน-หลัง) ของระดับตัวแปรอิสระ (ทรีตเมนท์) ที่ใช้วิเคราะห์มีความสำคัญมาก ถ้าใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ก็ต้องกำหนดลำดับให้สอดคล้องกับลำดับที่กำหนดไว้ในโปรแกรม SPSS รายละเอียดของ contrast ทั้ง 6 ประเภทมีดังต่อไปนี้

1. Deviation contrast

การเปรียบเทียบด้วยวิธีนี้ จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนท์หนึ่งๆ กับค่าเฉลี่ยของของทรีตเมนท์อื่น ๆ เช่น เมื่อ ทรีตเมนท์มี 3 ระดับ อาจกำหนด contrast ได้ 2 แบบ ดังนี้

(2/3	-1/3	-1/3)	: เทียบ 1 กับค่าเฉลี่ยของ 2 และ 3
(-1/3	2/3	-1/3)	: เทียบ 2 กับค่าเฉลี่ยของ 1 และ 3

2. Simple contrast

การเปรียบเทียบด้วยวิธีการนี้ จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนท์หนึ่งๆ กับค่าเฉลี่ยของทรีตเมนท์แรกหรือทรีตเมนท์สุดท้าย (ขึ้นอยู่กับการเลือกของผู้วิจัย) การเปรียบเทียบแบบนี้ใช้มากในการวิจัยที่มีกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง เช่น หากทรีตเมนท์มี 4 ระดับ จะกำหนดได้ 3 แบบ ดังนี้

(1	0	0	-1)	: เทียบ 1 กับ 4
(0	1	0	-1)	: เทียบ 2 กับ 4
(0	1	0	-1)	: เทียบ 3 กับ 4

3. Difference contrast

การเปรียบเทียบด้วยวิธีนี้ จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนท์หนึ่งๆ กับค่าเฉลี่ยของทรีตเมนท์อื่นๆ ที่อยู่ด้านหน้า เช่น หากทรีตเมนท์ที่มี 4 ระดับ อาจกำหนดได้ 3 แบบ ดังนี้

(-1	1	0	0)	: เทียบ 2 กับ 1
(-1/2	-1/2	1	0)	: เทียบ 3 กับค่าเฉลี่ยของ 1 และ 2
(-1/3	-1/3 -	1/3	1)	: เทียบ 4 กับค่าเฉลี่ยของ 1 2 และ 3

4. Helmert contrast

วิธีการนี้ตรงข้ามกับ difference contrast กล่าวคือจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนท์หนึ่งๆ กับค่าเฉลี่ยของทรีตเมนท์อื่นๆ ที่อยู่ด้านหลัง เช่น หากทรีตเมนท์มี 4 ระดับ อาจกำหนดได้ 3 แบบ ดังนี้

(1	−1/3	−1/3	−1/3)	:	เทียบ 1 กับค่าเฉลี่ยของ 2 3 และ 4
(0	1	−1/2	−1/2)	:	เทียบ 2 กับค่าเฉลี่ยของ 3 และ 4
(0	−1/3	−1/3	1)	:	เทียบ 3 กับ 4

5. Repeated contrast

วิธีการนี้จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนท์หนึ่ง ๆ กับค่าเฉลี่ยของทรีตเมนท์ที่อยู่ติดกัน เช่น หากทรีตเมนท์มี 4 ระดับ อาจกำหนดได้ 3 แบบ ดังนี้

(1	−1	0	0)	:	เทียบ 1 กับ 2
(0	1	−1	0)	:	เทียบ 2 กับ 3
(0	0	1	−1)	:	เทียบ 3 กับ 4

6. Polynomial

วิธีการนี้จะใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้ม (trend analysis) ซึ่งสามารถตรวจสอบแนวโน้มแบบเส้นตรง (linear) แบบ quadratic หรือ แบบ cubic โดยทั่วไปเมื่อจำนวนระดับของทรีตเมนท์มี k ระดับจะตรวจสอบแนวโน้มได้ k−1 รูปแบบ ตัวอย่างการเช่น หากทรีตเมนท์มี 4 ระดับ จะกำหนดได้ 3 แบบ ดังนี้

(−3	−1	1	3)	:	แบบ Linear
(1	−1	−1	1)	:	แบบ Quadratic
(1	3	−3	1)	:	แบบ Cubic

6. ตัวอย่างการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1

แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมมติฐาน A และ B ดังที่กล่าวมาข้างต้น

A. เพื่อเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างกลุ่มที่เรียนจากสื่อประเภท interactive video และกลุ่มที่เรียนจากสื่อประเภท standard video

$$L_A = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_3$$

วิธีการคำนวณมีดังต่อไปนี้

$$L_A = 48.7 - 47.2 = 1.5$$

เมื่อ MSW = 28.8 แล้ว

$$SE_A = \sqrt{28.8\left[(\frac{1^2}{10}) + \frac{0}{10} + \frac{(-1)^2}{10} + \frac{0}{10} + \frac{0}{10}\right]} = 2.4$$

ดังนั้น $t_A = \frac{1.5}{2.4} = 0.62$

ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ค่า t_A น้อยกว่าค่า $t_{วิกฤต}$ (2.02) หรือ $F_{contrast} = 0.3844$ น้อยกว่า $F(1, 45) = 4.05$ ดังนั้น จึงสรุปว่านักเรียนที่เรียนจากสื่อการสอนประเภท interactive video และ standard video มีผลการเรียนไม่ต่างกัน

B. เพื่อเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างกลุ่มที่เรียนจากสื่อประเภทวีดิโอกับกลุ่มที่เรียนจากสื่อการสอนประเภทอื่น

$$L_B = \frac{(\bar{Y}_1+\bar{Y}_3)}{2} - \frac{(\bar{Y}_2+\bar{Y}_4+\bar{Y}_5)}{3}$$

$$L_B = \frac{3(48.7+47.2)}{2} - \frac{2(43.4+36.7+40.3)}{3} = 143.85-80.27=63.58$$

$$SE_B = \sqrt{28.8\left[(\frac{3^2}{10}) + \frac{(-2)^2}{10} + \frac{3^2}{10} + \frac{(-2)^2}{10} + \frac{(-2)^2}{10}\right]} = 9.30$$

ดังนั้น $t_B = \frac{63.58}{9.30} = 6.84$

ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ค่า t_B มากกว่าค่า $t_{วิกฤต}$ (2.02) หรือ $F_{contrast} = 46.7856$ มากกว่า $F(1, 45) = 4.05$ ดังนั้น จึงสรุปว่าค่าเฉลี่ยของผลการเรียนของนักเรียนที่เรียนจากสื่อประเภทวีดิโอสูงกว่าค่าเฉลี่ยของผลการเรียนของนักเรียนที่เรียนจากสื่อประเภทอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างนี้ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับคะแนนสอบจากตารางที่ 1 และกำหนดให้กลุ่มทดลองกลุ่มที่หนึ่งมี λ เท่ากับ -3 กลุ่มที่สอง เท่ากับ -1 กลุ่มที่สามเท่ากับ +1 และกลุ่มที่สี่เท่ากับ +3 โดยผลรวมของค่า λ เท่ากับ (-3) + (-1) + (1) + (3) = 0 เมื่อได้ข้อมูลเหล่านี้แล้วจะสามารถคำนวณ $SS_{contrast}$ ได้ดังต่อไปนี้

$$SS_{contrast} = \frac{10\left[(60.6)(-3)+(63.6)(-1)+(66.0)+(1)+(69.6)(3)\right]^2}{(-3)^2+(-1)^2+(+1)^2+(+3)^2}$$

$$= \frac{10(29.4)^2}{20}$$

$$= 432.18$$

เมื่อ $df_{Between}$ = 1 ดังนั้น $MS_{contrast} = SS_{contrast}$ = 432.18

จากตารางที่ 2 MSW = 73.7 ดังนั้น

$$F_{contrast} = \frac{MS_{contrast}}{MSW} = \frac{432.18}{73.7}$$

$$= 5.86$$

ค่า $F_{contrast}$ ที่เปิดจากตารางเมื่อ $df_{Between}$ =1 และ df_{within} =36 ที่ระดับนัยสำคัญ .05 มีค่าประมาณ 4.10 ซึ่งน้อยกว่า 5.86 ดังนั้นจึงสรุปผลการวิเคราะห์ว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อได้รับปริมาณการบ้านเพิ่มขึ้น สังเกตว่าผลการวิจัยที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ต่างจากผลการวิเคราะห์ข้างต้นที่ใช้การเปรียบเทียบรายคู่อย่างมาก

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS แสดงในตารางที่ 3 โดยที่ผลการวิเคราะห์จะให้ค่าสถิติทดสอบ t โดยเราสามารถเปลี่ยนเป็นค่า $F_{contrast}$ ได้โดยการยกกำลังสองค่า t ($2.422^2 = 5.866$)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ contrasts โดยโปรแกรม SPSS

	Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
Assume equal variances	1	29.40	12.141	2.422	36	.021
Does not assume equal variances variances	1	29.40	12.200	2.410	21.624	.025

7. ข้อควรระวังในการใช้การเปรียบเทียบที่วางแผนไว้

ถึงแม้ว่าการเปรียบเทียบทั้งสองแบบ คือ planned comparisons และ post hoc comparisons มีแนวคิดที่แตกต่างกัน แต่วิธีการทั้งสองแบบนี้ก็จะมีความคลาดเคลื่อนสะสมสูงขึ้นเมื่อมีการเปรียบเทียบหลาย ๆ ครั้ง และทั้งสองวิธีมีวิธีการทางสถิติเพื่อควบคุมคลาดเคลื่อนสะสมให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับ planned comparisons ใช้ Bonferroni หรือ Dunn't test เพื่อควบคุมความคลาดเคลื่อนสะสม

การควบคุมความคลาดเคลื่อนโดยวิธีของ Bonferroni เริ่มต้นด้วยการกำหนดความคลาดเคลื่อนสะสม (α_{FW}) ที่ยอมรับได้ แล้วหารด้วยจำนวนของการเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ที่ได้คือα ที่ปรับแก้ การดำเนินการด้วยวิธีนี้ส่งผลให้ระดับนัยสำคัญมีค่าน้อย (α) ทำให้ยากที่จะค้นพบความแตกต่างที่แท้จริงของค่าเฉลี่ย เพื่อแก้ไขข้อจำกัดนี้ นักสถิติจึงเสนอวิธีการปรับแก้โดยใช้ modified Bonferroni test โดยวิธีนี้ใช้องศาความเป็นอิสระระหว่างกลุ่มเพื่อกำหนดระดับความคลาดเคลื่อนสะสมที่ยอมรับได้ ($\bar{\alpha}_{FW_{planned}}$) ตามสมการต่อไปนี้

$$\bar{\alpha}_{FW_{planned}} = (df_B)(\alpha); \; df_B = \text{between group degree of freedom}$$

สังเกตว่าแนวคิดนี้จะมีการปรับแก้ $\bar{\alpha}_{FW_{planned}}$ ตามสมการต่อไปนี้ก็ต่อเมื่อจำนวนของการเปรียบเทียบมากกว่าจำนวนขององศาความเป็นอิสระระหว่างกลุ่ม (Keppel, 1991) เมื่อหาร $\bar{\alpha}_{FW_{planned}}$ ด้วยจำนวนของการเปรียบเทียบ (C) ตามหลักการเดิมของ Bonferroni test จะได้ความคลาดเคลื่อนประเภทที่หนึ่ง ($\bar{\alpha}_{planned}$)

$$\bar{\alpha}_{planned} = \frac{\bar{\alpha}_{FW_{planned}}}{C}$$

$\bar{\alpha}_{planned}$ เป็นค่าระดับนัยสำคัญที่ปรับแก้ เพื่อใช้สำหรับประเมินความมีนัยสำคัญของการเปรียบเทียบที่ใช้ในการเปรียบเทียบที่วางแผนไว้ล่วงหน้า

Keppel (1991) แสดงตัวอย่างของวิธีการใช้ modified Bonferroni test เพื่อปรับค่าระดับนัยสำคัญในการทดลองที่มี 5 เงื่อนไข (df_B=4) และกำหนด α = 0.05 คำนวณ $\bar{\alpha}_{FW_{planned}}$ ได้เท่ากับ 4(0.05) = 0.20 หากมีการเปรียบเทียบทั้งหมด 5 ครั้งแล้ว $\bar{\alpha}_{planned}$ จะมีค่าเท่ากับ 0.20/5 = 0.04 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้วิธีของ Bonferroni และค่า 0.04 นี้เป็นค่าที่ใช้ประเมินความมีนัยสำคัญทางสถิติของการเปรียบเทียบทั้ง 5 ครั้งสำหรับการทดลองนี้ ตารางที่ 4 แสดงการสรุปผลการคำนวณค่า $\bar{\alpha}_{planned}$ เมื่อมีเงื่อนไขการทดลอง 5 เงื่อนไข เมื่อจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบเท่ากับหรือน้อยกว่า df_B แล้ว $\bar{\alpha}_{planned}$ จะมีค่าเท่ากับ 0.05 หากจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบมากกว่า df_B แล้ว $\bar{\alpha}_{planned}$ จะมีค่าน้อยลง

ตารางที่ 4 ค่าสรุปการทดสอบ Bonferroni ที่ปรับแก้ สำหรับการเปรียบเทียบที่วางแผนไว้ล่วงหน้า จำนวนของการเปรียบเทียบ

จำนวนของการเปรียบเทียบ	$\bar{\alpha}_{planned}$	$\bar{\alpha}_{FW_{planned}}$
1	.05	.05
2	.05	.10
3	.05	.15
4	.05	.20
5	.04	.20
6	.033	.20
7	.029	.20
8	.025	.20
9	.022	.20
10	0.20	.20

คัดมาจาก Keppel (1991) หน้า 170

เอกสารอ้างอิง

Anderson, N. H. (2001). *Empirical direction in design and analysis.* New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Cohen, B. H. (2001). *Explaining psychological statistics.* New York: John Wiley & Sons.

Howell, D. C. (2002). *Statistical methods for psychology.* United States: Duxbury.

Keppel, G. (1991). *Design and analysis: A researcher's handbook.* New Jersey: Prentice Hall.

Kirk, R. E. (1982). *Experimental design procedures for the behavioral sciences.* California: Brooks/Cole Publishing.

Rosenthal, R., Rosnow, R., & Rubin, D. (2000). *Contrast and effect sizes in behavioral research: A correlational approach.* United States: Cambridge University Press.

Rutherford, A. (2001). *Introducing ANOVA and ANCOVA: A GLM Approach.* Thousand Oaks: Sage Publications.