การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยโดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด

Estimating Amount of Solid Waste using Ratio Estimator of Population Mean under Maximum and Minimum Values

ชลิดา ตระกูลสุนทร [1*] สุชาดา กรเพชรปาณี [2] ประหยัด แสงงาม [3]

Chalida Trakulsoontorn [1*], Suchada Kornpetpanee [2], Paryad Sangngam[3]

[1] *Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Thailand*

[2] *College of Research Methodology and Cognitive Science, Burapha University, Thailand*

[3] *Faculty of Science, Silpakorn University, Thailand*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด ($\bar{y}_{RMC}$) 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพ (*MSE* และ *PRE*) ของตัวประมาณที่เสนอกับตัวประมาณค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ตัวประมาณอัตราส่วน ($\bar{y}_r$) ตัวประมาณค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด ($\bar{y}_s$) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan ($\bar{y}_p$) ด้วยการจำลองสถานการณ์ 60 สถานการณ์ ภายใต้การสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายแบบไม่คืนที่ และ 3) ประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณที่นำเสนอ กำหนดความแม่นยำภายใต้เกณฑ์ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย ไม่เกินร้อยละ 10

ผลวิจัยปรากฏว่า

1) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุดมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณอื่น ในทุกสถานการณ์ และมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อระดับความสัมพันธ์และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

2) การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณที่นำเสนอให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย ร้อยละ 2.95 และปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 ประมาณ 3,924,107.28 ตันต่อปี

คำสำคัญ: ตัวประมาณอัตราส่วน, ตัวแปรช่วย, ค่ามากสุดและค่าน้อยสุด, ปริมาณขยะมูลฝอย

ABSTRACT

The purposes of this research were: 1) propose the ratio estimator of population mean under maximum and minimum values ($\bar{y}_{RMC}$) ; 2) to compare the efficiency (*MSE* and *PRE*) of the propose ratio estimator with simple population mean estimator ($\bar{y}$), classical ratio estimator , population mean under maximum and minimum values ($\bar{y}_s$) and ratio estimator of Subramani and Kumarapandiyan ($\bar{y}_p$) using the simulation with 60 situations by simple random sampling without replacement (SRSWOR) and 3) to estimate the yearly average amount of solid waste from Bangkok Metropolitan

* *Corresponding author. E-mail: ctrakulsoontorn@gmail.com*

Administration in year 2019 using the propose ratio estimator. The accuracy under mean percent relative error (*MPRE*) have to lesser or equally in 10%

The results were as follows:

1) The ratio estimator of population mean under maximum and minimum values was more efficient than other estimators in every situations and more effective when the correlation and sample size are increased.

2. The propose ratio estimator was acceptable for estimate the yearly average amount of solid waste from Bangkok Metropolitan Administration in year 2019 since the mean percent relative error (*MPRE*) was 2.95 % and the yearly average amount of solid waste 3,924,107.28 tons per year.

Keywords: ratio estimator, auxiliary variable, maximum and minimum values, amount of solid waste

ความนำ

วิกฤตปัญหาขยะมูลฝอย เป็นปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน เนื่องจากปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีผลต่อการจัดการขยะมูลฝอย รวมถึงเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการวางแผนออกแบบระบบการจัดการขยะมูลฝอย ด้วยเหตุนี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในพื้นที่รับผิดชอบ วิธีการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่ใช้กันมากที่สุดเป็นการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยด้วยข้อมูลในอดีต ซึ่งเป็นวิธีการที่เรียบง่าย โดยใช้ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดในปีงบประมาณที่ผ่านมาคูณด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นของปริมาณขยะมูลฝอยในอดีต

กรุงเทพมหานครเป็นศูนย์กลางความเจริญในทุกด้าน เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีประชากรเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 ล้านคน จึงเป็นเมืองที่มีประชากรมากอันดับ 1 ในขณะเดียวกันผลิตขยะมูลฝอยปริมาณมากที่สุดในประเทศ จากการคาดการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยของธนาคารเพื่อความร่วมมือระหว่างประเทศแห่งญี่ปุ่น (Japan Bank for International Cooperation: JBIC) คาดการณ์ว่า ในปี พ.ศ. 2557 มีปริมาณขยะมูลฝอย 13,800 ตันต่อวัน และจากการคาดการณ์จำนวนประชากรที่มีอยู่จริงในกรุงเทพมหานคร พบว่า มีประชากรตามทะเบียนราษฎร์รวมกับประชากรแฝงประมาณ 10,600,000 คน โดยคาดว่าจะมีอัตราการเกิดขยะมูลฝอยประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อคนและมีขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 12,578 ตันต่อวัน แต่ปรากฏว่าปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บได้จริง 9,940 ตันต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบย้อนหลังตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2550-2560 พบว่า ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยในอนาคตที่คำนวณจากการคาดคะเนผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศในอนาคตโดย JBIC กับปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้จริงแตกต่างกันมากกว่า ร้อยละ 30 (สำนักสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร, 2558) ดังนั้นวิธีการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครจึงใช้วิธีการเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งต้องเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดที่เกิดขึ้นในปีงบประมาณจนเสร็จสิ้น จึงจะประมาณปริมาณขยะมูลฝอยในปีงบประมาณต่อไปได้ ทำให้วางแผนการจัดการขยะมูลฝอยที่เหมาะสมกับปริมาณขยะมูลฝอยล่วงหน้าไม่ได้

การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimation parameter) เป็นวิธีการอนุมานทางสถิติที่วิเคราะห์ข้อมูลสำรวจตัวอย่างในรูปของค่าสถิติ หรือเรียกว่าตัวประมาณ (Estimator) เพื่ออนุมานพารามิเตอร์ที่สนใจว่าควรมีค่าประมาณเท่าใด และที่สำคัญต้องเป็นค่าประมาณที่มีความแม่นยำ ค่าเฉลี่ยเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในทางสถิติ โดยทั่วไปการประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย $(\bar{Y})$ จะใช้ตัวประมาณค่าเฉลี่ย $(\bar{y})$ ซึ่งเป็นตัวประมาณที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อนและไม่เอนเอียง (Unbiased) แต่ถ้าข้อมูลสำรวจตัวอย่างมีค่ามากสุด (y_{max}) หรือค่าน้อยสุดในประชากร (y_{min}) ปะปนอยู่ค่าตัวประมาณ

$\bar{y}$ จะมากหรือน้อยเกินไป Sandral (1972) ปรับตัวประมาณ $\bar{y}$ ด้วยค่าคงที่ *(c)* และนำเสนอตัวประมาณค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด $(\bar{y}_S)$ ซึ่งการคำนวณค่าตัวประมาณ $\bar{y}$ และ $\bar{y}_S$ ใช้เพียงข้อมูลตัวแปรที่ศึกษาจากการสำรวจตัวอย่างเท่านั้น โดยไม่สนใจตัวแปรอื่นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา หรือเรียกว่าตัวแปรช่วย (Auxiliary variable: *X*) Cochran (1977) เสนอแนวคิดว่า ถ้าตัวแปร *X* และ *Y* มีความสัมพันธ์เชิงบวก หากข้อมูลสำรวจตัวอย่างให้ค่า $\bar{y}$ เบี่ยงเบนจาก $\bar{Y}$ แล้วค่า $\bar{x}$ จะเบี่ยงเบนจาก $\bar{X}$ เช่นกัน การปรับค่าของตัวประมาณ $\bar{y}$ ด้วย $\bar{X} / \bar{x}$ จะทำให้ค่าประมาณเบี่ยงเบนจาก $\bar{Y}$ น้อยลงและนำเสนอตัวประมาณอัตราส่วน $(\bar{y}_r)$ เป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วน ในช่วงที่ผ่านมามีการนำเสนอการปรับตัวประมาณ $\bar{y}_r$ อย่างต่อเนื่องด้วยค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรช่วย เช่น สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (c_x) สัมประสิทธิ์ความโด่ง $(\boldsymbol{\beta}_2(x))$ สัมประสิทธิ์ความเบ้ $(\boldsymbol{\beta}_1(x))$ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $(\boldsymbol{\rho}_{xy})$ และมัธยฐาน (M_d) ดังการศึกษาของ Sisodia and Dwivedi (1981), Upadhyaya and Singh (1999), Singh and Tailor (2003), Yan and Tian (2010) และ Subramani and Kumarapandiyan (2013) เป็นต้น งานวิจัยนี้ศึกษาตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan $(\bar{y}_p)$ ที่นำเสนอในปี ค.ศ. 2013 ที่ปรับตัวประมาณ $\bar{y}_r$ ด้วยพารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย ซึ่งเป็นค่ากลางที่มีความแกร่งต่อข้อมูลที่มีค่ามากหรือน้อยผิดปกติ และมีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนเป็นตัวประมาณเริ่มต้น (Initial estimator) เพื่อพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ปรับใหม่ อย่างไรก็ตามการพัฒนาตัวประมาณ $\bar{y}_r$ ที่กล่าวมานั้นปรับตัวประมาณด้วยพารามิเตอร์ของตัวแปรช่วยแต่ไม่ได้พิจารณาว่า ถ้าข้อมูลสำรวจตัวอย่างมีค่ามากสุดของตัวแปรที่ศึกษา (y_{max}) และตัวแปรช่วย (x_{min}) หรือค่าน้อยสุดของตัวแปรที่ศึกษา (y_{min}) และตัวแปรช่วย (x_{min}) ในประชากรแล้ว ตัวประมาณ $\bar{y}_r$ จะมีค่ามากหรือน้อยเกินไปเช่นกัน Khan and Shabbir (2013) จึงนำตัวประมาณ $\bar{y}_r$ ปรับใช้ร่วมกับตัวประมาณ ต่อมา Al-Hossain and Khan (2014) นำตัวประมาณอัตราส่วน กรณีใช้ตัวแปรช่วย 2 ตัว ปรับใช้ร่วมกับตัวประมาณ $\bar{y}_s$ และ Khan, Ullah, Al-Hossain, and Bashir (2015) นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่พัฒนาต่อจากตัวประมาณ $\bar{y}_r$ ปรับใช้ร่วมกับตัวประมาณ $\bar{y}_s$ โดยปรับตัวประมาณ $\bar{y}$ ของตัวแปรที่สนใจศึกษาด้วยค่าคงที่ $c_1 = (y_{max} - y_{min})/2n$ และปรับตัวประมาณ $\bar{x}$ ของตัวแปรช่วยด้วยค่าคงที่ $c_2 = (x_{max} - x_{min})/2n$ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยทั้งสิ้น โดยประมาณความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 และหาค่าคงที่ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่พัฒนาน้อยที่สุดด้วยอนุพันธ์ย่อยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่พัฒนาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (*MSE*) น้อยที่สุดและค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (*PRE*) เกิน 100

แม้จะมีการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนจำนวนมาก แต่ยังไม่ปรากฏการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนที่ใช้พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วยมาปรับใช้ร่วมกับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและน้อยสุด และไม่ปรากฏงานวิจัยการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่ใช้ตัวประมาณอัตราส่วน ประกอบกับวิธีการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่นิยมใช้นั้น ประมาณจากปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ผ่านมาซึ่งเป็นมีความสัมพันธ์กับปริมาณขยะมูลฝอยในปีปัจจุบัน นอกจากนี้ในสถานการณ์จริงปริมาณขยะมูลฝอยเป็นข้อมูลที่มีค่ามากสุดและค่าน้อยสุดปะปนอยู่ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย โดยใช้พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วยตัวเดียว มาปรับใช้ร่วมกับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด เพื่อให้ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด $(\bar{y}_{RMC})$ ที่สามารถประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ในปีงบประมาณต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

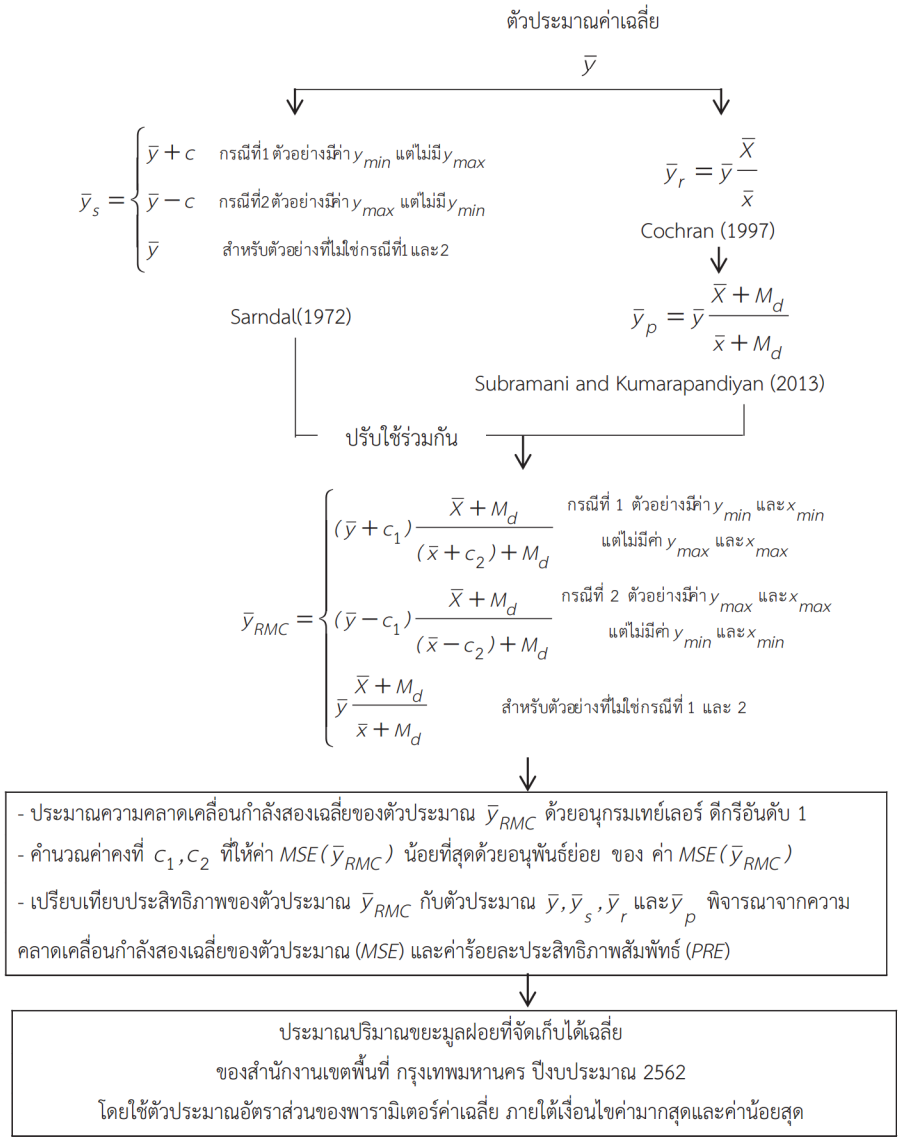
เพื่อเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด ($\bar{y}_{RMC}$)

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่นำเสนอกับตัวประมาณค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ตัวประมาณอัตราส่วน ($\bar{y}_r$) ตัวประมาณค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด ($\bar{y}_s$) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan ($\bar{y}_p$)

3. เพื่อประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด

กรอบแนวคิดการวิจัย

การนำตัวประมาณอัตราส่วนปรับใช้ ร่วมกับตัวประมาณค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด เพื่อพัฒนาเป็นตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ ในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยต่อไป รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย เรื่องการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยโดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ เพื่อประมาณปริมาณขยะมูลฝอย โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด มีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด

1. ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการพัฒนาตัวประมาณค่าเฉลี่ย ตัวประมาณค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุด และค่าน้อยสุด และตัวประมาณอัตราส่วนที่มีผู้เสนอไว้ก่อนหน้านี้ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ตัวประมาณอัตราส่วนที่นำเสนอโดย Subramani and Kumarapandiyan (2013) ซึ่งใช้ตัวแปรช่วยตัวเดียว และนำพารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วยมาปรับตัวประมาณอัตราส่วนของ Cochran เป็นตัวประมาณเริ่มต้น

2. ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการนำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย มาปรับใช้ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด

3. ศึกษาแนวคิดทางการวิเคราะห์เชิงตัวเลข และทฤษฎีบทเทย์เลอร์ เพื่อใช้ในการประมาณสมการความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$

4. คำนวณค่าคงที่ c_1 และ c_2 ที่ให้ค่า *MSE* ($\bar{y}_{RMC}$) น้อยที่สุด และแทนค่ากลับในตัวประมาณ และสมการ *MSE* ($\bar{y}_{RMC}$)

ขั้นตอนที่ 2 การจำลองข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณ อัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุด และค่าน้อยสุดกับตัวประมาณอื่น

1. ศึกษาลักษณะเบื้องต้นของปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 (สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร, 2561) เพื่อกำหนดลักษณะการแจกแจงของข้อมูลที่เหมาะสม ปรากฏว่า ปริมาณขยะมูลฝอยในแต่ละปี มีลักษณะการแจกแจงเป็นโค้งเบ้ขวา มีความสัมพันธ์อย่างมากในเชิงบวก และมีการแจกแจงแบบล็อกปกติเช่นเดียวกัน จึงประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงจากปริมาณขยะมูลฝอยในปีงบประมาณ 2559 เป็นตัวแปรช่วย (X) และปีงบประมาณ 2560 เป็นตัวแปรที่ศึกษา (Y) ปรากฏว่า X∼L(meanlog = 11.112225, sdlog = 0.407707) และ Y∼L(meanlog = 11.145860, sdlog = 0.409640)

2. สร้างข้อมูลประชากร X และ Y ขนาด 1,000 ที่มีการแจกแจงตามข้อ 1 และเปลี่ยนค่า sdlog ของตัวแปร Y อีก 2 ระดับคือ sdlog = 0.3 และ 0.5 แต่ละกลุ่ม X และ Y มีความสัมพันธ์ 5 ระดับ คือ ρ_{xy} = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 รวมเป็นประชากร 15 กลุ่ม แต่ละกลุ่มคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการหาค่าตัวประมาณ เลือกตัวอย่างจากประชากรแต่ละกลุ่มด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบไม่คืนที่ กำหนดขนาดตัวอย่าง 4 ขนาด คือ n = 30, 50, 100 และ 200 รวมเป็นข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์โดยวิธีมอนติคาร์โลจำนวน 60 สถานการณ์ แต่ละสถานการณ์เลือกตัวอย่างซ้ำ 10,000 รอบ

3. ในแต่ละรอบของการเลือกตัวอย่างคำนวณค่าประมาณ $\bar{y}$, $\bar{y}_s$, $\bar{y}_r$, $\bar{y}_p$ และ $\bar{y}_{RMC}$ แล้วคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (*MSE*) ดังสมการที่ (1.1) และร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (*PRE*) ของ $\bar{y}_{RMC}$ ดังสมการที่ (1.2)

$$MSE(\bar{y}_i) = \frac{1}{10000}\sum_{j=1}^{10000}(\bar{y}_{ij} - \bar{Y}_i)^2 \qquad (1.1)$$

เมื่อ $\bar{y}_{ij}$ คือ ค่าตัวประมาณ $\bar{y}_i$ ในการทำซ้ำครั้งที่ j

$\bar{y}_i = \bar{y}, \bar{y}_s, \bar{y}_r, \bar{y}_p, \bar{y}_{RMC}$ และ j = 1, 2, 3, ..., 10000

$\bar{Y}$ คือ ค่าเฉลี่ยประชากร

$$PRE(\bar{y}_i) = \frac{MSE(\bar{y}_i)}{MSE(\bar{y}_{RMC})} \times 100 \qquad (1.2)$$

เมื่อ $\bar{y}_i$ คือ $\bar{y}, \bar{y}_s, \bar{y}_r, \bar{y}_p$

4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ กับตัวประมาณ $\bar{y}, \bar{y}_s, \bar{y}_r$ และ $\bar{y}_p$ ด้วยเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (*MSE*) ต่ำสุด และร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (*PRE*) เกิน 100

ขั้นตอนที่ 3 การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ย (ตันต่อปี) ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร

ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณที่นำเสนอ

ขั้นตอนนี้ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ย (ตันต่อปี) ของปีงบประมาณ 2553–2560 ของสำนักงานเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ด้วยตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ ดังสมการที่ (1.3) โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณจากตัวอย่างหน่วยงานที่รับผิดชอบจัดเก็บขยะมูลฝอยในเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครจำนวน 19 แห่ง จำนวน 100 รอบ เกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (*MPRE*) ดังสมการที่ (1.4) ไม่เกิน 10% (ชนัญกาญจน์ แสงประสาน, เสรี ชัดแช้ม และพัชรี วงษ์เกษม, 2558)

$$\bar{y}_t = \left(\bar{y}_{RMC(t-1)} \times w_1\right) \times w_2 \qquad (1.3)$$

$$MPRE_t = \frac{1}{100}\sum_{i=1}^{100}\left(\frac{\left|\bar{y}_{t(i)} - \bar{Y}_t\right|}{\bar{Y}_t} \times 100\right) \qquad (1.4)$$

เมื่อ $\bar{y}_t$ คือ ค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยปีงบประมาณ t; t=2553, 2554, ..., 2560

$\bar{y}_{RMC\,(t-1)}$ คือ ค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยในปีงบประมาณ t-1 ด้วยตัวประมาณ

w_1 คือ อัตราส่วนเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอย 12 เดือนต่อ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2551–2560 มีค่า 2.05

w_2 คือ อัตราส่วนเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอยในปีงบประมาณ t ต่อ t-1 มีค่า 1.0205

$MPRE_t$ คือ ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยปีงบประมาณที่ t

$\bar{y}_t$ คือ ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยในปีงบประมาณ t

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด

ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด นี้พัฒนามาจากการนำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของ Subramani and Kumarapandiyan (2013) มาปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุดตามแนวคิดของ Sarndal (1972) ปรากฏดังสมการที่ (1.5)

$$\bar{y}_{RMC} = \begin{cases} (\bar{y} + c_1)\dfrac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} + c_2) + M_d} & \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \text{ แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ (\bar{y} - c_1)\dfrac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} - c_2) + M_d} & \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \text{ แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \bar{y}\dfrac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases} \qquad (1.5)$$

เมื่อ c_1, c_2 คือ ค่าคงที่ที่ให้ค่า น้อยที่สุด

$\bar{X}$, $\bar{x}$ คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยและตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย

$\bar{y}$ คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่สนใจศึกษา

M_d คือ พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย

y_{maxc}, x_{max} คือ พารามิเตอร์ค่ามากสุดของตัวแปรที่ศึกษาและตัวแปรช่วย

y_{min}, y_{min} คือ พารามิเตอร์ค่าน้อยสุดของตัวแปรที่ศึกษาและตัวแปรช่วย

จากนั้นกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 เพื่อหา ปรากฏดังสมการที่ (1.6)

$$MSE(\bar{y}_{RMC}) = \lambda\left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx}\right) - \frac{2n}{N-1}\left((c_1 - c_2\beta)\left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) - n(c_1 - c_2\beta)\right)\right)\right] \quad (1.6)$$

เมื่อ $\beta = \dfrac{\bar{Y}}{\bar{X} + M_d}$

คำนวณค่าคงที่ c_1 และ c_2 ที่ให้ค่า $MSE(\bar{y}_{RMC})$ น้อยที่สุดด้วยวิธีการหาอนุพันธ์ย่อยของ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ เทียบกับค่า c_1 และ c_2 แล้วกำหนดอนุพันธ์ย่อยที่ได้เท่ากับศูนย์ แก้สมการเพื่อหาค่า c_1 และ c_2 แล้วแทนค่ากลับในตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ และสมการ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ (Khan & Shabbir, 2013; Al-Hossain & Khan, 2014; Khan et al., 2015)

$$\frac{\partial MSE(\bar{y}_{RMC})}{\partial c_1} = -\frac{2n}{N-1}\left[(y_{max} - y_{min}) - 2n(c_1 - c_2\beta) - \beta(x_{max} - x_{min})\right] = 0$$

ดังนั้น $(y_{max} - y_{min}) - 2n(c_1 - c_2\beta) - \beta(x_{max} - x_{min}) = 0$

$$\frac{\partial MSE(\bar{y}_{RMC})}{\partial c_2} = -\frac{2n}{N-1}\left[-\beta(y_{max} - y_{min}) - 2n(c_1 - c_2\beta)(-\beta) - (\beta)^2(x_{max} - x_{min})\right]$$

ดังนั้น $(y_{max} - y_{min}) - 2n(c_1 - c_2\beta) - \beta(x_{max} - x_{min}) = 0$

ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ของค่า c_1 และ c_2 ซึ่งสอดคล้องกับ Sandral (1972), Khan and Shabbir (2013), Al-Hossain and Khan (2014) และ Khan et al. (2015) แสดงดังสมการที่ (1.7)

$$c_1 = \frac{(y_{max} - y_{min})}{2n} \text{ และ } c_2\beta = \frac{\beta(x_{max} - x_{min})}{2n} \text{ หรือ } c_2 = \frac{(x_{max} - x_{min})}{2n} \quad (1.7)$$

แทนค่ากลับในสมการที่ (1.5) และ (1.6) เพื่อได้ตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ และ $(\bar{y}_{RMC})$ ที่มีค่าต่ำสุด ดังสมการที่ (1.8) และ (1.9)

$$\bar{y}_{RMC} = \begin{cases} \left(\bar{y} + \dfrac{y_{max} - y_{min}}{2n}\right)\dfrac{\bar{X} + M_d}{\left(\bar{x} + \dfrac{x_{max} - x_{min}}{2n}\right) + M_d} & \text{กรณีที่1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ} x_{min} \text{ แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ} x_{max} \\ \left(\bar{y} - \dfrac{y_{max} - y_{min}}{2n}\right)\dfrac{\bar{X} + M_d}{\left(\bar{x} - \dfrac{x_{max} - x_{min}}{2n}\right) + M_d} & \text{กรณีที่2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ} x_{max} \text{ แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ} x_{min} \\ \bar{y}\dfrac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่1 และ2} \end{cases} \quad (1.8)$$

$$MSE(\bar{y}_{RMC})_{min} = \lambda\left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx}\right) - \frac{1}{2(N-1)}\left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min})\right)^2\right] \quad (1.9)$$

จากสมการที่ (1.9) แสดงให้เห็นว่า ตัวประมาณ $(\bar{y}_{RMC})$ จะมีความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลดลง เมื่อ 1) ขนาดตัวอย่าง (n) มีค่าเพิ่มขึ้น 2) S^2_y มีค่าน้อย 3) y_{max} - y_{min} มีค่ามาก 4) x_{max} - x_{min} มีค่าน้อย 5) มีค่าน้อย S^2_x และ 6) S_{yx} มีค่ามาก

2. ผลการจำลองข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด $(\bar{y}_{RMC})$ กับตัวประมาณอื่น

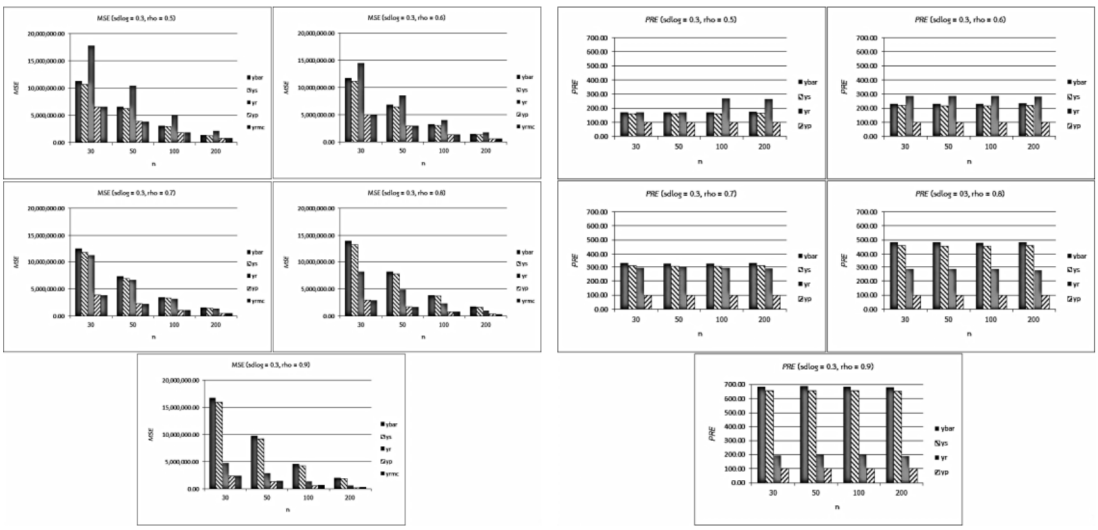
ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณด้วยข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์ 60 สถานการณ์ (sdlog = 0.3, 0.409640, 0.5; ρ_{xy} = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9; n = 30, 50, 100, 200) ค่า *MSE* ของตัวประมาณและ *PRE* ของ $\bar{y}_{RMC}$ เทียบกับทุกตัวประมาณ แสดงดังตารางที่ 1 ถึง 3 และ ภาพที่ 2 ถึง 4 แสดงให้เห็นว่า ตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ มีประสิทธิภาพมากกว่าทุกตัวประมาณในทุกสถานการณ์ โดยที่ตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อข้อมูลที่ศึกษามีการกระจายน้อย ระดับความสัมพันธ์ และขนาดตัวอย่างมากขึ้น ตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ จะมีประสิทธิภาพแตกต่างจากตัวประมาณ $\bar{y}$ และ $\bar{y}_s$ มากที่สุดเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์น้อย และเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์มากขึ้น ตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ จะมีประสิทธิภาพแตกต่างจากตัวประมาณ $\bar{y}_r$ มากที่สุดในขณะที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตัวประมาณ $\bar{y}_p$ ในทุกสถานการณ์

3. การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ย (ตันต่อปี) ของสำนักงานเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 ด้วยตัวประมาณที่นำเสนอ

ผลการศึกษาความคลาดเคลื่อนของการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ย (ตันต่อปี) ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ด้วยตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ ในปีงบประมาณ 2553-2560 โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2551–2560 ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยปีงบประมาณที่ t ($MPRE_t$) และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (*MPRE*) ในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 1 ค่า *MSE* และ *PRE* กรณี sdlod = 0.3

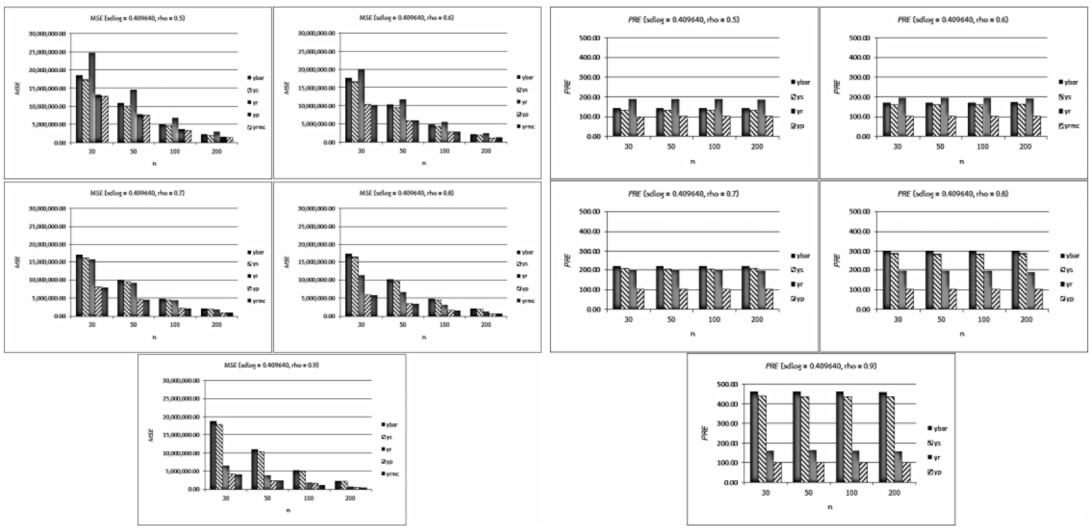
	ตัวอย่าง	*MSE* ของตัวประมาณ					*PRE* ของตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ เทียบกับตัวประมาณ			
ρ_{XY}	n	$\bar{y}$	$\bar{y}_s$	$\bar{y}_r$	$\bar{y}_p$	$\bar{y}_{RMC}$	$\bar{y}$	$\bar{y}_s$	$\bar{y}_r$	$\bar{y}_p$
0.5	30	11,319,393.00	10,732,231.00	17,812,488.00	6,592,430.00	6,552,641.00	172.75	163.78	172.84	100.61
	50	6,611,470.00	6,246,192.00	10,480,178.00	3,884,971.00	3,858,453.00	171.35	161.88	171.62	100.69
	100	3,127,588.00	2,957,704.00	4,945,887.00	1,841,196.00	1,828,026.00	171.09	161.80	270.56	100.72
	200	1,405,662.10	1,324,690.60	2,153,552.30	810,819.80	805,239.10	174.56	164.51	267.44	100.69
0.6	30	11,742,830.00	11,145,453.00	14,493,664.00	5,093,788.00	5,056,276.00	232.24	220.43	286.65	100.74
	50	6,853,670.00	6,452,760.00	8,532,649.00	2,998,043.00	2,973,357.00	230.50	217.02	286.97	100.83
	100	3,241,700.00	3,065,328.00	4,026,795.00	1,420,886.00	1,409,911.00	229.92	217.41	285.61	100.78
	200	1,455,846.00	1,382,112.20	1,753,600.60	627,605.10	622,782.00	233.76	221.93	281.58	100.77
0.7	30	12,563,161.00	11,957,498.00	11,345,350.00	3,872,222.00	3,830,092.00	328.01	312.20	296.22	101.10
	50	7,328,296.00	6,919,985.00	6,684,800.00	2,273,955.00	2,246,320.00	326.24	308.06	297.59	101.23
	100	3,466,044.00	3,285,365.00	3,154,665.00	1,077,858.00	1,065,568.00	325.28	308.32	296.05	101.15
	200	1,554,241.70	1,479,309.70	1,374,057.20	478,159.40	472,841.60	328.70	312.86	290.60	101.12
0.8	30	13,975,954.00	13,360,757.00	8,204,731.00	2,937,431.00	2,889,806.00	483.63	462.34	283.92	101.65
	50	8,149,682.00	7,732,793.00	4,840,855.00	1,718,006.00	1,686,903.00	483.12	458.40	286.97	101.84
	100	3,854,705.60	3,669,008.30	2,284,385.80	814,707.60	800,801.10	481.36	458.17	285.26	101.74
	200	1,724,441.10	1,648,124.30	995,296.70	363,618.80	357,718.10	482.06	460.73	278.23	101.65
0.9	30	16,715,802.00	15,992,575.00	4,776,255.00	2,484,166.00	2,437,736.00	685.71	656.04	195.93	101.90
	50	9,756,482.00	9,287,793.00	2,821,572.00	1,445,170.00	1,414,960.00	689.52	656.40	199.41	102.14
	100	4,613,242.50	4,386,812.10	1,331,440.80	685,635.40	671,371.60	687.14	653.41	198.32	102.12
	200	2,056,834.20	1,972,983.50	580,269.00	307,888.20	302,560.60	679.81	652.10	191.79	101.76



ภาพที่ 2 กราฟค่า *MSE* และ *PRE* กรณี sdlod = 0.3

ตารางที่ 2 ค่า *MSE* และ *PRE* กรณี sdlod = 0.409640

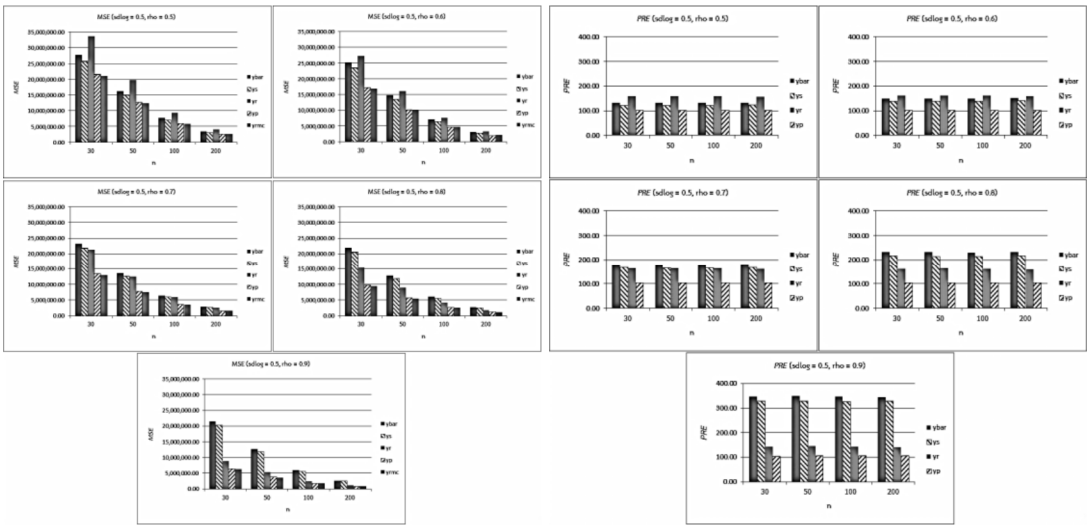
	ตัวอย่าง	*MSE* ของตัวประมาณ					*PRE* ของตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ เทียบกับตัวประมาณ			
ρ_{XY}	n	$\bar{y}$	$\bar{y}_s$	$\bar{y}_r$	$\bar{y}_p$	$\bar{y}_{RMC}$	$\bar{y}$	$\bar{y}_s$	$\bar{y}_r$	$\bar{y}_p$
0.5	30	18,506,576.00	17,398,633.00	24,697,594.00	13,166,108.00	12,921,888.00	143.22	134.64	191.13	101.89
	50	10,840,459.00	10,151,708.00	14,521,146.00	7,750,434.00	7,596,617.00	142.70	133.63	191.15	102.02
	100	5,132,193.00	4,810,441.00	6,850,816.00	3,673,066.00	3,597,595.00	142.66	133.71	190.43	102.10
	200	2,305,665.00	2,154,573.00	2,983,246.00	1,622,102.00	1,589,284.00	145.08	135.57	187.71	102.07
0.6	30	17,680,543.00	16,626,901.00	20,072,951.00	10,436,709.00	10,239,461.00	172.67	162.38	196.04	101.93
	50	10,347,636.00	9,643,210.00	11,806,422.00	6,139,062.00	6,008,664.00	172.21	160.49	196.49	102.17
	100	4,897,921.00	4,589,417.00	5,570,331.00	2,909,828.00	2,852,523.00	171.70	160.89	195.28	102.01
	200	2,200,925.00	2,070,149.00	2,425,781.00	1,287,834.00	1,262,345.00	174.35	163.99	192.16	102.02
0.7	30	17,307,272.00	16,302,550.00	15,687,346.00	8,049,389.00	7,868,617.00	219.95	207.18	199.37	102.30
	50	10,119,740.00	9,445,431.00	9,231,607.00	4,728,679.00	4,609,200.00	219.56	204.93	200.59	102.59
	100	4,789,408.00	4,492,622.00	4,355,665.00	2,241,897.00	2,189,111.00	218.78	205.23	198.97	102.41
	200	2,151,194.80	2,026,327.40	1,896,968.40	995,224.30	972,024.30	221.31	208.46	195.16	102.39
0.8	30	17,510,591.00	16,560,795.00	11,314,766.00	5,950,603.00	5,787,785.00	302.54	286.13	195.49	102.81
	50	10,229,292.00	9,588,843.00	6,663,991.00	3,487,639.00	3,380,135.00	302.63	283.68	197.15	103.18
	100	4,840,771.00	4,557,187.00	3,144,364.00	1,654,340.00	1,606,503.00	301.32	283.67	195.73	102.98
	200	2,170,987.60	2,052,757.80	1,369,616.00	737,581.70	716,877.30	302.84	286.35	191.05	102.89
0.9	30	18,832,007.00	17,963,442.00	6,590,395.00	4,226,667.00	4,086,198.00	461.11	439.61	161.28	103.44
	50	10,998,248.00	10,401,789.00	3,888,937.00	2,465,805.00	2,373,341.00	463.41	438.28	163.86	103.90
	100	5,204,501.00	4,938,117.00	1,835,141.00	1,770,949.00	1,129,318.00	460.85	437.27	162.50	103.69
	200	2,326,395.70	2,216,778.50	799,623.40	525,082.80	507,487.50	458.41	436.81	157.57	103.47



ภาพที่ 3 กราฟค่า *MSE* และ *PRE* sdlog = 0.409640

ตารางที่ 3 ค่า *MSE* และ *PRE* กรณี sdlod = 0.5

	ตัวอย่าง	*MSE* ของตัวประมาณ					*PRE* ของตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ เทียบกับตัวประมาณ			
ρ_{XY}	n	$\bar{y}$	$\bar{y}_s$	$\bar{y}_r$	$\bar{y}_p$	$\bar{y}_{RMC}$	$\bar{y}$	$\bar{y}_s$	$\bar{y}_r$	$\bar{y}_p$
0.5	30	27,693,234.00	25,839,857.00	33,626,981.00	21,703,251.00	21,082,447.00	131.36	122.57	159.50	102.94
	50	16,267,423.00	15,115,626.00	19,767,579.00	12,785,175.00	12,395,350.00	131.24	121.95	159.48	103.14
	100	7,704,701.00	7,164,989.00	9,325,054.00	6,059,482.00	5,868,312.00	131.29	122.10	158.91	103.26
	200	3,458,550.00	3,207,636.00	4,066,831.00	2,680,843.00	2,596,859.00	133.18	123.52	156.61	103.23
0.6	30	25,243,549.00	23,544,960.00	27,310,038.00	17,370,619.00	16,875,552.00	149.59	139.52	161.83	102.93
	50	14,816,585.00	13,682,514.00	16,057,661.00	10,228,110.00	9,898,026.00	149.69	138.23	162.23	103.33
	100	7,016,576.00	6,520,418.00	7,575,426.00	4,848,488.00	4,702,683.00	149.20	138.65	161.09	103.10
	200	3,151,775.00	2,939,774.00	3,303,786.00	2,148,674.00	2,083,746.00	151.25	141.08	158.55	103.12
0.7	30	23,320,128.00	21,765,089.00	21,322,138.00	13,464,493.00	13,035,985.00	178.89	166.96	163.56	103.29
	50	13,673,557.00	12,632,010.00	12,540,407.00	7,921,565.00	7,635,968.00	179.07	165.43	164.23	103.74
	100	6,474,607.00	6,017,065.00	5,916,501.00	3,756,263.00	3,629,609.00	178.38	165.78	163.01	103.49
	200	2,908,976.00	2,714,767.00	2,580,345.00	1,668,487.00	1,612,569.00	180.39	168.35	160.01	103.47
0.8	30	21,958,295.00	20,560,662.00	15,353,715.00	9,850,219.00	9,492,255.00	231.33	216.60	161.75	103.77
	50	12,858,964.00	11,919,025.00	9,034,354.00	5,786,406.00	5,548,037.00	231.78	214.83	162.84	104.30
	100	6,088,172.00	5,673,127.00	4,262,786.00	2,745,277.00	2,638,995.00	230.70	214.97	161.53	104.03
	200	2,733,495.00	2,558,801.00	1,859,188.00	1,223,507.00	1,177,123.00	232.22	217.38	157.94	103.94
0.9	30	21,560,762.00	20,360,791.00	8,908,378.00	6,486,566.00	6,212,903.00	347.03	327.72	143.39	104.40
	50	12,606,764.00	11,794,685.00	5,247,684.00	3,797,324.00	3,615,528.00	348.68	326.22	145.14	105.03
	100	5,968,009.00	5,606,595.00	2,476,572.00	1,803,631.00	1,721,826.00	346.61	325.62	143.83	104.75
	200	2,672,552.10	2,522,373.80	1,080,274.40	807,987.60	772,965.80	345.75	326.32	139.76	104.53



ภาพที่ 4 กราฟค่า *MSE* และ *PRE* กรณี sdlog = 0.5

ตารางที่ 4 ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยของการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยปีที t ($MPRE_t$)

	ปีงบประมาณ								
	2560	2559	2558	2557	2556	2555	2554	2553	*MPRE*
$MPRE_t$	2.572	3.723	2.699	3.416	2.527	3.765	2.445	2.470	2.952

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ในกรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ ให้ค่าร้อยละ ความคลาดเคลื่อน สัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 2.45 – 3.77 หรือโดยเฉลี่ยร้อยละ 2.95 (ไม่เกิน 10%) ถือว่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

จากการเลือกตัวอย่างสำนักงานเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร จำนวน 19 แห่ง เพื่อรวบรวมข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอย 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2561 และ 2560 ปรากฏว่า ในตัวอย่างสำนักงานเขตพื้นที่ที่เลือกได้นั้นมี สำนักงานเขตพื้นที่สัมพันธวงศ์ ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีข้อมูลที่มีค่าน้อยสุดในประชากรอยู่ในกลุ่มตัวอย่าง จึงประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณดังสมการ (1.10)

$$\bar{y}_{62} = \left((\bar{y}_{61} + c_1) \frac{\bar{X}_{60} + M_{d(60)}}{(\bar{x}_{60} + c_2) + M_{d(60)}} \times 2.05 \right) \times 1.0205 \qquad (1.10)$$

ค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรช่วย และค่าสถิติในการคำนวณ คือ

$\bar{X}_{60}$ = 36340.49 $\bar{x}_{60}$ = 33048.69 $\bar{y}_{61}$ = 33710.62 $M_{d(60)}$ = 33747.30 y_{max} = 107597.57
y_{min} = 10387.04 x_{max} = 98593.26 x_{min} = 10475.23 c_1 = 2558.17 c_2 = 2318.90

ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 ประมาณเขตพื้นที่ละ 76,943.28 x 51 เท่ากับ 3,924,107.28 ตันต่อปี โดยมีความผิดพลาดร้อยละ 2.95

การอภิปรายผล

ผลการจำลองข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ กับตัวประมาณ $\bar{y}$, $\bar{y}_s$, $\bar{y}_r$ และ $\bar{y}_p$ ภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกัน 60 สถานการณ์ ข้อค้นพบที่ได้คือ ไม่ว่าข้อมูลจะมีความสัมพันธ์ระดับใดและตัวอย่างจะมีขนาดเท่าใดก็ตาม ตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC}$ มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณ $\bar{y}$, $\bar{y}_s$, $\bar{y}_r$ และ $\bar{y}_p$ โดยเฉพาะมีประสิทธิภาพแตกต่างจากตัวประมาณ $\bar{y}_r$ มากที่สุด เมื่อระดับความสัมพันธ์ของ *Y* กับ *X* น้อย และมีประสิทธิภาพแตกต่างจากตัวประมาณ $\bar{y}$ และ $\bar{y}_s$ มากที่สุด เมื่อระดับความสัมพันธ์ของ *Y* กับ *X* มากขึ้น ในขณะที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตัวประมาณ ในทุกระดับความสัมพันธ์ชี้ให้เห็นว่า เมื่อตัวแปรที่ศึกษากับตัวแปรช่วยมีความสัมพันธ์กันน้อย การอธิบายพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยใช้ตัวแปรช่วยในการอธิบายประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นไม่สูงมาก ในขณะที่ถ้าตัวแปรที่สนใจศึกษากับตัวแปรช่วยมีความสัมพันธ์กันมาก การอธิบายพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยด้วยสารสนเทศของตัวแปรช่วยจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Subramani and Kumarapandiyan (2013) และ Subramani (2016) ที่นำพารามิเตอร์มัธยฐาน มาปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย และ Khan and Shabbir (2013), Al-Hossain and Khan (2014), Khan et al. (2015) ที่

นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยมาปรับใช้ร่วมกับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด และมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณที่ศึกษาก่อนหน้านี้

จึงสรุปได้ว่า การนำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณ $\bar{y}$, $\bar{y}_s$, $\bar{y}_r$ และ $\bar{y}_p$ มาใช้ในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ย (ตันต่อปี) น่าจะมีความเหมาะสมมากกว่า และร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยของการประมาณมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.445–3.765 หรือเฉลี่ยร้อยละ 2.952 (ไม่เกิน 10%) ถือว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด ($\bar{y}_{RMC}$) มีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ มีความเหมาะสม ที่จะนำไปใช้ประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ย (ตันต่อปี) ต่อไป

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด ($\bar{y}_{RMC}$) นี้สามารถใช้ประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลสำรวจตัวอย่างที่มีค่ามากหรือน้อยเกินไปปะปนอยู่ ภายใต้ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจศึกษากับตัวแปรช่วยต้องมีความสัมพันธ์เชิงบวก

2. ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด ($\bar{y}_{RMC}$) สามารถประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีค่ามากหรือน้อยเกินไปปะปนอยู่ และข้อมูลที่สนใจศึกษาเก็บรวบรวมได้ยาก เช่น การประมาณปริมาณฝุ่นละอองขนาด PM 2.5 จากจำนวนรถยนต์ ประมาณผลผลิตทางการเกษตรจากพื้นที่การเกษตร ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยต่อครัวเรือนจากจำนวนคนในครัวเรือน ประมาณรายได้สุทธิเฉลี่ยต่อครัวเรือนจากจำนวนคนในครัวเรือน ซึ่งมีประโยชน์ในการวางแผนการจัดสรรงบประมาณ เพื่อการบริหารจัดการต่อไป

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

1. ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด ($\bar{y}_{RMC}$) นี้ อาจมีประสิทธิภาพน้อยกว่า ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ($\bar{y}_r$) เมื่อตัวแปรที่สนใจศึกษาและตัวแปรช่วยมีความสัมพันธ์กันสูงเกินไป ค่า MSE ($\bar{y}_r$) จึงมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ และมีค่าใกล้เคียงกับ MSE ($\bar{y}_{RMC}$) ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากสถานการณ์จำลองที่มีระดับความสัมพันธ์สูงสุดคือ 0.9 ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปการจำลองข้อมูลควรศึกษาในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์สูงกว่า 0.9

2. งานวิจัยนี้นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด ($\bar{y}_{RMC}$) มาประยุกต์กับข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 ซึ่งเป็นข้อมูลอนุกรมเวลา จึงมีความสัมพันธ์กันมาก ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษากับข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลอนุกรมเวลา เช่น ปริมาณผลผลิตทางการเกษตร ปริมาณขยะมูลฝอยต่อครัวเรือน รายได้สุทธิต่อครัวเรือน ปริมาณฝุ่นละอองขนาด PM 2.5 เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

ชนัญกาญจน์ แสงประสาน, เสรี ชัดแช้ม และพัชรี วงษ์เกษม. (2558). การประมาณค่าการระเหยน้ำโดยใช้ ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่. *วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา, 13*(2), 30-43.

สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร. (2558). *แผนบริหารจัดการขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2558-2562*. กรุงเทพฯ: สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร.

สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร. (2561). *ปริมาณมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในแต่ละปีงบประมาณ*. วันที่ค้นข้อมูล 10 เมษายน 2561, เข้าถึงได้จาก http://bangkok.go.th/environment.

Al-Hossain, A. Y., & Khan, M. (2014). Efficiency of ratio, product, and regression estimators under maximum and minimum values, using two auxiliary variables. *Journal of Applied Mathematics,* 1-6. doi: 10.1155/2014/693782

Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques* (3rd ed.). New York: Wiley.

Khan, M., & Shabbir, J. (2013). Some improved ratio, product, and regression estimators of finite population mean when using minimum and maximum values. *The Scientific World Journal, 2013*, 1-7. doi: 10.1155/2013/431868

Khan, M., Ullah, S., Al-Hossain, A. Y., & Bashir, N. (2015). Improved ratio-type estimators using maximum and minimum values under simple random sampling scheme. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 44*(4), 923-931.

Sarndal, C. E. (1972). Sample Survey Theory vs. General Statistical Theory: Estimation of the population mean. *International Statistical Institute, 40*(1), 1-12.

Sisodia, B., & Dwivedi, V. (1981). Modified ratio estimator using coefficient of variation of auxiliary variable. *Journal-Indian Society of Agricultural Statistics, 33*(2), 13-18.

Subramani, J. (2016). A new median based ratio estimator for estimation of the finite population mean. *Statistics in Transition New Series, 17*(4), 591-604.

Subramani, J., & Kumarapandiyan, G. (2013). A new modified ratio estimator for estimation of population mean when median of the auxiliary variable is known. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research, 9*(2), 137-145.

Upadhyaya, L. N., & Singh, H. P. (1999). Use of transformed auxiliary variable in estimating the finite population mean. *Biometrical Journal, 41*(5), 627-636.

Yan, Z., & Tian, B. (2010). Ratio method to the mean estimation using coefficient of skewness of auxiliary variable. *Information Computing and Applications*, 103-110. doi: 10.1007/978-3-642-16339-5_14