บทที่ 2

ระเบียบวิธีที่ใช้ในการวิจัย

2.1 แผนการทดลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แผนการทดลองที่ใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

2.1.1 กรณีแต่ละสิ่งทดลองมีจำนวนซ้ำเท่ากัน

Source of variation	d.f.	Sum of square	Mean of square	F
Treatment	t-1	$\frac{\Sigma y_{i.}^2}{r} - \frac{y_{..}^2}{rt}$ = sstr	sstr/(t-1) =mstr	mstr/ mse
Error	tr-t	$\Sigma\Sigma y_{ij}^2 - \frac{\Sigma y_{i.}^2}{r_i}$ = sse	sse/(tr-t) =mse	
Total	tr-1	$\Sigma\Sigma y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{tr}$		

เมื่อ t คือ จำนวนสิ่งทดลอง

r_i คือ จำนวนซ้ำในแต่ละสิ่งทดลอง

2.1.2 กรณีแต่ละสิ่งทดลองมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน

Source of variation	d.f.	Sum of square	Mean of square	F
Treatment	t-1	$\frac{\Sigma y_{i.}^2}{r_i} - \frac{y_{..}^2}{\Sigma r_i}$ = sstr	sstr/(t-1) =mstr	mstr/ mse
Error	Σr_i-t	$\Sigma\Sigma y_{ij}^2 - \frac{\Sigma y_{i.}^2}{r_i}$ = sse	sse/(Σr_i-t) =mse	
Total	Σr_i-1	$\Sigma\Sigma y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{\Sigma r_i}$		

เมื่อ t คือ จำนวนสิ่งทดลอง

r_i คือ จำนวนซ้ำในสิ่งทดลองที่ i

ตัวแบบแบบบวก เชิงเส้นตรง (The linear additive model)

แบบหุ่นเมื่ออิทธิพลสิ่งทดลองกำหนด (Fixed treatment effects)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าสังเกตใดๆ ก็ตามประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. ค่าเฉลี่ยทั่วไป หรือ μ คือค่าเฉลี่ยของประชากร
2. treatment deviation
3. ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ซึ่งมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ

เขียนวิธีลัดแบบพีชคณิตได้ ดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij} \qquad : i=1,2,\ldots,t$$

$$j=1,2,\ldots,r$$

เมื่อ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตได้จากตัวที่ i j

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

τ_i คือ เป็นส่วนเบี่ยงเบนเนื่องจากสิ่งทดลอง i จากเฉลี่ย

และ $\sum \tau_i = 0$

e_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนของหน่วยทดลองที่ ij

โดยมีสมมติฐาน

$H_0 : \tau_i = 0$

H_1 : มีอย่างน้อย 1 สิ่งทดลองไม่เท่ากับ 0

การประมาณค่าพารามิเตอร์

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

ประมาณ μ ด้วย $\bar{y}_{..} = y_{..}/n$

ประมาณ τ_i ด้วย $\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}$

ประมาณ e_{ij} ด้วย $y_{ij} - \bar{y}_{i.}$

แทนค่าประมาณของ μ, τ_i และ e_{ij} จะได้

$$Y_{ij} = \bar{y}_{..} + (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}) + (y_{ij} - \bar{y}_{i.})$$

$\bar{y}_{..}$ คือ ค่าคงที่เป็นค่าเฉลี่ยทั้งหมดของตัวอย่าง

$\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}$ คือ อิทธิพลของสิ่งทดลอง

$y_{ij} - \bar{y}_{i.}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

ย้าย $\bar{y}_{..}$ มาทางซ้ายมือแล้วยกกำลังสองทั้งสองด้านและรวมทุกจำนวน

$$\sum\sum (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = \sum\sum ((\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}) + (y_{ij} - \bar{y}_{i.}))^2$$

$$= \sum\sum (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 + \sum\sum (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 + 2\sum\sum(\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})(y_{ij} - \bar{y}_{i.})$$

เทอมขวามือเป็น 0 เพราะว่า

$$2\sum\sum(\overline{y}_{i.} - \overline{y}_{..})(y_{ij} - \overline{y}_{i.}) = 2\sum((\overline{y}_{i.} - \overline{y}_{..})\sum(y_{ij} - \overline{y}_{i.}))^2$$

จะได้สูตรนิยามสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนคือ

$$\sum\sum(y_{ij} - \overline{y}_{..})^2 = r\sum(\overline{y}_{i.} - \overline{y}_{..})^2 + \sum\sum(y_{ij} - \overline{y}_{i.})^2$$

$$ss(total) = ss(treatment) + ss(error)$$

สูตรการคำนวณ

$$
\begin{aligned}
ss(total) &= \sum\sum(y_{ij} - \overline{y}_{..})^2 \\
&= \sum\sum(y_{ij}{}^2 - 2y_{ij}\overline{y}_{..} + \overline{y}_{..}{}^2) \\
&= \sum\sum y_{ij}{}^2 - 2\overline{y}_{..}\sum\sum y_{ij} + \sum\sum(\overline{y}_{..})^2 \\
&= \sum\sum y_{ij}{}^2 - 2(y_{..})^2/tr + \sum\sum(y_{..})^2/(tr)^2 \\
&= \sum\sum y_{ij}{}^2 - 2(y_{..})^2/tr + (y_{..})^2/tr \\
&= \sum\sum y_{ij}{}^2 - (y_{..})^2/tr
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
ss(treatment) &= r\sum(\overline{y}_{i.} - \overline{y}_{..})^2 \\
&= r\sum(y_{i.}/r - y_{..}/tr)^2 \\
&= r\sum y_{i.}{}^2/r^2 - 2r\sum(y_{i.}/r)(y_{..}/tr) + r\sum(y_{..})^2/t^2r^2 \\
&= \sum y_{i.}{}^2/r - 2(y_{..})(y_{..}/tr) + tr\, y_{..}{}^2/t^2r^2 \\
&= \sum y_{i.}{}^2/r - 2y_{..}{}^2/tr + y_{..}{}^2/tr \\
&= \sum y_{i.}{}^2/r - y_{..}{}^2/tr
\end{aligned}
$$

$$ss(error) = \sum\sum(y_{ij} - \overline{y}_{i.})^2$$

$$= \sum\sum(y_{ij} - y_{i.} / r)^2$$

$$= \sum\sum(y_{ij}^2 - 2(y_{i.})(y_{ij} /r) + y_{i.}^2/ r^2)$$

$$= \sum\sum y_{ij}^2 - 2\sum((y_{i.} /r)(\sum y_{ij})) + \sum\sum y_{i.}^2/ r^2$$

$$= \sum\sum y_{ij}^2 - 2\sum((y_{i.} /r)(y_{i.})) + \sum\sum y_{i.}^2/ r^2$$

$$= \sum\sum y_{ij}^2 - 2\sum y_{i.}^2 /r + \sum y_{i.}^2/ r$$

$$= \sum\sum y_{ij}^2 - \sum y_{i.}^2/r$$

2.2 สถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย

2.2.1 วิธี Unrestricted LSD

วิธีนี้อาจเรียกว่าวิธี multiple T-test วิธีนี้เสนอโดย Saville D.J. ซึ่งเป็นนักชีวสถิติประจำกระทรวงเกษตร และประมงของประเทศนิวซีแลนด์ โดยวิธีการนี้ใช้ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทีละคู่ โดยไม่คำนึงถึงการทดสอบ F ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ในการทดสอบสมมติฐาน เกี่ยวกับผลต่างระหว่าง ค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง ถ้าให้ μ_1 และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง ที่ 1 และ 2 ตามลำดับที่นำมาทดสอบสมมติฐาน ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

$H_o: \mu_1 = \mu_2$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

ให้ $\overline{Y}_1$ = ค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองที่ 1 มีขนาด r_1 ที่สุ่มมาจากการแจกแจงปกติซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_1 และความแปรปรวน $\sigma^2{}_1$

$\overline{Y}_2$ = ค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองที่ 2 มีขนาด r_2 ที่สุ่มมาจากการแจกแจงปกติซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_2 และความแปรปรวน $\sigma^2{}_2$

$\overline{Y}_1$-$\overline{Y}_2$ จะมีการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น $\mu_1 - \mu_2$ และความแปรปรวน
เป็น $\sigma^2{}_1/r_1 + \sigma^2{}_2/r_2$

$$Z = \frac{(\overline{Y}_1-\overline{Y}_2)-(\mu_1-\mu_2)}{\sqrt{\sigma^2{}_1/r_1 + \sigma^2{}_2/r_2}}$$

จะมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 ความแปรปรวนเป็น 1 ในการวิจัยครั้งนี้ทราบความแปรปรวนของ สิ่งทดลอง มีค่าเท่ากัน

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$Z = \frac{(\overline{Y}_1-\overline{Y}_2)-(\mu_1-\mu_2)}{\sigma\sqrt{1/r_1 + 1/r_2}} \sim N(0,1)$$

เมื่อประมาณค่า ความแปรปรวน σ^2 ด้วย ค่าความแปรปรวนรวม (pooled variance) จากตัวอย่างสุ่มจาก สิ่งทดลอง ทั้งสองซึ่งเขียนแทนสัญลักษณ์ $s_p{}^2$

เมื่อ $s_p{}^2$ คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าความแปรปรวนจากตัวอย่าง ที่สุ่มมาจาก สิ่งทดลอง ทั้งสองซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$s_p{}^2 = \frac{(r_1-1)s_1{}^2 + (r_2-1)s_2{}^2}{(r_1+r_2-2)}$$

$$t = \frac{(\bar{Y}_1-\bar{Y}_2)-(\mu_1-\mu_2)}{\sqrt{s^2_p(1/r_1 + 1/r_2)}} \sim t\,(r_1+r_2-2)$$

และ s^2_1 คือความแปรปรวนจากตัวอย่างกลุ่มที่ 1

s^2_2 คือความแปรปรวนจากตัวอย่างกลุ่มที่ 2

มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. คำนวณค่า ULSD โดยที่

$$ULSD = t_{\alpha/2}\sqrt{s^2_p(1/r_i + 1/r_j)}$$

เมื่อ s^2_p คือ ความแปรปรวนรวมของสิ่งทดลองคู่ที่ทำการเปรียบเทียบ

r_i และr_j คือ จำนวนซ้ำในแต่ละสิ่งทดลอง

r_i+r_j-2 คือ ระดับความเป็นอิสระ

2. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองแต่ละคู่ ถ้าผลต่างคู่ใดมากกว่าค่า ULSD แสดงว่าผลต่างของค่าเฉลี่ยคู่นั้นๆ มีนัยสำคัญ

2.2.2 วิธี Murphys Gap LSD

เป็นตัวสถิติค่าเดียวที่ใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ สิ่งทดลอง

มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. คำนวณค่า LSD โดยที่

$$LSD = t_{\alpha/2} \sqrt{mse(1/r_i + 1/r_j)}$$

เมื่อ r_i และ r_j คือ จำนวนซ้ำในแต่ละสิ่งทดลอง

2. เรียงค่าเฉลี่ยของ สิ่งทดลอง จากน้อยไปมาก

3. หาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ สิ่งทดลอง ที่อยู่ติดกัน (เรียกว่า gap) ทุกคู่

4. หาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ สิ่งทดลอง ที่มีค่าสูงสุดกับต่ำสุด เปรียบเทียบค่าที่ได้ กับค่า LSD ถ้ามีค่ามากกว่า แสดงว่าความแตกต่างระหว่าง ค่าเฉลี่ยคู่นั้น มีนัยสำคัญ เลือก gap ที่มีค่าสูงสุด แบ่งค่าเฉลี่ยทั้งหมดเป็นสองพวก คือพวกที่อยู่ทางซ้ายและทางขวาของ gap ที่มากที่สุดนี้แต่ถ้าผลต่างของค่าสูงสุดกับต่ำสุดนี้ต่ำกว่าค่า LSD แสดงว่าค่าเฉลี่ยของ สิ่งทดลอง ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน

5. จากค่าเฉลี่ยแต่ละด้าน นำค่าเฉลี่ยที่มากที่สุดลบด้วยค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดถ้าผล ต่างนี้มากกว่าค่า LSD ให้เลือก gap ที่มีค่ามากที่สุดแล้วแบ่งค่าเฉลี่ย เป็นสองพวกคือทางซ้าย และขวา และแต่ละด้านหาผลต่าง ของค่าเฉลี่ยที่มากที่สุดกับที่ต่ำสุดว่ามากกว่าค่าLSD หรือไม่ ถ้า มากกว่า เลือก gap ที่มีค่ามากที่สุดแล้วแบ่งค่าเฉลี่ยออกเป็นทางซ้ายและขวาทำเช่นนี้ ไปเรื่อยๆ จนไม่พบว่าผลต่างของค่าเฉลี่ย ของค่าที่มากที่สุดกับค่าต่ำสุดสูงกว่าค่า LSD จึงหยุดการคำนวณ แสดงว่า ความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ยสองกลุ่มนี้ไม่มีนัยสำคัญ

2.2.3 วิธี Tukey(H)

วิธีการนี้ใช้ค่าเพียงค่าเดียวเป็นตัวเปรียบเทียบความแตกต่างในการเปรียบ เทียบแต่ละคู่ มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. คำนวณค่า H โดยที่

$$H = h_{\alpha,p,\gamma} \sqrt{mse/2\ (1/r_i + 1/r_j)}$$

$h_{\alpha,p,\gamma}$ เป็นค่าที่ได้จากตาราง tukey โดยที่

$\propto$ หมายถึง ระดับนัยสำคัญ

p หมายถึง จำนวนสิ่งทดลอง

γ หมายถึง degree of freedom ของ mse

r_i และ r_j หมายถึง จำนวนซ้ำในแต่ละสิ่งทดลอง

2. เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองแต่ละคู่ ถ้าผลต่างคู่ใด มากกว่าค่า H แสดงว่าผลต่างของค่าเฉลี่ยคู่นั้นๆ มีนัยสำคัญ

2.2.4 วิธี Murphys Gap Unrestricted LSD

วิธีการนี้ใช้ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทีละคู่ โดยไม่คำนึงถึงการทดสอบ F ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ในการทดสอบสมมติฐาน เกี่ยวกับผลต่างระหว่าง ค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง ถ้าให้ μ_1 และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของ สิ่งทดลอง ที่ 1 และ 2 ตามลำดับที่นำมาทดสอบสมมติฐาน ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

H_o : $\mu_1 = \mu_2$

H_a : $\mu_1 \neq \mu_2$

ให้ $\overline{Y}_1$ = ค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองที่ 1 มีขนาด r_1 ที่สุ่มมาจากการแจกแจงปกติซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_1 และความแปรปรวน $\sigma^2{}_1$

$\overline{Y}_2$ = ค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองที่ 2 มีขนาด r_2 ที่สุ่มมาจากการแจกแจงปกติซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_2 และความแปรปรวน $\sigma^2{}_2$

$\overline{Y}_1$-$\overline{Y}_2$ จะมีการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น $\mu_1 - \mu_2$ และความแปรปรวนเป็น $\sigma^2{}_1/r_1 + \sigma^2{}_2/r_2$

$$Z = \frac{(\bar{Y}_1-\bar{Y}_2)-(\mu_1-\mu_2)}{\sqrt{\sigma^2_1/r_1 + \sigma^2_2/r_2}}$$

จะมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 ความแปรปรวนเป็น 1
ในการวิจัยครั้งนี้ทราบความแปรปรวนของ สิ่งทดลอง มีค่าเท่ากัน
ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$Z = \frac{(\bar{Y}_1-\bar{Y}_2)-(\mu_1-\mu_2)}{\sigma\sqrt{1/r_1 + 1/r_2}} \sim N(0,1)$$

เมื่อประมาณค่า ความแปรปรวน σ^2 ด้วย ค่าความแปรปรวนรวม (pooled variance) จากตัวอย่างสุ่มจาก สิ่งทดลอง ทั้งสองซึ่งเขียนแทนสัญลักษณ์ s_p^2

เมื่อ s_p^2 คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของ ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่าง ที่สุ่มมาจากสิ่งทดลองทั้งสองซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$s_p^2 = \frac{(r_1-1)s_1^2 + (r_2-1)s_2^2}{(r_1+r_2-2)}$$

$$t = \frac{(\bar{Y}_1-\bar{Y}_2)-(\mu_1-\mu_2)}{\sqrt{s^2_p(1/r_1 + 1/r_2)}} \sim t\,(r_1+r_2-2)$$

และ s^2_1 คือความแปรปรวนจากตัวอย่างกลุ่มที่ 1

s^2_2 คือความแปรปรวนจากตัวอย่างกลุ่มที่ 2

มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. เรียงค่าเฉลี่ยของ สิ่งทดลอง จากน้อยไปมาก

2. หาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ สิ่งทดลอง ที่อยู่ติดกัน (เรียกว่า gap) ทุกคู่

3. หาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ สิ่งทดลอง ที่มีค่าสูงสุดกับต่ำสุดเปรียบเทียบค่าที่ได้ กับค่า Unresticed LSD ของค่าเฉลี่ยคู่นั้น ถ้ามีค่ามากกว่า แสดงว่าความ แตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยคู่นั้นมีนัยสำคัญ โดยค่า Unresticed LSD คำนวณโดย

$$ULSD = t_{\alpha/2} \sqrt{s^2_p\,(1/r_i + 1/r_j)}$$

เมื่อ s^2p คือ ความแปรปรวนรวมของสิ่งทดลองคู่ที่ทำการเปรียบเทียบ

r_i และ rj คือ จำนวนซ้ำในแต่ละสิ่งทดลอง

r_i+r_j-2 คือ ระดับความเป็นอิสระ

เลือก gap ที่มีค่าสูงสุด แบ่งค่าเฉลี่ยทั้งหมดเป็นสองพวก คือพวกที่อยู่ทางซ้ายและทางขวาของ gap ที่มากที่สุดนี้แต่ถ้าถ้าผลต่างของค่าสูงสุดกับต่ำสุดนี้ต่ำกว่าค่า Unresticed LSD แสดงว่าค่าเฉลี่ยของ สิ่งทดลอง ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน

4. จากค่าเฉลี่ยแต่ละด้าน นำค่าเฉลี่ยที่มากที่สุดลบด้วยค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดแล้ว คำนวณหาค่า ULSD ของค่าเฉลี่ยคู่นั้นถ้าผลต่างนี้มากกว่าค่า ULSD ให้เลือก gap ที่มีค่ามาก ที่สุดแล้วแบ่งค่าเฉลี่ย เป็นสองพวกคือทางซ้ายและขวาและแต่ละด้านหาผลต่าง ของค่าเฉลี่ยที่ มากที่สุดกับที่ต่ำสุดว่า แล้วคำนวณหาค่า ULSD ของค่าเฉลี่ยคู่นั้นแล้วดูว่าค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยคู่นั้นมากกว่าค่า ULSD หรือไม่ ถ้ามากกว่าเลือก gap ที่มีค่ามากที่สุดแล้วแบ่งค่าเฉลี่ยออกเป็น ทางซ้ายและขวา

ทำเช่นนี้ ไปเรื่อยๆ จนไม่พบว่าผลต่างของค่าเฉลี่ย ของค่าที่มากที่สุดกับค่าต่ำสุด สูงว่าค่า ULSD ของค่าเฉลี่ยคู่นั้นจึงหยุดการคำนวณแสดงว่าความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ยสองกลุ่มนี้ไม่มีนัยสำคัญ

2.3 ตัวอย่างการคำนวณ

สมมติให้ข้อมูลที่จำลองได้มี 4 สิ่งทดลอง และในแต่ละสิ่งทดลองมีจำนวนซ้ำเท่ากับ 5 เท่ากัน ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

ลำดับที่	t1	t2	t3	t4
1	6.02	4.37	1.74	0.94
2	3.78	2.40	1.50	1.25
3	5.71	3.67	2.08	2.15
4	6.01	1.84	2.48	1.64
5	7.64	3.70	0.57	1.25
ค่าเฉลี่ย	5.832	3.196	1.674	1.446
ความแปรปรวน	1.89037	1.08233	0.51698	0.21653

วิธี Unrestricted Lsd

เปรียบเทียบสิ่งทดลองที่ 1 กับ 2

$$S_p^2 = \{ (5-1)(1.89037) + (5-1)(1.08233) \} / 8$$

$$= 1.48635$$

ค่า $t_{\alpha/2}$ ที่ระดับองศาความเป็นอิสระเท่ากับ 8 , ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่าเท่ากับ 2.306

$$ULSD = 2.306 \sqrt{1.48635 (0.4)}$$

$= \ 1.778$

ผลต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองที่ 1 กับ 2 เท่ากับ 2.636 ซึ่งมากกว่าค่า ULSD แสดงว่าสิ่งทดลองคู่นี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เปรียบเทียบสิ่งทดลองที่ 2 กับ 3

$$S_p^2 = \{ (5\text{-}1)(1.08233) + (5\text{-}1)(0.51678) \} / 8$$

$$= 0.799555$$

ค่า $t_{\alpha/2}$ ที่ระดับองศาความเป็นอิสระเท่ากับ 8 , ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่าเท่ากับ 2.306

$$\text{ULSD} = 2.306\sqrt{0.799555(0.4)}$$

$$= 1.304$$

ผลต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองที่ 2 กับ 3 เท่ากับ 1.522 ซึ่งมากกว่าค่า ULSD แสดงว่าสิ่งทดลองคู่นี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เปรียบเทียบสิ่งทดลองที่ 3 กับ 4

$$S_p^2 = \{ (5\text{-}1)(0.51678) + (5\text{-}1)(0.21653) \} / 8$$

$$= 0.366655$$

ค่า $t_{\alpha/2}$ ที่ระดับองศาความเป็นอิสระเท่ากับ 8 , ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่าเท่ากับ 2.306

$$\text{ULSD} = 2.306\sqrt{0.366655(0.4)}$$

$$= 0.883$$

ผลต่างของค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองที่ 3 กับ 4 เท่ากับ 0.228 ซึ่งน้อยกว่าค่า ULSD แสดงว่าสิ่งทดลองคู่นี้ไม่แตกต่างกัน

สามารถสรุปผลได้ดังนี้

$$t1 \quad t2 \quad \underline{t3 \quad t4}$$

สิ่งทดลองที่มีเส้นขีดต่อกันแสดงว่าสิ่งทดลองคู่นั้นไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย

วิธี Murphys Gap LSD

$$\begin{aligned} LSD &= t_{\alpha/2}\sqrt{2mse/r} \\ &= 2.12\sqrt{2(0.9265525)/5} \\ &= 1.29 \end{aligned}$$

ทรีทเมนต์	t1	t2	t3	t4
ค่าเฉลี่ย	5.832	3.196	1.64	1.446

ผลต่างค่าเฉลี่ย 2.636 1.522 0.228

เลือกผลต่างของค่าเฉลี่ยคู่ที่มากที่สุดเท่ากับ 2.636 เปรียบเทียบกับค่า LSD ซึ่งมากกว่าค่า LSD แบ่งเป็นกลุ่มทางซ้ายและขวา ซึ่งจะได้เฉพาะกลุ่มทางขวา

ทรีทเมนต์	t2	t3	t4
ค่าเฉลี่ย	3.196	1.64	1.446

เลือกผลต่างของค่าเฉลี่ยคู่ที่มีค่ามากที่สุดกับน้อยที่สุดได้เท่ากับ 3.196-1.446 = 1.75 ซึ่งมากกว่าค่า LSD แบ่งเป็นกลุ่มทางซ้ายและขวา ซึ่งจะได้เฉพาะกลุ่มทางขวา

ทรีทเมนต์	t3	t4
ค่าเฉลี่ย	1.64	1.446

เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยคู่ที่เหลือได้เท่ากับ 1.64-1.445 = 0.228 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า LSD

แสดงว่าสิ่งทดลองที่ 3 กับ 4 ไม่แตกต่างกัน

สามารถสรุปผลได้ดังนี้

t1 t2 $\underline{\text{t3 t4}}$

สิ่งทดลองที่มีเส้นขีดต่อกันแสดงว่าสิ่งทดลองคู่นั้นไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย

วิธี Murphys Gap ULSD

$$ULSD = t_{\alpha/2}\sqrt{2s_p^2/r}$$

	ULSD
t1 กับ t2	1.778
t1 กับ t3	1.37359
t1 กับ t4	1.4969
t2 กับ t3	13522
t2 กับ t4	1.175
t3 กับ t4	0.888

ทรีทเมนต์	t1	t2	t3	t4
ค่าเฉลี่ย	5.832	3.196	1.64	1.446
ผลต่างค่าเฉลี่ย		2.636	1.522	0.228

เลือกผลต่างของค่าเฉลี่ยคู่ที่มากที่สุดเท่ากับ 2.636 เปรียบเทียบกับค่า ULSD ของ t1 กับ t2 ซึ่งมากกว่าค่า ULSD แบ่งเป็นกลุ่มทางซ้ายและขวา ซึ่งจะได้เฉพาะกลุ่มทางขวา

ทรีทเมนต์	t2	t3	t4
ค่าเฉลี่ย	3.196	1.64	1.446

เลือกผลต่างของค่าเฉลี่ยคู่ที่มีค่ามากที่สุดกับน้อยที่สุดได้เท่ากับ 3.196-1.446 = 1.75 ซึ่งมากกว่าค่า ULSD ของ t2 กับ t4 แบ่งเป็นกลุ่มทางซ้ายและขวา ซึ่งจะได้เฉพาะกลุ่มทางขวา

ทรีทเมนต์	t3	t4
ค่าเฉลี่ย	1.64	1.446

เปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยคู่ที่เหลือได้เท่ากับ 1.64-1.445 = 0.228 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า ULSD ของ t3 กับ t4 แสดงว่าสิ่งทดลองที่ 3 กับ 4 ไม่แตกต่างกัน

สามารถสรุปผลได้ดังนี้

$$t1 \quad t2 \quad \underline{t3 \quad t4}$$

สิ่งทดลองที่มีเส้นขีดต่อกันแสดงว่าสิ่งทดลองคู่นั้นไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย

วิธี Tukey(H)

$$H = h_{\propto,p,\gamma} \sqrt{mse/2(1/r_i + 1/r_j)}$$

$$= 4.05\ (0.43)$$

$$= 1.74$$

ทรีทเมนต์	t1	t2	t3	t4
ค่าเฉลี่ย	5.832	3.196	1.64	1.446

สามารถสรุปผลได้ดังนี้

t1 t2 t3 t4

สิ่งทดลองที่มีเส้นขีดต่อกันแสดงว่าสิ่งทดลองคู่นั้นไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย