



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สถิติ)

ปริญญา

สถิติ

สถิติ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมและการเลือก
ตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

Comparative Study of Efficiency for Circular Systematic Sampling and Linear
Systematic Sampling

นามผู้วิจัย นางสาวลลิตรัตน์ นพโลหะ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์อำไพ ทองธีรภาพ, Ph.D.

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พยัคฆพงษ์, M.S.

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม
และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

Comparative Study of Efficiency for Circular Systematic Sampling
and Linear Systematic Sampling

โดย

นางสาววัลย์รัตน์ นพโหละ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัลย์รัตน์ นพโลหะ 2555: การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมและการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ปรินญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ) สาขาสถิติ ภาควิชาสถิติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์อำไพ ทองธีรภาพ, Ph.D. 79 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม 4 วิธี ได้แก่ Balanced Circular Systematic Sampling (BC), Centered Circular Systematic Sampling (CC), Modified Balanced Circular Systematic Sampling (MBC) และ Modified Centered Circular Systematic Sampling (MCC) กับการเลือกตัวอย่างแบบระบบเชิงเส้น จากประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น โดยประชากรที่ใช้ศึกษาได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SAS 9.1 กำหนดขนาดตัวอย่างและขนาดประชากรตามลักษณะของเศษส่วนการสุ่ม ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมทั้ง 4 วิธี มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ยกเว้นกรณีที่มีประชากรมีแนวโน้มของความเป็นเชิงเส้นลดลง ประชากรมีขนาดใหญ่ จำนวนประชากรเป็นจำนวนคี่หรือจำนวนตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ และเศษส่วนการสุ่มมากกว่า 30% ขึ้นไป ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Walairat Noploha 2012: Comparative Study of Efficiency for Circular Systematic Sampling and Linear Systematic Sampling. Master of Science (Statistics), Major Field: Statistics, Department of Statistics. Thesis Advisor: Mrs. Ampai Thongteeraparp, Ph.D. 79 pages.

The objective of this research is to compare the efficiency of sample means from balanced circular systematic sampling (BC), centered circular systematic sampling (CC), modified balanced circular systematic sampling (MBC) and modified centered circular systematic sampling (MCC) with linear systematic sampling (LSY) from the population with linear trend. Population of interest in this research are simulated by statistical software SAS 9.1. Sample size and population size are based on the sampling fraction. The results show that the sample means from circular systematic sampling in 4 methods are more efficient than the sample mean from LSY except when the trend of the population is nonlinear, the population size is large, the population size is odd or the sample size is even and the sampling fraction is greater than 30%, the sample mean from LSY is more efficient than those from MBC.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง จากอาจารย์อำไพ ทองธีรภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ดูแล ตรวจสอบแก้ไข ข้อบกพร่องและให้ข้อคิดเห็นต่างๆของงานวิจัยเป็นอย่างดีมาโดยตลอดและขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาสถิติทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอ กราบขอบพระคุณด้วยความรู้สึกซาบซึ้งและสำนึกในพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ที่ส่งเสริมสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยมา ตลอดจนกระทั่งถึงทุกวันนี้ ประโยชน์อันที่เกิดเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแก่ท่านที่ได้ เมตตา เลี้ยงดู อบรมสั่งสอนผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้องและเจ้าหน้าที่ภาควิชาสถิติทุกท่าน จินต์ กอล์ฟ เจ็นนี่ม น้องออย อีบ หนึ่ง ไก่ เปิ้ล กิ๊ฟ และพี่เจี๊ยบ ที่ทุกๆคนเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

วัลย์รัตน์ นพโลหะ
กุมภาพันธ์ 2555

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (2) |
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 3 |
| การตรวจเอกสาร | 5 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 25 |
| อุปกรณ์ | 25 |
| วิธีการ | 25 |
| ผลและวิจารณ์ | 30 |
| ผล | 30 |
| วิจารณ์ | 60 |
| สรุปและข้อเสนอแนะ | 62 |
| สรุป | 62 |
| ข้อเสนอแนะ | 63 |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง | 65 |
| ภาคผนวก | 67 |
| ภาคผนวก ก ตัวอย่างการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม | |
| และการคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่าง | 68 |
| ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย | 72 |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน | 79 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 1 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี BC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ | 31 |
| 2 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี BC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ | 32 |
| 3 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ | 35 |
| 4 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ | 38 |
| 5 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ | 42 |
| 6 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ | 43 |
| 7 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรเป็นจำนวนคี่และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ | 45 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 8 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรเป็นจำนวนคี่และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ | 46 |
| 9 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่ | 48 |
| 10 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่ | 49 |
| 11 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรเป็นจำนวนคู่และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่ | 50 |
| 12 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรเป็นจำนวนคู่และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่ | 51 |
| 13 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่ | 53 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 14 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่ | 54 |
| 15 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรหรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ | 56 |
| 16 | แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรหรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ | 58 |

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม
และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

Comparative Study of Efficiency for Circular Systematic Sampling
and Linear Systematic Sampling

คำนำ

ข้อมูลถือเป็นสิ่งสำคัญในการดำเนินการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูลจึงเป็นขั้นตอนที่จำเป็น โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากทุกหน่วยของประชากรที่ต้องการศึกษา เรียกว่า สำมะโน (Census) กรณีที่ประชากรมีขนาดเล็กเราสามารถศึกษาลักษณะต่างๆ ของประชากรได้โดยตรงจากทุกหน่วยของประชากร แต่กรณีที่ประชากรที่สนใจศึกษามีขนาดใหญ่ การศึกษาลักษณะต่างๆ ของประชากรได้ครบทุกหน่วยจึงเป็นไปได้ยาก เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องค่าใช้จ่าย เวลา แรงงาน และมีความยุ่งยากในการเก็บรวบรวมข้อมูล จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกหน่วยตัวอย่างมาเพียงบางส่วนจากประชากรเพื่อนำมาเป็นตัวแทนในการศึกษา แล้วนำผลสรุปจากตัวอย่างอ้างอิงไปยังประชากร ด้วยวิธีการประมาณค่าหรือการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งการอ้างอิงดังกล่าวจะมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนั้นว่าเป็นตัวแทนของประชากรได้ดีเพียงพอรึหรือไม่ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างจะเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรหรือไม่ขึ้นอยู่กับเทคนิคการเลือกตัวอย่าง (Sampling Technique)

เทคนิคการเลือกตัวอย่างแบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ เทคนิคการเลือกตัวอย่างที่ไม่เป็นเชิงความน่าจะเป็น (Nonprobability Sampling) และเทคนิคการเลือกตัวอย่างเชิงความน่าจะเป็น (Probability Sampling) โดยเทคนิคการเลือกตัวอย่างที่ไม่เป็นเชิงความน่าจะเป็น เป็นการเลือกตัวอย่างที่ไม่คำนึงว่าหน่วยตัวอย่างแต่ละหน่วยของประชากรมีโอกาสถูกเลือกมาด้วยความน่าจะเป็นเท่าไร ส่วนเทคนิคการเลือกตัวอย่างเชิงความน่าจะเป็น เป็นการเลือกตัวอย่างจากประชากรที่คำนึงว่าหน่วยตัวอย่างแต่ละหน่วยของประชากรมีโอกาสถูกเลือกมาด้วยความน่าจะเป็นเท่าไร โดยความน่าจะเป็นที่แต่ละหน่วยถูกเลือกมาเป็นหน่วยตัวอย่างอาจจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้หรืออาจกล่าวได้ว่า เทคนิคการเลือกตัวอย่างเชิงความน่าจะเป็น เป็นการเลือกตัวอย่างซึ่งขึ้นอยู่กับทฤษฎีความน่าจะเป็น สำหรับการเลือกใช้เทคนิคการเลือกตัวอย่างขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และลักษณะ

ประชากรที่ต้องการศึกษา วิธีหนึ่งของเทคนิคการเลือกตัวอย่างเชิงความน่าจะเป็นคือการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบ (Systematic Sampling) เป็นการเลือกหน่วยตัวอย่างขนาด n จากประชากรที่มีขนาด N ที่ได้มีการจัดเรียงลำดับอย่างเป็นระบบ การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเป็นวิธีการที่ดำเนินการได้ง่าย และนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถอธิบายให้พนักงานภาคสนามเข้าใจง่ายและดำเนินการได้เอง นอกจากนี้การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบสามารถนำไปใช้ในกรณีที่ไม่มีกรอบตัวอย่างก่อนการดำเนินการเลือกตัวอย่าง อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประกอบกับวิธีการเลือกตัวอย่างแบบอื่นๆ ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ค่าสถิติที่ได้จากหน่วยตัวอย่างจะสามารถนำไปประมาณค่าพารามิเตอร์ได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะประชากรที่ต้องการศึกษาด้วย

เทคนิคการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบแบ่งได้ 2 ลักษณะคือการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น (Linear Systematic Sampling : LSY) และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม (Circular Systematic Sampling : CSY) สำหรับการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมได้ถูกพัฒนาขึ้นในหลายรูปแบบ ได้แก่ การเลือกตัวอย่างแบบ Balanced Circular Systematic Sampling (BC) การเลือกตัวอย่างแบบ Centered Circular Systematic Sampling (CC) การเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling (MBC) และการเลือกตัวอย่างแบบ Modified Centered Circular Systematic Sampling (MCC) โดยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมที่กล่าวมานั้นเป็นวิธีการเลือกตัวอย่างที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น (Linear trend) และประชากรที่มีแนวโน้มพาราโบลา (Parabolic trend) เท่านั้น

Leu and Kao (2006) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมชนิดต่างๆ ที่กล่าวข้างต้น ทั้งนี้การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นเป็นเทคนิคการเลือกตัวอย่างที่มีขั้นตอนการเลือกหน่วยตัวอย่างที่ง่ายกว่าวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม งานวิจัยนี้จึงสนใจเปรียบเทียบวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมชนิดต่างๆ และวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเลือกตัวอย่างคือค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ (Relative Efficiency)

วัตถุประสงค์

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ

1. เพื่อศึกษาวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม 4 วิธี ได้แก่
 - 1.1 การเลือกตัวอย่างแบบ Balanced Circular Systematic Sampling (BC)
 - 1.2 การเลือกตัวอย่างแบบ Centered Circular Systematic Sampling (CC)
 - 1.3 การเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling (MBC)
 - 1.4 การเลือกตัวอย่างแบบ Modified Centered Circular Systematic Sampling (MCC)
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมชนิดต่างๆ และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น จากประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างภายใต้ขอบเขตดังนี้

1. ลักษณะของประชากรที่ศึกษา คือ ประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น ซึ่งได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SAS 9.1
2. กำหนดขนาดประชากร (N) และขนาดตัวอย่าง (n) ตามลักษณะของเศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction) ดังนี้
 - 2.1 เศษส่วนการสุ่มไม่เกิน 5%

| | |
|-------------------------|-----------------------------|
| ก. N = 40, n = 2 | ง. N = 1,500, n = 69 และ 74 |
| ข. N = 75, n = 2 และ 3 | จ. N = 1,725, n = 83 และ 86 |
| ค. N = 100, n = 4 และ 5 | |

2.2 เศษส่วนการสุ่มมากกว่า 5%

ก. $N = 25, n = 3$ และ 4

ง. $N = 100, n = 25$ และ 30

ข. $N = 40, n = 9$ และ 12

จ. $N = 1,500, n = 460$ และ 515

ค. $N = 75, n = 4$ และ 5

ฉ. $N = 1,725, n = 520$ และ 535

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้ คือ

1. ได้รับความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบชนิดต่างๆ
2. สามารถเลือกใช้เทคนิคการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบที่เหมาะสมกับข้อมูลและมีประสิทธิภาพ

การตรวจเอกสาร

การวิจัยเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมชนิดต่างๆ และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ผู้วิจัยขอเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ชนิดของประชากร (Type of population)

สุชาดา (2538) กล่าวว่า ลักษณะของประชากรมีอิทธิพลต่อการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเป็นอย่างมากเพราะถ้าหากไม่ตระหนักถึงชนิดหรือลักษณะของประชากรที่จะทำการสุ่มแล้ว อาจทำให้ตัวอย่างที่สุ่มได้ขาดความเที่ยงตรงและเชื่อมั่น ทั้งนี้ประชากรที่จะพิจารณามักเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นบ่อยพอสมควร โดยจำแนกตามลักษณะของข้อมูลได้ 4 ชนิด คือ

1.1 ประชากรที่มีการจัดเรียงลำดับอย่างสุ่ม (Random) หมายถึง ประชากรที่ได้รับการให้เลขที่หรือลำดับที่กับหน่วยต่างๆ ในประชากรนั้นกระทำในลักษณะสุ่ม ทำให้ค่าของตัวแปรที่สนใจในหน่วยต่างๆ ไม่มีความสัมพันธ์กับลำดับที่ในรูปแบบใดๆ หรือกล่าวได้ว่าการเรียงลำดับของหน่วยตัวอย่างเป็นอิสระจากตัวแปรที่ศึกษา เช่น การศึกษาสภาพทางเศรษฐกิจของเกษตรกร โดยจัดเรียงลำดับเกษตรกรตามบ้านเลขที่ของแต่ละหมู่บ้าน การสำรวจรายได้ของครัวเรือนของนิสิตที่มีการเรียงรายชื่อไว้ตามเลขประจำตัว หรือการสำรวจความคิดเห็นของข้าราชการในหน่วยงานที่เรียงรายชื่อไว้ตามตัวอักษร เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้ การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบจะให้ตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการเลือกตัวอย่างแบบง่าย

1.2 ประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น (Linear trend) หมายถึง ประชากรที่ประกอบด้วยหน่วยตัวอย่างที่มีการจัดเรียงลำดับตามลักษณะที่ต้องการศึกษา โดยเรียงลำดับค่าข้อมูลของหน่วยตัวอย่างจากมากไปหาน้อยหรือน้อยไปหามากก็ได้ หรือกล่าวได้ว่า ลำดับที่และค่าข้อมูลของหน่วยตัวอย่างต้องมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้น โดย ถ้า i คือ ลำดับที่ของหน่วย, y_i คือ ค่าของหน่วยลำดับที่ i และ α, β คือ ค่าคงที่ แล้ว y_i ต้องมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ i ดังสมการ $y_i = \alpha + \beta i$

ลักษณะของประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น เช่น ในการศึกษาคะแนนเฉลี่ยวิชาหลักสถิติของนิสิตคณะวิทยาศาสตร์ นำรายชื่อนิสิตคณะวิทยาศาสตร์ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาหลักสถิติมาเรียงลำดับตามเกรดเฉลี่ยสะสมของนิสิต จะพบว่า คะแนนสอบวิชาหลักสถิติและเกรดเฉลี่ยสะสมของนิสิตย่อมมีความสัมพันธ์กัน สำหรับการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบจากประชากรลักษณะนี้จะให้ตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบง่าย เนื่องจากหน่วยต่างๆ ในตัวอย่างที่เป็นไปได้แต่ละชุดเป็นตัวแทนจากทุกช่วงของประชากร

1.3 ประชากรที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเป็นรอบ (Periodic variation) หมายถึง ประชากรที่ประกอบด้วยหน่วยตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (Seasonal variation) หรือมีค่าของตัวแปรมาก ปานกลาง น้อย เรียงเป็นวัฏจักร กล่าวคือ ถ้า i คือ ลำดับที่ของหน่วย, y_i คือ ค่าของหน่วยลำดับที่ i แล้ว y_i จะมีความสัมพันธ์กับ i ดังสมการ $y_i = \sin\left(\frac{\pi(i-1)}{4}\right)$

จากสมการค่า y_i จะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นรอบๆ ตาม sin curve ตัวอย่างของประชากรที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเป็นรอบ เช่น จำนวนห้องในโรงแรมตามสถานที่ท่องเที่ยวที่มีผู้เข้าพักในแต่ละวัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามวันของสัปดาห์เป็นรอบๆ หรือ ยอดขายเครื่องปรับอากาศของห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่งในแต่ละปี โดยยอดขายเครื่องปรับอากาศจะสูงสุดในเดือนเมษายนและค่อยๆ ลดลงจนมียอดขายต่ำสุดในเดือนธันวาคมของทุกปี ในกรณีเช่นนี้ การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบจะให้ตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับช่วงการสุ่ม (k) หากเลือกช่วงการสุ่มเท่ากับความกว้างของช่วงพอดีจะให้ตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ด้อยไปกว่าหรือสูงกว่าความเป็นจริง ดังนั้น หากต้องการศึกษากับลักษณะประชากรเช่นนี้ ผู้ทำการวิจัยควรพิจารณาเลือกช่วงการสุ่ม (k) ที่เหมาะสม เพื่อที่จะทำให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ดีของประชากร

1.4 ประชากรที่มีอัตราสัมพันธ์ (Autocorrelation) หมายถึง ประชากรที่หน่วยในตำแหน่งที่ต่างกันมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในระดับต่างๆ เช่น หน่วยที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันมีค่าคล้ายคลึงกันมากกว่าหน่วยที่อยู่ห่างไกลออกไป เป็นต้น ลักษณะเช่นนี้มักปรากฏในประชากรธรรมชาติ (Natural populations) เช่น ปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่สองพื้นที่บริเวณใกล้เคียงย่อมใกล้เคียงกันมากกว่าปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ที่ห่างไกลออกไปมากๆ เป็นต้น

2. การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบ (Systematic Sampling)

ในบางกรณีประชากรที่ต้องการศึกษามีขนาดใหญ่มาก ทำให้ไม่สามารถสร้างกรอบตัวอย่างที่สมบูรณ์ได้ หรือถึงแม้สามารถสร้างกรอบตัวอย่างที่สมบูรณ์ได้แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเวลาเป็นอย่างมาก ดังนั้น ผู้วิจัยอาจเลือกใช้วิธีการเลือกตัวอย่างที่ง่ายและสะดวกกับลักษณะประชากรเช่นนี้ วิธีการเลือกตัวอย่างที่เหมาะสม คือ วิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบ

การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบ คือ การเลือกหน่วยตัวอย่างขนาด n จากประชากรที่มีอยู่อย่างจำกัดขนาด N ที่ได้มีการจัดเรียงลำดับอย่างเป็นระบบไว้เรียบร้อยแล้ว เช่น การเก็บข้อมูลจากบ้านหลังแรกและทุกๆ บ้านหลังที่หกถัดไป หรือการคัดเลือกรายชื่อ นิสิตตามรหัสประจำตัว นิสิตโดยเริ่มต้นจากคนที่ห้าและนับถัดไปทุกๆ เจ็ดคน จนครบตามขนาดตัวอย่างที่ต้องการ เป็นต้น วิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบมีหลักการดังต่อไปนี้

- 1) กำหนดหมายเลขให้กับประชากรตั้งแต่หมายเลข 1 ถึง N
- 2) หาช่วงห่างระหว่างสมาชิกที่ถูกสุ่มหรือช่วงการสุ่ม (k) โดยนำขนาดประชากร (N) หารด้วยขนาดตัวอย่าง (n) นั่นคือ $k = \frac{N}{n}$ โดยที่ k เป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ 2 ที่มีค่าใกล้เคียง $\frac{N}{n}$ มากที่สุด
- 3) หาหน่วยตัวอย่างแรกที่ถูกสุ่มหรือจุดสุ่มเริ่มต้น (i) โดยผู้วิจัยทำการเลือกหมายเลขระหว่าง 1 ถึง k อาจทำได้โดยวิธีการจับสลากหรือใช้ตารางเลขสุ่ม
- 4) หน่วยตัวอย่างที่ i จะได้รับเลือกมาเป็นหน่วยตัวอย่างเริ่มแรกในกลุ่มตัวอย่าง หน่วยตัวอย่างถัดไป คือ หน่วยตัวอย่างที่ $i+k, i+2k, i+3k, \dots, i+(n-1)k$

การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบ นับเป็นวิธีการเลือกตัวอย่างที่สามารถนำไปใช้ในหลายกรณี ที่การสร้างกรอบสำหรับเลือกตัวอย่างกระทำได้ยาก หรือไม่สามารกระทำได้ด้วยเหตุต่างๆ เช่น การสำรวจตัวอย่างเกี่ยวกับรถยนต์ที่วิ่งผ่านถนนช่วงหนึ่งหรือผ่านเมืองๆ หนึ่ง จะเห็นได้ว่าการหากรอบตัวอย่างของรถยนต์ดังกล่าวเป็นสิ่งที่ไม่ได้เลย แต่ถ้าผู้สำรวจใช้วิธีการเลือก

ตัวอย่างแบบมีระบบโดยการเลือกตัวอย่างรถยนต์ที่ผ่านตามาตามเส้นทางดังกล่าวในสัดส่วนที่ต้องการ เช่น เลือกตัวอย่างแบบมีระบบขนาด 1 ใน 10 ก็ย่อมสามารถกระทำได้นอกจากนี้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบยังเป็นวิธีที่ทำความเข้าใจและสามารถปฏิบัติในงานสนามได้โดยง่าย จึงทำให้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบนี้เป็นที่นิยมใช้ในหลายๆ สถานการณ์ อีกทั้งการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบยังสามารถนำไปใช้ประกอบกับวิธีการเลือกตัวอย่างแบบอื่นๆ ได้อีกด้วย

การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบสามารถกระทำได้หลายวิธี ได้แก่

2.1 การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น (Linear Systematic Sampling : LSY)

กระบวนการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบที่นับว่ามีขั้นตอนการเลือกตัวอย่างที่ง่ายที่สุดคือ การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น โดยเป็นการเลือกหน่วยตัวอย่างขนาด n จากประชากรขนาด N และนำหน่วยตัวอย่างของประชากรซึ่งประกอบด้วยหน่วยตัวอย่างที่ 1, 2, ..., N มาเรียงให้อยู่ในลักษณะเส้นตรง โดยกำหนดหมายเลขให้กับทุกหน่วยตัวอย่างอย่างชัดเจน ซึ่งขนาดประชากร (N) ต้องหารด้วยขนาดตัวอย่าง (n) ลงตัว หรือกล่าวได้ว่าหน่วยตัวอย่างทุกหน่วยของประชากรต้องกระจายอยู่ในรูป $N = nk$ ดังนั้น จำนวนชุดตัวอย่างที่เป็นไปได้ทั้งหมดคือ k ชุด แต่ละชุดมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ n หน่วย จากนั้นเลือกจุดสุ่มเริ่มต้น i โดยที่ $1 \leq i \leq k$

กำหนดให้

| | | |
|----------|---|--------------|
| N | = | ขนาดประชากร |
| n | = | ขนาดตัวอย่าง |
| k | = | ช่วงการสุ่ม |
| y_{ij} | แทน หน่วยตัวอย่างที่ j ในชุดตัวอย่างที่ i โดยที่ $j = 1, 2, \dots, n$ และ $i = 1, 2, \dots, k$ | |

ดังนั้น ถ้าเลือกได้ชุดตัวอย่างที่ i จะได้ว่า

ก. ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

$$\bar{y}_{sy} = \bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}$$

ข. ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

1) สูตรที่ 1

$$\text{Var}(\bar{y}_{sy}) = \left(\frac{N-1}{N} \right) S^2 - \frac{k(n-1)}{N} S_{wsy}^2$$

โดยที่

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \mu)^2 \quad \text{เมื่อ } \mu \text{ แทนค่าเฉลี่ยประชากร}$$

$$\text{และ } S_{wsy}^2 = \frac{1}{k(n-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

เมื่อ S_{wsy}^2 คือ ความแปรปรวนของหน่วยตัวอย่างที่อยู่ภายในชุดตัวอย่างเดียวกัน

2) สูตรที่ 2

$$\text{Var}(\bar{y}_{sy}) = \left(\frac{N-1}{N} \right) \frac{S^2}{n} (1 - (n-1)\rho_w)$$

โดยที่

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \mu)^2$$

$$\text{และ } \rho_w = \frac{2}{(n-1)(N-1)S^2} \sum_{i=1}^k \sum_{j < u}^n (y_{ij} - \mu)(y_{iu} - \mu)$$

เมื่อ μ แทนค่าเฉลี่ยประชากร

ρ_w คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างหน่วยตัวอย่างที่อยู่ภายในชุดตัวอย่างเดียวกัน

ในงานวิจัยบางครั้งจะพบว่าขนาดประชากร (N) หาดด้วยขนาดตัวอย่าง (n) ไม่ลงตัว กล่าวคือ $N \neq nk$ ดังนั้น ถ้าใช้การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นจะได้ขนาดตัวอย่างในแต่ละชุดไม่เท่ากัน เช่น $N = 11, n = 4$ จะได้ว่า $\frac{N}{n} = \frac{11}{4} = 2.73 \approx 3 = k$ ดังนั้น ตัวอย่างที่เป็นไปได้ในแต่ละชุดคือ (1, 4, 7, 10) (2, 5, 8, 11) และ (3, 6, 9) จากตัวอย่างพบว่าในแต่ละชุดจะได้ขนาดตัวอย่างไม่เท่ากันเมื่อ $N \neq nk$ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยตัวอย่างเป็นตัวประมาณที่เอนเอียงของค่าเฉลี่ยประชากรด้วย เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีผู้นำเสนอวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่ เรียกว่า การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม

2.2 การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม (Circular Systematic Sampling : CSY)

Lahiri (1951) เสนอวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่ เรียกว่า การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม เพื่อแก้ปัญหาค่าเฉลี่ยของขนาดประชากร N หาดด้วยขนาดตัวอย่าง n ไม่ลงตัว การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมจะทำให้ขนาดตัวอย่างที่ได้ในแต่ละชุดคงที่และค่าเฉลี่ยตัวอย่างเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของค่าเฉลี่ยประชากร

การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมจะนำสมาชิกของประชากรมาเรียงในลักษณะวงกลม จากนั้นหาช่วงการสุ่ม (k) ที่เป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ 2 ที่มีค่าใกล้เคียง $\frac{N}{n}$ มากที่สุด เลือกจุดสุ่มเริ่มต้น i โดยที่ $1 \leq i \leq N$ ดังนั้น จำนวนชุดตัวอย่างที่เป็นไปได้ทั้งหมดคือ N ชุด แต่ละชุดมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ n หน่วย ซึ่งจะประกอบด้วยหน่วยตัวอย่างที่กำหนดโดย

$$i + mk \quad ; \quad 1 \leq i + mk \leq N$$

$$\text{และ} \quad i + mk - N \quad ; \quad N < i + mk \quad \text{โดยที่} \quad m = 0, 1, \dots, n-1$$

กำหนดให้ $N =$ ขนาดประชากร

$n =$ ขนาดตัวอย่าง

k = ช่วงการสุ่ม

y_{ij} แทน หน่วยตัวอย่างที่ j ในชุดตัวอย่างที่ i โดยที่ $j = 1, 2, \dots, n$

และ $i = 1, 2, \dots, N$

ดังนั้น ถ้าเลือกได้ชุดตัวอย่างที่ i จะได้ว่า

ก. ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

$$\bar{y}_{sy} = \bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}$$

ข. ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

1) สูตรที่ 1

$$\text{Var}(\bar{y}_{sy}) = \left(\frac{N-1}{N} \right) S^2 - \frac{k(n-1)}{N} S_{wsy}^2$$

โดยที่

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \mu)^2 \text{ เมื่อ } \mu \text{ แทนค่าเฉลี่ยประชากร}$$

$$\text{และ } S_{wsy}^2 = \frac{1}{k(n-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

เมื่อ S_{wsy}^2 คือ ความแปรปรวนของหน่วยตัวอย่างที่อยู่ภายในชุดตัวอย่างเดียวกัน

2) สูตรที่ 2

$$\text{Var}(\bar{y}_{sy}) = \left(\frac{N-1}{N} \right) \frac{S^2}{n} (1 - (n-1)\rho_w)$$

โดยที่

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \mu)^2$$

$$\text{และ } \rho_w = \frac{2}{(n-1)(N-1)S^2} \sum_{i=1}^k \sum_{j < u}^n (y_{ij} - \mu)(y_{iu} - \mu)$$

เมื่อ μ แทนค่าเฉลี่ยประชากร

ρ_w คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างหน่วยตัวอย่างที่อยู่ภายในชุดตัวอย่างเดียวกัน

2.3 การเลือกตัวอย่างแบบ Balanced Circular Systematic Sampling (BC) และ Centered Circular Systematic Sampling (CC)

ในปี ค.ศ.1998 Uthayakumaran ได้คิดค้นวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่ขึ้นมาให้ชื่อว่า Balanced Circular Systematic Sampling และ Centered Circular Systematic Sampling เพื่อใช้กับประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้นหรือประชากรที่มีแนวโน้มพาราโบลา พร้อมทั้งนำเสนอวิธีการหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบใหม่เรียกว่า Corrected sample mean มาใช้กับวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่นี้ ซึ่งจะหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างเท่ากับค่าเฉลี่ยประชากร มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 Balanced Circular Systematic Sampling (BC)

กำหนดขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็น N และ n ตามลำดับ โดยที่ n ต้องเป็นจำนวนคู่ ช่วงการสุ่ม $k = \text{INT}\left(\frac{N}{n}\right)$ เป็นจำนวนเต็มที่ทำหารตัดเศษทิ้ง เลือกจุดสุ่มเริ่มต้น i โดยที่ $1 \leq i \leq N$ หน่วยตัวอย่าง n หน่วยที่ได้ จะประกอบด้วยหน่วยตัวอย่างที่กำหนดโดย label1 และ label2 เมื่อ

$$\text{label1} = \begin{cases} i+2(j-1)k & ; 1 \leq i+2(j-1)k \leq N \\ i+2(j-1)k-N & ; i+2(j-1)k > N \end{cases} \text{ โดยที่ } j=1,2,\dots,\frac{n}{2}$$

$$\text{และ label2} = \begin{cases} 2jk-i+1+N & ; 2jk-i+1 < 1 \\ 2jk-i+1 & ; 1 \leq 2jk-i+1 \leq N \end{cases} \text{ โดยที่ } j=1,2,\dots,\frac{n}{2}$$

สำหรับตัวอย่างการเลือกตัวอย่างแสดงไว้ในภาคผนวก ก

2.3.2 Centered Circular Systematic Sampling (CC)

กำหนดขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็น N และ n ตามลำดับ ช่วงการสุ่ม $k = \text{INT}\left(\frac{N}{n}\right)$ เป็นจำนวนเต็มที่ทำให้การตัดเศษทิ้ง จุดสุ่มเริ่มต้น i จะถูกกำหนดโดย $i = \frac{(N+1)}{2}$ เมื่อ N เป็นจำนวนคี่ และ $i = \frac{N}{2}$ เมื่อ N เป็นจำนวนคู่ ทำให้การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบด้วยวิธีนี้ถูกเรียกว่า Centered Circular Systematic Sampling เนื่องจากจุดสุ่มเริ่มต้น i เป็นหน่วยตัวอย่างที่อยู่ตรงกลางของหน่วยประชากรทั้งหมด

หน่วยตัวอย่าง n หน่วยที่ได้ จะประกอบด้วยหน่วยตัวอย่างที่กำหนดโดย

$$i+(j-1)k \quad ; \quad 1 \leq i+(j-1)k \leq N$$

$$\text{และ} \quad i+(j-1)k-N \quad ; \quad i+(j-1)k > N \quad \text{โดยที่ } j=1,2,\dots,n$$

ก. ค่าเฉลี่ยตัวอย่างสำหรับประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น

ให้ x_1, x_2, \dots, x_n เป็นหน่วยตัวอย่าง n หน่วยที่สุ่มได้และมีการจัดเรียงลำดับค่าของหน่วยตัวอย่างจากน้อยไปหามากไว้แล้ว y_i คือ ค่าของหน่วยลำดับที่ i และ α, β คือ ค่าคงที่ แล้ว y_i มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ i ดังสมการ $y_i = \alpha + \beta i$ ดังนั้นค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบ Corrected sample mean (\bar{y}_{c1}) คือ

$$\bar{y}_{c1} = \frac{1}{n} \left\{ S_{11}y_{x_1} + \sum_{j=2}^{n-1} y_{x_j} + S_{12}y_{x_n} \right\},$$

เมื่อ

y_{x_j} คือ ค่าของหน่วยลำดับที่ x_j ; $j=1,2,\dots,n$

$$S_{11} = (E_1 - 2x_n)/(x_1 - x_n),$$

$$S_{12} = (2x_1 - E_1)/(x_1 - x_n),$$

$$E_1 = n(N+1)/2 - \sum_{j=2}^{n-1} x_j$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่างแสดงไว้ในภาคผนวก ก

ข. ค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างสำหรับประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น

ในการศึกษาประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างทำโดยการคำนวณค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างสำหรับตัวแบบอภิประชากร (super population models) ซึ่งประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น จะมีตัวแบบอภิประชากรที่กำหนดโดย

$$y_i = \alpha + \beta i + e_i ; i = 1, 2, \dots, N$$

เมื่อ $E(e_i) = 0$, $E(e_i^2) = \sigma^2 i^g$,

$$E(e_i e_j) = 0 , i \neq j = 1, 2, \dots, N$$

และ g คือ ค่าคงที่ที่ถูกกำหนดขึ้น (predetermined constant)
โดยที่ $g \geq 0$

ค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

$$E(\text{Var}(\bar{y}_{c1})) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\sigma^2}{n^2} \left[S_{11}x_1^g + \sum_{j=2}^{n-1} x_j^g + S_{12}x_n^g \right] + \frac{\sigma^2}{N^2} \sum_{j=1}^N j^g \right. \\ \left. - \frac{2\sigma^2}{Nn} \left[S_{11}x_1^g + \sum_{j=2}^{n-1} x_j^g + S_{12}x_n^g \right] \right\}$$

เมื่อ

x_j คือ หน่วยตัวอย่างที่ j ; $j=1,2,\dots,n$

$$S_{11} = (E_1 - 2x_n)/(x_1 - x_n),$$

$$S_{12} = (2x_1 - E_1)/(x_1 - x_n),$$

$$E_1 = (n(N+1)/2) - \sum_{j=2}^{n-1} x_j$$

2.4 การเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling (MBC)
Centered Balanced Circular Systematic Sampling และ Modified Centered Circular Systematic
Sampling (MCC)

Leu and Kao (2006) นำเสนอการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และ MCC เพื่อใช้กับประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้นหรือประชากรที่มีแนวโน้มพาราโบลา โดยพัฒนามาจากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี BC และ CC ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างด้วยวิธีปกติ (\bar{y}) ได้ในบางกรณี โดยไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบ Corrected sample mean เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น ซึ่งจะให้ค่าเฉลี่ยตัวอย่างเท่ากับค่าเฉลี่ยประชากร ได้เช่นเดียวกัน มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 Modified Balanced Circular Systematic Sampling (MBC)

กำหนดขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็น N และ n ตามลำดับ ช่วงการ
สุ่ม $k = \text{INT}\left(\frac{N}{n}\right)$ เป็นจำนวนเต็มที่ทำการตัดเศษทิ้ง เลือกจุดสุ่มเริ่มต้น i โดยที่ $1 \leq i \leq N$

- 1) ถ้า n เป็นจำนวนคู่ หน่วยตัวอย่าง n หน่วยที่ได้ จะประกอบด้วยหน่วยตัวอย่างที่กำหนดโดย $label1$ และ $label2$ เมื่อ

$$label1 = \begin{cases} i+2(j-1)k & ; 1 \leq i+2(j-1)k \leq N \\ i+2(j-1)k-N & ; N < i+2(j-1)k \end{cases} \text{ โดยที่ } j=1,2,\dots,\frac{n}{2}$$

$$\text{และ } label2 = \begin{cases} N-i-2(j-1)k+1 & ; 1 \leq i+2(j-1)k-1 < N \\ 2N-i-2(j-1)k+1 & ; N \leq i+2(j-1)k-1 \end{cases} \text{ โดยที่ } j=1,2,\dots,\frac{n}{2}$$

- 2) ถ้า n เป็นจำนวนคี่ หน่วยตัวอย่าง $n-1$ หน่วยที่ได้ จะประกอบด้วยหน่วยตัวอย่างที่กำหนดโดย $label1$ และ $label2$ เมื่อ

$$label1 = \begin{cases} i+2(j-1)k & ; 1 \leq i+2(j-1)k \leq N \\ i+2(j-1)k-N & ; N < i+2(j-1)k \end{cases} \text{ โดยที่ } j=1,2,\dots,\frac{(n-1)}{2}$$

$$\text{และ } label2 = \begin{cases} N-i-2(j-1)k+1 & ; 1 \leq i+2(j-1)k-1 < N \\ 2N-i-2(j-1)k+1 & ; N \leq i+2(j-1)k-1 \end{cases} \text{ โดยที่ } j=1,2,\dots,\frac{(n-1)}{2}$$

และ หน่วยตัวอย่างสุดท้าย จะกำหนดโดย $label = \frac{(N+1)}{2}$ ถ้า N เป็นจำนวนคี่

และ $label = \frac{N}{2}$ ถ้า N เป็นจำนวนคู่

หมายเหตุ กรณีของการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC ที่จุดสุ่มเริ่มต้น $i = \frac{(N+1)}{2}$ เมื่อขนาดประชากรเป็นจำนวนคี่และ $i = \frac{N}{2}$ เมื่อขนาดประชากรเป็นจำนวนคู่ จะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการเลือกตัวอย่างแบบ Centered Balanced Circular Systematic Sampling (CBC)

2.4.2 Modified Centered Circular Systematic Sampling (MCC)

กำหนดขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็น N และ n ตามลำดับ ช่วงการสุ่ม $k = \text{INT}\left(\frac{N}{n}\right)$ เป็นจำนวนเต็มที่ทำให้การตัดเศษทิ้ง จุดสุ่มเริ่มต้น i จะถูกกำหนดโดย $i = \frac{(N+1)}{2}$ เมื่อ N เป็นจำนวนคี่ และ $i = \frac{N}{2}$ เมื่อ N เป็นจำนวนคู่

1) ถ้า n เป็นจำนวนคู่ หน่วยตัวอย่าง $n-1$ หน่วยที่ได้ จะประกอบด้วยหน่วยตัวอย่างที่กำหนดโดย label1 และ label2 เมื่อ

$$\text{label1} = i + (j-1)k ;$$

$$\text{label2} = i - (j-1)k \text{ โดยที่ } j=1,2,\dots,\frac{n}{2}$$

และ หน่วยตัวอย่างสุดท้าย จะกำหนดโดย $\text{label}x$ เมื่อ $x = i + \frac{nk}{2}$

2) ถ้า n เป็นจำนวนคี่ หน่วยตัวอย่าง n หน่วยที่ได้ จะประกอบด้วยหน่วยตัวอย่างที่กำหนดโดย label1 และ label2 เมื่อ

$$\text{label1} = i + (j-1)k ;$$

$$\text{label2} = i - (j-1)k \text{ โดยที่ } j=1,2,\dots,\frac{(n+1)}{2}$$

หมายเหตุ 1. ถ้า $j=1$ แล้ว $\text{label1} = \text{label2} = i$

2. ถ้าขนาดประชากร (N) หารด้วยขนาดตัวอย่าง (n) ลงตัว กล่าวคือ $N = nk$ การเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC จะให้ผลเช่นเดียวกับการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC

ก. ค่าเฉลี่ยตัวอย่างสำหรับประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น

ให้ x_1, x_2, \dots, x_n เป็นหน่วยตัวอย่าง n หน่วยที่สุ่มได้และมีการจัดเรียงลำดับค่าของหน่วยตัวอย่างจากน้อยไปหามากไว้แล้ว y_i คือ ค่าของหน่วยลำดับที่ i และ α, β คือ ค่าคงที่ แล้ว y_i มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ i ดังสมการ $y_i = \alpha + \beta i$ การหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างด้วยวิธีปกติ \bar{y} เมื่อ $\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n$ จะให้ค่าเฉลี่ยตัวอย่างเท่ากับค่าเฉลี่ยประชากร เมื่อทำการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC สำหรับ N เป็นจำนวนคี่ หรือ n เป็นจำนวนคู่ หรือทำการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC สำหรับ N และ n เป็นจำนวนคี่ ส่วน N หรือ n ในกรณีอื่นๆ สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างให้เท่ากับค่าเฉลี่ยประชากรได้ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยแบบ Corrected sample mean (\bar{y}_{c1}) โดย

$$\bar{y}_{c1} = \frac{1}{n} \left\{ S_{11}y_{x_1} + \sum_{j=2}^{n-1} y_{x_j} + S_{12}y_{x_n} \right\}$$

เมื่อ

y_{x_j} คือ ค่าของหน่วยลำดับที่ x_j ; $j = 1, 2, \dots, n$

$$S_{11} = (E_1 - 2x_n) / (x_1 - x_n),$$

$$S_{12} = (2x_1 - E_1) / (x_1 - x_n),$$

$$E_1 = n(N+1)/2 - \sum_{j=2}^{n-1} x_j$$

ข. ค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างสำหรับประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น

ในการศึกษาประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างทำโดยการคำนวณค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างสำหรับตัวแบบอภิประชากร (super population models) ซึ่งประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น จะมีตัวแบบอภิประชากรที่กำหนดโดย

$$y_i = \alpha + \beta i + e_i ; i = 1, 2, \dots, N$$

$$\text{เมื่อ } E(e_i) = 0, \quad E(e_i^2) = \sigma^2 i^g,$$

$$E(e_i e_j) = 0, \quad i \neq j = 1, 2, \dots, N$$

และ g คือ ค่าคงที่ที่ถูกกำหนดขึ้น (predetermined constant)

โดยที่ $g \geq 0$

ในกรณีทำการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC สำหรับ N เป็นจำนวนคี่ หรือ n เป็นจำนวนคู่ หรือทำการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC สำหรับ N และ n เป็นจำนวนคี่ ค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างสามารถหาได้จาก

$$E(\text{Var}(\bar{y})) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma^2 \left[\frac{1}{n} \left(\frac{1}{n} - \frac{2}{N} \right) \sum_{j=1}^n x_j^g + \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^N j^g \right]$$

โดยที่ x_j คือ หน่วยตัวอย่างที่ j ; $j = 1, 2, \dots, n$

ส่วน N และ n ในกรณีอื่นๆ สามารถหาค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้จาก

$$E(\text{Var}(\bar{y}_{c1})) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma^2 \left\{ \frac{1}{n^2} \left[S_{11}^2 x_1^g + \sum_{j=2}^{n-1} x_j^g + S_{12}^2 x_n^g \right] + \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^N j^g \right. \\ \left. - \frac{2}{Nn} \left[S_{11} x_1^g + \sum_{j=2}^{n-1} x_j^g + S_{12} x_n^g \right] \right\}$$

เมื่อ

x_j คือ หน่วยตัวอย่างที่ j ; $j = 1, 2, \dots, n$

$$S_{11} = (E_1 - 2x_n) / (x_1 - x_n),$$

$$S_{12} = (2x_1 - E_1) / (x_1 - x_n),$$

$$E_1 = (n(N+1))/2 - \sum_{j=2}^{n-1} x_j$$

3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณ

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า 2 ตัว สามารถวัดได้ด้วยค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ (Relative Efficiency : RE) ถ้ากำหนดให้ $\hat{\theta}_1$ และ $\hat{\theta}_2$ เป็นตัวประมาณค่าของพารามิเตอร์ θ ประสิทธิภาพของตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ เทียบกับ $\hat{\theta}_2$ คือ

$$RE = \frac{MSE(\hat{\theta}_1)}{MSE(\hat{\theta}_2)}$$

โดยที่ $MSE(\hat{\theta})$ คือ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Square Error) ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$MSE(\hat{\theta}) = \frac{\sum_{r=1}^s (\hat{\theta}_r - \theta)^2}{s}$$

เมื่อ

s คือ จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ

$\hat{\theta}_r$ คือ ค่าประมาณของค่าพารามิเตอร์ θ ในการทดลองซ้ำครั้งที่ r

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณ สรุปดังนี้

$RE > 1$ แสดงว่า $MSE(\hat{\theta}_1) > MSE(\hat{\theta}_2)$ นั่นคือ ตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองมากกว่าตัวประมาณ $\hat{\theta}_2$ ดังนั้น ตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ จึงเป็นตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าตัวประมาณ $\hat{\theta}_2$

$RE = 1$ แสดงว่า $MSE(\hat{\theta}_1) = MSE(\hat{\theta}_2)$ นั่นคือ ตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับตัวประมาณ $\hat{\theta}_2$ ดังนั้น ตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ และตัวประมาณ $\hat{\theta}_2$ มีประสิทธิภาพเท่ากัน

$RE < 1$ แสดงว่า $MSE(\hat{\theta}_1) < MSE(\hat{\theta}_2)$ นั่นคือ ตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยกว่าตัวประมาณ $\hat{\theta}_2$ ดังนั้น ตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ จึงเป็นตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวประมาณ $\hat{\theta}_2$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุกัญญรัตน์ (2539) ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างสุ่มแบบหลายขั้นตอนระหว่างวิธีสุ่มแบบง่ายกับวิธีสุ่มแบบมีระบบ คุณสมบัติตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ ความไม่เอนเอียง ความคงเส้นคงวา และความมีประสิทธิภาพของค่าประมาณมัชฌิมเลขคณิตและค่าประมาณความแปรปรวนของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ จากวิธีการสุ่มตัวอย่างหลายขั้นตอน ที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ วิธีสุ่มแบบแบ่งชั้น วิธีสุ่มแบบแบ่งชั้น 2 ระยะ และวิธีสุ่มแบบตามกลุ่ม โดยที่แต่ละวิธีมีวิธีสุ่มตัวอย่างย่อยที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ วิธีสุ่มแบบง่าย และวิธีสุ่มแบบมีระบบ รวมมีวิธีสุ่มทั้งหมด 6 วิธีด้วยระดับความเชื่อมั่นที่แตกต่างกัน 3 ระดับคือ 90%, 95% และ 99% ทำให้ได้ขนาดตัวอย่างที่เกิดจากการกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่แตกต่างกัน 3 กลุ่ม คือ 785 คน 1,070 คน และ 1,664 คน ประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานการประถมศึกษากรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2536 จำนวน 7,298 คน ดำเนินการสุ่มตัวอย่างในแต่ละวิธีและแต่ละขนาดกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้คอมพิวเตอร์กระทำการสุ่มซ้ำ 1,000 ครั้ง ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ 1. ทุกวิธีการสุ่มตัวอย่าง ให้ค่าประมาณที่มีคุณสมบัติด้านความไม่เอนเอียง ยกเว้น วิธีสุ่มแบบตามกลุ่มทั้งที่สุ่มตัวอย่างย่อยแบบง่ายและแบบมีระบบ ที่ขนาดตัวอย่าง 785 คน ให้ค่าประมาณที่เอนเอียง 2. ทุกวิธีการสุ่มตัวอย่าง ให้ค่าประมาณที่มีคุณสมบัติด้านความคงเส้นคงวา 3. วิธีการสุ่มแบบแบ่งชั้นและสุ่มตัวอย่างย่อยแบบมีระบบ ให้ค่าประมาณที่มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมา ได้แก่วิธีการสุ่มแบบแบ่งชั้นและสุ่มตัวอย่างย่อยแบบง่าย วิธีสุ่มแบบแบ่งชั้น 2 ระยะและสุ่มตัวอย่างย่อยแบบมีระบบ วิธีสุ่มแบบแบ่งชั้น 2 ระยะและสุ่มตัวอย่างย่อยแบบง่าย วิธีสุ่มแบบตามกลุ่มและสุ่มตัวอย่างย่อยแบบง่ายและวิธีสุ่มแบบตามกลุ่มและสุ่มตัวอย่างย่อยแบบมีระบบ ให้ค่าประมาณที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด 4. วิธีสุ่มตัวอย่างย่อยแบบมีระบบ ให้ค่าประมาณที่มีคุณสมบัติในการประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้งสามด้านสูงกว่าค่าประมาณจากวิธีสุ่มตัวอย่างย่อยแบบง่าย เมื่อใช้วิธีสุ่มตัวอย่างในหน่วยใหญ่แบบแบ่งชั้นและแบบแบ่งชั้น 2 ระยะ แต่เมื่อสุ่มด้วยวิธีการสุ่มแบบตามกลุ่มพบว่า วิธีสุ่มตัวอย่างย่อยแบบง่ายจะให้ค่าประมาณที่มีคุณสมบัติในการประมาณค่าพารามิเตอร์สูงกว่า ค่าประมาณจากวิธีสุ่มตัวอย่างย่อยแบบมีระบบ

ชรินทร์ และ อำนวย (2540) ศึกษาเปรียบเทียบการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ 3 วิธี ได้แก่ การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดวงกลม การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่ และการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดสองเชิงเส้น โดยใช้ประชากรธรรมชาติ 2 ประชากร คือ ผลผลิตข้าวรายจังหวัด ปีเพาะปลูก 2535/36 และจำนวนสหกรณ์การเกษตร จำแนกตามจังหวัด ปี 2535/36 โดยแต่ละวิธีใช้ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 12 ถึง 30 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง หรือ CV ในแต่ละวิธีจากประชากรทั้งสองมีลักษณะคล้ายกัน ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเมื่อสุ่มแบบมีระบบชนิดใหม่จะมีค่ามากที่สุดไม่ว่าขนาดตัวอย่างจะเป็นเท่าไร ในกรณีตัวอย่างมีขนาดเล็ก ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะมีค่ามากในทุกวิธี แต่การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดวงกลมและชนิดสองเชิงเส้น เมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่ โดยภาพรวมแล้ว ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเมื่อสุ่มแบบมีระบบชนิดสองเชิงเส้นจะมีค่าน้อยที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อเศษส่วนการสุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 39% ขึ้นไป ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเมื่อสุ่มแบบมีระบบชนิดวงกลมและสุ่มแบบมีระบบชนิดใหม่มีขนาดพอๆ กัน

จามรี (2543) ศึกษาเปรียบเทียบการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ 4 วิธี คือ การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดเชิงเส้น การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดวงกลม การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดสองเชิงเส้น และการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่ โดยจำลองข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติจากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS และกำหนดขนาดประชากรเท่ากับ 20, 30, 50, 70 และ 100 จากประชากรข้างต้นแจกแจงขนาดตัวอย่างที่เป็นไปได้ทั้งหมดตามข้อกำหนดของการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบทั้ง 4 วิธี พบว่า การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดเชิงเส้น ชนิดวงกลม ชนิดสองเชิงเส้น และชนิดใหม่ ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์ความผันแปร จะเปลี่ยนแปลงอย่างไร้รูปแบบที่ชัดเจน แต่มีแนวโน้มที่ลดลงสำหรับประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดเชิงเส้นและชนิดวงกลมนั้น ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากัน ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์ความผันแปรจะเท่ากัน ซึ่งหมายความว่า การสุ่มตัวอย่างทั้งสองวิธีดังกล่าว ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะมีประสิทธิภาพเท่ากัน สำหรับประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดเชิงเส้นและชนิดสองเชิงเส้นนั้น ไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากเมื่อแจกแจงขนาดตัวอย่างที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทั้งสองวิธีไม่มีขนาดตัวอย่างที่เท่ากัน สำหรับประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดวงกลมและชนิดสองเชิงเส้นนั้น ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากัน ไม่สามารถสรุปได้ว่าการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิด

ใดมีประสิทธิภาพมากกว่ากัน และสำหรับประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่นั้น เมื่อแจกแจงขนาดตัวอย่างที่เป็นไปได้ทั้งหมด จะได้ขนาดตัวอย่างที่มีค่าซ้ำกันหลายค่า ดังนั้นที่ n เท่ากัน ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างมีค่าแตกต่างกัน นั่นคือที่ขนาดตัวอย่างเท่ากัน จึงไม่สามารถเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างกับการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดอื่นได้

ชาติไทย (2551) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสุ่มตัวอย่างแบบง่ายและการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบ ในการสำรวจกลุ่มอุตสาหกรรมประเทศไทย โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ 2 ชั้นภูมิสุ่มตัวอย่างย่อยแบบการสุ่มตัวอย่างเป็นระบบแบบวงกลมและการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย โดยจัดแบ่งชั้นภูมิออกเป็น 6 ชั้นภูมิตามประเภทอุตสาหกรรมตามกิจกรรมทางเศรษฐกิจหรือ ISIC Code ในแต่ละชั้นภูมิได้ทำการแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มย่อยตามขนาดของสถานประกอบการ อุตสาหกรรมการผลิตซึ่งวัดด้วยจำนวนคนทำงาน และในแต่ละกลุ่มย่อยทำการแยกโครงสร้างการผลิตออกเป็น 2 โครงสร้างการผลิต ในการสุ่มตัวอย่างเพื่อการยอมรับจะระบุถึงความน่าเชื่อถือของตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างจะระบุถึงค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของประชากร ผลการศึกษาพบว่า การสุ่มตัวอย่างจำนวนคนงานของข้อมูลการสำรวจกรมโรงงานอุตสาหกรรมปี พ.ศ.2549 กำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้แผนการสุ่มตัวอย่างเพื่อการยอมรับเชิงคู่ ระดับคุณภาพที่ยอมรับ 1.5% ช่วงความเชื่อมั่น 95% การสุ่มตัวอย่างเป็นระบบแบบวงกลมให้ผลการยอมรับมากกว่าการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างพบว่า การสุ่มตัวอย่างเป็นระบบแบบวงกลมจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างดีกว่าการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย

Singh and Singh (1977) เสนอวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่ และทำการเปรียบเทียบวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่กับการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดเชิงเส้น และการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย พบว่า ในกรณีที่มีการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดเชิงเส้นมีประสิทธิภาพดีกว่าการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย ประสิทธิภาพของการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่จะดีกว่าการสุ่มตัวอย่างแบบง่ายด้วย และในบางกรณีการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่จะให้ผลดีกว่าการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดเชิงเส้น

Uthayakumaran (1998) ศึกษาวิธีการเลือกตัวอย่างชนิดใหม่ที่มีชื่อว่า “Balanced Circular Systematic Sampling และ Centered Circular Systematic Sampling” พร้อมทั้งได้นำเสนอวิธีการ

หาค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ใช้กับวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่นี้ เรียกว่า Corrected sample mean โดยจะทำให้ค่าเฉลี่ยตัวอย่างเท่ากับค่าเฉลี่ยประชากร เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้นหรือประชากรมีแนวโน้มพาราโบลาอีกทั้งยังสามารถใช้ได้เมื่อขนาดประชากร (N) หาดด้วยขนาดตัวอย่าง (n) ไม่ลงตัว หรือ $N \neq nk$ เมื่อ k เป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ 2 ขึ้นไป ผลการศึกษาเปรียบเทียบพบว่า ถ้าลักษณะประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้นหรือประชากรมีแนวโน้มพาราโบลา การเลือกตัวอย่างแบบ Centered Circular Systematic Sampling จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมและการเลือกตัวอย่างแบบ Balanced Circular Systematic Sampling จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม

Leu and Kao (2006) ศึกษาวิธีการเลือกตัวอย่างแบบใหม่ให้ชื่อว่า “Modified Balanced Circular Systematic Sampling และ Modified Centered Circular Systematic Sampling” ที่ได้ทำการปรับปรุงจากวิธี Balanced Circular Systematic Sampling และ Centered Circular Systematic Sampling โดยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบใหม่นี้ สามารถใช้ได้เมื่อขนาดประชากร (N) หาดด้วยขนาดตัวอย่าง (n) ไม่ลงตัว และเป็นวิธีที่ทำให้ค่าเฉลี่ยตัวอย่างเท่ากับค่าเฉลี่ยประชากร เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้นหรือประชากรมีแนวโน้มพาราโบลา การหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างสามารถหาค่าเฉลี่ยด้วยวิธีปกติ (\bar{y}) ได้ในบางกรณีโดยไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยแบบ Corrected sample mean โดยผลการศึกษาพบว่า ถ้าลักษณะประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่คำนวณด้วยวิธีปกติ (\bar{y}) จะมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยประชากร เมื่อ ทำการเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling เมื่อ N เป็นจำนวนคี่ หรือ n เป็นจำนวนคู่ หรือทำการเลือกตัวอย่างแบบ Modified Centered Circular Systematic Sampling เมื่อ N และ n เป็นจำนวนคี่ สำหรับกรณีที่ประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้นหรือมีแนวโน้มพาราโบลา การเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการเลือกตัวอย่างแบบ Balanced Circular Systematic Sampling และการเลือกตัวอย่างแบบ Modified Centered Circular Systematic Sampling จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการเลือกตัวอย่างแบบ Centered Circular Systematic Sampling และถ้าลักษณะประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น การเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการเลือกตัวอย่างแบบ Centered Circular Systematic Sampling เมื่อค่าคงที่ในตัวแบบเป็นศูนย์ แต่ถ้าลักษณะประชากรมีแนวโน้มพาราโบลา การเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการเลือกตัวอย่างแบบ Centered Circular Systematic Sampling เมื่อ n เป็นจำนวนคี่

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ PC Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E7500 Microsoft Window XP
2. โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SAS 9.1

วิธีการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาด้วยการจำลองข้อมูลประชากรและเขียนคำสั่งเพื่อทำการเลือกตัวอย่าง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SAS 9.1 มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ศึกษาวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบ ดังต่อไปนี้
 - 1.1 การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น (Linear Systematic Sampling : LSY)
 - 1.2 การเลือกตัวอย่างแบบ Balanced Circular Systematic Sampling (BC)
 - 1.3 การเลือกตัวอย่างแบบ Centered Circular Systematic Sampling (CC)
 - 1.4 การเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling (MBC)
 - 1.5 การเลือกตัวอย่างแบบ Modified Centered Circular Systematic Sampling (MCC)
2. จำลองข้อมูลประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้นตามตัวแบบอภิประชากร (super population models) ดังนี้

$$y_i = \alpha + \beta i + e_i ; i = 1, 2, \dots, N$$

เมื่อ $E(e_i) = 0 , \quad E(e_i^2) = \sigma^2 i^g ,$

$$E(e_i e_j) = 0 , \quad i \neq j = 1, 2, \dots, N$$

และ g คือ ค่าคงที่ที่ถูกระบุกำหนดขึ้น (predetermined constant)

โดยที่ $g \geq 0$

โดยในที่นี้จะทำการจำลองค่า e_i ดังต่อไปนี้

2.1 e_i มีการแจกแจงแบบปกติ

2.2 ค่าเฉลี่ยของ e_i เท่ากับ 0 นั่นคือ $E(e_i) = 0$

2.3 ความแปรปรวนของ e_i เท่ากับ i^g นั่นคือ $\text{Var}(e_i) = i^g$ (กำหนดให้ $\sigma^2 = 1$)

$$\text{เนื่องจาก } \text{Var}(e_i) = E(e_i^2) - [E(e_i)]^2 = E(e_i^2) - 0^2 = E(e_i^2) = \sigma^2 i^g = i^g$$

2.4 ความแปรปรวนร่วมของ e_i กับ e_j เท่ากับ 0

$$\text{cov}(e_i, e_j) = 0 ; i \neq j = 1, 2, \dots, N \text{ หรือ } e_i \text{ และ } e_j \text{ เป็นอิสระต่อกัน}$$

$$\text{เนื่องจาก } \text{cov}(e_i, e_j) = E(e_i e_j) - E(e_i)E(e_j) = E(e_i e_j) - (0)(0) = E(e_i e_j) = 0$$

2.5 กำหนดค่า g ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่อยู่ในตัวแบบคือ $g = 0, 1$ และ 2

2.6 กำหนดให้ค่า $\alpha = 2$ และ $\beta = -10, 10$ ดังนั้นตัวแบบอภิประชากรที่ทำการศึกษามี 2 ตัวแบบ คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และ $y_i = 2 + 10i + e_i$

3. ในแต่ละตัวแบบที่ทำการจำลองขึ้น กำหนดขนาดประชากร (N) และขนาดตัวอย่าง (n) ตามลักษณะของเศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction) ดังนี้

3.1 เศษส่วนการสุ่มไม่เกิน 5%

ก. $N = 40, n = 2$

ง. $N = 1,500, n = 69$ และ 74

ข. $N = 75, n = 2$ และ 3

จ. $N = 1,725, n = 83$ และ 86

ค. $N = 100, n = 4$ และ 5

3.2 เศษส่วนการสุ่มมากกว่า 5%

ก. $N = 25, n = 3$ และ 4ง. $N = 100, n = 25$ และ 30ข. $N = 40, n = 9$ และ 12จ. $N = 1,500, n = 460$ และ 515ค. $N = 75, n = 4$ และ 5ฉ. $N = 1,725, n = 520$ และ 535

4. ทำการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมทั้ง 4 วิธีและการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นและคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่างจากทุกๆ ตัวแบบอภิประชากรและทุกๆ ขนาดประชากร (N) และขนาดตัวอย่าง (n) ตามที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น โดยการเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SAS 9.1 ดำเนินการเลือกหน่วยตัวอย่างตามข้อกำหนดที่ระบุและคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

5. จากขั้นตอนที่ 4 ทำการทดลองซ้ำจำนวน 1,000 ครั้ง

6. คำนวณค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบทั้ง 5 วิธี จากสูตร

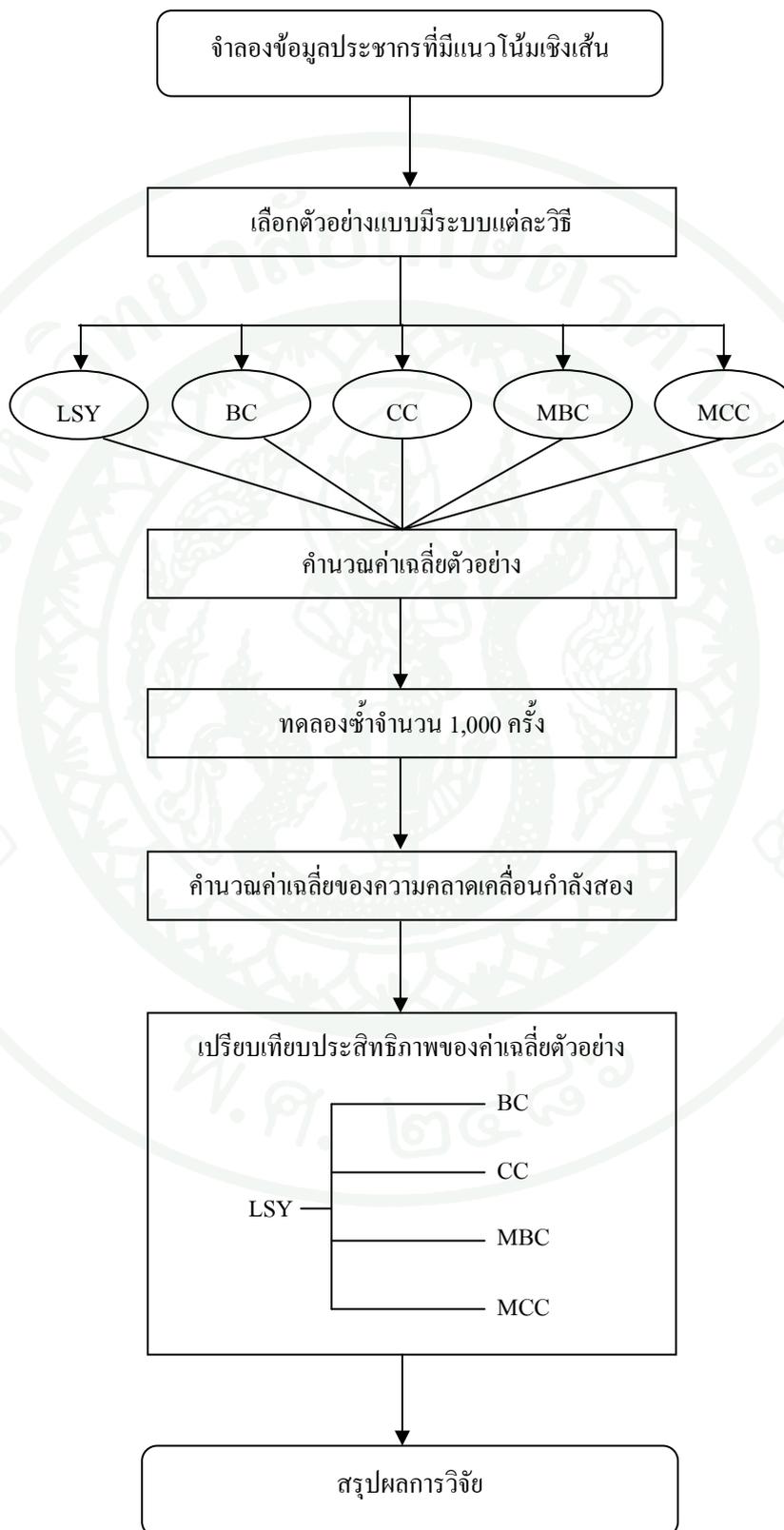
$$MSE(\bar{y}) = \frac{\sum_{r=1}^{1,000} (\bar{y}_r - \mu)^2}{1,000}$$

โดยที่ \bar{y}_r คือ ค่าเฉลี่ยตัวอย่างในการทดลองซ้ำครั้งที่ r

μ คือ ค่าเฉลี่ยประชากร

7. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมทั้ง 4 วิธีและวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น โดยพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์

แผนภาพสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่

ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาทำการวิจัย

ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2554 ถึงเดือนมีนาคม 2555



ผลและวิจารณ์

ผล

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม 4 วิธี ได้แก่ การเลือกตัวอย่างแบบ Balanced Circular Systematic Sampling (BC) การเลือกตัวอย่างแบบ Centered Circular Systematic Sampling (CC) การเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling (MBC) และการเลือกตัวอย่างแบบ Modified Centered Circular Systematic Sampling (MCC) กับการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้นตามตัวแบบอภิประชากรที่ทำการศึกษา 2 ตัวแบบ คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และ $y_i = 2 + 10i + e_i$ โดยที่ $E(e_i) = 0$, $\text{Var}(e_i) = i^g$, $\text{cov}(e_i, e_j) = 0$; $i \neq j = 1, 2, \dots, N$ และ $g = 0, 1$ และ 2 และกำหนดขนาดประชากร (N) และขนาดตัวอย่าง (n) ตามลักษณะของเศษส่วนการสุ่ม คือ เศษส่วนการสุ่มไม่เกิน 5% เศษส่วนการสุ่มมากกว่า 5% ผลการศึกษาแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบ Balanced Circular Systematic Sampling (BC) และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

จากการศึกษา พบว่า การเลือกตัวอย่างด้วยวิธี BC มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 0 ทุกกรณีทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี BC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ 0 ด้วย รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี BC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{BC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|---------|-----------------------|------------------------|----|
| 0 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 0 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 0 | 100 | 4 | ≤ 5% | 0.040 | 5,263.98 | 0 |
| 0 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 3,518.04 | 0 |
| 0 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 3,392.81 | 0 |
| 0 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 234.86 | 0 |
| 0 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 89.18 | 0 |
| 0 | 75 | 4 | > 5% | 0.053 | 198.18 | 0 |
| 0 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 92.77 | 0 |
| 0 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 88.98 | 0 |
| 0 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 94.77 | 0 |
| 1 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 1 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 1 | 100 | 4 | ≤ 5% | 0.040 | 5,409.59 | 0 |
| 1 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 3,364.05 | 0 |
| 1 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 3,264.24 | 0 |
| 1 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 231.13 | 0 |
| 1 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 92.25 | 0 |
| 1 | 75 | 4 | > 5% | 0.053 | 195.96 | 0 |
| 1 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 93.58 | 0 |
| 1 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 89.21 | 0 |
| 1 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 91.04 | 0 |

ตารางที่ 1 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{BC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|------------|-----------------------|------------------------|----|
| 2 | 40 | 2 | | - | - | - |
| 2 | 75 | 2 | | - | - | - |
| 2 | 100 | 4 | $\leq 5\%$ | 0 | 6,142.52 | 0 |
| 2 | 1,500 | 74 | | 0 | 13,202.20 | 0 |
| 2 | 1,725 | 86 | | 0 | 13,495.30 | 0 |
| 2 | 25 | 4 | | 0 | 395.45 | 0 |
| 2 | 40 | 12 | | 0 | 128.79 | 0 |
| 2 | 75 | 4 | $> 5\%$ | 0 | 3,488.51 | 0 |
| 2 | 100 | 30 | | 0 | 207.89 | 0 |
| 2 | 1,500 | 460 | | 0 | 1,770.06 | 0 |
| 2 | 1,725 | 520 | | 0 | 1,835.68 | 0 |

หมายเหตุ 1. f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

2. - หมายถึง ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี BC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{BC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|----|------------|-----------------------|------------------------|----|
| 0 | 40 | 2 | | - | - | - |
| 0 | 75 | 2 | | - | - | - |
| 0 | 100 | 4 | $\leq 5\%$ | 0 | 5,222.92 | 0 |
| 0 | 1,500 | 74 | | 0 | 3,445.62 | 0 |
| 0 | 1,725 | 86 | | 0 | 3,493.93 | 0 |

ตารางที่ 2 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{BC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|--------------|-----------------------|------------------------|----|
| 0 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 250.73 | 0 |
| 0 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 92.18 | 0 |
| 0 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 187.83 | 0 |
| 0 | 100 | 30 | >5% 0.300 | 0 | 89.62 | 0 |
| 0 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 88.24 | 0 |
| 0 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 97.97 | 0 |
| 1 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 1 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 1 | 100 | 4 | ≤5% 0.040 | 0 | 5,353.41 | 0 |
| 1 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 3,348.25 | 0 |
| 1 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 3,449.84 | 0 |
| 1 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 238.15 | 0 |
| 1 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 94.11 | 0 |
| 1 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 186.85 | 0 |
| 1 | 100 | 30 | >5% 0.300 | 0 | 95.07 | 0 |
| 1 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 93.40 | 0 |
| 1 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 92.41 | 0 |
| 2 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 2 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 2 | 100 | 4 | ≤5% 0.040 | 0 | 6,304.29 | 0 |
| 2 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 13,638.10 | 0 |
| 2 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 14,796.50 | 0 |

ตารางที่ 2 (ต่อ)

| g | N | n | $f = n/N$ | $MSE(\bar{y}_{BC})$ | $MSE(\bar{y}_{LSY})$ | RE |
|---|-------|-----|-----------|---------------------|----------------------|----|
| 2 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 375.42 | 0 |
| 2 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 143.34 | 0 |
| 2 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 3,667.55 | 0 |
| 2 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 201.46 | 0 |
| 2 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 1,846.97 | 0 |
| 2 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 2,085.04 | 0 |

หมายเหตุ 1. f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

2. - หมายถึง ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้

จากตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 สรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี BC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ 0 ทุกกรณี แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี BC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

2. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบ Centered Circular Systematic Sampling (CC) และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

จากการศึกษา พบว่า การเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 0 ทุกกรณี ทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ 0 ด้วย รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{CC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|------------|-----------------------|------------------------|----|
| 0 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 0 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 0 | 75 | 3 | 0.040 | 0 | 5,373.66 | 0 |
| 0 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 5,379.48 | 0 |
| 0 | 100 | 5 | ≤ 5% 0.050 | 0 | 3,306.51 | 0 |
| 0 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 3,828.34 | 0 |
| 0 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 3,336.02 | 0 |
| 0 | 1,725 | 83 | 0.048 | 0 | 3,506.54 | 0 |
| 0 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 3,221.34 | 0 |
| 0 | 25 | 3 | 0.120 | 0 | 586.38 | 0 |
| 0 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 219.00 | 0 |
| 0 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 167.93 | 0 |
| 0 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 87.76 | 0 |
| 0 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 192.50 | 0 |
| 0 | 75 | 5 | 0.067 | 0 | 884.52 | 0 |
| 0 | 100 | 25 | > 5% 0.250 | 0 | 122.42 | 0 |
| 0 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 94.63 | 0 |
| 0 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 87.84 | 0 |
| 0 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 75.12 | 0 |
| 0 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 91.18 | 0 |
| 0 | 1,725 | 535 | 0.310 | 0 | 704.79 | 0 |

ตารางที่ 3 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{CC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|------------------|-----------------------|------------------------|----|
| 1 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 1 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 1 | 75 | 3 | 0.040 | 0 | 5,235.34 | 0 |
| 1 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 5,093.06 | 0 |
| 1 | 100 | 5 | $\leq 5\%$ 0.050 | 0 | 3,229.38 | 0 |
| 1 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 4,075.72 | 0 |
| 1 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 3,437.14 | 0 |
| 1 | 1,725 | 83 | 0.048 | 0 | 3,623.28 | 0 |
| 1 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 3,325.21 | 0 |
| 1 | 25 | 3 | 0.120 | 0 | 595.56 | 0 |
| 1 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 219.00 | 0 |
| 1 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 170.51 | 0 |
| 1 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 96.77 | 0 |
| 1 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 196.63 | 0 |
| 1 | 75 | 5 | $> 5\%$ 0.067 | 0 | 817.51 | 0 |
| 1 | 100 | 25 | 0.250 | 0 | 127.99 | 0 |
| 1 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 90.25 | 0 |
| 1 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 90.75 | 0 |
| 1 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 71.53 | 0 |
| 1 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 97.08 | 0 |
| 1 | 1,725 | 535 | 0.310 | 0 | 706.22 | 0 |

ตารางที่ 3 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{CC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|------------|-----------------------|------------------------|----|
| 2 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 2 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 2 | 75 | 3 | 0.040 | 0 | 5,968.19 | 0 |
| 2 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 6,076.45 | 0 |
| 2 | 100 | 5 | ≤ 5% 0.050 | 0 | 3,916.65 | 0 |
| 2 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 14,971.70 | 0 |
| 2 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 14,060.90 | 0 |
| 2 | 1,725 | 83 | 0.048 | 0 | 16,002.80 | 0 |
| 2 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 14,778.50 | 0 |
| 2 | 25 | 3 | 0.120 | 0 | 664.00 | 0 |
| 2 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 389.85 | 0 |
| 2 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 223.53 | 0 |
| 2 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 140.84 | 0 |
| 2 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 3,499.95 | 0 |
| 2 | 75 | 5 | 0.067 | 0 | 2,304.53 | 0 |
| 2 | 100 | 25 | > 5% 0.250 | 0 | 256.03 | 0 |
| 2 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 206.40 | 0 |
| 2 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 1,690.67 | 0 |
| 2 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 1,575.93 | 0 |
| 2 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 1,971.34 | 0 |
| 2 | 1,725 | 535 | 0.310 | 0 | 1,955.47 | 0 |

- หมายเหตุ 1. f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)
 2. - หมายถึง ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{CC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|------------------|-----------------------|------------------------|----|
| 0 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 0 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 0 | 75 | 3 | 0.040 | 0 | 5,229.20 | 0 |
| 0 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 5,001.29 | 0 |
| 0 | 100 | 5 | $\leq 5\%$ 0.050 | 0 | 3,256.52 | 0 |
| 0 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 3,930.11 | 0 |
| 0 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 3,212.24 | 0 |
| 0 | 1,725 | 83 | 0.048 | 0 | 3,518.48 | 0 |
| 0 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 3,270.53 | 0 |
| 0 | 25 | 3 | 0.120 | 0 | 572.57 | 0 |
| 0 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 225.96 | 0 |
| 0 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 164.50 | 0 |
| 0 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 93.08 | 0 |
| 0 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 196.07 | 0 |
| 0 | 75 | 5 | 0.067 | 0 | 818.85 | 0 |
| 0 | 100 | 25 | $> 5\%$ 0.250 | 0 | 129.38 | 0 |
| 0 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 91.31 | 0 |
| 0 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 89.98 | 0 |
| 0 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 67.78 | 0 |
| 0 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 89.82 | 0 |
| 0 | 1,725 | 535 | 0.310 | 0 | 706.90 | 0 |

ตารางที่ 4 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{CC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|------------------|-----------------------|------------------------|----|
| 1 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 1 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 1 | 75 | 3 | 0.040 | 0 | 5,119.69 | 0 |
| 1 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 5,238.67 | 0 |
| 1 | 100 | 5 | $\leq 5\%$ 0.050 | 0 | 3,281.77 | 0 |
| 1 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 4,171.07 | 0 |
| 1 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 3,355.01 | 0 |
| 1 | 1,725 | 83 | 0.048 | 0 | 3,633.39 | 0 |
| 1 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 3,225.60 | 0 |
| 1 | 25 | 3 | 0.120 | 0 | 578.16 | 0 |
| 1 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 219.42 | 0 |
| 1 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 174.73 | 0 |
| 1 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 94.52 | 0 |
| 1 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 186.56 | 0 |
| 1 | 75 | 5 | $> 5\%$ 0.067 | 0 | 829.24 | 0 |
| 1 | 100 | 25 | 0.250 | 0 | 121.95 | 0 |
| 1 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 94.36 | 0 |
| 1 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 90.37 | 0 |
| 1 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 71.13 | 0 |
| 1 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 93.19 | 0 |
| 1 | 1,725 | 535 | 0.310 | 0 | 709.02 | 0 |

ตารางที่ 4 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{CC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|------------|-----------------------|------------------------|----|
| 2 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 2 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 2 | 75 | 3 | 0.040 | 0 | 5,592.20 | 0 |
| 2 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 6,249.18 | 0 |
| 2 | 100 | 5 | ≤ 5% 0.050 | 0 | 3,842.26 | 0 |
| 2 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 15,218.60 | 0 |
| 2 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 13,229.10 | 0 |
| 2 | 1,725 | 83 | 0.048 | 0 | 16,296.70 | 0 |
| 2 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 14,392.50 | 0 |
| 2 | 25 | 3 | 0.120 | 0 | 654.54 | 0 |
| 2 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 369.64 | 0 |
| 2 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 232.94 | 0 |
| 2 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 126.49 | 0 |
| 2 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 3,408.44 | 0 |
| 2 | 75 | 5 | 0.067 | 0 | 2,277.04 | 0 |
| 2 | 100 | 25 | > 5% 0.250 | 0 | 265.87 | 0 |
| 2 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 212.36 | 0 |
| 2 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 1,777.21 | 0 |
| 2 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 1,434.69 | 0 |
| 2 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 2,064.08 | 0 |
| 2 | 1,725 | 535 | 0.310 | 0 | 2,034.58 | 0 |

- หมายเหตุ 1. f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)
 2. - หมายถึง ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้

จากตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 สรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ 0 ทุกกรณี แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

3. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling (MBC) และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อพิจารณาจำแนกตามเศษส่วนการสุ่มไม่เกิน 5% และเศษส่วนการสุ่มมากกว่า 5% ผลสรุปแบ่งเป็น 4 กรณี ดังนี้

3.1 ขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่

3.1.1 เมื่อ $g = 0$ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีค่าลดลง และค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 และมีค่าลดลงเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น

3.1.2 เมื่อ $g = 1$ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น

3.1.3 เมื่อ $g = 2$ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น ยกเว้นเมื่อเศษส่วนการสุ่มมากกว่า 5% ขนาดประชากรเท่ากับ 1,500 ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 1

รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MBC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|---------|------------------------|------------------------|----------|---------|
| 0 | 40 | 2 | 0.050 | 0.2828 | 3,219.23 | 0.00009 | |
| 0 | 100 | 4 | ≤ 5% | 0.040 | 5,333.21 | 0.00004 | |
| 0 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0.0141 | 3,398.47 | 0 | |
| 0 | 40 | 12 | 0.300 | 0.0877 | 89.64 | 0.00098 | |
| 0 | 100 | 30 | > 5% | 0.300 | 90.38 | 0.00038 | |
| 0 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0.0016 | 89.72 | 0.00002 | |
| 1 | 40 | 2 | 0.050 | 5.6836 | 3,319.98 | 0.00171 | |
| 1 | 100 | 4 | ≤ 5% | 0.040 | 11.5929 | 5,310.13 | 0.00218 |
| 1 | 1,500 | 74 | 0.049 | 11.6356 | 3,215.76 | 0.00362 | |
| 1 | 40 | 12 | 0.300 | 1.8768 | 92.35 | 0.02032 | |
| 1 | 100 | 30 | > 5% | 0.300 | 1.8785 | 91.68 | 0.02049 |
| 1 | 1,500 | 460 | 0.307 | 1.8884 | 90.91 | 0.02077 | |
| 2 | 40 | 2 | 0.050 | 175.6690 | 3,664.75 | 0.04793 | |
| 2 | 100 | 4 | ≤ 5% | 0.040 | 878.3850 | 5,654.14 | 0.15535 |
| 2 | 1,500 | 74 | 0.049 | 13,094.9000 | 14,226.10 | 0.92049 | |
| 2 | 40 | 12 | 0.300 | 45.9970 | 133.28 | 0.34513 | |
| 2 | 100 | 30 | > 5% | 0.300 | 112.3130 | 200.37 | 0.56053 |
| 2 | 1,500 | 460 | 0.307 | 2,103.2000 | 1,782.07 | 1.18020 | |

หมายเหตุ f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MBC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|---------|------------------------|------------------------|----------|---------|
| 0 | 40 | 2 | 0.050 | 0.2702 | 3,506.53 | 0.00008 | |
| 0 | 100 | 4 | ≤ 5% | 0.040 | 5,056.46 | 0.00004 | |
| 0 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0.0137 | 3,442.46 | 0 | |
| 0 | 40 | 12 | 0.300 | 0.0803 | 87.96 | 0.00091 | |
| 0 | 100 | 30 | > 5% | 0.300 | 0.0333 | 88.08 | 0.00038 |
| 0 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0.0016 | 88.20 | 0.00002 | |
| 1 | 40 | 2 | 0.050 | 6.2806 | 3,248.93 | 0.00193 | |
| 1 | 100 | 4 | ≤ 5% | 0.040 | 11.6647 | 5,117.35 | 0.00228 |
| 1 | 1,500 | 74 | 0.049 | 11.6825 | 3,365.45 | 0.00347 | |
| 1 | 40 | 12 | 0.300 | 0.8025 | 90.25 | 0.00889 | |
| 1 | 100 | 30 | > 5% | 0.300 | 1.6714 | 95.82 | 0.01744 |
| 1 | 1,500 | 460 | 0.307 | 1.8897 | 89.62 | 0.02108 | |
| 2 | 40 | 2 | 0.050 | 187.0590 | 3,638.95 | 0.05140 | |
| 2 | 100 | 4 | ≤ 5% | 0.040 | 843.8980 | 6,201.47 | 0.13608 |
| 2 | 1,500 | 74 | 0.049 | 12,679.9000 | 13,160.90 | 0.96345 | |
| 2 | 40 | 12 | 0.300 | 46.3076 | 134.93 | 0.34321 | |
| 2 | 100 | 30 | > 5% | 0.300 | 104.2140 | 201.41 | 0.51742 |
| 2 | 1,500 | 460 | 0.307 | 2,113.3700 | 1,620.63 | 1.30405 | |

หมายเหตุ f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

จากตารางที่ 5 และตารางที่ 6 สรุปได้ว่าโดยภาพรวมแล้ว เมื่อขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ยกเว้นเมื่อ $g = 2$ เศษส่วนการสุ่มมากกว่า 5% และขนาดประชากรเท่ากับ 1,500 ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

3.2 ขนาดประชากรเป็นจำนวนคี่และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่

3.2.1 เมื่อ $g = 0$ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีค่าลดลง และค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 และมีค่าลดลงเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น

3.2.2 เมื่อ $g = 1$ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น

3.2.3 เมื่อ $g = 2$ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น ยกเว้นเมื่อเศษส่วนการสุ่มมากกว่า 5% ขนาดประชากรเท่ากับ 1,725 ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 1

รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 7 และตารางที่ 8

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรเป็นจำนวนคู่และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MBC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|---------|------------------------|------------------------|-----------|---------|
| 0 | 75 | 2 | ≤ 5% | 0.027 | 0.4000 | 12,215.60 | 0.00003 |
| 0 | 1,725 | 86 | | 0.050 | 0.0186 | 3,475.19 | 0.00001 |
| 0 | 25 | 4 | > 5% | 0.160 | 0.1534 | 233.99 | 0.00066 |
| 0 | 75 | 4 | | 0.053 | 0.1014 | 186.67 | 0.00054 |
| 0 | 1,725 | 520 | | 0.301 | 0.0022 | 94.80 | 0.00002 |
| 1 | 75 | 2 | ≤ 5% | 0.027 | 15.7471 | 11,603.80 | 0.00136 |
| 1 | 1,725 | 86 | | 0.050 | 16.2142 | 4,387.91 | 0.00370 |
| 1 | 25 | 4 | > 5% | 0.160 | 2.1310 | 228.53 | 0.00933 |
| 1 | 75 | 4 | | 0.053 | 2.1426 | 171.41 | 0.01250 |
| 1 | 1,725 | 520 | | 0.301 | 2.1584 | 93.51 | 0.02308 |
| 2 | 75 | 2 | ≤ 5% | 0.027 | 722.3020 | 12,659.20 | 0.05706 |
| 2 | 1,725 | 86 | | 0.050 | 13,844.2000 | 14,382.40 | 0.96258 |
| 2 | 25 | 4 | > 5% | 0.160 | 41.9501 | 378.45 | 0.11085 |
| 2 | 75 | 4 | | 0.053 | 515.1330 | 3,424.64 | 0.15042 |
| 2 | 1,725 | 520 | | 0.301 | 2,551.4300 | 1,973.78 | 1.29266 |

หมายเหตุ f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรเป็นจำนวนคี่และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MBC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|---------|------------------------|------------------------|-----------|---------|
| 0 | 75 | 2 | ≤ 5% | 0.027 | 0.4059 | 12,094.10 | 0.00003 |
| 0 | 1,725 | 86 | | 0.050 | 0.0177 | 3,329.85 | 0.00001 |
| 0 | 25 | 4 | > 5% | 0.160 | 0.1656 | 221.51 | 0.00075 |
| 0 | 75 | 4 | | 0.053 | 0.1249 | 193.97 | 0.00064 |
| 0 | 1,725 | 520 | | 0.301 | 0.0022 | 90.07 | 0.00002 |
| 1 | 75 | 2 | ≤ 5% | 0.027 | 13.5887 | 11,912.80 | 0.00114 |
| 1 | 1,725 | 86 | | 0.050 | 14.6465 | 3,604.14 | 0.00406 |
| 1 | 25 | 4 | > 5% | 0.160 | 2.1016 | 228.59 | 0.00919 |
| 1 | 75 | 4 | | 0.053 | 2.1488 | 174.43 | 0.01232 |
| 1 | 1,725 | 520 | | 0.301 | 2.1698 | 98.19 | 0.02210 |
| 2 | 75 | 2 | ≤ 5% | 0.027 | 765.4960 | 12,597.80 | 0.06076 |
| 2 | 1,725 | 86 | | 0.050 | 13,744.8000 | 14,947.50 | 0.91954 |
| 2 | 25 | 4 | > 5% | 0.160 | 41.4135 | 379.56 | 0.10911 |
| 2 | 75 | 4 | | 0.053 | 439.2190 | 3,437.60 | 0.12777 |
| 2 | 1,725 | 520 | | 0.301 | 2,611.1700 | 2,088.88 | 1.25003 |

หมายเหตุ f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

จากตารางที่ 7 และตารางที่ 8 สรุปได้ว่าโดยภาพรวมแล้ว เมื่อขนาดประชากรเป็นจำนวนคี่ และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ยกเว้นเมื่อ $g = 2$ เศษส่วนการสุ่มมากกว่า 5% และขนาดประชากรเท่ากับ 1,725 ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

3.3 ขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่

3.3.1 เมื่อ $g = 0$ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีค่าลดลง และค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 และมีค่าลดลงเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น

3.3.2 เมื่อ $g = 1$ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น

3.3.3 เมื่อ $g = 2$ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น ยกเว้นเมื่อเศษส่วนการสุ่มมากกว่า 5% ขนาดประชากรเท่ากับ 1,725 ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 1

รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MBC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|---------|------------------------|------------------------|-----------|---------|
| 0 | 75 | 3 | ≤ 5% | 0.040 | 0.2031 | 5,261.95 | 0.00004 |
| 0 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 0.0179 | 3,646.57 | 0.00000 |
| 0 | 25 | 3 | > 5% | 0.120 | 0.2241 | 595.74 | 0.00038 |
| 0 | 75 | 5 | | 0.067 | 0.1510 | 819.91 | 0.00018 |
| 0 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 0.0023 | 705.39 | 0 |
| 1 | 75 | 3 | ≤ 5% | 0.040 | 7.4985 | 5,141.23 | 0.00146 |
| 1 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 14.2112 | 3,689.96 | 0.00385 |
| 1 | 25 | 3 | > 5% | 0.120 | 3.5348 | 569.71 | 0.00620 |
| 1 | 75 | 5 | | 0.067 | 16.3104 | 803.20 | 0.02031 |
| 1 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 17.9652 | 702.76 | 0.02556 |
| 2 | 75 | 3 | ≤ 5% | 0.040 | 354.5470 | 5,824.72 | 0.06087 |
| 2 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 14,284.0000 | 15,472.40 | 0.92319 |
| 2 | 25 | 3 | > 5% | 0.120 | 63.5716 | 650.74 | 0.09769 |
| 2 | 75 | 5 | | 0.067 | 308.5570 | 2,201.68 | 0.14015 |
| 2 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 2,758.9900 | 2,032.06 | 1.35773 |

หมายเหตุ f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MBC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|---------|------------------------|------------------------|-----------|---------|
| 0 | 75 | 3 | ≤ 5% | 0.040 | 0.1901 | 5,143.97 | 0.00004 |
| 0 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 0.0190 | 3,732.94 | 0.00001 |
| 0 | 25 | 3 | > 5% | 0.120 | 0.2757 | 576.76 | 0.00048 |
| 0 | 75 | 5 | | 0.067 | 0.1430 | 818.02 | 0.00017 |
| 0 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 0.0022 | 705.67 | 0 |
| 1 | 75 | 3 | ≤ 5% | 0.040 | 7.6690 | 5,131.89 | 0.00149 |
| 1 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 13.8502 | 3,598.80 | 0.00385 |
| 1 | 25 | 3 | > 5% | 0.120 | 3.5100 | 588.11 | 0.00597 |
| 1 | 75 | 5 | | 0.067 | 15.0126 | 821.25 | 0.01828 |
| 1 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 17.4091 | 686.21 | 0.02537 |
| 2 | 75 | 3 | ≤ 5% | 0.040 | 348.5690 | 6,094.42 | 0.05719 |
| 2 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 14,911.4000 | 15,842.60 | 0.94122 |
| 2 | 25 | 3 | > 5% | 0.120 | 62.0792 | 668.00 | 0.09293 |
| 2 | 75 | 5 | | 0.067 | 367.9000 | 2,789.65 | 0.13188 |
| 2 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 2,563.1000 | 1,982.39 | 1.29293 |

หมายเหตุ f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

จากตารางที่ 9 และตารางที่ 10 สรุปได้ว่าโดยภาพรวมแล้ว เมื่อขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่ ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ยกเว้นเมื่อ $g = 2$ เศษส่วนการสุ่มมากกว่า 5% และขนาดประชากรเท่ากับ 1,725 ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

3.4 ขนาดประชากรเป็นจำนวนคู่และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่

จากการศึกษา พบว่า การเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC เมื่อขนาดประชากรเป็นจำนวนคู่ และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่ มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 0 ทุกกรณี ทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ 0 ด้วย รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 11 และตารางที่ 12

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรเป็นจำนวนคู่ และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MBC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|---------|------------------------|------------------------|----------|---|
| 0 | 100 | 5 | ≤ 5% | 0.050 | 0 | 3,247.60 | 0 |
| 0 | 1,500 | 69 | | 0.046 | 0 | 4,172.49 | 0 |
| 0 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 165.92 | 0 | |
| 0 | 100 | 25 | > 5% | 0.250 | 0 | 129.88 | 0 |
| 0 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 69.59 | 0 | |

ตารางที่ 11 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MBC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|------------|------------------------|------------------------|-----------|---|
| 1 | 100 | 5 | $\leq 5\%$ | 0.050 | 0 | 3,264.86 | 0 |
| 1 | 1,500 | 69 | | 0.046 | 0 | 3,817.52 | 0 |
| 1 | 40 | 9 | $> 5\%$ | 0.225 | 0 | 162.85 | 0 |
| 1 | 100 | 25 | | 0.250 | 0 | 129.65 | 0 |
| 1 | 1,500 | 515 | | 0.343 | 0 | 68.29 | 0 |
| 2 | 100 | 5 | $\leq 5\%$ | 0.050 | 0 | 3,919.33 | 0 |
| 2 | 1,500 | 69 | | 0.046 | 0 | 15,296.50 | 0 |
| 2 | 40 | 9 | $> 5\%$ | 0.225 | 0 | 228.92 | 0 |
| 2 | 100 | 25 | | 0.250 | 0 | 269.39 | 0 |
| 2 | 1,500 | 515 | | 0.343 | 0 | 1,483.44 | 0 |

หมายเหตุ f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรเป็นจำนวนคู่ และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MBC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|------------|------------------------|------------------------|----------|---|
| 0 | 100 | 5 | $\leq 5\%$ | 0.050 | 0 | 3,316.06 | 0 |
| 0 | 1,500 | 69 | | 0.046 | 0 | 4,071.36 | 0 |
| 0 | 40 | 9 | $> 5\%$ | 0.225 | 0 | 167.06 | 0 |
| 0 | 100 | 25 | | 0.250 | 0 | 126.77 | 0 |
| 0 | 1,500 | 515 | | 0.343 | 0 | 72.37 | 0 |

ตารางที่ 12 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MBC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|------------|------------------------|------------------------|-----------|---|
| 1 | 100 | 5 | $\leq 5\%$ | 0.050 | 0 | 3,432.60 | 0 |
| 1 | 1,500 | 69 | | 0.046 | 0 | 4,070.27 | 0 |
| 1 | 40 | 9 | $> 5\%$ | 0.225 | 0 | 169.18 | 0 |
| 1 | 100 | 25 | | 0.250 | 0 | 127.43 | 0 |
| 1 | 1,500 | 515 | | 0.343 | 0 | 72.37 | 0 |
| 2 | 100 | 5 | $\leq 5\%$ | 0.050 | 0 | 3,965.11 | 0 |
| 2 | 1,500 | 69 | | 0.046 | 0 | 14,512.80 | 0 |
| 2 | 40 | 9 | $> 5\%$ | 0.225 | 0 | 218.22 | 0 |
| 2 | 100 | 25 | | 0.250 | 0 | 262.06 | 0 |
| 2 | 1,500 | 515 | | 0.343 | 0 | 1,511.46 | 0 |

หมายเหตุ f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

จากตารางที่ 11 และตารางที่ 12 สรุปได้ว่า เมื่อขนาดประชากรเป็นจำนวนคู่และขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่ ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ 0 ทุกกรณี แสดงว่า ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

ดังนั้นจากผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ทั้ง 4 กรณี สามารถสรุปโดยภาพรวมได้ว่าค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ยกเว้นเมื่อ $g = 2$ เศษส่วนการสุ่มมากกว่า 30% ขนาดประชากรเป็นจำนวนคี่หรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ และมีขนาดประชากรตั้งแต่ 1,500 ขึ้นไป ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

4. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบ Modified Centered Circular Systematic Sampling (MCC) และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อพิจารณาจำแนกตามเศษส่วนการสุ่มไม่เกิน 5% และเศษส่วนการสุ่มมากกว่า 5% ผลสรุปแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

4.1 ขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่

4.1.1 เมื่อ $g = 0$ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC มีค่าลดลง และค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 และมีค่าลดลงเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น

4.1.2 เมื่อ $g = 1$ และ 2 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น

รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 13 และตารางที่ 14

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่

| g | N | n | $f = n/N$ | $MSE(\bar{y}_{MCC})$ | $MSE(\bar{y}_{LSY})$ | RE | |
|-----|-------|-----|------------|----------------------|----------------------|----------|---------|
| 0 | 75 | 3 | $\leq 5\%$ | 0.040 | 5,378.78 | 0.00006 | |
| 0 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 0.0117 | 3,634.53 | 0 |
| 0 | 25 | 3 | $> 5\%$ | 0.120 | 593.49 | 0.00056 | |
| 0 | 75 | 5 | | 0.067 | 0.2014 | 819.81 | 0.00025 |
| 0 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 0.0018 | 409.40 | 0 |

ตารางที่ 13 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MCC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|------------|------------------------|------------------------|-----------|---------|
| 1 | 75 | 3 | $\leq 5\%$ | 0.040 | 11.8070 | 5,235.74 | 0.00226 |
| 1 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 12.4620 | 4,117.49 | 0.00303 |
| 1 | 25 | 3 | $> 5\%$ | 0.120 | 4.2984 | 578.57 | 0.00743 |
| 1 | 75 | 5 | | 0.067 | 7.3602 | 815.98 | 0.00902 |
| 1 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 7.4950 | 405.98 | 0.01846 |
| 2 | 75 | 3 | $\leq 5\%$ | 0.040 | 693.7250 | 5,694.40 | 0.12183 |
| 2 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 11,675.3000 | 15,879.20 | 0.73526 |
| 2 | 25 | 3 | $> 5\%$ | 0.120 | 70.2966 | 662.40 | 0.10613 |
| 2 | 75 | 5 | | 0.067 | 379.1380 | 2,342.14 | 0.16188 |
| 2 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 1,744.5500 | 1,961.07 | 0.88959 |

หมายเหตุ f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

ตารางที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่

| g | N | n | f = N/n | MSE(\bar{y}_{MCC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|------------|------------------------|------------------------|----------|---------|
| 0 | 75 | 3 | $\leq 5\%$ | 0.3549 | 5,317.30 | 0.00007 | |
| 0 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 0.0123 | 3,468.66 | 0 |
| 0 | 25 | 3 | $> 5\%$ | 0.3450 | 575.38 | 0.00060 | |
| 0 | 75 | 5 | | 0.067 | 0.1906 | 1,832.56 | 0.00010 |
| 0 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 0.0019 | 88.48 | 0.00002 |

ตารางที่ 14 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MCC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE | |
|---|-------|-----|------------|------------------------|------------------------|------------|---------|
| 1 | 75 | 3 | $\leq 5\%$ | 0.040 | 11.2489 | 5,058.05 | 0.00231 |
| 1 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 11.6916 | 3,609.57 | 0.00312 |
| 1 | 25 | 3 | $> 5\%$ | 0.120 | 4.5065 | 570.7800 | 0.00790 |
| 1 | 75 | 5 | | 0.067 | 8.0077 | 1,955.1200 | 0.00920 |
| 1 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 8.1236 | 435.7477 | 0.01864 |
| 2 | 75 | 3 | $\leq 5\%$ | 0.040 | 623.8670 | 5,622.63 | 0.11096 |
| 2 | 1,725 | 83 | | 0.048 | 11,521.6000 | 15,020.10 | 0.76708 |
| 2 | 25 | 3 | $> 5\%$ | 0.120 | 71.8584 | 633.04 | 0.11351 |
| 2 | 75 | 5 | | 0.067 | 393.4340 | 2,266.39 | 0.17360 |
| 2 | 1,725 | 535 | | 0.310 | 1,874.3700 | 1,935.05 | 0.96864 |

หมายเหตุ f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

จากตารางที่ 13 และตารางที่ 14 สรุปได้ว่า เมื่อขนาดประชากรและขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนที่ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นมีค่าน้อยกว่า 1 ทุกกรณี แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

4.2 ขนาดประชากรหรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่

จากการศึกษา พบว่า การเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC เมื่อขนาดประชากรหรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 0 ทุกกรณี ทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ 0 ด้วย รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 15 และตารางที่ 16

ตารางที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 - 10i + e_i$ และขนาดประชากรหรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MCC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|---------|------------------------|------------------------|----|
| 0 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 0 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 0 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 5,189.20 | 0 |
| 0 | 100 | 5 | ≤ 5% | 0.050 | 3,471.43 | 0 |
| 0 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 3,985.36 | 0 |
| 0 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 3,472.90 | 0 |
| 0 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 3,309.76 | 0 |
| 0 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 325.74 | 0 |
| 0 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 170.42 | 0 |
| 0 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 92.41 | 0 |
| 0 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 2,965.28 | 0 |
| 0 | 100 | 25 | > 5% | 0.250 | 123.72 | 0 |
| 0 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 90.29 | 0 |
| 0 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 91.31 | 0 |
| 0 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 72.15 | 0 |
| 0 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 93.20 | 0 |
| 1 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 1 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 1 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 5,290.95 | 0 |
| 1 | 100 | 5 | ≤ 5% | 0.050 | 3,288.73 | 0 |
| 1 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 3,982.32 | 0 |
| 1 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 3,337.07 | 0 |
| 1 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 3,291.12 | 0 |

ตารางที่ 15 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MCC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|---------|------------------------|------------------------|----|
| 1 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 305.61 | 0 |
| 1 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 174.33 | 0 |
| 1 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 93.69 | 0 |
| 1 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 2,904.82 | 0 |
| 1 | 100 | 25 | > 5% | 0.250 | 131.28 | 0 |
| 1 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 94.78 | 0 |
| 1 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 92.26 | 0 |
| 1 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 70.14 | 0 |
| 1 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 97.25 | 0 |
| 2 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 2 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 2 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 5,954.74 | 0 |
| 2 | 100 | 5 | ≤ 5% | 0.050 | 4,013.21 | 0 |
| 2 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 14,697.70 | 0 |
| 2 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 12,855.90 | 0 |
| 2 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 14,992.60 | 0 |
| 2 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 371.77 | 0 |
| 2 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 225.94 | 0 |
| 2 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 135.36 | 0 |
| 2 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 3,324.15 | 0 |
| 2 | 100 | 25 | > 5% | 0.250 | 245.65 | 0 |
| 2 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 205.72 | 0 |
| 2 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 1,807.77 | 0 |
| 2 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 1,541.25 | 0 |
| 2 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 1,906.23 | 0 |

หมายเหตุ 1. f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

2. - หมายถึง ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้

ตารางที่ 16 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น คือ $y_i = 2 + 10i + e_i$ และขนาดประชากรหรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MCC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|---------|------------------------|------------------------|----|
| 0 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 0 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 0 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 5,251.39 | 0 |
| 0 | 100 | 5 | ≤ 5% | 0.050 | 3,538.40 | 0 |
| 0 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 4,051.73 | 0 |
| 0 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 3,518.95 | 0 |
| 0 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 3,257.88 | 0 |
| 0 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 331.88 | 0 |
| 0 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 165.43 | 0 |
| 0 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 89.17 | 0 |
| 0 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 2,974.52 | 0 |
| 0 | 100 | 25 | > 5% | 0.250 | 125.81 | 0 |
| 0 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 91.75 | 0 |
| 0 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 86.99 | 0 |
| 0 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 71.06 | 0 |
| 0 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 91.18 | 0 |
| 1 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 1 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 1 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 5,251.71 | 0 |
| 1 | 100 | 5 | ≤ 5% | 0.050 | 3,345.30 | 0 |
| 1 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 3,936.66 | 0 |
| 1 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 3,498.81 | 0 |
| 1 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 3,209.09 | 0 |

ตารางที่ 16 (ต่อ)

| g | N | n | f = n/N | MSE(\bar{y}_{MCC}) | MSE(\bar{y}_{LSY}) | RE |
|---|-------|-----|---------|------------------------|------------------------|----|
| 1 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 319.01 | 0 |
| 1 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 167.11 | 0 |
| 1 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 96.13 | 0 |
| 1 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 2,948.35 | 0 |
| 1 | 100 | 25 | >5% | 0.250 | 127.30 | 0 |
| 1 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 96.14 | 0 |
| 1 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 87.89 | 0 |
| 1 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 71.58 | 0 |
| 1 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 95.52 | 0 |
| 2 | 40 | 2 | 0.050 | - | - | - |
| 2 | 75 | 2 | 0.027 | - | - | - |
| 2 | 100 | 4 | 0.040 | 0 | 6,085.34 | 0 |
| 2 | 100 | 5 | ≤5% | 0.050 | 3,970.13 | 0 |
| 2 | 1,500 | 69 | 0.046 | 0 | 13,983.90 | 0 |
| 2 | 1,500 | 74 | 0.049 | 0 | 13,051.90 | 0 |
| 2 | 1,725 | 86 | 0.050 | 0 | 15,884.10 | 0 |
| 2 | 25 | 4 | 0.160 | 0 | 378.09 | 0 |
| 2 | 40 | 9 | 0.225 | 0 | 237.24 | 0 |
| 2 | 40 | 12 | 0.300 | 0 | 145.60 | 0 |
| 2 | 75 | 4 | 0.053 | 0 | 3,321.44 | 0 |
| 2 | 100 | 25 | >5% | 0.250 | 278.33 | 0 |
| 2 | 100 | 30 | 0.300 | 0 | 189.12 | 0 |
| 2 | 1,500 | 460 | 0.307 | 0 | 1,805.44 | 0 |
| 2 | 1,500 | 515 | 0.343 | 0 | 1,484.58 | 0 |
| 2 | 1,725 | 520 | 0.301 | 0 | 1,984.73 | 0 |

หมายเหตุ 1. f หมายถึง เศษส่วนการสุ่ม (Sampling Fraction)

2. - หมายถึง ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้

จากตารางที่ 15 และตารางที่ 16 สรุปได้ว่า เมื่อขนาดประชากรหรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ 0 ทุกกรณี แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

ดังนั้นจากผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ทั้ง 2 กรณี สามารถสรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าน้อยกว่า 1 ทุกกรณี แสดงว่า ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

วิจารณ์

1. ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่คำนวณได้จากวิธี Corrected sample mean (\bar{y}_c) จะมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยประชากรในทุกกรณี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Uthayakumaran (1998) ทำให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 0 แต่สำหรับค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่คำนวณด้วยวิธีปกติ (\bar{y}) จะมีค่าไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยประชากร ทำให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองไม่เท่ากับ 0 เนื่องจากประชากรที่ใช้ในการศึกษาไม่ได้มีแนวโน้มเป็นเชิงเส้นมากนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า g ที่ถูกกำหนดขึ้น ยิ่งค่า g มากประชากรก็จะมีแนวโน้มของความเป็นเชิงเส้นลดลง ทำให้ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่คำนวณด้วยวิธีปกติมีค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยประชากร ขณะที่การคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่างด้วยวิธี Corrected sample mean ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้กับประชากรและการเลือกตัวอย่างแบบวงกลมลักษณะเช่นนี้โดยเฉพาะ ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่คำนวณได้จึงมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยประชากร

2. ในกรณีที่ $g = 2$ เศษส่วนการสุ่มมากกว่า 30% ขนาดประชากรเป็นจำนวนคี่หรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ และมีขนาดประชากรมากกว่า 1,500 ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เนื่องจากเมื่อ $g = 2$ ส่งผลให้ประชากรมีแนวโน้มของความเป็นเชิงเส้นลดลงมาก และเมื่อทำการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC ที่ขนาดประชากรเป็นจำนวนคี่หรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างด้วยวิธีปกติ ซึ่งทำให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองมีค่าสูง อีกทั้งสำหรับการ

เลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นเมื่อประชากรมีขนาดใหญ่ ($N \geq 1,500$) และเศษส่วนการสุ่มมากกว่า 30% การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นจะให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยลง ดังนั้น เมื่อนำมาหาค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น จึงมีค่ามากกว่า 1 ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC จึงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม 4 วิธี ได้แก่ การเลือกตัวอย่างแบบ Balanced Circular Systematic Sampling (BC) การเลือกตัวอย่างแบบ Centered Circular Systematic Sampling (CC) การเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling (MBC) และการเลือกตัวอย่างแบบ Modified Centered Circular Systematic Sampling (MCC) กับการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี BC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ 0 ทุกกรณี แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี BC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ยกเว้นเมื่อทำการเลือกตัวอย่างที่ขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคี่หรือขนาดตัวอย่างเท่ากับ 2 ซึ่งไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้

2. ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าเท่ากับ 0 ทุกกรณี แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ยกเว้นเมื่อทำการเลือกตัวอย่างที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 2 ซึ่งไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้

3. ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ยกเว้นกรณีที่ประชากรมีแนวโน้มของความเป็นเชิงเส้นลดลง ประชากรมีขนาดใหญ่ ($N \geq 1,500$) ขนาดประชากรเป็นจำนวนคี่หรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ และมีเศษส่วนการสุ่มมากกว่า 30% ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

4. ค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น มีค่าน้อยกว่า 1 ทุกกรณี แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MCC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ยกเว้นเมื่อทำการเลือกตัวอย่างที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 2 ซึ่งไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าโดยภาพรวมแล้ว ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมทั้ง 4 วิธี มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น ยกเว้นกรณีที่ประชากรมีแนวโน้มของความเป็นเชิงเส้นลดลง ประชากรมีขนาดใหญ่ ($N \geq 1,500$) ขนาดประชากรเป็นจำนวนคี่หรือขนาดตัวอย่างเป็นจำนวนคู่ และมีเศษส่วนการสุ่มมากกว่า 30% ค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 เมื่อทำการเลือกตัวอย่างจากประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น ควรเลือกใช้การเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC เนื่องจากค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี CC และการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ 0 ในทุกกรณีและทุกขนาดประชากรและขนาดตัวอย่าง ยกเว้นกรณีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 2 ซึ่งไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้

1.2 เมื่อทำการเลือกตัวอย่างจากประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้น ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 2 ควรเลือกใช้การเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC เนื่องจากค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น และการเลือกตัวอย่างด้วยวิธี MBC เป็นวิธีเดียวในการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมทั้ง 4 วิธีที่สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 2

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

ควรทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม 4 วิธีและการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น เมื่อประชากรมีแนวโน้มพารา-โบลิก เพื่อศึกษาแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองและค่าประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่ได้จากการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบในแต่ละวิธี



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จามรี ทุกข์สุณู. 2543. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติจากการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบหลายชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชรินทร์ คู่คู่สมุทร และ อำนวย มณีศรีวงศ์กุล. 2540. การศึกษาเปรียบเทียบการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ 3 วิธี : การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดวงกลม การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่ และการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดสองเชิงเส้น. ว. วิทย มช. 25(2): 134 – 139.

ชาติไชย รัชดาศรี. 2551. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสุ่มตัวอย่างแบบการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย และการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบในการสำรวจกลุ่มอุตสาหกรรมประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ประทุม สุวดี. 2552. การสำรวจด้วยตัวอย่าง : การชักตัวอย่างและการวิเคราะห์. โครงการส่งเสริมและพัฒนาเอกสารวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุกัญญรัตน์ คงงาม. 2539. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างสุ่มแบบหลายขั้นตอน ระหว่างวิธีสุ่มแบบง่ายกับแบบมีระบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุชาดา กิระนันท์. 2538. ทฤษฎีและวิธีการสำรวจตัวอย่าง. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุรินทร์ นิยมางกูร. 2542. เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อนันต์ ศรีโสภะ. 2524. เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง. คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, กรุงเทพฯ.

อภิชาติ พงษ์ศรีหุดุชชัย. 2530. การสุ่มสำรวจ. ศูนย์สถิติการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

Dryver, A.L. and S.K. Thompson. 2005. Improved unbiased estimators in adaptive cluster
sampling. **Journal of the Royal Statistical Society - B** 67: 157–166.

Lahiri, D.B. 1951. A method for selection providing unbiased estimates. **Int. Stat. Ass. Bull** 33:
133–140.

Leu, C.H. and F.F. Kao. 2006. Modified balanced circular systematic sampling.
Statistics & Probability Letters 76: 373–383.

Singh, D. and P. Singh. 1977. New systematic sampling. **Journal of Statistical Planning and
Inference** 1: 163–177.

Uthayakumaran, N. 1998. Additional circular systematic sampling methods. **Biometrical J** 40(4):
467–474.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลมและการคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

ตัวอย่างการเลือกตัวอย่างแบบ **Balanced Circular Systematic Sampling** และการคำนวณ
ค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบ **Corrected sample mean** (\bar{y}_{cl}) เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น

การเลือกตัวอย่างแบบ *Balanced Circular Systematic Sampling*

กำหนดให้ประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น ขนาดเท่ากับ 10 หน่วย ซึ่งประกอบด้วยตัวเลข 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, และ 31 เลือกตัวอย่างแบบ *Balanced Circular Systematic Sampling* ขนาด 4 หน่วย โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณช่วงการสุ่ม $k = \text{INT}\left(\frac{10}{4}\right) = 2$

2. เลือกจุดสุ่มเริ่มต้น i โดยที่ $1 \leq i \leq 10$ สมมติเลือกได้ $i = 8$

3. คำนวณลำดับของหน่วยตัวอย่าง 4 หน่วย ตามสูตร label1 และ label2 จะได้

$$\text{label1} = \begin{cases} 8 + 2(j-1)(2) & ; \quad 1 \leq 8 + 2(j-1)(2) \leq 10 \\ 8 + 2(j-1)(2) - 10 & ; \quad 8 + 2(j-1)(2) > 10 \end{cases} \text{ โดยที่ } j=1,2$$

$$\text{label2} = \begin{cases} (2)(j)(2) - 8 + 1 + 10 & ; \quad (2)(j)(2) - 8 + 1 < 1 \\ (2)(j)(2) - 8 + 1 & ; \quad 1 \leq (2)(j)(2) - 8 + 1 \leq 10 \end{cases} \text{ โดยที่ } j=1,2$$

หรือ

$$\text{label1} = \begin{cases} 8 + 4(j-1) & ; \quad 1 \leq 8 + 4(j-1) \leq 10 \\ 4(j-1) - 2 & ; \quad 8 + 4(j-1) > 10 \end{cases} \text{ โดยที่ } j=1,2$$

$$\text{label2} = \begin{cases} 4j + 3 & ; \quad 4j - 7 < 1 \\ 4j - 7 & ; \quad 1 \leq 4j - 7 \leq 10 \end{cases} \text{ โดยที่ } j=1,2$$

ดังนั้น จาก label1 หน่วยตัวอย่างแรกคือหน่วยตัวอย่างในลำดับที่

$$8 + 4(1-1) = 8 \quad (\because 1 \leq 8 + 4(1-1) \leq 10 \text{ เมื่อ } j = 1)$$

และหน่วยตัวอย่างที่ 2 คือหน่วยตัวอย่างในลำดับที่

$$8 + 4(2-1) - 10 = 2 \quad (\because 8 + 4(2-1) > 10 \text{ เมื่อ } j = 2)$$

จาก label2 หน่วยตัวอย่างที่ 3 คือหน่วยตัวอย่างในลำดับที่

$$4(1) + 3 = 7 \quad (\because 4(1) - 7 < 1 \text{ เมื่อ } j = 1)$$

และหน่วยตัวอย่างที่ 4 คือหน่วยตัวอย่างในลำดับที่

$$4(2) - 7 = 1 \quad (\because 1 \leq 4(2) - 7 \leq 10 \text{ เมื่อ } j = 2)$$

ดังนั้น หน่วยตัวอย่างที่เลือกได้ 4 หน่วยคือหน่วยตัวอย่างในลำดับที่ 1, 2, 7 และ 8

4. ทำการเลือกหน่วยตัวอย่างตามลำดับที่ที่กำหนดได้จากข้อ 3 ดังนั้นจะได้หน่วยตัวอย่างซึ่งมีค่าเท่ากับ 4, 7, 22 และ 25

การคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบ *Corrected sample mean* (\bar{y}_{c1}) เมื่อประชากรมีแนวโน้มเชิงเส้น

นำหน่วยตัวอย่างที่เลือกได้จากตัวอย่างข้างต้นมาคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่าง มีขั้นตอนดังนี้

1. พิจารณารูปแบบเชิงเส้นของประชากร ดังนั้น จากประชากรที่กำหนดในตัวอย่างพบว่ามีรูปแบบเชิงเส้นคือ $y_i = 1 + 3i$ โดยที่ i คือ ลำดับที่ของหน่วย

2. คำนวณค่าต่างๆในสูตรการคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบ \bar{y}_{c1} ดังนี้

2.1 เนื่องจากประชากรมีรูปแบบเชิงเส้นคือ $y_i = 1 + 3i$ และหน่วยตัวอย่าง 4 หน่วยที่เลือกได้คือ $x_1 = 4, x_2 = 7, x_3 = 22$ และ $x_4 = 25$ ดังนั้น คำนวณค่า y_{x_j} เมื่อ $j = 1, 2, 3, 4$ ได้ดังนี้

$$2.1.1 \quad y_{x_1} = 1 + 3(x_1) = 1 + 3(4) = 13$$

$$2.2.2 \quad y_{x_2} = 1 + 3(x_2) = 1 + 3(7) = 22$$

$$2.2.3 \quad y_{x_3} = 1 + 3(x_3) = 1 + 3(22) = 67$$

$$2.2.4 \quad y_{x_4} = 1 + 3(x_4) = 1 + 3(25) = 76$$

$$2.2 \quad E_1 = (n(N+1)/2) - \sum_{j=2}^{n-1} x_j = ((4)(10+1)/2) - (7+22) = -7$$

$$(\because x_1 = 4, x_2 = 7, x_3 = 22 \text{ และ } x_4 = 25)$$

$$2.3 \quad S_{11} = (E_1 - 2x_n) / (x_1 - x_n) = (-7 - (2)(25)) / (4 - 25) = 19 / 7$$

$$2.4 \quad S_{12} = (2x_1 - E_1) / (x_1 - x_n) = ((2)(4) - ((-7))) / (4 - 25) = -5 / 7$$

3. แทนค่าต่างๆที่ได้จากข้อ 2 ในสูตรการหาค่าเฉลี่ยแบบ \bar{y}_{c1} จะได้

$$\bar{y}_{c1} = \frac{1}{n} \left\{ S_{11}y_{x_1} + \sum_{j=2}^{n-1} y_{x_j} + S_{12}y_{x_n} \right\} = \frac{1}{4} \left\{ \left(\frac{19}{7} \right) (13) + (22 + 67) + \left(\frac{-5}{7} \right) (76) \right\} = 17.5$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบ \bar{y}_{c1} มีค่าเท่ากับ 17.5 ซึ่งให้ค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยประชากร



ภาคผนวก ข
โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

ขั้นที่ 1 การจำลองข้อมูลประชากรให้มีแนวโน้มเชิงเส้นตามตัวแบบอภิประชากร

จำลองข้อมูลประชากรที่มีรูปแบบเป็นแนวโน้มเชิงเส้นด้วยค่า α, β และ g และขนาดประชากร (N) ตามที่กำหนด

ตัวอย่างการจำลองข้อมูลประชากรที่มีแนวโน้มเชิงเส้นด้วยค่า $\alpha = 2, \beta = -10$ และ $g = 0$

เมื่อ $N = 40$

```
data select_i;
do i=1 to 40; /*N=40*/
output;end;run;
data linear0; set select_i(keep=i);
y=2-10*i+rannor(-1); /*alpha=2, beta=-10 and g=0*/
proc print; run;
```

ขั้นที่ 2 การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบวงกลม 4 วิธีและการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้น

เลือกตัวอย่างจากวิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบทั้ง 5 วิธี ด้วยขนาดประชากร (N) และขนาดตัวอย่าง (n) ตามที่กำหนด

ตัวอย่างการเลือกตัวอย่างแบบ *Balanced Circular Systematic Sampling* เมื่อ $N = 40$ และ $n = 12$

```
data select_i;
do i=1 to 40; /*N=40*/
output; end;
proc surveyselect method=srs rep=1 sampsize=1 noprint out=select_ii;
run;
data select_labell1; set select_ii;
n=12; /*n=12*/
NN=40; /*N=40*/
k=int(NN/n);
do j=1 to n/2;
```

```

if 1<=i+2*(j-1)*k<=NN then label1=i+2*(j-1)*k;
else if i+2*(j-1)*k>NN then label1=i+2*(j-1)*k-NN;
output;end;run;

data select_label2; set select_ii; set select_label1(keep=n NN);
k=int(NN/n);
do j=1 to n/2;
if (2*j*k)-i+1<1 then label2=(2*j*k)-i+1+NN;
else if 1<=(2*j*k)-i+1<=NN then label2=(2*j*k)-i+1;
output;end;run;

data select_label;
set select_label1(rename=(label1=label))
  select_label2(rename=(label2=label));
run;

data selectsm; set select_label;
set linear0 point=label; keep n NN i y;
proc sort; by y;
proc print; run;

```

ตัวอย่างการเลือกตัวอย่างแบบ *Centered Circular Systematic Sampling* เมื่อ $N = 1,500$ และ $n = 69$

```

data n;
n=69; /*n=69*/
NN=1500; /*N=1500*/
k=int(NN/n);
i=NN/2; run;

data select_label1; set n;
do j=1 to n;
if 1<=i+(j-1)*k<=NN then label1=i+(j-1)*k;
else if i+(j-1)*k>NN then label1=i+((j-1)*k-NN);
output;end;run;

data select_label;

```

```

set select_label1(rename=(label1=label));
run;
data selectsmpl; set select_label;
set linear0 point=label; keep n NN i y;
proc sort; by y;
proc print; run;

```

ตัวอย่างการเลือกตัวอย่างแบบ Modified Balanced Circular Systematic Sampling เมื่อ $N = 1,725$
และ $n = 520$

```

data select_i;
do i=1 to 1725; /*N=1725*/
output; end;
proc surveyselect method=srs rep=1 sampsize=1 noprint out=select_ii;
run;
data select_label1; set select_ii;
n=520; /*n=520*/
NN=1725; /*N=1725*/
k=int(NN/n);
do j=1 to n/2;
if 1<=i+2*(j-1)*k<=NN then label1=i+2*(j-1)*k;
else if NN<i+2*(j-1)*k then label1=i+2*(j-1)*k-NN;
output;end;run;
data select_label2; set select_ii; set select_label1(keep=n NN);
k=int(NN/n);
do j=1 to n/2;
if 0<=i+2*(j-1)*k-1<NN then label2=NN-i-2*(j-1)*k+1;
else if NN<=i+2*(j-1)*k-1 then label2=2*NN-i-2*(j-1)*k+1;
output;end;run;
data select_label;

```

```

set select_label1(rename=(label1=label))
  select_label2(rename=(label2=label));
run;
data selectsm; set select_label;
set linear0 point=label; keep n NN i y;
proc sort; by y;
proc print; run;

```

ตัวอย่างการเลือกตัวอย่างแบบ *Modified Centered Circular Systematic Sampling* เมื่อ $N = 25$ และ

$n = 3$

```

data n;
n=3; /*n=3*/
NN=25; /*N=25*/
k=int(NN/n);
i=(NN+1)/2; run;
data select_label1; set n;
do j=1 to (n+1)/2;
label1=i+(j-1)*k;
output;end;run;
data select_label2; set n;
do j=2 to (n+1)/2;
label2=i-(j-1)*k;
output;end;run;
data select_label;
set select_label1(rename=(label1=label))
  select_label2(rename=(label2=label));
run;
data selectsm; set select_label;
set linear0 point=label; keep n NN i y;
proc sort; by y;

```

```
proc print; run;
```

ตัวอย่างการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบเชิงเส้นเมื่อ $N = 100$ และ $n = 25$

```
data sys1; set linear0;
proc surveyselect data=sys1 method=sys sampsiz=25 out=sys2; /*n=25*/
proc print; run;
```

ขั้นที่ 3 การคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่างและค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

ตัวอย่างการคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่างและค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างเมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างด้วยวิธีปกติ

```
libname sampling 'C:\Documents and Settings\GRAND_STUDENT\Desktop\data';
proc printto log='C:\Documents and Settings\GRAND_STUDENT\Desktop\data\log.txt'
print='C:\Documents and Settings\GRAND_STUDENT\Desktop\data\print.txt'; run;
data change; set selectsmpl(keep=y);
proc transpose prefix=x out=new(drop = _name_);
data mean; set new;
mean=mean(of x:);
proc append base=sampling.mean1;
proc print; run;
```

ตัวอย่างการคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่างและค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างเมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยตัวอย่างแบบ *Corrected sample mean*

```
data yi; set selectsmpl;
if y then yi=2-10*y; /*alpha=2, beta=-10 and g=0*/
data change1; set yi(keep=y);
proc transpose prefix=xx out=new1(drop = _name_);
data change2; set yi(keep=yi);
proc transpose prefix=yx out=new2(drop = _name_);
data xj; set new1;
```

```

array a{*} _numeric_;
do j=2 to dim(a)-1;
  xj=a{j};
output; end; keep xj ;
data yj; set new2;
array a{*} _numeric_;
do j=2 to dim(a)-1;
  yj=a{j};
output; end; keep yj ;
data change1; set xj(keep=xj);
proc transpose prefix=x out=new3(drop =_name_);
data change2; set yj(keep=yj);
proc transpose prefix=y out=new4(drop =_name_);
data sum_y; set new4;
sum_y=sum(of y:);
keep sum_y;
data sum_x; set new3;
sum_x=sum(of x:);
keep sum_x;
data E1_S11_S12; set sum_x; set new1; set select_label1(keep=n NN);
E1=(n*(NN+1)/2)-sum_x;
S11=(E1-2*xx12)/(xx1-xx12); /*n=12*/
S12=(2*xx1-E1)/(xx1-xx12); /*n=12*/
data mean; set E1_S11_S12; set new2; set sum_y; set new1;
mean=((S11*yx1)+(sum_y)+(S12*yx12))/n; /*n=12*/
keep mean xx;;
proc append base=sampling.mean1;
proc print; run;

```

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

| | |
|--------------------------------|--|
| ชื่อ - นามสกุล | นางสาวลัษณ์ นพโลหะ |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด | 10 ตุลาคม 2527 |
| สถานที่เกิด | อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี |
| ประวัติการศึกษา | วท.บ. (คณิตศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน | - |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | - |
| ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ | - |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ | ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2553) |