



บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 การคำนวณค่าความน่าจะเป็น

ในการศึกษาครั้งนี้มีวิธีการสุ่มตัวอย่างที่ต้องการ เปรียบเทียบอยู่ 4 วิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีมีค่าความน่าจะเป็น (P_i) แตกต่างกันไป ในที่นี้จะแสดง การคำนวณค่าความน่าจะเป็นของแต่ละวิธีแต่ละกึ่งจากคั่นที่เป็นตัวอย่าง เพียงคั่นเดียวเท่านั้น คือ คั่นที่ 1 (ตารางที่ 2) ส่วนคั่นอื่นๆ ผลการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

วิธีที่ 1 เป็นการสุ่มกึ่งปลายโดยตรงและมีความน่าจะเป็นในการเลือกเท่ากับทุกกึ่ง (DS-EP)

จากสูตรที่ 2.11

$$P_i = \frac{1}{N}$$

สำหรับคั่นตัวอย่างที่ 1 จำนวนกึ่งปลายทั้งหมดของคั่น (N) เท่ากับ 64 กึ่ง ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{1}{64} \\ &= 0.015625 \quad \text{เท่ากันทุกกึ่ง} \end{aligned}$$

วิธีที่ 2 เป็นการสุ่มกึ่งปลายโดยตรงและมีความน่าจะเป็นในการเลือกกึ่งเป็นส่วนกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของกึ่ง (DS-PPS)

จากสูตรที่ 2.12

$$P_i = \frac{x_i}{X}$$

$$X = \sum_{i=1}^N x_i$$

จากข้อมูลในตารางที่ 1 สำหรับคันตัวอย่างที่ 1 จะได้

$$\begin{aligned}
 N &= 64 \quad \text{กิ่ง} \\
 \text{และ } \sum_{i=1}^{64} X_i &= 11.22074 + 2.986474 + 0.430084 \\
 &\quad + \dots + 1.767144 \\
 &= 106.992891
 \end{aligned}$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 1 (รหัส 1-1-1) จะได้

$$P_{1-1-1} = \frac{11.22074}{106.992891} = 0.104886$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 2 (รหัส 1-1-2-1-1)

$$P_{1-1-2-1-1} = \frac{2.986474}{106.992891} = 0.027913$$

สำหรับกิ่งปลายที่ 3 (รหัส 1-1-2-1-2) จะได้

$$P_{1-1-2-1-2} = \frac{0.430084}{106.992891} = 0.004020$$

⋮
⋮
⋮
⋮
⋮

สำหรับกิ่งปลายสุดท้ายของคันที่ 1 คือ กิ่งที่ 64 (รหัส 4-2-2) จะได้

$$P_{4-2-2} = \frac{1.767144}{106.992891} = 0.016516$$

วิธีที่ 3 เป็นการสุ่มหลายขั้นตอนจากจุดที่แตกแขนงตั้งแต่โคนคันไปจนถึงกิ่งปลาย และมีความน่าจะเป็นในการเลือกกิ่งแต่ละขั้นตอนเท่ากันทุกกิ่ง (RP-EP)

จากสูตรที่ 2.13

$$P_i = P_i^1 P_i^2 P_i^3 \dots P_i^k$$

สำหรับคันตัวอย่างที่ 1 การแตกแขนงชั้นที่ 1 จะมีกิ่งแขนงทั้งหมด 4 กิ่ง ดังนั้น

จะได้

$$P_1^1 = \frac{1}{4}$$

จากกึ่งที่ 1 ที่แตกแขนงจะมีการแตกแขนงขั้นที่ 2 ซึ่งมีกึ่งแขนง 2 กึ่ง ดังนั้น
จะได้

$$P_1^2 = \frac{1}{2}$$

จากการแตกกึ่งแขนงขั้นที่ 2 จะมีการแตกแขนงขั้นที่ 3 ซึ่งมีกึ่งแขนงอีก 2 กิ่ง
และ เป็นการแตกกึ่งแขนงขั้นสุดท้ายสำหรับกิ่งปลายนี้ ($k=3$) จะได้

$$P_1^3 = \frac{1}{2}$$

ดังนั้น สำหรับกิ่งปลายกึ่งที่ 1 (รหัส 1-1-1) จะมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ

$$\begin{aligned} P_{1-1-1} &= P_1^1 P_1^2 P_1^3 \\ &= \left(\frac{1}{4}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right) \\ &= 0.062500 \end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกันสำหรับกิ่งปลายกึ่งที่ 2 (รหัส 1-1-2-1-1) ซึ่งมีการแตกกึ่ง
แขนงทั้งหมด 5 ครั้ง ($k=5$) จะได้

$$\begin{aligned} P_{1-1-2-1-1} &= \left(\frac{1}{4}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right) \\ &= 0.015625 \end{aligned}$$

สำหรับกิ่งปลายกึ่งที่ 3 (รหัส 1-1-2-1-2) จะได้

$$\begin{aligned} P_{1-1-2-1-2} &= \left(\frac{1}{4}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right) \\ &= 0.015625 \end{aligned}$$

⋮
⋮
⋮
⋮
⋮
⋮

สำหรับกิ่งปลายกิ่งสุดท้ายของต้นไม้ที่ 1 (รหัส 4-2-2) จะได้

$$\begin{aligned} P_{4-2-2} &= \left(\frac{1}{4}\right)\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right) \\ &= 0.062500 \end{aligned}$$

วิธีที่ 4 เป็นการสุ่มหลายขั้นตอนจากจุดที่แตกแขนงตั้งแต่โคนต้นไม้จนถึงกิ่งปลาย และมีความน่าจะเป็นในการเลือกกิ่งแต่ละขั้นตอน เป็นสัดส่วนกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของกิ่ง (RP-PPS)

จากสูตรที่ 2.14

$$P_i = P_i^1 P_i^2 P_i^3 \dots P_i^k$$

การคำนวณค่า P_i^j ความสูตรนี้จะต่างกับวิธีที่ 3 คือ วิธีที่ 3 จะมีค่าความน่าจะเป็นในแต่ละขั้นตอนเท่ากันทุกกิ่ง ส่วนในวิธีที่ 4 ค่าความน่าจะเป็นแต่ละกิ่งจะเป็นสัดส่วนกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของกิ่ง

สำหรับกิ่งปลาย กิ่งที่ 1 จะมาจากการแตกกิ่งแขนง 3 ชั้น

ในการแตกแขนงชั้นแรกจากกิ่งชั้นที่ 1 จะได้

$$P_1^1 = \frac{43.591525}{134.371224} = 0.324411$$

ในการแตกแขนงกิ่งชั้นที่ 2 จะได้

$$P_1^2 = \frac{22.061816}{37.267112} = 0.591991$$

ในการแตกแขนงกิ่งชั้นที่ 3 จะได้

$$P_1^3 = \frac{11.222074}{15.127777} = 0.741819$$

ดังนั้น สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 1 (รหัส 1-1-1) จะได้

$$\begin{aligned} P_{1-1-1} &= P_1^1 P_1^2 P_1^3 \\ &= (0.324411)(0.591991)(0.741819) \\ &= 0.142465 \end{aligned}$$

ในขนาดเดียวกันสำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 2 (รหัส 1-1-2-1) จะได้

$$\begin{aligned}
 P_{1-1-2-1-1} &= \left(\frac{43.591525}{134.371224}\right) \left(\frac{22.061816}{37.267112}\right) \left(\frac{3.905703}{15.127777}\right) \\
 &\quad \left(\frac{3.801324}{5.498489}\right) \left(\frac{2.986474}{3.146558}\right) \\
 &= (0.324411)(0.591991)(0.258181) \\
 &\quad (0.691340)(0.874118) \\
 &= 0.29964
 \end{aligned}$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 3 (รหัส 1-1-2-1-1) จะได้

$$\begin{aligned}
 P_{1-1-2-1-2} &= \left(\frac{43.591525}{134.371224}\right) \left(\frac{22.061816}{37.267112}\right) \left(\frac{3.905703}{15.127777}\right) \\
 &= \left(\frac{3.801324}{5.498489}\right) \left(\frac{0.430084}{3.416558}\right) \\
 &= (0.324411)(0.591991)(0.258181) \\
 &\quad (0.691340)(0.125882) \\
 &= 0.004315 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งสุดท้ายของต้นไม้ที่ 1 (รหัส 4-2-2) จะได้

$$\begin{aligned}
 P_{4-2-2} &= \left(\frac{30.190680}{134.371224}\right) \left(\frac{18.857394}{32.383902}\right) \left(\frac{1.767144}{6.675878}\right) \\
 &= (0.224681)(0.582308)(0.264706) \\
 &= 0.034632
 \end{aligned}$$

4.2 การประมาณค่าจำนวนผลคูณ

การประมาณค่าของการสุ่มทุกวิธีจะใช้สูตร 2.1 คือ

$$\hat{Y}_i = \frac{y_i}{P_i}$$

ในที่นี้จะแสดงการคำนวณจากแต่ละกิ่ง เฉพาะของต้นไม้ 1 ซึ่งได้แสดงไว้ใน

ตารางที่ 2

วิธีที่ 1 สุ่มแบบ DS-EP

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 1 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-1} = \frac{21}{0.015625} = 1,344 \quad \text{ผล}$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 2 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-2-1-1} = \frac{32}{0.015625} = 2,048 \quad \text{ผล}$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 3 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-2-1-2} = \frac{4}{0.015625} = 256 \quad \text{ผล}$$

⋮
⋮
⋮
⋮
⋮
⋮

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 64 หรือกิ่งสุดท้ายของต้นไม้ 1 จะได้

$$\hat{Y}_{4-2-2} = \frac{34}{0.015625} = 2,176 \quad \text{ผล}$$

วิธีที่ 2 สุ่มแบบ DS-PPS

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 1 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-1} = \frac{21}{0.104886} = 250 \quad \text{ผล}$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 2 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-2-1-1} = \frac{32}{0.027913} = 1,146 \quad \text{ผล}$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 3 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-2-1-2} = \frac{4}{0.004020} = 995 \text{ ผล}$$

⋮

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 64 หรือกิ่งสุดท้ายของต้นที่ 1 จะได้

$$\hat{Y}_{4-2-2} = \frac{34}{0.016516} = 2,059 \text{ ผล}$$

วิธีที่ 3 สุ่มแบบ RP-EP

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 1 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-1} = \frac{21}{0.0625} = 336 \text{ ผล}$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 2 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-2-1-1} = \frac{32}{0.015625} = 2,048 \text{ ผล}$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 3 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-1-1-2} = \frac{4}{0.015625} = 256 \text{ ผล}$$

⋮

สำหรับกิ่งปลายกิ่งสุดท้ายของต้นที่ 1 จะได้

$$\hat{Y}_{4-2-2} = \frac{34}{0.0625} = 544 \text{ ผล}$$

วิธีที่ 4 สุ่มแบบ RP-PPS

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 1 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-1} = \frac{21}{0.142465} = 147 \quad \text{ผล}$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 2 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-2-1-1} = \frac{32}{0.029964} = 1,068 \quad \text{ผล}$$

สำหรับกิ่งปลายกิ่งที่ 3 จะได้

$$\hat{Y}_{1-1-2-1-2} = \frac{4}{0.004315} = 927 \quad \text{ผล}$$

⋮
⋮
⋮
⋮
⋮

และสำหรับกิ่งปลายกิ่งสุดท้ายของต้นไม้ที่ 1 จะได้

$$\hat{Y}_{4-2-2} = \frac{34}{0.034632} = 982 \quad \text{ผล}$$

4.3 การคำนวณค่าความแปรปรวน

การคำนวณค่าความแปรปรวนจากแต่ละวิธีจะใช้สูตร 2.2 (สำหรับ $n=1$) คือ

$$V(\hat{Y}_i) = \sum_{i=1}^N P_i (\hat{Y}_i - Y)^2$$

ผลการคำนวณของแต่ละวิธีของทุกต้นที่เป็นตัวอย่าง (รวม 20 ต้น) แสดงไว้ใน

ตารางที่ 3 ซึ่งมีค่าสรุปได้ ดังนี้

วิธีที่ 1 (DS-EP) ค่า $V(\hat{Y}_i)$ จะมีค่าระหว่าง 8,024 ถึง 3,089,828 หรือ

เฉลี่ยเท่ากับ 791,793

วิธีที่ 2 (DS-PPS) ค่า $V(\hat{Y}_i)$ จะมีค่าระหว่าง 5,678 ถึง 2,303,825 หรือเฉลี่ยเท่ากับ 304,517

วิธีที่ 3 (RP-EP) ค่า $V(\hat{Y}_i)$ จะมีค่าระหว่าง 38,213 ถึง 369,897,329 หรือเฉลี่ยเท่ากับ 37,275,274

วิธีที่ 4 (RP-PPS) ค่า $V(\hat{Y}_i)$ จะมีค่าระหว่าง 5,803 ถึง 1,395,367 หรือเฉลี่ยเท่ากับ 388,827

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของทั้ง 4 วิธีแล้ว จะเห็นว่าวิธีที่ 2 (DS-PPS) เป็นวิธีที่ให้ค่าความแปรปรวนต่ำสุดเกือบทุกต้น ยกเว้นต้นที่ 5 และต้นที่ 8 ที่ค่าความแปรปรวนสูงกว่าวิธีที่ 4 (RP-PPS) ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ค่าความแปรปรวนต่ำอยู่ในอันดับที่ 2 รองลงมา เป็นวิธีที่ 1 (DS-EP) และวิธีที่ 3 (RP-EP) ซึ่งให้ค่าความแปรปรวนสูงสุด (ตารางที่ 4) และถ้าจะพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (ตารางที่ 4) โดยเปรียบเทียบวิธีอื่นๆ กับวิธีที่ 2 จะเห็นว่าวิธีที่ 2 และวิธีที่ 4 ไม่แตกต่างกันมากนักส่วนวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 นั้น มีประสิทธิภาพแตกต่างจากวิธีที่ 2 มาก ดังนั้น ถ้าพิจารณาจากค่าความแปรปรวนอย่างเดียว จะเห็นว่าวิธีที่ 2 จะเป็นวิธีที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ อีก 3 วิธี อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะต้องพิจารณาความเหมาะสมด้านอื่นๆ เช่น ความสะดวกหรือระยะเวลาที่ต้องใช้ปฏิบัติงานในภาคสนามด้วย ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบ เขตของการศึกษาคั้งนี้

จากการศึกษาคั้งนี้จะเห็นว่าวิธีที่ 2 (DS-PPS) และวิธีที่ 4 (RP-PPS) ซึ่งเป็นการสุ่มแบบ PPS โดยใช้ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของกิ่ง เป็นตัวแปรประกอบ (Auxiliary Variable) ในการสุ่มทั้ง 2 วิธี และให้ค่าความแปรปรวนน้อยกว่าการสุ่มโดยวิธีที่ 1 (DS-EP) และวิธีที่ 3 (RP-EP) ซึ่งเป็นการสุ่มแบบให้มีความน่าจะเป็นเท่ากัน ทั้งนี้ เนื่องจากว่าพื้นที่หน้าตัดของกิ่งมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับจำนวนผลของกิ่งมากพอสมควร โดยจะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างพื้นที่หน้าตัดของกิ่งปลายกับจำนวนผลของกิ่งปลายมีค่า เป็นบวกและแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกต้น (ตารางที่ 5)



4.4 การกำหนดขนาดของตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวนของประชากร (σ^2) ที่คำนวณได้ทั้งหมดจะเห็นว่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูงทุกวิธีรวมทั้งวิธีที่ 2 ซึ่งเป็นวิธีที่ดีที่สุด จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (CV) ค่าสุดคือ ดันที่ 7 ซึ่งมีค่า CV เท่ากับ 39% และดันที่ 5 มีค่า CV สูงสุดคือ เท่ากับ 122% (ตารางที่ 6)

จากการศึกษาโดยการเพิ่มขนาดของตัวอย่างให้มากขึ้น คือ เท่ากับ 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25 และ 30 ทั้งตามลำดับ จะเห็นว่าค่า CV ของทั้งสองวิธีคือวิธีที่ 2 และวิธีที่ 4 ซึ่งเป็นวิธีที่ดีที่สุด 2 วิธี จะมีค่า CV ที่อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูงอีกหลายดัน ทั้งนี้เป็นเพราะความไม่สม่ำเสมอของจำนวนผลสัมที่อยู่บนกิ่งปลาย คือ จะมีตั้งแต่ 0 (ไม่มีผลเลย) ไปจนถึง 39 ผล (สำหรับดันที่ 1) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติโดยทั่วๆ ไปแล้ว การสำรวจจะทำโดยการสุ่มตัวอย่างหลายชั้นคอน เช่น สุ่มสวนตัวอย่าง สุ่มคันตัวอย่างในสวนตัวอย่างและสุ่มกิ่งตัวอย่างจากคันตัวอย่างที่สุ่มได้ เป็นต้น โดยมีเป้าหมายของการประมาณค่ามากไปกว่าผลผลิตต่อคัน นั่นคือ ผลผลิตทั้งหมดของสวน ผลผลิตทั้งหมดของจังหวัดหรือผลผลิตทั้งหมดของประเทศ และความแม่นยำ (Precision) ที่ต้องการอาจจะมุ่งหวังเพียงระดับประเทศหรือระดับจังหวัดเท่านั้น คือ ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนในระดับจังหวัดไม่เกินค่าที่กำหนด เช่น 4% 10% หรือ 15% เป็นต้น ส่วนความแม่นยำในระดับรองลงไป เช่น ค่าประมาณของแต่ละสวนหรือแต่ละคัน อาจให้ความสนใจน้อยกว่าระดับสูงขึ้นมา เนื่องจากถ้าจะให้ความแม่นยำในทุกระดับอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูงแล้ว อาจจะต้องกำหนดขนาดของตัวอย่างในระดับนั้นๆ ให้มากพอซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากเกินไปหรือมากกว่างบประมาณที่มีอยู่จนไม่อาจดำเนินการได้

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทดลองประมาณค่าผลผลิตเฉลี่ยต่อคันจากคันตัวอย่าง 20 คัน โดยแต่ละคันทำการสุ่มกิ่งตัวอย่างมาจำนวนหนึ่งตามวิธีการสุ่มแบบ DS-PPS ซึ่งมีจำนวนกิ่งที่เป็นตัวอย่าง (Sample Size) แตกต่างกันไปตั้งแต่ 2, 4, 6, 8 และ 10 กิ่ง ผลการจำลองแบบ (Simulation) จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 50 ตัวอย่าง (Samples) ได้ค่า CV ของแต่ละตัวอย่างซึ่งคำนวณค่าความแปรปรวนตามสูตร 2.6 แตกต่างกันไปตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 8 จากผลการคำนวณดังกล่าว พบว่าค่า CV เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยจะมีค่าลดลงตามลำดับ เมื่อจำนวนกิ่ง-

ตัวอย่าง เพิ่มขึ้น คือ มีค่าเท่ากับ 20.36, 19.75, 17.01, 16.37 และ 15.94 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า การลดลงของค่าดังกล่าวนี้ไม่เด่นชัดพอที่จะตัดสินใจได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่คุ้มค่ากับการเพิ่มจำนวนกึ่งตัวอย่างหรือไม่ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากจำนวนตัวอย่างที่ให้ค่า CV น้อยกว่า 20% ซึ่งเป็นค่าที่พอจะยอมรับได้สำหรับค่าประมาณระดับนี้ พบว่า เมื่อจำนวนกึ่งตัวอย่างเพิ่มขึ้น ร้อยละของจำนวนตัวอย่างที่ให้ค่า CV น้อยกว่า 20% จะเพิ่มตามลำดับ เช่น เดียวกันคือ จะมีค่าเท่ากับ 60, 78, 86 และ 90 เมื่อจำนวนกึ่งตัวอย่างเพิ่มจาก 2 กิ่ง เป็น 4 กิ่ง 6 กิ่ง และ 8 กิ่ง ตามลำดับ ส่วนกรณีการเพิ่มจำนวนกึ่งตัวอย่างจาก 8 กิ่ง เป็น 10 กิ่งจะมีจำนวนตัวอย่างที่ให้ค่า CV น้อยกว่า 20% เท่ากับกรณีเมื่อจำนวนกึ่งตัวอย่างเท่ากับ 8 กิ่ง ดังนั้น ในขั้นนี้จึงสรุปได้ว่า จำนวนกึ่งตัวอย่างที่เหมาะสมจะเท่ากับ 8 กิ่ง ซึ่งจะให้ค่าประมาณจำนวนผลเฉลี่ยต่อต้นของสวนมีค่า CV ไม่เกิน 20% ในระดับความเชื่อมั่น 90% อย่างไรก็ตาม ถ้าจะให้ทราบผลแน่ชัดอาจจะต้องศึกษาโดยละเอียดอีกครั้งหนึ่ง โดยการจำลองแบบให้มีจำนวนตัวอย่างมากขึ้น และถ้าจะลดความแปรปรวนของค่าประมาณดังกล่าวให้น้อยลง เช่น ให้ได้ค่า CV ไม่เกิน 10% อาจทำได้โดยการเพิ่มจำนวนต้นตัวอย่างในสวนตัวอย่างด้วย นอกเหนือไปจากการเพิ่มจำนวนกึ่งตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ค่าประมาณจำนวนผลทั้งหมดต่อต้นจากกิ่งปลายแต่ละกิ่ง แยกตามวิธีการเลือกกิ่งตัวอย่างของต้นตัวอย่างที่ 1

กิ่งที่	รหัสกิ่งปลาย	y_i (จำนวนผล)	DS-EP		DS-PPS		RP-EP		RP-PPS	
			P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i
1	111	21	.015625	1344.	.104886	200.	.062500	336.	.142465	147.
2	11211	32	.015625	2048.	.027913	1146.	.015625	2048.	.029964	1068.
3	11212	4	.015625	256.	.004020	995.	.015625	256.	.004315	927.
4	1122	21	.015625	1344.	.015862	1324.	.031250	672.	.015304	1372.
5	1211111	15	.015625	960.	.018792	798.	.001736	8641.	.017678	849.
6	1211112	5	.015625	320.	.016516	303.	.001736	2880.	.015543	322.
7	121112	6	.015625	384.	.008093	741.	.003472	1728.	.007569	793.
8	12112	1	.015625	64.	.006625	151.	.006944	144.	.006957	144.
9	12113	0	.015625	0.	.011470	0.	.006944	0.	.012045	0.
10	12121	39	.015625	2496.	.018792	2075.	.010417	3744.	.016952	2301.
11	12122	9	.015625	576.	.023784	378.	.010417	864.	.021455	419.
12	122	21	.015625	1344.	.019985	1051.	.041667	504.	.019402	1082.
13	123	27	.015625	1728.	.015862	1702.	.041667	648.	.015400	1753.
14	2111111	26	.015625	1664.	.026500	981.	.001302	19969.	.011903	2184.
15	2111112	1	.015625	64.	.003597	278.	.001302	768.	.001616	619.
16	2111113	2	.015625	128.	.014388	139.	.001302	1536.	.006463	309.

ตารางที่ 2 (ต่อ)

กิ่งที่	รหัสกิ่งปลาย	y_i (จำนวนผล)	DS-EP		DS-PPS		RP-EP		RP-PPS	
			P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i
17	2111121	14	.015625	896.	.014388	973.	.001302	10753.	.010876	1287.
18	2111122	13	.015625	832.	.011470	1133.	.001302	9985.	.008670	1499.
19	2111123	4	.015625	256.	.010571	370.	.001302	3072.	.007990	501.
20	21112	11	.015625	704.	.014388	765.	.007813	1408.	.011880	926.
21	21113	20	.015625	1280.	.027913	717.	.007813	2560.	.023047	868.
22	21114	2	.015625	128.	.003597	556.	.007813	256.	.002970	673.
23	2112	22	.015625	1408.	.021214	1037.	.031250	704.	.020739	1061.
24	212	1	.015625	64.	.006625	151.	.062500	16.	.007475	134.
25	22111111	31	.015625	1984.	.021214	1461.	.001953	15873.	.015504	1999.
26	22111112	0	.015625	0.	.016516	0.	.001953	0.	.012071	0.
27	2211112	0	.015625	0.	.004698	0.	.003906	0.	.003336	0.
28	221112	0	.015625	0.	.004352	0.	.007813	0.	.002818	0.
29	22112	23	.015625	1472.	.018558	1239.	.015625	1472.	.013114	1754.
30	2212	22	.015625	1408.	.018792	1171.	.031250	704.	.015296	1438.
31	22211	27	.015625	1728.	.026500	1019.	.015625	1728.	.019173	1408.
32	22212	9	.015625	576.	.021214	424.	.015625	576.	.015349	586.
33	2222	7	.015625	448.	.009700	721.	.031250	224.	.008630	811.

ตารางที่ 2 (ต่อ)

กิ่งที่	รหัสกิ่งปลาย	y_i (จำนวนผล)	DS-EP		DS-PPS		RP-EP		RP-PPS	
			P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i
34	311111	29	.015625	1856.	.019985	1451.	.005208	5568.	.025937	1118.
35	311112	15	.015625	960.	.023784	631.	.005208	2880.	.030867	486.
36	31112	8	.015625	512.	.007341	1090.	.010417	768.	.010738	745.
37	31113	6	.015625	384.	.007341	817.	.010417	576.	.010738	559.
38	3112	34	.015625	2176.	.015434	2203.	.031250	1088.	.028574	1190.
39	312	16	.015625	1024.	.016516	969.	.062500	256.	.031791	503.
40	32111	32	.015625	2048.	.024583	1302.	.010417	3072.	.022832	1402.
41	321121	5	.015625	320.	.009708	515.	.003472	1440.	.011686	428.
42	321122	4	.015625	256.	.004698	851.	.003472	1152.	.005655	707.
43	321123	5	.015625	320.	.010571	473.	.003472	1440.	.012724	393.
44	32113	2	.015625	128.	.005946	336.	.010417	192.	.005522	362.
45	3212	13	.015625	832.	.007341	1771.	.031250	416.	.009733	1336.
46	322	27	.015625	1728.	.021214	1273.	.062500	432.	.025808	1046.
47	41111111	39	.015625	2496.	.032372	1205.	.000289	134948.	.014283	2731.
48	41111112	4	.015625	256.	.002643	1513.	.000289	13841.	.001166	3431.
49	4111112	5	.015625	320.	.007341	681.	.000579	8636.	.002920	1712.
50	4111113	13	.015625	832.	.011470	1133.	.000579	22453.	.004563	2849.

ตารางที่ 2 (ต่อ)

กิ่งที่	รหัสกิ่งปลาย	y_i (จำนวนผล)	DS-EP		DS-PPS		RP-EP		RP-PPS	
			P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i	P_i	\hat{Y}_i
51	411112	8	.015625	512.	.010571	757.	.001736	4608.	.006242	1282.
52	411113	11	.015625	704.	.007341	1498.	.001736	6336.	.004335	2537.
53	41112	12	.015625	768.	.005946	2018.	.005208	2304.	.004015	2989.
54	4112	10	.015625	640.	.010571	946.	.010417	960.	.006425	1556.
55	4113	4	.015625	256.	.003597	1112.	.010417	384.	.002186	1830.
56	412	4	.015625	256.	.009708	412.	.031250	128.	.006779	590.
57	413	12	.015625	768.	.055514	216.	.031250	384.	.038767	310.
58	414	3	.015625	192.	.003101	967.	.031250	96.	.002166	1385.
59	421111	15	.015625	960.	.042282	355.	.005208	2080.	.066551	225.
60	421112	6	.015625	384.	.007341	817.	.005208	1152.	.011554	519.
61	421113	3	.015625	192.	.005946	505.	.005208	576.	.009359	321.
62	42112	2	.015625	128.	.001835	1090.	.015625	128.	.003498	572.
63	4212	3	.015625	192.	.002643	1135.	.031250	96.	.005239	573.
64	422	34	.015625	2176.	.016516	2059.	.062500	544.	.034632	982.
รวม	64 กิ่ง	820	1.000000		1.000003		1.000000		1.001254	

ตารางที่ 3 -เปรียบเทียบค่าความแปรปรวน ของแต่ละต้นที่คำนวณได้จากตัวอย่างกิ่งปลาย 1 กิ่ง แยกตามวิธีการ
สุ่ม เลือกกิ่งตัวอย่าง

ต้นที่	จำนวนกิ่งปลาย ทั้งหมด (1,502 กิ่ง)	จำนวนผล ทั้งหมด	ค่าความแปรปรวนของแต่ละวิธี			
			DS-EP	DS-PPS	RP-EP	RP-PPS
1	64	820	494,960.0000	299,343.1195	7,510,082.0901	425,352.5379
2	53	681	468,558.2707	126,507.5850	4,453,011.2631	217,415.6820
3	113	467	306,091.7910	273,254.7954	4,702,056.1593	408,968.3068
4	59	394	123,482.5085	95,258.2703	1,397,001.7761	208,276.9438
5	47	87	13,251.6044	11,267.7050	336,874.5038	11,177.2932
6	103	1,789	3,089,828.1606	640,398.9732	369,897,328.9423	1,012,321.7724
7	77	785	836,073.4523	94,827.9550	116,053,538.2711	188,494.6913
8	122	1,424	2,520,961.3429	2,303,824.8073	84,767,826.4167	1,395,367.2198
9	40	576	326,144.0000	56,865.0598	2,819,870.1487	116,364.2307
10	108	1,267	1,452,384.6149	426,124.1522	18,514,260.6519	675,965.8000
11	86	382	243,136.8875	150,249.3441	1,068,427.6390	293,200.0172
12	93	1,018	1,092,012.2782	280,241.3716	23,701,640.6650	454,231.4250
13	56	512	466,197.8267	221,124.5812	15,660,484.3235	403,825.5512
14	55	96	12,123.7866	10,311.2724	146,983.5554	15,289.8624
15	72	1,390	1,648,863.3523	409,650.0316	15,450,733.4471	803,298.4256
16	88	823	926,419.6800	145,696.3062	12,217,189.2720	236,395.1766
17	105	667	716,492.7724	290,998.7937	31,409,784.4058	446,826.0327
18	69	1,045	946,821.3396	200,827.2359	34,635,235.3596	376,042.7570
19	61	306	144,026.4169	47,900.4425	724,938.8809	81,932.3777
20	31	68	8,024.0253	5,677.9216	38,212.9637	5,803.4745
เฉลี่ย	75	730	791,792.7055	304,517.4862	37,275,274.0367	388,827.4789

ตารางที่ 4 การจัดอันดับค่าความแปรปรวนของแต่ละวิธี และค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ ของวิธีการเลือกตัวอย่าง 3 วิธี เมื่อเทียบกับวิธีที่ 2 (DS-PPS)

คํมที่	อันดับของค่าความแปรปรวน				ค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์			
	DS-EP	DS-PPS	RP-EP	RP-PPS	DS-EP	DS-PPS	RP-EP	RP-PPS
1	3	1	4	2	1.65	1	25.09	1.42
2	3	1	4	2	3.70	1	35.20	1.72
3	2	1	4	3	1.12	1	17.21	1.50
4	2	1	4	3	1.30	1	14.67	2.19
5	3	2	4	1	1.18	1	29.90	0.99
6	3	1	4	2	4.82	1	577.60	1.58
7	3	1	4	2	8.82	1	1223.83	1.99
8	3	2	4	1	1.09	1	36.79	0.61
9	3	1	4	2	5.74	1	49.59	2.05
10	3	1	4	2	3.41	1	43.45	1.59
11	2	1	4	3	1.62	1	7.11	1.95
12	3	1	4	2	3.90	1	84.58	1.62
13	3	1	4	2	2.11	1	70.82	1.83
14	2	1	4	3	1.18	1	14.25	1.48
15	3	1	4	2	4.03	1	37.72	1.96
16	3	1	4	2	6.36	1	83.85	1.62
17	3	1	4	2	2.46	1	107.94	1.54
18	3	1	4	2	4.71	1	172.46	1.87
19	3	1	4	2	3.01	1	15.13	1.71
20	3	1	4	2	1.41	1	6.73	1.02

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่าง จำนวนผลบนกิ่งปลาย
กับพื้นที่หน้าตัดของกิ่ง

ต้นไม้	จำนวน กิ่งปลาย ทั้งหมด	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	
		ค่าคำนวณ	ค่าจากราง ($\alpha = 0.05$)
1	64	+ 0.46095	0.2464
2	53	+ 0.76779	0.2707
3	113	+ 0.54295	0.18576
4	59	+ 0.50665	0.2569
5	47	+ 0.30577	0.2880
6	103	+ 0.86283	0.19416
7	77	+ 0.81921	0.2245
8	122	+ 0.64058	0.1782
9	40	+ 0.87234	0.3124
10	108	+ 0.88358	0.18996
11	86	+ 0.57642	0.2122
12	93	+ 0.80924	0.2040
13	56	+ 0.52537	0.2638
14	55	+ 0.31991	0.2661
15	72	+ 0.82873	0.2320
16	88	+ 0.84055	0.2098
17	105	+ 0.62947	0.19248
18	69	+ 0.83448	0.2374
19	61	+ 0.72862	0.2523
20	31	+ 0.49254	0.3550

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของแต่ละชั้น โดยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบ DS-PPS เมื่อจำนวนกิ่งที่เป็นตัวอย่าง เท่ากับ 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30 กิ่ง

ชั้นที่	จำนวนกิ่งปลายทั้งหมด	จำนวนผลทั้งหมด	จำนวนกิ่งที่เป็นตัวอย่าง									
			1	2	4	6	8	10	15	20	25	30
1	64	820	66.72	47.18	33.36	27.24	23.59	21.10	17.23	14.92	13.34	12.10
2	53	601	52.23	36.93	26.11	21.32	18.47	16.52	13.49	11.68	10.45	9.54
3	113	467	111.94	79.15	55.97	45.70	39.58	35.40	28.00	25.03	22.39	20.44
4	59	394	78.33	55.39	39.17	31.80	27.70	24.77	20.23	17.52	15.67	14.30
5	47	87	122.01	86.27	61.01	49.81	43.14	38.58	31.50	27.28	24.40	22.28
6	103	1788	44.73	31.63	22.37	18.26	15.82	14.15	11.55	10.00	8.95	8.17
7	77	785	39.23	27.74	19.61	16.01	13.87	12.41	10.13	8.77	7.85	7.16
8	122	1424	106.59	75.37	53.29	43.52	37.69	33.71	27.52	23.83	21.32	19.46
9	40	576	41.40	29.27	20.70	16.90	14.64	13.09	10.69	9.26	8.28	7.56
10	108	1267	51.52	36.43	25.76	21.03	18.22	16.29	13.30	11.52	10.30	9.41
11	86	382	101.47	71.75	50.74	41.43	35.88	32.09	26.20	22.89	20.29	18.53
12	93	1018	52.00	36.77	26.00	21.23	18.39	16.44	13.43	11.63	10.40	9.49
13	56	512	91.84	64.94	45.92	37.49	32.47	29.04	23.71	20.54	18.37	16.77
14	55	96	105.78	74.79	52.89	43.18	37.40	33.45	27.31	23.65	21.16	19.31
15	72	1390	46.05	32.56	23.02	18.80	16.28	14.56	11.89	10.30	9.21	8.41
16	88	823	46.38	32.80	23.19	18.93	16.40	14.67	11.98	10.37	9.28	8.47
17	105	667	80.88	57.19	40.44	33.02	28.59	25.58	20.88	18.08	16.10	14.77
18	69	1045	42.88	30.32	21.44	17.51	15.16	13.58	11.07	9.59	8.58	7.83
19	61	306	71.52	50.57	35.76	29.20	25.28	22.62	18.47	15.99	14.30	13.06
20	31	68	110.81	78.36	55.41	45.24	39.18	35.04	28.61	24.78	22.16	20.23

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของแต่ละต้น โดยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบ RP-PPS เมื่อจำนวนกิ่งที่เป็นตัวอย่างเท่ากับ 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30 กิ่ง

ต้นที่	จำนวนกิ่งปลายทั้งหมด	จำนวนผลทั้งหมด	จำนวนกิ่งที่เป็นตัวอย่าง									
			1	2	4	6	8	10	15	20	25	30
1	64	820	79.54	56.24	39.77	32.47	28.12	25.15	20.54	17.78	15.81	14.52
2	53	681	60.47	40.42	34.23	27.95	24.21	21.65	17.68	15.31	13.69	12.50
3	118	467	136.94	96.83	68.47	55.91	48.42	43.30	35.36	30.62	27.39	25.00
4	59	394	115.83	81.90	57.92	47.29	40.95	36.63	29.91	25.90	23.17	21.15
5	47	87	121.52	85.93	60.76	49.61	42.96	38.43	31.38	27.17	24.30	22.19
6	103	1789	56.24	39.77	28.12	22.96	19.88	17.78	14.52	12.58	11.25	10.27
7	77	785	55.31	39.11	27.65	22.58	19.55	17.49	14.28	12.37	11.06	10.10
8	122	1424	82.95	50.66	41.48	33.87	29.33	26.23	21.42	18.55	16.59	15.15
9	40	576	59.22	41.88	29.61	24.18	20.94	18.73	15.29	13.24	11.84	10.81
10	108	1267	64.89	45.89	32.45	26.49	22.94	20.52	16.75	14.51	12.98	11.85
11	86	382	141.75	100.23	70.87	57.87	50.12	44.82	36.60	31.70	28.35	25.88
12	93	1018	66.21	46.81	33.10	27.03	23.41	20.94	17.09	14.80	13.24	12.09
13	56	512	124.12	87.76	62.06	50.67	43.88	39.25	32.05	27.75	24.82	22.66
14	55	96	128.80	91.08	64.40	52.58	45.54	40.73	33.26	28.80	25.76	23.52
15	72	1390	64.48	45.59	32.24	26.32	22.80	20.39	16.65	14.42	12.90	11.77
16	88	823	59.88	41.77	29.54	24.12	20.89	18.68	15.25	13.21	11.82	10.79
17	105	667	100.22	70.86	50.11	40.91	35.43	31.69	25.88	22.41	20.04	18.30
18	69	1045	58.68	41.49	29.34	23.96	20.75	18.56	15.15	13.12	11.74	10.71
19	61	306	99.54	66.14	46.77	38.19	33.07	29.58	24.15	20.92	18.71	17.08
20	31	68	112.03	79.22	56.02	45.74	39.61	35.43	28.93	25.05	22.41	20.45

ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน จากการสุ่มกึ่งตัวอย่างคั่นละ 2,4,6,8 และ 10 กิ่ง ผลจากการจำลองแบบ (Simulation) จำนวน 50 ชุดตัวอย่าง โดยการสุ่มแบบ DS-PPS

ตัวอย่าง ชุดที่	% ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เมื่อจำนวนกิ่งตัวอย่างเท่ากับ				
	2 กิ่ง	4 กิ่ง	6 กิ่ง	8 กิ่ง	10 กิ่ง
1	18.37	15.79	22.38	24.61	14.24
2	35.64	16.07	16.28	16.58	14.37
3	23.08	19.17	16.17	17.93	15.24
4	15.93	14.77	13.57	16.70	15.17
5	21.25	15.58	16.38	16.63	16.10
6	15.77	18.75	18.26	15.78	15.44
7	15.84	12.87	17.20	21.80	16.59
8	15.96	14.60	15.10	15.85	15.13
9	18.90	16.08	17.49	15.00	13.99
10	13.45	13.76	14.49	14.34	21.52
11	20.10	17.37	17.31	14.12	15.42
12	14.24	17.89	15.95	15.70	15.30
13	18.01	18.09	17.18	16.74	14.97
14	15.74	13.54	15.75	17.48	21.47
15	17.54	32.00	27.84	15.89	14.37
16	18.94	22.70	16.17	15.82	19.75
17	17.53	17.11	15.47	23.08	15.62
18	18.05	17.66	13.69	16.84	22.47
19	17.06	16.00	15.61	14.26	21.46
20	49.92	67.09	16.45	15.76	16.87
21	18.63	32.15	14.64	14.88	15.93
22	19.38	15.45	17.89	16.82	13.76
23	20.55	14.92	15.28	14.48	18.05
24	48.24	30.12	16.87	15.60	15.10
25	17.91	16.83	16.69	15.49	15.21
26	23.40	14.62	15.20	17.12	21.78
27	23.70	29.98	14.99	17.33	18.05

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ตัวอย่าง	% ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เมื่อจำนวนกิ่งตัวอย่างเท่ากับ				
	2 กิ่ง	4 กิ่ง	6 กิ่ง	8 กิ่ง	10 กิ่ง
28	19.78	16.72	17.32	17.76	14.48
29	14.11	36.59	15.79	15.47	15.71
30	21.29	17.37	15.27	15.59	16.91
31	16.37	13.49	14.46	15.29	17.60
32	14.57	18.65	14.80	15.61	14.76
33	20.88	15.94	15.80	14.26	12.04
34	19.30	16.62	20.89	14.76	16.22
35	13.79	15.52	15.01	17.30	15.14
36	20.92	17.21	14.51	21.78	15.33
37	21.61	16.91	16.03	15.78	15.15
38	22.08	18.38	13.73	14.87	17.29
39	21.02	16.88	28.57	16.20	14.85
40	26.78	13.44	27.90	14.51	14.73
41	16.43	13.45	15.10	14.88	14.53
42	20.34	15.70	15.82	19.56	16.73
43	17.09	13.66	17.07	15.36	20.00
44	23.76	27.24	15.66	18.18	14.63
45	21.87	17.01	15.47	18.03	15.31
46	41.01	35.87	19.42	24.33	15.76
47	19.74	15.37	16.31	15.91	12.95
48	17.99	35.44	27.82	15.56	16.52
49	14.62	34.30	28.73	15.24	17.13
50	19.72	14.49	15.71	15.87	15.72
เฉลี่ย	20.36	19.75	17.01	16.37	15.94
จำนวน ตัวอย่าง ที่ให้ค่า C.V. < 20 %	30	39	43	45	45
ร้อยละ	60	78	86	90	90