บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 และกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ กรณีมีทรีตเมนต์ควบคุม เมื่อต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์กับทรีตเมนต์ควบคุม ซึ่งสถิติทดสอบที่นำมาศึกษาได้แก่ สถิติทดสอบของดันเนตต์ (Dunnett's test) วิธีสเต็ปดาวน์อินดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Independent Bootstrap min P) และวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Dependent Bootstrap min P) ซึ่งข้อมูลที่นำมาศึกษาในแต่ละกรณีทำการจำลองและประมวลผลด้วยโปรแกรม R เวอร์ชัน 2.9.0 โดยมีขั้นตอนในการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 รูปแบบการจำลอง

3.1.1 ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ทรีตเมนต์ที่ทำการศึกษามี 3 ทรีตเมนต์ และมีทรีตเมนต์ควบคุม 1 ทรีตเมนต์ โดยกำหนดให้ทรีตเมนต์ที่ 1 เป็นทรีตเมนต์ควบคุม

3.1.2 ขนาดตัวอย่างในแต่ละทรีตเมนต์ (จำนวนซ้ำ) กำหนดให้แต่ละทรีตเมนต์มีจำนวนซ้ำเท่ากัน โดยกำหนดขนาดตัวอย่างดังนี้

$$(n_1, n_2, n_3, n_4) = (3, 3, 3, 3)$$

$$(n_1, n_2, n_3, n_4) = (5, 5, 5, 5)$$

$$(n_1, n_2, n_3, n_4) = (7, 7, 7, 7)$$

$$(n_1, n_2, n_3, n_4) = (10, 10, 10, 10)$$

$$(n_1, n_2, n_3, n_4) = (15, 15, 15, 15)$$

3.1.3 กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงปรกติ และความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์ไม่เท่ากัน แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

3.1.3.1 กำหนดให้ความแปรปรวนในทรีตเมนต์ควบคุมแตกต่างกับความแปรปรวนในทรีตเมนต์อื่นๆ โดยที่ทรีตเมนต์อื่นๆ มีความแปรปรวนเท่ากัน คือ

สถานการณ์ที่ 1 อัตราส่วนของความแปรปรวนแตกต่างกัน ระดับปานกลาง

(σ_1^2 = 25 , σ_2^2 = 50 , σ_3^2 = 50 , σ_4^2 = 50)

สถานการณ์ที่ 2 อัตราส่วนของความแปรปรวนแตกต่างกัน ระดับปานกลาง

(σ_1^2 = 50 , σ_2^2 = 25 , σ_3^2 = 25 , σ_4^2 = 25)

สถานการณ์ที่ 3 อัตราส่วนของความแปรปรวนแตกต่างกัน ระดับมาก

(σ_1^2 = 25 , σ_2^2 = 75 , σ_3^2 = 75 , σ_4^2 = 75)

สถานการณ์ที่ 4 อัตราส่วนของความแปรปรวนแตกต่างกัน ระดับมาก

(σ_1^2 = 75 , σ_2^2 = 25 , σ_3^2 = 25 , σ_4^2 = 25)

สถานการณ์ที่ 5 อัตราส่วนของความแปรปรวนแตกต่างกัน ระดับมาก

(σ_1^2 = 25 , σ_2^2 = 100 , σ_3^2 = 100 , σ_4^2 = 100)

สถานการณ์ที่ 6 อัตราส่วนของความแปรปรวนแตกต่างกัน ระดับมาก

(σ_1^2 = 100 , σ_2^2 = 25 , σ_3^2 = 25 , σ_4^2 = 25)

- การประมาณค่าความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 กำหนดให้ค่าเฉลี่ยในแต่ละทรีตเมนต์เท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ =100) และความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์ตามสถานการณ์ที่ 1 - 6

- การประมาณค่ากำลังการทดสอบ กำหนดให้ค่าเฉลี่ยในทรีตเมนต์ควบคุมมีค่าแตกต่างกับทรีตเมนต์อื่นๆ โดยกำหนดให้ค่าเฉลี่ยในทรีตเมนต์ควบคุมเท่ากับ 90 และค่าเฉลี่ยในทรีตเมนต์อื่นๆ เท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 (μ_1 = 90, $\mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ =100) และความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์ตามสถานการณ์ที่ 1 - 6

3.1.3.2 กำหนดให้ความแปรปรวนแตกต่างกันหมดในทุกๆ ทรีตเมนต์ โดยกำหนดเป็นอัตราส่วน 1:2:3:4 คือ

สถานการณ์ที่ 7 อัตราส่วนของความแปรปรวนแตกต่างกัน ระดับมาก

(σ_1^2 = 25, σ_2^2 = 50, σ_3^2 = 75, σ_4^2 = 100)

- การประมาณค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 กำหนดให้ค่าเฉลี่ยในแต่ละทรีตเมนต์เท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ =100) และความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์ตามสถานการณ์ที่ 7

- การประมาณค่ากำลังการทดสอบ กำหนดให้ค่าเฉลี่ยในทรีตเมนต์ควบคุมมีค่าแตกต่างกับทรีตเมนต์อื่นๆ โดยกำหนดให้ค่าเฉลี่ยในทรีตเมนต์ควบคุมเท่ากับ 90 และค่าเฉลี่ยในทรีตเมนต์อื่นๆ เท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 ($\mu_1 = 90$, $\mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 100$) และความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์ตามสถานการณ์ที่ 7

3.1.4 กรณีที่ประชากรมีการแจกแจงล็อกนอร์มอล (lognormal distribution) กำหนดให้ความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์เท่ากัน คือ

สถานการณ์ที่ 8 ($\sigma_1^2 = 0.5$, $\sigma_2^2 = 0.5$, $\sigma_3^2 = 0.5$, $\sigma_4^2 = 0.5$)
สถานการณ์ที่ 9 ($\sigma_1^2 = 1$, $\sigma_2^2 = 1$, $\sigma_3^2 = 1$, $\sigma_4^2 = 1$)
สถานการณ์ที่ 10 ($\sigma_1^2 = 1.5$, $\sigma_2^2 = 1.5$, $\sigma_3^2 = 1.5$, $\sigma_4^2 = 1.5$)
สถานการณ์ที่ 11 ($\sigma_1^2 = 2$, $\sigma_2^2 = 2$, $\sigma_3^2 = 2$, $\sigma_4^2 = 2$)

- การประมาณค่าความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 กำหนดให้ค่าเฉลี่ยในแต่ละทรีตเมนต์เท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 0$) และความแปรปรวนใน แต่ละทรีตเมนต์เท่ากัน ตามสถานการณ์ที่ 8 - 11
- การประมาณค่ากำลังการทดสอบ กำหนดให้ค่าเฉลี่ยในทรีตเมนต์ควบคุมมีค่าแตกต่างกับทรีตเมนต์อื่นๆ โดยกำหนดให้ค่าเฉลี่ยในทรีตเมนต์ควบคุมเท่ากับ 2 และค่าเฉลี่ยในทรีตเมนต์อื่นๆ เท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 ($\mu_1 = 2$, $\mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 0$) และความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์ตามสถานการณ์ที่ 8 - 11

3.1.5 กำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05

3.1.6 ในการศึกษาวิธีสเต็ปดาวน์อินดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Independent Bootstrap min P) จะกำหนดจำนวนรอบของการสุ่มซ้ำแบบบูทสแตรปที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Bootstrap Resampling) เท่ากับ 1000 รอบ และวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Dependent Bootstrap min P) จะกำหนดจำนวนการคัดลอก (copy) ชุดข้อมูลตัวอย่างสุ่มสำหรับวิธีการสุ่มซ้ำแบบบูทสแตรปที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Dependent Bootstrap Resampling) เท่ากับ 2 และ 4 ชุดตามลำดับ

3.1.7 ในการศึกษาครั้งนี้ทำการจำลองข้อมูลด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) ในแต่ละสถานการณ์จำนวน 1,000 ครั้ง

3.2 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาคุณสมบัติของสถิติทดสอบของดันเนตต์ (Dunnett's test) วิธีสเต็ปดาวน์ อินดิเพนเดนท์ บูทสแตรป มิน พี (Step-down Independent Bootstrap min P) และวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์ บูทสแตรป มิน พี (Step-down Dependent Bootstrap min P) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 การประมาณค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

ขั้นตอนที่ 1 จำลองข้อมูลให้มีการแจกแจงของประชากรตามที่กำหนด โดยกำหนดค่าจริงของพารามิเตอร์เกี่ยวกับค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน และขนาดตัวอย่างของแต่ละทรีตเมนต์ โดยกำหนดให้สมมติฐานว่างในการทดสอบค่าเฉลี่ยนั้นเป็นจริง

สมมติฐานในการทดสอบ คือ

$$H_{0234}:\ \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$H_1:$ μ_i อย่างน้อย 1 ค่าที่แตกต่างจากค่าอื่น i = 1, 2, 3, 4

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบความแปรปรวนของแต่ละทรีตเมนต์ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่

สมมติฐานในการทดสอบคือ

$$H_0:\ \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$$

$H_1:$ σ_i^2 อย่างน้อย 1 ค่าที่แตกต่างจากค่าอื่น i = 1, 2, 3, 4

วิธีที่ใช้ในการทดสอบเกี่ยวกับความแปรปรวนของประชากรที่มากกว่า 2 ประชากร จะใช้วิธีการทดสอบของเลวีน (Levene's test) (รายละเอียดดูในบทที่ 2)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณสถิติทดสอบ

สมมติฐานการทดสอบในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ระหว่างทรีตเมนต์ควบคุมกับทรีตเมนต์อื่นๆ คือ

$$H_{0i}: \mu_c = \mu_i$$

$$H_{1i}: \mu_c \neq \mu_i$$

ในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดให้ทรีตเมนต์ที่ทำการศึกษามี 3 ทรีตเมนต์ และมีทรีตเมนต์ควบคุม 1 ทรีตเมนต์ เมื่อกำหนดให้ทรีตเมนต์ที่ 1 เป็นทรีตเมนต์ควบคุม ($\mu_c = \mu_1$) สมมติฐานการทดสอบทั้งหมดในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ระหว่างทรีตเมนต์ควบคุมกับทรีตเมนต์อื่นๆ มีดังนี้

$$H_{02} : \mu_1 = \mu_2 \quad \text{vs} \quad H_{12} : \mu_1 \neq \mu_2$$
$$H_{03} : \mu_1 = \mu_3 \quad \text{vs} \quad H_{13} : \mu_1 \neq \mu_3$$
$$H_{04} : \mu_1 = \mu_4 \quad \text{vs} \quad H_{14} : \mu_1 \neq \mu_4$$

<u>ขั้นตอนที่ 3.1</u> การคำนวณสถิติทดสอบของดันเนตต์ (Dunnett's two sided test statistic)

$$D_i = \frac{\left|\bar{y}_1 - \bar{y}_i\right|}{\sqrt{MSE(1/n_1 + 1/n_i)}}$$

โดยที่
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}(y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2}{k(n_i - 1)}$$

กำหนดให้ y_{ij} แทน ค่าสังเกตที่ j จากทรีตเมนต์ที่ i (i = 1, 2, 3, … , k ทรีตเมนต์และ j = 1, 2, 3, … , n_i ซ้ำ)

$\bar{y}_1$ แทน ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ควบคุม

$\bar{y}_i$ แทน ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์กลุ่มที่ i โดยที่ i = 2, 3, 4

n_1 แทน ขนาดตัวอย่าง(จำนวนซ้ำ)ของทรีตเมนต์ควบคุม

n_i แทน ขนาดตัวอย่าง(จำนวนซ้ำ)ของทรีตเมนต์กลุ่มที่ i โดยที่ i = 2, 3, 4

MSE แทน ความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ในกรณีนี้ขนาดตัวอย่างในแต่ละทรีตเมนต์มีจำนวนเท่ากัน($n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = n$) สามารถคำนวณค่า D_i ได้จากสูตร

$$D_i = \frac{\left|\bar{y}_1 - \bar{y}_i\right|}{\sqrt{MSE(2/n)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจ เราจะปฏิเสธสมมติฐานว่าง $H_{0i}: \mu_c = \mu_i$ เมื่อ $D_i > D_{\alpha,(k-1,k(n-1))}$ ที่ระดับนัยสำคัญ α โดยที่ $D_{\alpha,(k-1,k(n-1))}$ คือ ค่าวิกฤตที่ได้จากตาราง ดันเนตต์ (Dunnett's two-sided range distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ α และองศาความอิสระ $k-1, k(n-1)$

<u>ขั้นตอนที่ 3.2</u> คำนวณค่าพีที่ไม่ปรับค่า (Unadjusted p - value)

คำนวณสถิติทดสอบ (t_i) สำหรับทดสอบสมมติฐานว่าง $H_{0i}: \mu_c = \mu_i$ จำนวน 3 สมมติฐาน

$$t_i = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_i}{\sqrt{MSE(2/n)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจเราจะปฏิเสธสมมติฐานว่าง $H_{0i}: \mu_c = \mu_i$ เมื่อ $|t_i| > |T_i|$ ที่ระดับนัยสำคัญ α เมื่อ T_i คือค่าวิกฤตที่ได้จากตาราง Student's t distribution ที่องศาอิสระ $k(n-1)$

คำนวณค่าพีที่ไม่ปรับค่า $p_{(m)} = \Pr(|T_i| \geq |t_i| \mid H_{0234})$ ซึ่งคือค่า p-value ที่คำนวณจากการทดสอบสมมติฐานข้างต้นจำนวน 3 สมมติฐาน โดยคำนวณจากข้อมูลเริ่มต้นที่ได้ทำการจำลองโดยเรียงค่า ค่า p-value จากน้อยไปมาก เพื่อใช้ในการพิจารณาปรับค่า p-value

<u>ขั้นตอนที่ 3.3</u> การคำนวณสถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์อินดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Independent Bootstrap min P)

3.3.1 จากข้อมูลที่ได้จากการจำลองในขั้นตอนที่ 1 ทำการสุ่มตัวอย่างแบบคืนที่ให้ในแต่ละทรีตเมนต์โดยสุ่มภายใต้สมมติฐานว่าง $H_{0234}: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

3.3.2 คำนวณสถิติทดสอบ (t_i) สำหรับการทดสอบสมมติฐานว่าง $H_{0i}: \mu_c = \mu_i$ จำนวน 3 สมมติฐาน

$$t_i = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_i}{\sqrt{MSE(2/n)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจเราจะปฏิเสธสมมติฐานว่าง $H_{0i}: \mu_c = \mu_i$ เมื่อ $|t_i| > |T_i|$ ที่ระดับนัยสำคัญ α เมื่อ T_i คือค่าวิกฤตที่ได้จากตาราง Student's t distribution ที่องศาอิสระ $k(n-1)$

คำนวณหาค่า $P_l = \Pr(|T_i| \geq |t_i| \mid H_{0234})$ ซึ่งคือค่า p-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบสมมติฐานข้างต้นจำนวน 3 สมมติฐาน หลังจากการสุ่มซ้ำแบบคืนที่โดยวิธีบูทสแตรป

3.3.3 ปรับค่า p – value จาก $\tilde{p}_{(i)} = \max_{m=2,\ldots,i}\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{m,\ldots,4\}} P_l \leq p_{(m)} \mid H_{0234}\right)\right\}$

โดยพิจารณาดังนี้

$$\tilde{p}_{(2)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \leq p_{(2)}\right)\right\} = \Pr\left(\min(P_2, P_3, P_4) \leq p_{(2)}\right)$$

$$\tilde{p}_{(3)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \leq p_{(2)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{3,4\}} P_l \leq p_{(3)}\right)\right\}$$

$$\tilde{p}_{(4)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \leq p_{(2)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{3,4\}} P_l \leq p_{(3)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{4\}} P_l \leq p_{(4)}\right)\right\}$$

3.3.4 ทำการวนซ้ำ 3.3.1 ถึง 3.3.3 จนกระทั่งครบจำนวนการสุ่มซ้ำแบบบูทสแตรป (Bootstrap resamples) ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 1,000 รอบ

<u>ขั้นตอนที่ 3.4</u> การคำนวณสถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Dependent Bootstrap min P) เมื่อจำนวนการคัดลอกชุดข้อมูล (c= 2)

3.4.1 ทำการคัดลอกข้อมูลที่ได้จากการจำลองในขั้นตอนที่ 1 จำนวน 2 ชุดข้อมูล แล้วทำการสุ่มตัวอย่างแบบไม่คืนที่ให้ในแต่ละทรีตเมนต์ โดยสุ่มภายใต้สมมติฐานว่าง $H_{0234}: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

3.4.2 คำนวณสถิติทดสอบ (t_i) สำหรับการทดสอบสมมติฐานว่าง $H_{0i}: \mu_c = \mu_i$ จำนวน 3 สมมติฐาน

$$t_i = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_i}{\sqrt{MSE(2/n)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจเราจะปฏิเสธสมมติฐานว่าง $H_{0i}: \mu_c = \mu_i$ เมื่อ $|t_i| > |T_i|$ ที่ระดับนัยสำคัญ α เมื่อ T_i คือค่าวิกฤตที่ได้จากตาราง Student's t distribution ที่องศาอิสระ $k(n-1)$

คำนวณหาค่า $P_l = \Pr(\left|T_i\right| \geq \left|t_i\right| \mid H_{0234})$ ซึ่งคือค่า p-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบสมมติฐานข้างต้นจำนวน 3 สมมติฐาน หลังจากการสุ่มซ้ำแบบไม่คืนที่โดยวิธีบูทสแตรป

3.4.3 ปรับค่า p – value จาก $\tilde{p}_{(i)} = \max\limits_{m=2,\ldots,i}\left\{\Pr\left(\min\limits_{l\in\{m,\ldots,4\}} P_l \leq p_{(m)} \mid H_{0234}\right)\right\}$

โดยพิจารณาดังนี้

$$\tilde{p}_{(2)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \leq p_{(2)}\right)\right\} = \Pr\left(\min(P_2, P_3, P_4) \leq p_{(2)}\right)$$

$$\tilde{p}_{(3)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \leq p_{(2)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{3,4\}} P_l \leq p_{(3)}\right)\right\}$$

$$\tilde{p}_{(4)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \leq p_{(2)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{3,4\}} P_l \leq p_{(3)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{4\}} P_l \leq p_{(4)}\right)\right\}$$

3.4.4 ทำการวนซ้ำ 3.4.1 ถึง 3.4.3 จนกระทั่งครบจำนวนการสุ่มซ้ำแบบบูทสแตรป (Bootstrap resamples) ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 1,000 รอบ

<u>ขั้นตอนที่ 3.5</u> การคำนวณสถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Dependent Bootstrap min P) เมื่อจำนวนการคัดลอกชุดข้อมูล (c= 4)

3.5.1 ทำการคัดลอกข้อมูลที่ได้จากการจำลองในขั้นตอนที่ 1 จำนวน 4 ชุดข้อมูล แล้วทำการสุ่มตัวอย่างแบบไม่คืนที่ให้ในแต่ละทรีตเมนต์ โดยสุ่มภายใต้สมมติฐานว่าง $H_{0234}:\ \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

3.5.2 คำนวณสถิติทดสอบ (t_i) สำหรับการทดสอบสมมติฐานว่าง $H_{0i} : \mu_c = \mu_i$ จำนวน 3 สมมติฐาน

$$t_i = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_i}{\sqrt{MSE(2/n)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจเราจะปฏิเสธสมมติฐานว่าง $H_{0i} : \mu_c = \mu_i$ เมื่อ $\left|t_i\right| > \left|T_i\right|$ ที่ระดับนัยสำคัญ α เมื่อ T_i คือค่าวิกฤตที่ได้จากตาราง Student's t distribution ที่องศาอิสระ $k(n-1)$

คำนวณหาค่า $P_l = \Pr(\left| T_i \right| \geq \left| t_i \right| \mid H_{0234})$ ซึ่งคือค่า p-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบสมมติฐานข้างต้นจำนวน 3 สมมติฐาน หลังจากการสุ่มซ้ำแบบไม่คืนที่โดยวิธีบูทสแตรป

3.5.3 ปรับค่า p – value จาก $\tilde{p}_{(i)} = \max_{m=2,\dots,i} \left\{ \Pr\left(\min_{l \in \{m,\dots,4\}} P_l \leq p_{(m)} \mid H_{0234} \right) \right\}$

โดยพิจารณาดังนี้

$$\tilde{p}_{(2)} = \max\left\{ \Pr\left(\min_{l \in \{2,3,4\}} P_l \leq p_{(2)} \right) \right\} = \Pr\left(\min(P_2, P_3, P_4) \leq p_{(2)} \right)$$

$$\tilde{p}_{(3)} = \max\left\{ \Pr\left(\min_{l \in \{2,3,4\}} P_l \leq p_{(2)} \right), \Pr\left(\min_{l \in \{3,4\}} P_l \leq p_{(3)} \right) \right\}$$

$$\tilde{p}_{(4)} = \max\left\{ \Pr\left(\min_{l \in \{2,3,4\}} P_l \leq p_{(2)} \right), \Pr\left(\min_{l \in \{3,4\}} P_l \leq p_{(3)} \right), \Pr\left(\min_{l \in \{4\}} P_l \leq p_{(4)} \right) \right\}$$

3.5.4 ทำการวนซ้ำ 3.5.1 ถึง 3.5.3 จนกระทั่งครบจำนวนการสุ่มซ้ำแบบบูทสแตรป (Bootstrap resamples) ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 1,000 รอบ

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> จากทุกขั้นตอนที่ผ่านมา เราจะได้ค่า p-value ของแต่ละวิธีการ คือ

(1) สถิติทดสอบของดันเนตต์

(2) สถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์อินดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี

(3) สถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (เมื่อ c=2)

(4) สถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (เมื่อ c=4)

พิจารณาการทดสอบแบบปิด โดยเลือกค่าพีที่ปรับค่าแล้ว (adjusted p-value) ที่น้อยที่สุดของการทดสอบสมมติฐานเชิงเดี่ยว เพื่อใช้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน $H_{0234} : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ แต่ถ้าเป็นค่าสถิติทดสอบของดันเนตต์ เราจะเลือกค่าสูงที่สุดของการทดสอบสมมติฐานเชิงเดี่ยว

<u>ขั้นตอนที่ 5</u> ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 จนถึง 4 จำนวน 1,000 ครั้ง

<u>ขั้นตอนที่ 6</u> คำนวณหาค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของแต่ละวิธีการ

<u>ขั้นตอนที่ 7</u> พิจารณาว่าค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 มีค่าไม่เกิน 0.061 หรือไม่ ถ้าตกอยู่ในช่วงดังกล่าว สรุปได้ว่าสถิติทดสอบนั้นสามารถควบคุมค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้

3.2.2 การประมาณค่ากำลังการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 จำลองข้อมูลให้มีการแจกแจงของประชากรตามที่กำหนด โดยกำหนดค่าจริงของพารามิเตอร์เกี่ยวกับค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน และขนาดตัวอย่างของแต่ละทรีตเมนต์ โดยกำหนดให้สมมติฐานว่างในการทดสอบค่าเฉลี่ยนั้นเป็นเท็จ

สมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_{0234}: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

$H_1:$ μ_i อย่างน้อย 1 ค่าที่แตกต่างจากค่าอื่น $i = 1,2,3,4$

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบความแปรปรวนของแต่ละทรีตเมนต์ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่

สมมติฐานในการทดสอบคือ

$H_0:$ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$

$H_1:$ σ_i^2 อย่างน้อย 1 ค่าที่แตกต่างจากค่าอื่น $i = 1,2,3,4$

วิธีที่ใช้ในการทดสอบเกี่ยวกับความแปรปรวนของประชากรที่มากกว่า 2 ประชากร จะใช้วิธีการทดสอบของเลวีน (Levene's test) (รายละเอียดดูในบทที่ 2)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณสถิติทดสอบ

สมมติฐานการทดสอบในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ระหว่างทรีตเมนต์ควบคุมกับทรีตเมนต์อื่นๆ คือ

$$H_{0i}: \mu_c = \mu_i$$
$$H_{1i}: \mu_c \neq \mu_i$$

ในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดให้ทรีตเมนต์ที่ทำการศึกษามี 3 ทรีตเมนต์ และมีทรีตเมนต์ควบคุม 1 ทรีตเมนต์ เมื่อกำหนดให้ทรีตเมนต์ที่ 1 เป็นทรีตเมนต์ควบคุม ($\mu_c = \mu_1$) สมมติฐานการทดสอบทั้งหมดในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ระหว่างทรีตเมนต์ควบคุมกับทรีตเมนต์อื่นๆ มีดังนี้

$H_{02}: \mu_1 = \mu_2$ vs $H_{12}: \mu_1 \neq \mu_2$

$H_{03}: \mu_1 = \mu_3$ vs $H_{13}: \mu_1 \neq \mu_3$

$H_{04}: \mu_1 = \mu_4$ vs $H_{14}: \mu_1 \neq \mu_4$

<u>ขั้นตอนที่ 3.1</u> การคำนวณสถิติทดสอบของดันเนตต์ (Dunnett's two sided test statistic)

$$D_i = \frac{|\bar{y}_1 - \bar{y}_i|}{\sqrt{MSE(1/n_1 + 1/n_i)}}$$

โดยที่
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}(y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2}{k(n_i - 1)}$$

กำหนดให้ y_{ij} แทน ค่าสังเกตที่ j จากทรีตเมนต์ที่ i (i = 1, 2, 3, … , k ทรีตเมนต์และ j = 1, 2, 3, … , n_i ซ้ำ)

$\bar{y}_1$ แทน ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ควบคุม

$\bar{y}_i$ แทน ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์กลุ่มที่ i โดยที่ i = 2, 3, 4

n_1 แทน ขนาดตัวอย่าง(จำนวนซ้ำ)ของทรีตเมนต์ควบคุม

n_i แทน ขนาดตัวอย่าง(จำนวนซ้ำ)ของทรีตเมนต์กลุ่มที่ i โดยที่ i = 2, 3, 4

MSE แทน ความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ในกรณีนี้ขนาดตัวอย่างในแต่ละทรีตเมนต์มีจำนวนเท่ากัน($n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = n$) สามารถคำนวณค่า D_i ได้จากสูตร

$$D_i = \frac{|\bar{y}_1 - \bar{y}_i|}{\sqrt{MSE(2/n)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจ เราจะปฏิเสธสมมติฐานว่าง $H_{0i} : \mu_c = \mu_i$ เมื่อ $D_i > D_{\alpha,(k-1,k(n-1))}$ ที่ระดับนัยสำคัญ α โดยที่ $D_{\alpha,(k-1,k(n-1))}$ คือ ค่าวิกฤตที่ได้จากตารางดันเนตต์ (Dunnett's two-sided range distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ α และองศาความอิสระ $k-1, k(n-1)$

<u>ขั้นตอนที่ 3.2</u> คำนวณค่าพีที่ไม่ปรับค่า (Unadjusted p - value)

คำนวณสถิติทดสอบ (t_i) สำหรับทดสอบสมมติฐานว่าง $H_{0i} : \mu_c = \mu_i$ จำนวน 3 สมมติฐาน

$$t_i = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_i}{\sqrt{MSE(2/n)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจเราจะปฏิเสธสมมติฐานว่าง $H_{0i} : \mu_c = \mu_i$ เมื่อ $|t_i| > |T_i|$ ที่ระดับนัยสำคัญ α เมื่อ T_i คือค่าวิกฤตที่ได้จากตาราง Student's t distribution ที่องศาอิสระ $k(n-1)$

คำนวณค่าพีที่ไม่ปรับค่า $p_{(m)} = \Pr(|T_i| \geq |t_i| \mid H_{0234})$ ซึ่งคือค่า p-value ที่คำนวณจากการทดสอบสมมติฐานข้างต้นจำนวน 3 สมมติฐาน โดยคำนวณจากข้อมูลเริ่มต้นที่ได้ทำการจำลองโดยเรียงค่า ค่า p-value จากน้อยไปมาก เพื่อใช้ในการพิจารณาปรับค่า p-value

<u>ขั้นตอนที่ 3.3</u> การคำนวณสถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์อินดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Independent Bootstrap min P)

3.3.1 จากข้อมูลที่ได้จากการจำลองในขั้นตอนที่ 1 ทำการสุ่มตัวอย่างแบบคืนที่ให้ในแต่ละทรีตเมนต์โดยสุ่มภายใต้สมมติฐานว่าง $H_{0234} : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

3.3.2 คำนวณสถิติทดสอบ (t_i) สำหรับการทดสอบสมมติฐานว่าง $H_{0i} : \mu_c = \mu_i$ จำนวน 3 สมมติฐาน

$$t_i = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_i}{\sqrt{MSE(2/n)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจเราจะปฏิเสธสมมติฐานว่าง $H_{0i} : \mu_c = \mu_i$ เมื่อ $|t_i| > |T_i|$ ที่ระดับนัยสำคัญ α เมื่อ T_i คือค่าวิกฤตที่ได้จากตาราง Student's t distribution ที่องศาอิสระ $k(n-1)$

คำนวณหาค่า $P_l = \Pr(|T_i| \geq |t_i| \mid H_{0234})$ ซึ่งคือค่า p-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบสมมติฐานข้างต้นจำนวน 3 สมมติฐาน หลังจากการสุ่มซ้ำแบบคืนที่โดยวิธีบูทสแตรป

3.3.3 ปรับค่า p – value จาก $\tilde{p}_{(i)} = \max_{m=2,\ldots,i}\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{m,\ldots,4\}} P_l \le p_{(m)} \mid H_{0234}\right)\right\}$

โดยพิจารณาดังนี้

$$\tilde{p}_{(2)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \le p_{(2)}\right)\right\} = \Pr\left(\min(P_2, P_3, P_4) \le p_{(2)}\right)$$

$$\tilde{p}_{(3)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \le p_{(2)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{3,4\}} P_l \le p_{(3)}\right)\right\}$$

$$\tilde{p}_{(4)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \le p_{(2)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{3,4\}} P_l \le p_{(3)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{4\}} P_l \le p_{(4)}\right)\right\}$$

3.3.4 ทำการวนซ้ำ 3.3.1 ถึง 3.3.3 จนกระทั่งครบจำนวนการสุ่มซ้ำแบบบูทสแตรป (Bootstrap resamples) ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 1,000 รอบ

<u>ขั้นตอนที่ 3.4</u> การคำนวณสถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Dependent Bootstrap min P) เมื่อจำนวนการคัดลอกชุดข้อมูล (c= 2)

3.4.1 ทำการคัดลอกข้อมูลที่ได้จากการจำลองในขั้นตอนที่ 1 จำนวน 2 ชุดข้อมูล แล้วทำการสุ่มตัวอย่างแบบไม่คืนที่ให้ในแต่ละทรีตเมนต์ โดยสุ่มภายใต้สมมติฐานว่าง $H_{0234}:\ \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

3.4.2 คำนวณสถิติทดสอบ (t_i) สำหรับการทดสอบสมมติฐานว่าง $H_{0i} : \mu_c = \mu_i$ จำนวน 3 สมมติฐาน

$$t_i = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_i}{\sqrt{MSE(2/n)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจเราจะปฏิเสธสมมติฐานว่าง $H_{0i} : \mu_c = \mu_i$ เมื่อ $|t_i| > |T_i|$ ที่ระดับนัยสำคัญ α เมื่อ T_i คือค่าวิกฤตที่ได้จากตาราง Student's t distribution ที่องศาอิสระ $k(n-1)$

คำนวณหาค่า $P_l = \Pr(|T_i| \ge |t_i| \mid H_{0234})$ ซึ่งคือค่า p-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบสมมติฐานข้างต้นจำนวน 3 สมมติฐาน หลังจากการสุ่มซ้ำแบบไม่คืนที่โดยวิธีบูทสแตรป

3.4.3 ปรับค่า p – value จาก $\tilde{p}_{(i)} = \max_{m=2,\ldots,i}\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{m,\ldots,4\}} P_l \le p_{(m)} \mid H_{0234}\right)\right\}$

โดยพิจารณาดังนี้

$$\tilde{p}_{(2)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \le p_{(2)}\right)\right\} = \Pr\left(\min(P_2, P_3, P_4) \le p_{(2)}\right)$$

$$\tilde{p}_{(3)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \le p_{(2)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{3,4\}} P_l \le p_{(3)}\right)\right\}$$

$$\tilde{p}_{(4)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \le p_{(2)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{3,4\}} P_l \le p_{(3)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{4\}} P_l \le p_{(4)}\right)\right\}$$

3.4.4 ทำการวนซ้ำ 3.4.1 ถึง 3.4.3 จนกระทั่งครบจำนวนการสุ่มซ้ำแบบบูทสแตรป (Bootstrap resamples) ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 1,000 รอบ

<u>ขั้นตอนที่ 3.5</u> การคำนวณสถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Dependent Bootstrap min P) เมื่อจำนวนการคัดลอกชุดข้อมูล (c= 4)

3.5.1 ทำการคัดลอกข้อมูลที่ได้จากการจำลองในขั้นตอนที่ 1 จำนวน 4 ชุดข้อมูล แล้วทำการสุ่มตัวอย่างแบบไม่คืนที่ให้ในแต่ละทรีตเมนต์ โดยสุ่มภายใต้สมมติฐานว่าง $H_{0234}:\ \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

3.5.2 คำนวณสถิติทดสอบ (t_i) สำหรับการทดสอบสมมติฐานว่าง $H_{0i} : \mu_c = \mu_i$ จำนวน 3 สมมติฐาน

$$t_i = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_i}{\sqrt{MSE(2/n)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจเราจะปฏิเสธสมมติฐานว่าง $H_{0i} : \mu_c = \mu_i$ เมื่อ $|t_i| > |T_i|$ ที่ระดับนัยสำคัญ α เมื่อ T_i คือค่าวิกฤตที่ได้จากตาราง Student's t distribution ที่องศาอิสระ $k(n-1)$

คำนวณหาค่า $P_l = \Pr(|T_i| \ge |t_i| \mid H_{0234})$ ซึ่งคือค่า p-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบสมมติฐานข้างต้นจำนวน 3 สมมติฐาน หลังจากการสุ่มซ้ำแบบไม่คืนที่โดยวิธีบูทสแตรป

3.5.3 ปรับค่า p – value จาก $\tilde{p}_{(i)} = \max_{m=2,\ldots,i}\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{m,\ldots,4\}} P_l \le p_{(m)} \mid H_{0234}\right)\right\}$

โดยพิจารณาดังนี้

$$\tilde{p}_{(2)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \le p_{(2)}\right)\right\} = \Pr\left(\min(P_2, P_3, P_4) \le p_{(2)}\right)$$

$$\tilde{p}_{(3)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \le p_{(2)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{3,4\}} P_l \le p_{(3)}\right)\right\}$$

$$\tilde{p}_{(4)} = \max\left\{\Pr\left(\min_{l\in\{2,3,4\}} P_l \le p_{(2)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{3,4\}} P_l \le p_{(3)}\right), \Pr\left(\min_{l\in\{4\}} P_l \le p_{(4)}\right)\right\}$$

3.5.4 ทำการวนซ้ำ 3.5.1 ถึง 3.5.3 จนกระทั่งครบจำนวนการสุ่มซ้ำแบบบูทสแตรป (Bootstrap resamples) ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 1,000 รอบ

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> จากทุกขั้นตอนที่ผ่านมา เราจะได้ค่า p-value ของแต่ละวิธีการ คือ

(1) สถิติทดสอบของดันเนตต์

(2) สถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์อินดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี

(3) สถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (เมื่อ c=2)

(4) สถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (เมื่อ c=4)

พิจารณาการทดสอบแบบปิด โดยเลือกค่าพีที่ปรับค่าแล้ว (adjusted p-value) ที่น้อยที่สุดของการทดสอบสมมติฐานเชิงเดี่ยว เพื่อใช้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน $H_{0234} : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ แต่ถ้าเป็นค่าสถิติทดสอบของดันเนตต์ เราจะเลือกค่าสูงที่สุดของการทดสอบสมมติฐานเชิงเดี่ยว

<u>ขั้นตอนที่ 5</u> ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 จนถึง 4 จำนวน 1,000 ครั้ง

<u>ขั้นตอนที่ 6</u> คำนวณหาค่ากำลังการทดสอบของแต่ละวิธีการ

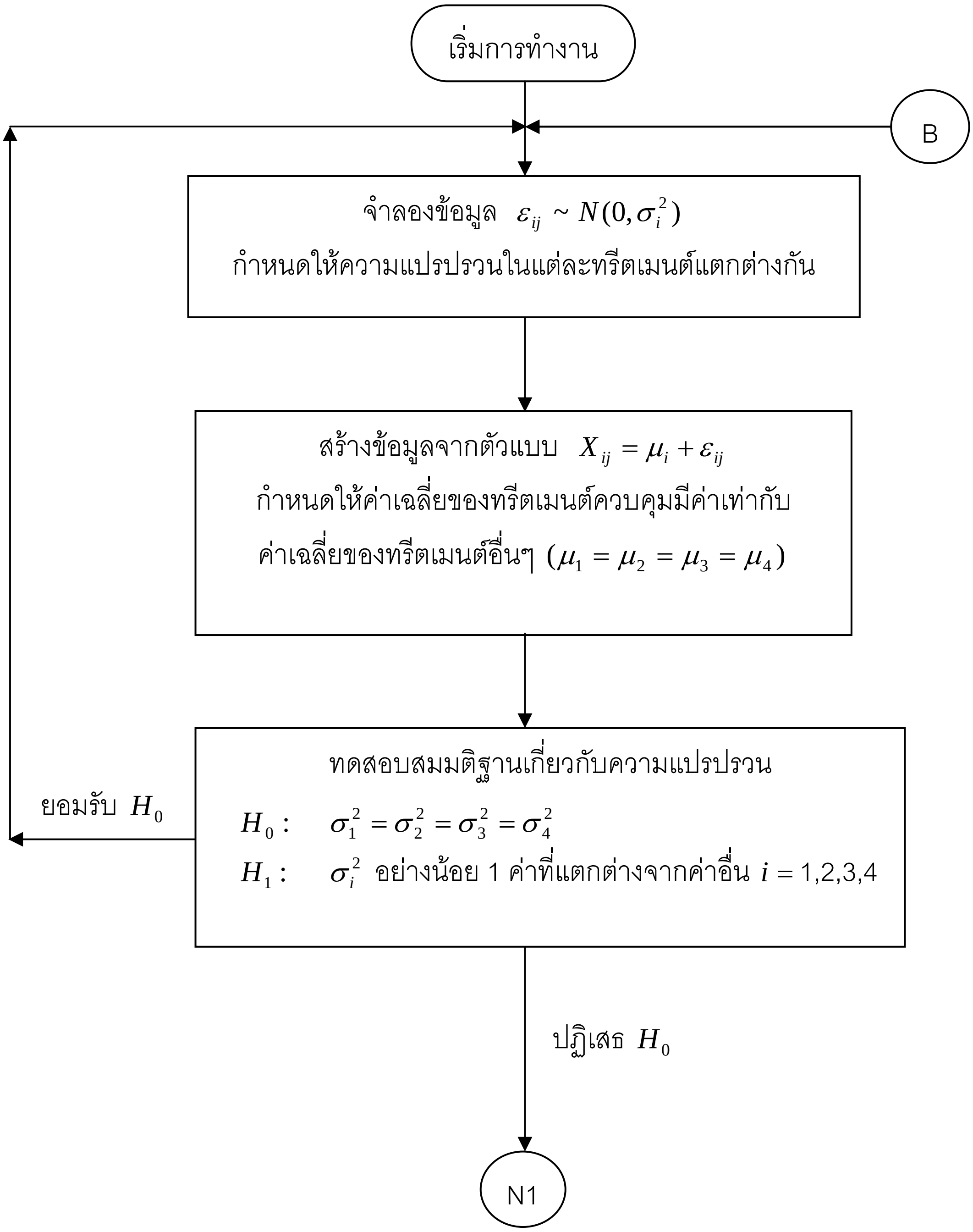
ขั้นตอนที่ 7 พิจารณาว่าค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 มีค่าไม่เกิน 0.061 หรือไม่ ถ้าตกอยู่ในช่วงดังกล่าว สรุปได้ว่าสถิติทดสอบนั้นสามารถควบคุมค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติของสถิติทดสอบ โดยที่สถิติทดสอบนั้นต้องสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ ก่อนที่จะนำไปเปรียบเทียบกำลังการทดสอบ หากสถิติทดสอบใดมีค่ากำลังการทดสอบมากที่สุดจะถือว่าเป็นสถิติทดสอบที่ดีที่สุด

แผนภาพการทำงานของโปรแกรม

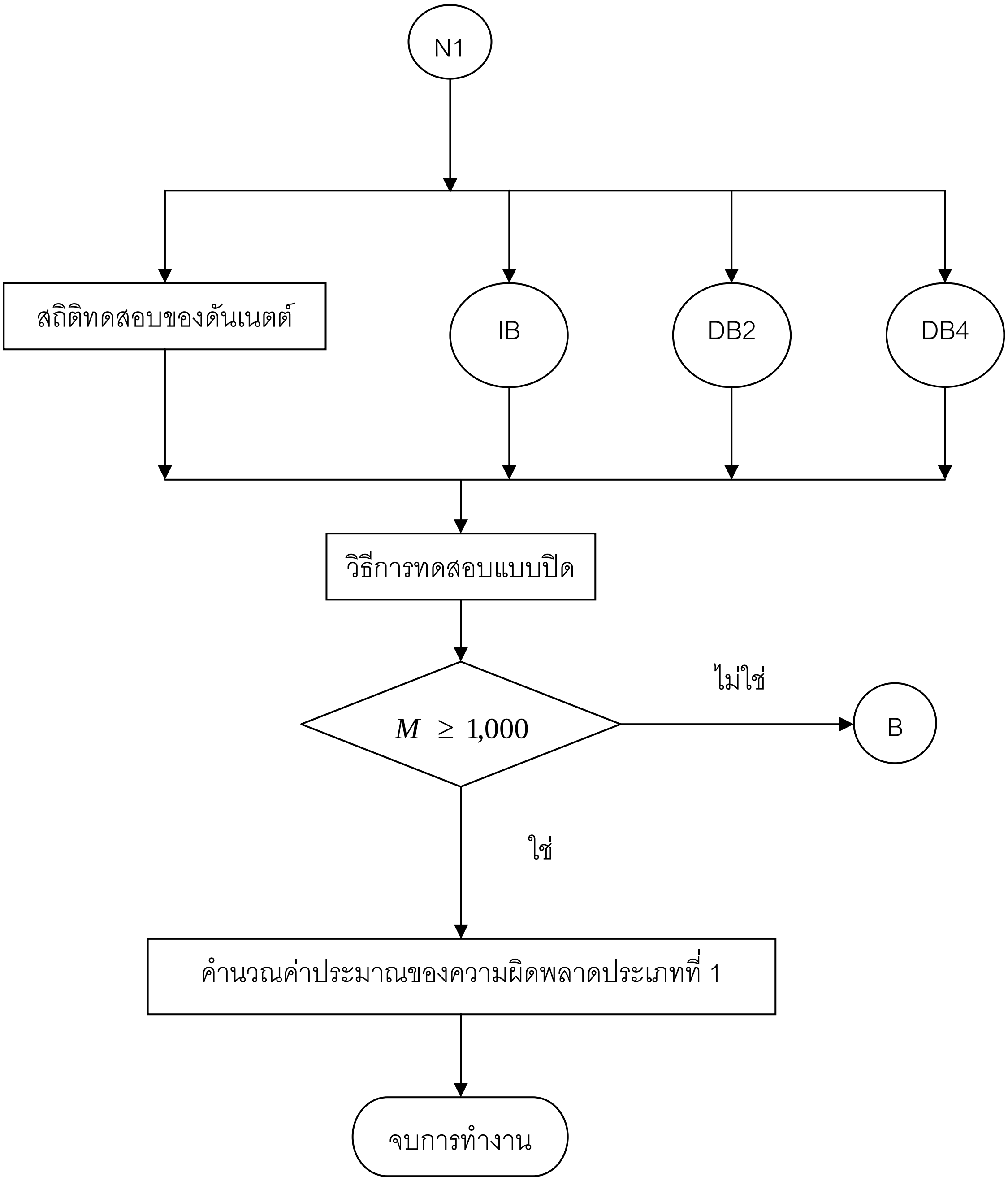
ผู้วิจัยจะใช้สัญลักษณ์ต่อไปนี้แทนความหมายต่างๆ ในแผนภาพ

Dunnett	หมายถึง	สถิติทดสอบของดันเนตต์ (Dunnett's test statistic)
IB	หมายถึง	สถิติทดสอบของวิธีสเต็ปดาวน์อินดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Independent Bootstrap min P)
DB2	หมายถึง	สถิติทดสอบของวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Dependent Bootstrap min P) เมื่อทำการคัดลอกชุดข้อมูลจำนวน 2 ชุด
DB4	หมายถึง	สถิติทดสอบของวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Dependent Bootstrap min P) เมื่อทำการคัดลอกชุดข้อมูลจำนวน 4 ชุด

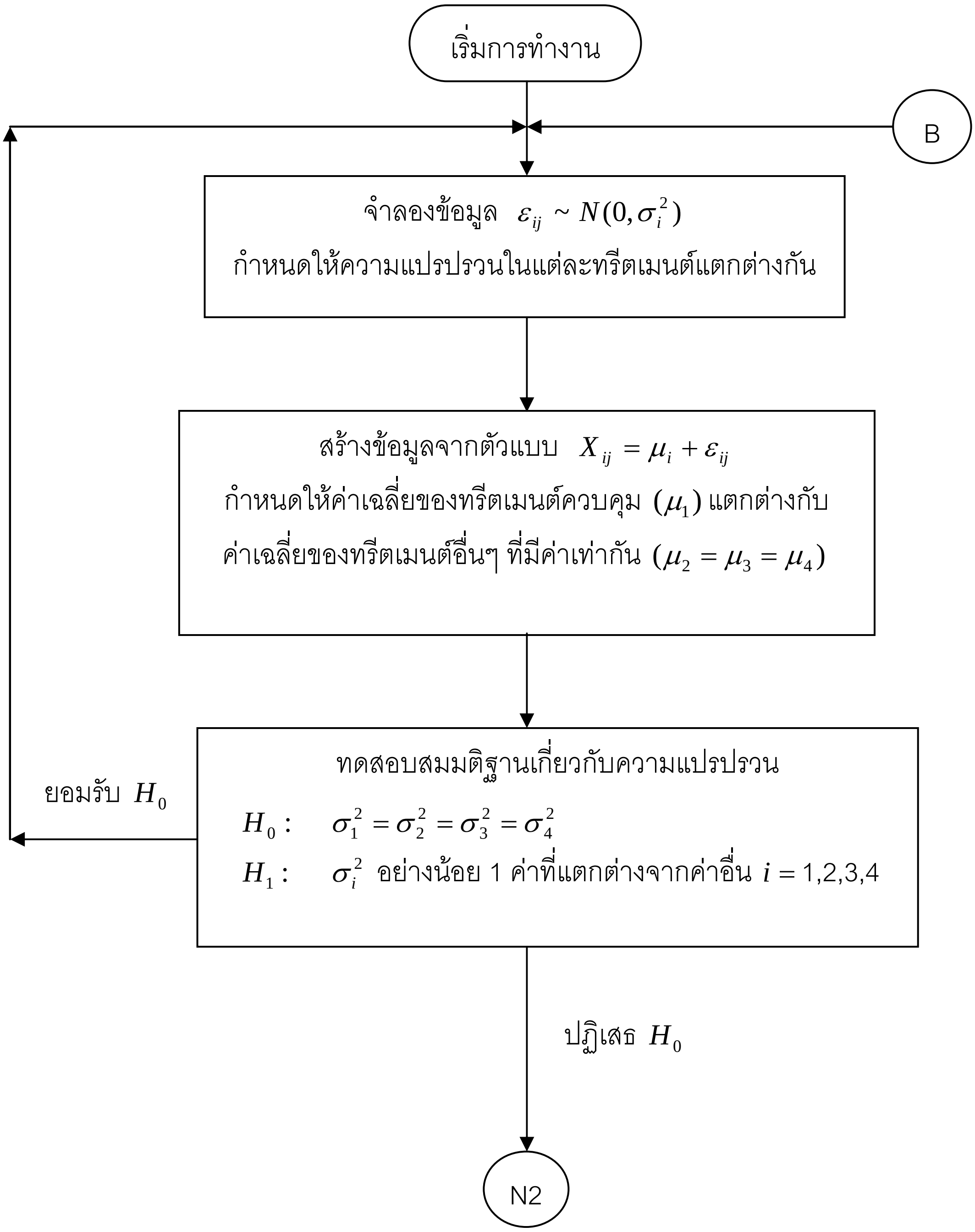
แผนภาพที่ 3.1 การหาความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 กรณีข้อมูลมีการแจกแจงปรกติและความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์แตกต่างกัน



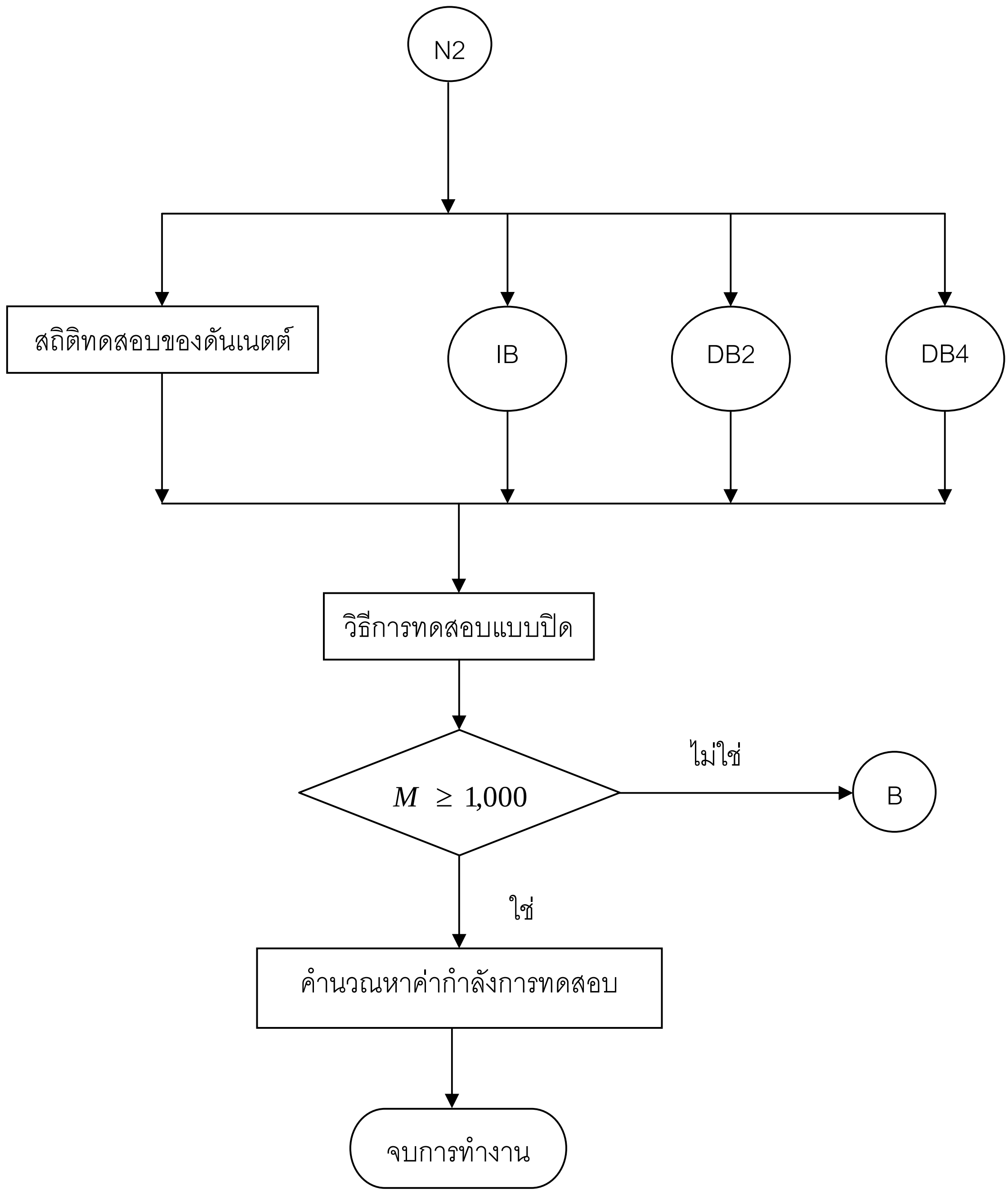
แผนภาพที่ 3.1 (ต่อ)



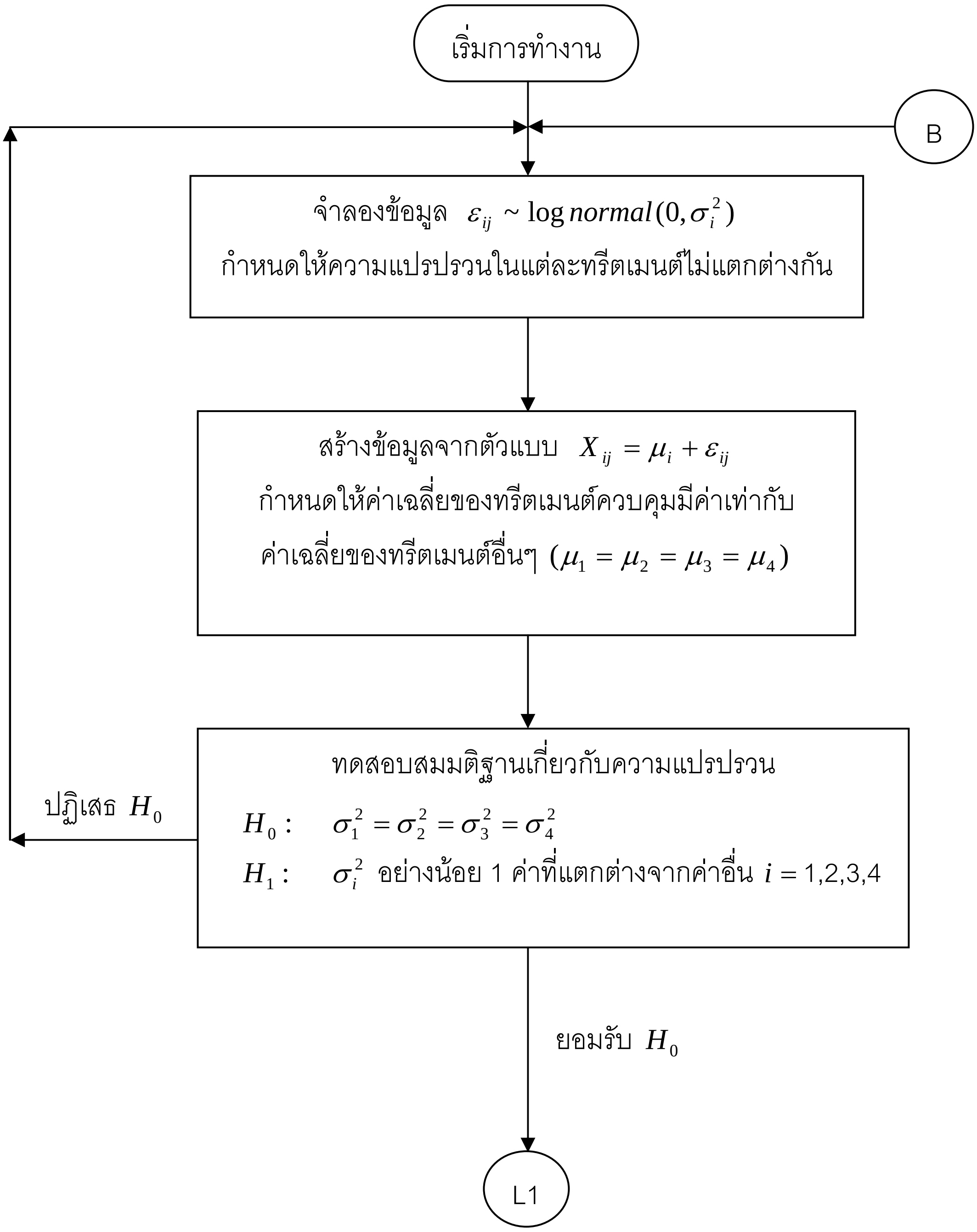
<u>แผนภาพที่ 3.2</u> การหากำลังการทดสอบกรณีข้อมูลมีการแจกแจงปรกติและมีความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์แตกต่างกัน



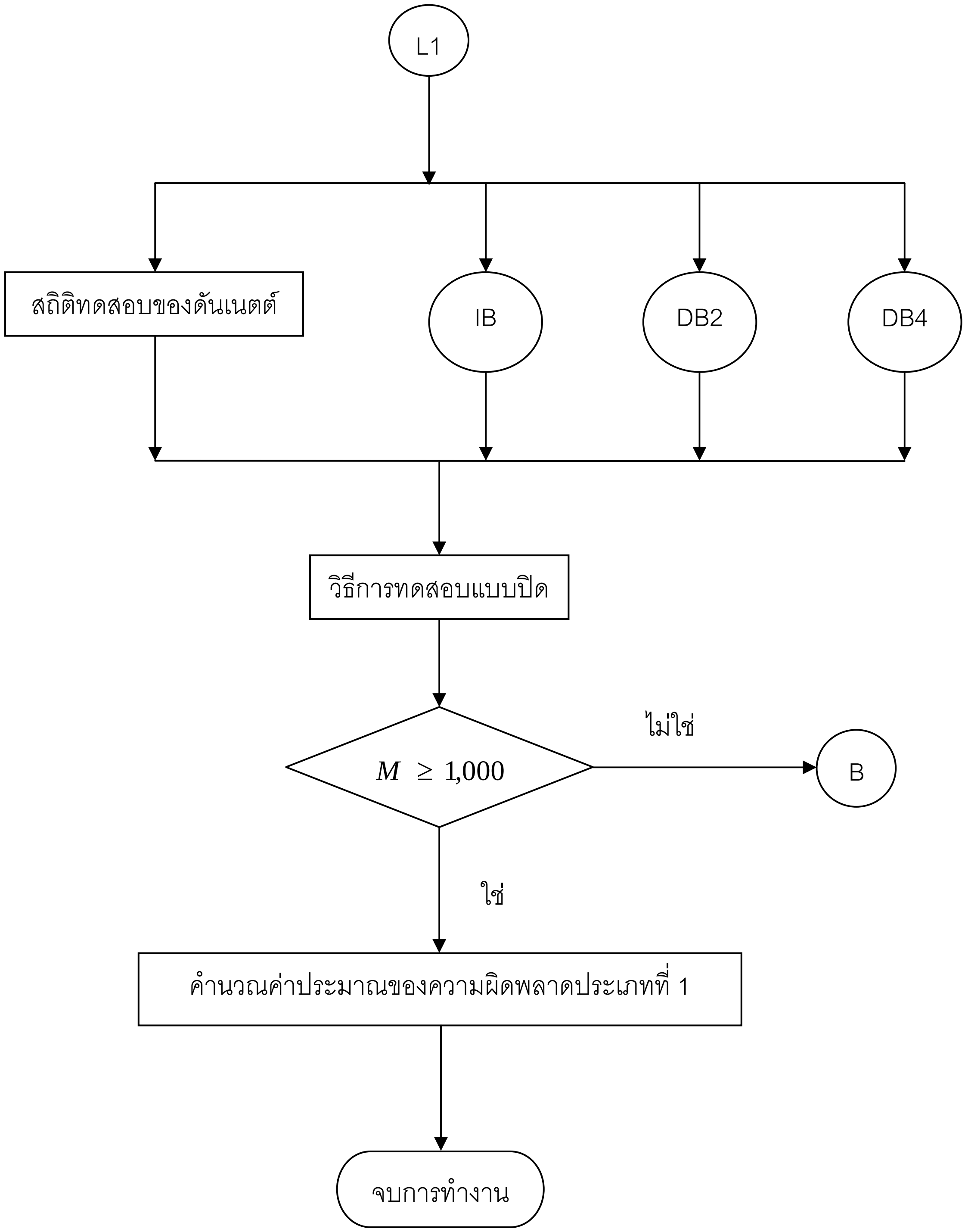
<u>แผนภาพที่ 3.2</u> (ต่อ)



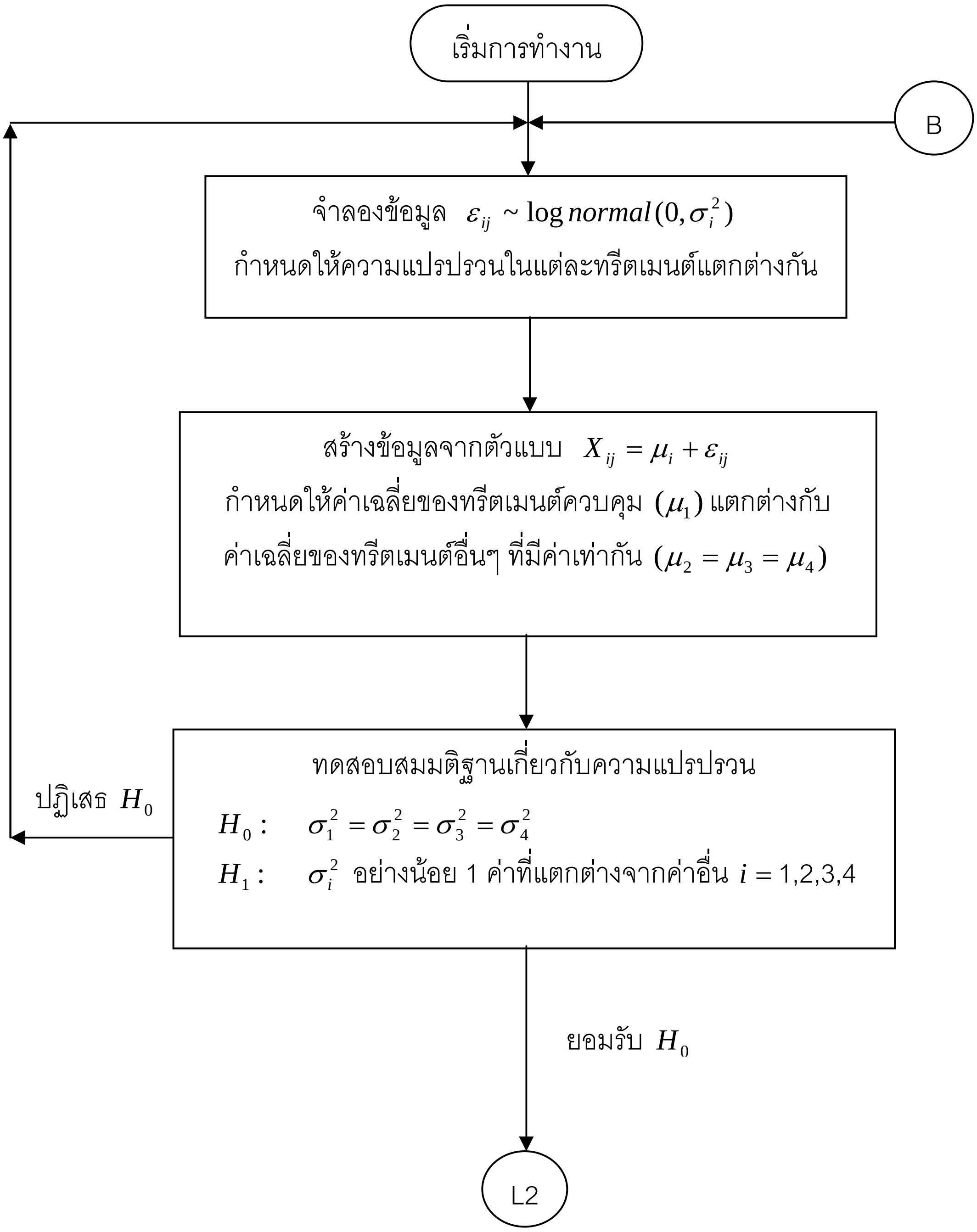
แผนภาพที่ 3.3 การหาความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 กรณีข้อมูลมีการแจกแจงล็อกนอร์มัล และมีความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์ไม่แตกต่างกัน



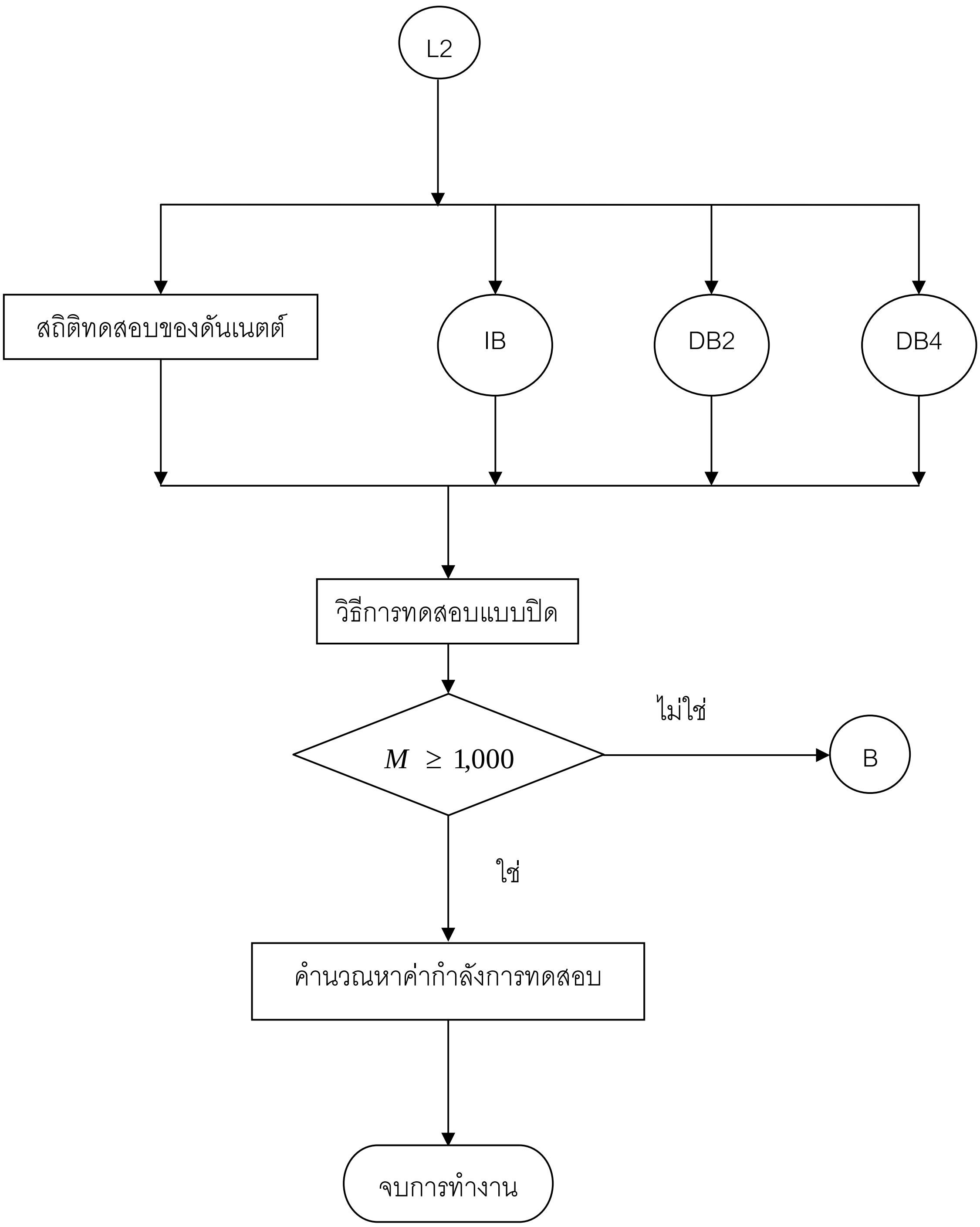
<u>แผนภาพที่ 3.3</u> (ต่อ)



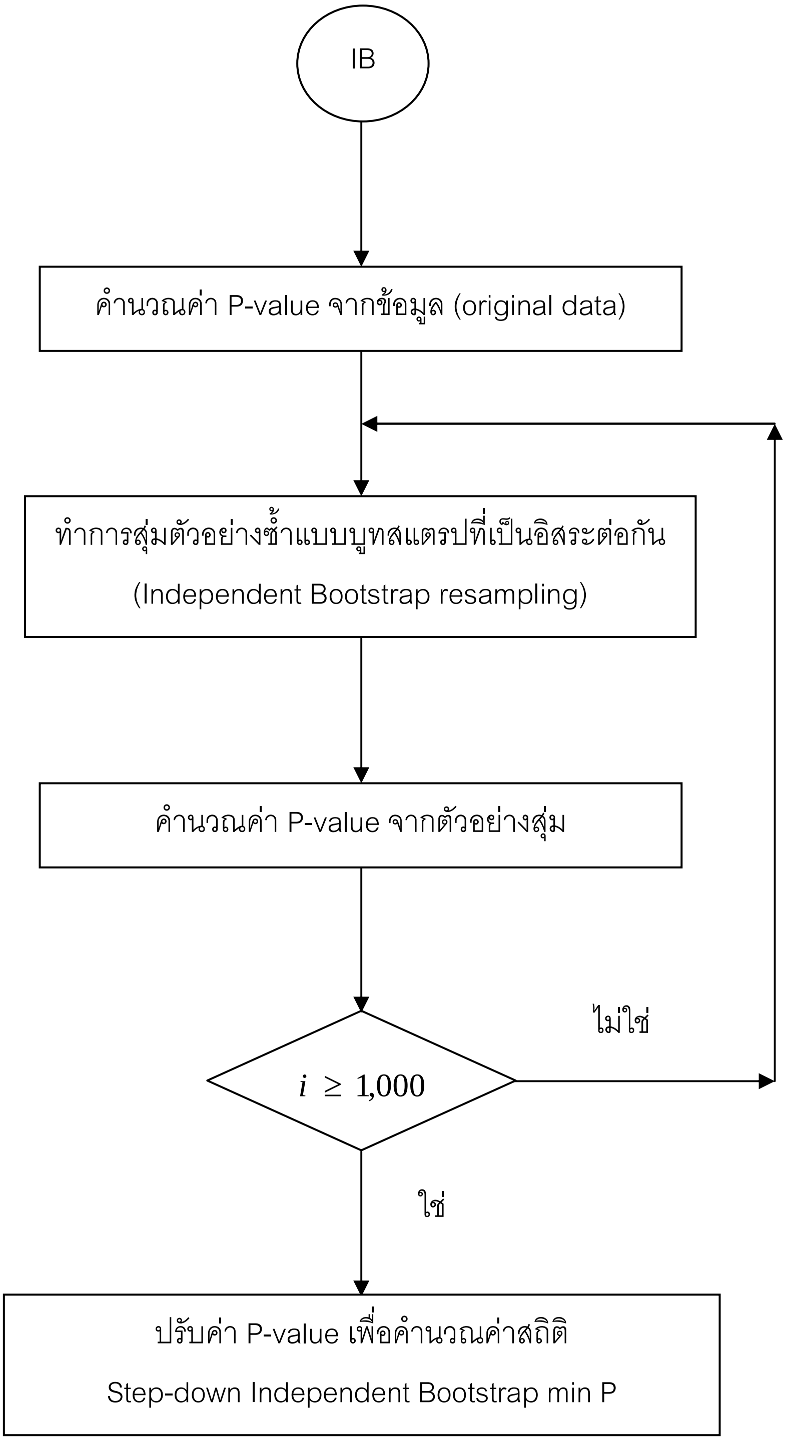
<u>แผนภาพที่ 3.4</u> การหากำลังการทดสอบ กรณีข้อมูลมีการแจกแจงล็อกนอร์มัลและมีความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์ไม่แตกต่างกัน



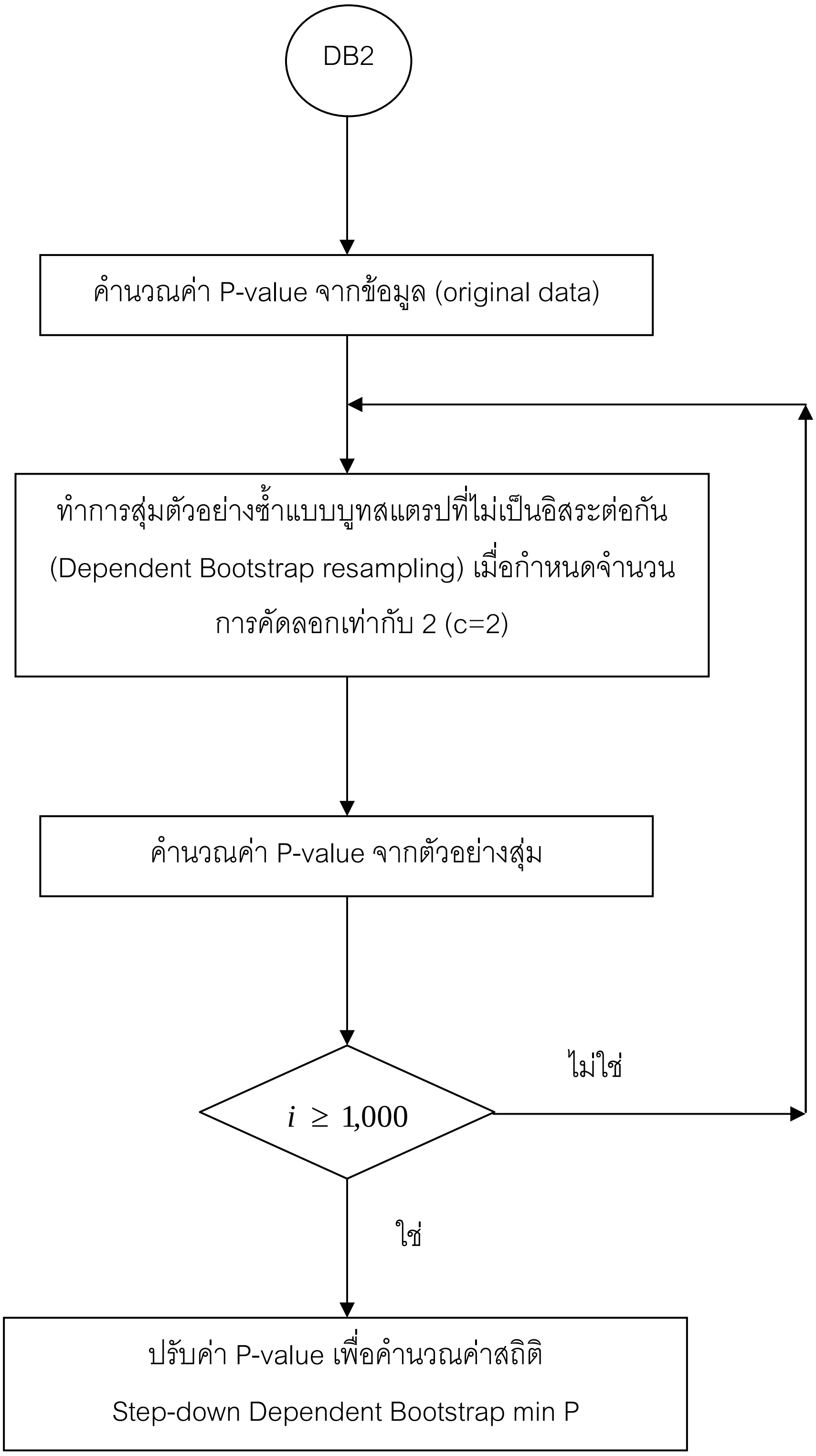
แผนภาพที่ 3.4 (ต่อ)



<u>แผนภาพที่ 3.5</u> การคำนวณสถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์อินดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-downIndependent Bootstrap min P)



แผนภาพที่ 3.6 การคำนวณสถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Dependent Bootstrap min P) เมื่อกำหนดจำนวนการคัดลอกเท่ากับ 2 (c=2)



<u>แผนภาพที่ 3.7</u> การคำนวณสถิติทดสอบวิธีสเต็ปดาวน์ดิเพนเดนท์บูทสแตรป มิน พี (Step-down Dependent Bootstrap min P) เมื่อกำหนดจำนวนการคัดลอกเท่ากับ 4 (c=4)