

การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยโดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย
ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด

ชลิตา ตระกูลสุนทร

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา


กรกฎาคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมคุณวุฒิบัณฑิตและคณะกรรมการสอบคุณวุฒิบัณฑิต ได้พิจารณา
คุณวุฒิบัณฑิตของ ชลิตา ตระกูลสุนทร ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา ของมหาวิทยาลัยบูรพา
ได้


คณะกรรมการควบคุมคุณวุฒิบัณฑิต


 อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปानी)


 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประยัตต์ แสงงาม)


คณะกรรมการสอบคุณวุฒิบัณฑิต

 ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสาวณิต สุขภารังษี)


 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปानी)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประยัตต์ แสงงาม)

 กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดเข้ม)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูลพงศ์ สุขสว่าง)

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญาอนุมัติให้รับคุณวุฒิบัณฑิตฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญาของ
มหาวิทยาลัยบูรพา

 คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปानी) และวิทยาการปัญญา

วันที่ ๑5 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

ดุชนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กรเพชรปาณี ที่ให้คำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดี และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประหยัด แสงงาม ที่ให้คำปรึกษาในการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่สนับสนุนทุนการศึกษา สำหรับการศึกษาระดับปริญญาเอก ตลอดจน พ่อ แม่ พี่ น้อง และเพื่อน ๆ ทุกคนที่สนับสนุนทั้งด้านวิชาการและให้กำลังใจเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของดุชนิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นกตัญญูทเวทิตาแด่บุพการี บुरพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนถึงทุกวันนี้

ชลิตา ตระกูลสุนทร

56810025: สาขาวิชา: การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา;

ปร.ด. (การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา)

คำสำคัญ: ปริมาณขยะมูลฝอย/ ตัวประมาณอัตราส่วน/ ตัวแปรช่วย/ ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด

ชลิตา ตระกูลสุนทร: การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยโดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (ESTIMATING AMOUNT OF SOLID WASTE USING RATIO ESTIMATOR OF POPULATION MEAN UNDER MAXIMUM AND

MINIMUM VALUES) คณะกรรมการควบคุมคุณภาพนิพนธ์: สุชาติดา กรเพชรปानी, Ph.D.,

ประหยัด แสงงาม, ปร.ด. 215 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ภายใต้การสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายแบบไม่คืนที่ 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพ (MSE และ PRE) ของตัวประมาณที่พัฒนากับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p) ทั้งทางทฤษฎีและการจำลองสถานการณ์ 150 สถานการณ์ 3) ประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 ด้วยตัวประมาณที่พัฒนา โดยกำหนดเกณฑ์ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย ไม่เกินร้อยละ 10

ผลวิจัยปรากฏว่า:

1) การเปรียบเทียบทางทฤษฎีตัวประมาณที่พัฒนามีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p) เสมอ แต่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวประมาณอื่น ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม

2) การจำลองสถานการณ์ตัวประมาณที่พัฒนามีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณอื่นในทุกสถานการณ์ และมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อระดับความสัมพันธ์ และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

3) ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณที่พัฒนามีค่าประมาณเขตละ 76,943.28 ตันต่อปี หรือปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ทั้งหมดของสำนักงานเขตพื้นที่ จำนวน 51 เขตในกรุงเทพมหานคร ประมาณ 3,924,107.28 ตันต่อปี ด้วยความผิดพลาด ร้อยละ 2.952

52810063: MAJOR: RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCE;
Ph.D. (RESEARCH AND STATISTICS IN COGNITIVE SCIENCES)

KEYWORDS: AMOUNT OF SOLID WASTE/ RATIO ESTIMATOR/ AUXILIARY VARIABLE/
MAXIMUM AND MINXIMUM VALUES

CHALIDA TARKULSOONTORN: ESTIMATING AMOUNT OF SOLID WASTE USING
RATIO ESTIMATOR OF POPULATION MEAN UNDER MAXIMUM AND MINIMUM VALUES.
ADVISORY COMMITTEE: SUCHADA KORNPETPANEE, Ph.D., PARYAD SANGNGAM, Ph.D.
215 P. 2018.

Under simple random sampling without replacement, the purposes of this research were: 1) to modify the ratio estimator of population mean under maximum and minimum values (\bar{y}_{RMC}); 2) to compare the efficiency (*MSE* and *PRE*) of the modified estimator with the sample mean estimator (\bar{y}), classical ratio estimator (\bar{y}_r), the estimator under maximum and minimum values (\bar{y}_s) and ratio estimator of Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p) using both theory the simulation with 150 different situations. 3) to estimate the yearly average amount of solid waste from Bangkok Metropolitan Administration in the year 2019 using the modified estimator. The criteria was under mean percent relative error not more than 10%.

The results were shown as follows:

1. For theoretical study, the modified estimator was more efficient than ratio estimator of Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p). However, the modified estimator was more effective than other estimators under mild conditions.

2. In simulation study, the modified estimator was more efficient than composed estimators in all situations. Also, the more correlation and sample size increased, the more effective it is.

3. The modified estimator was acceptable for estimating the average amount of solid waste 76,943.28 tons per year from Bangkok Metropolitan Administration in 2019, in case of all over Bangkok Metropolitan Administration, it was approximately 3,924,107.28 tons per year, under the mean percent relative error was 2.952 %.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	8
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	8
สมมติฐานของการวิจัย.....	12
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	12
ขอบเขตของการวิจัย.....	13
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	15
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
ตอนที่ 1 ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
ตอนที่ 2 ปริมาณขยะมูลฝอย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	42
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	60
ระยะที่ 1 การพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไข ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}).....	60
ระยะที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไข ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p).....	68

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ระยะที่ 3 การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ในปีงบประมาณ 2562	74
4 ผลการวิจัย.....	84
ตอนที่ 1 การพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไข ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด..(\bar{y}_{RMC}).....	85
ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไข ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyam (\bar{y}_p).....	104
ตอนที่ 3 การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ปีงบประมาณ 2562.....	136
5 สรุปและอภิปรายผล.....	144
สรุปผลการวิจัย.....	144
อภิปรายผล.....	149
ข้อเสนอแนะ.....	150
บรรณานุกรม.....	152
ภาคผนวก.....	158
ภาคผนวก ก ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551-2561.....	159
ภาคผนวก ข R script สำหรับการตรวจสอบการแจกแจงที่เหมาะสม ของปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2559-2560.....	168

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก	หน้า
ภาคผนวก ค R script สำหรับการตรวจสอบเงื่อนไขในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณจากข้อมูลจริง.....	177
ภาคผนวก ง R script สำหรับการคำนวณค่า <i>MSE</i> และ <i>PRE</i> ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณจากข้อมูลจริง.....	181
ภาคผนวก จ R script สำหรับการจำลองข้อมูลและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณ.....	186
ภาคผนวก ฉ R script สำหรับการศึกษาคความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC}	190
ภาคผนวก ช เอกสารรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์.....	212
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	214

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในกลุ่ม A (Class A).....	31
2-2 ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในกลุ่ม B (Class B).....	32
2-3 อัตราการเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น.....	44
2-4 ปริมาณและอัตราขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ปี พ.ศ. 2551–2559.....	47
2-5 เขตพื้นที่การจัดการขยะมูลฝอยของสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร.....	49
2-6 ค่าเฉลี่ยปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ ประจำปีงบประมาณ 2560.....	49
2-7 ปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครโดย JBIC และปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ โดยสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2550–2569.....	51
3-1 ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยปีงบประมาณที่ t ($MPRE_t$).....	80
3-2 ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยของการพยากรณ์ปีงบประมาณ t ($MPRE_t$).....	81
4-1 จุดเด่นและจุดด้อยของตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s , \bar{y}_r , \bar{y}_p และ \bar{y}_{RMC}	87
4-2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย.....	109
4-3 ผลการตรวจสอบเงื่อนไขในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณเชิงทฤษฎี.....	110
4-4 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE).....	110
4-5 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) ของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC}	111
4-6 ลักษณะเบื้องต้นของข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ใน กรุงเทพมหานคร.ปีงบประมาณ 2551–2560.....	112
4-7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของ สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 ($Y51$ – $Y60$).....	113
4-8 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.3$	115
4-9 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.3$	117
4-10 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.4$	119
4-11 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.4$	121
4-12 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.409640$	123
4-13 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.409640$	125
4-14 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.5$	127
4-15 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.5$	129

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-16 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (<i>MSE</i>) กรณี $sdlog = 0.6$	131
4-17 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (<i>PRE</i>) กรณี $sdlog = 0.6$	133
4-18 ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยปีงบประมาณที่ <i>t</i> (<i>MPRE_t</i>).....	139
4-19 ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยของการพยากรณ์ปีงบประมาณ <i>t</i> (<i>MPRE_t</i>).....	140
4-20 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2561 จากตัวอย่าง สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 19 แห่ง.....	142
5-1 สรุปผลตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดภายใต้สถานการณ์ 150 สถานการณ์.....	147
ก-1 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรก ปีงบประมาณ 2551–2555.....	161
ก-2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรก ปีงบประมาณ 2556–2561.....	163
ก-3 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน ปีงบประมาณ 2551–2555.....	165
ก-4 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน ปีงบประมาณ 2556–2561.....	167

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย เรื่องการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด.....	11
2-1 กราฟการแจกแจงแบบปกติที่มีพารามิเตอร์ μ และ σ	25
2-2 กราฟการแจกแจงแบบลือกปกติที่มีพารามิเตอร์ μ และ σ	26
2-3 แผนการไหลของขยะมูลฝอย (Flow diagram).....	44
2-4 แผนภาพการไหลของขยะมูลฝอยชุมชน ปี พ.ศ. 2559.....	46
2-5 สถานการณ์ขยะมูลฝอย ปี พ.ศ. 2551–2559.....	47
2-6 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ประจำปี พ.ศ. 2547-2557.....	50
3-1 แผนผังขั้นตอนของการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{Y}_{RMC}).....	61
3-2 แผนผังของการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{Y}_{RMC}).....	67
3-3 แผนผังขั้นตอนของการจำลองข้อมูลและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{Y}_{RMC}).....	72
3-4 แผนผังขั้นตอนของการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{Y}_{RMC}).....	76
3-5 แผนผังขั้นตอนของการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{Y}_{RMC}).....	77
3-6 การศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ด้วยตัวประมาณ \bar{Y}_{RMC} ปีงบประมาณ 2552 กรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน.....	79
3-7 การศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ด้วยตัวประมาณ \bar{Y}_{RMC} ปีงบประมาณ 2552 กรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ.....	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-8	แผนผังขั้นตอนของการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอย ที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ t ด้วย ตัวประมาณ $\bar{Y}_{RMC(t-1)}$ โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของ ปีงบประมาณ 82
3-9	การศึกษาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของ สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2553 ด้วยตัวประมาณ $\bar{Y}_{RMC(52)}$ โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2552..... 83
4-1	แผนผังของการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไข ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด 88
4-2	แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของ สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551-2560 (Y51-Y60)..... 112
4-3	กราฟค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.3$ 116
4-4	กราฟค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.3$ 118
4-5	กราฟค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.4$ 120
4-6	กราฟค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.4$ 122
4-7	กราฟค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.409640$ 124
4-8	กราฟค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.409640$ 126
4-9	กราฟค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.5$ 128
4-10	กราฟค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.5$ 130
4-11	กราฟค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.6$ 132
4-12	กราฟค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.6$ 134

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2557 เกิดไฟไหม้บ่อทิ้งขยะมูลฝอยภายในซอย 8 นิคมอุตสาหกรรมบางปู อำเภอเมืองสมุทรปราการ ชาวบ้านกว่าร้อยหลังคาเรือนต้องอพยพหนีควันไฟ ส่งผลกระทบรุนแรงต่อประชาชนที่อาศัยในบริเวณนั้น และพบกลุ่มควันที่มีสารพิษมากถึง 5 ชนิด หากได้รับสารพิษเหล่านั้นในปริมาณเข้มข้นสูง อาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ (ไทยรัฐออนไลน์, 2557) วันที่ 30 ในเดือนเดียวกัน เกิดไฟไหม้บ่อขยะมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ (เดลินิวส์ออนไลน์, 2557) เกิดเหตุการณ์ไฟไหม้บ่อขยะมูลฝอยที่อยู่บริเวณหลังวัดป่าสำราญนิवास อำเภอเกาะคา ในวันที่ 10 เมษายน ทำให้เกิดกลุ่มควันเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดความเสียหายและความเดือดร้อน กระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของราษฎรในบริเวณนั้น และที่อยู่ห่างไกลออกไปเป็นอย่างมาก (ข่าวสดออนไลน์, 2557) ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสถานการณ์ไฟไหม้บ่อขยะ พบว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2558 ประเทศไทยมีเหตุการณ์ไฟไหม้บ่อขยะทั้งสิ้น 34 เหตุการณ์กระจายอยู่ในพื้นที่ทุกภาคของประเทศไทย (กรมควบคุมโรค, 2559, หน้า 5) และต่อเนื่องมาในปี พ.ศ. 2560 เมื่อวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2560 ได้เกิดเหตุเพลิงไหม้บ่อขยะของบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง ในพื้นที่ หมู่บ้านหนองกลางดง ต.เขาหินซ้อน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา (โพสต์ทูเดย์, 2560) เหตุการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน เกิดความเสียหายและส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของราษฎรเช่นเดียวกัน และมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากปัญหาเดียวกัน คือปริมาณขยะมูลฝอยที่นับจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกวัน

จากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย รวบรวมโดยสำนักจัดการของเสีย และสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ ร่วมกับสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 1-16 ดำเนินการสำรวจข้อมูลขยะมูลฝอยทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2559 พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ และอัตราการเกิดขยะมูลฝอย (กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2559 ในขณะที่ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ และถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น แต่เพิ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นวิกฤตปัญหาขยะมูลฝอยจึงเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน เนื่องจากปัญหาทวีความรุนแรงมากขึ้นทั้งด้านปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้น สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ดำเนินการไม่ถูกต้องยังไม่ได้รับการปรับปรุง รวมทั้งในสังคมเมืองที่มีการขยายตัวสูงตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น การพัฒนาด้านเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี

อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการบริโภคเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2559, หน้า 4-6) ในปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศประมาณ 27.06 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2551 ที่มีประมาณ 23.93 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 13.08 และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุก ๆ ปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2559, หน้า 5)

ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีความสำคัญต่อการจัดการขยะมูลฝอยอย่างยิ่ง เป็นข้อมูลที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนออกแบบระบบการจัดการขยะมูลฝอย ตั้งแต่การหาขนาดและจำนวนของถังรองรับขยะ รถเก็บขยะ และหาขนาดของพื้นที่กำจัดขยะ จนถึงการจัดสรรงบประมาณด้วยเหตุนี้ในทุก ๆ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จึงต้องประมาณปริมาณขยะมูลฝอยในเขตรับผิดชอบเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนการออกแบบระบบการจัดการขยะมูลฝอย สำหรับประเทศกำลังพัฒนา การพัฒนาเศรษฐกิจ (Economic development) มีผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย ดังเช่นในประเทศอินเดีย มาตรฐานการครองชีพ (Living standard) และระดับลักษณะความเป็นเมือง ซึ่งสามารถประเมินจากจำนวนประชากรมีบทบาทต่อการเกิดขยะมูลฝอย (Sharholly, Ahmad, Mahmood, & Trivedi, 2008) Liu and Wu (2011) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดขยะมูลฝอยในประเทศจีน โดยศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 12 ตัวแปร ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Principal Components Analysis: PCA) และวิธีการวิเคราะห์จัดกลุ่ม (Cluster Analysis: CA) พบว่า ตัวแปร 12 ตัวแปรนั้นสามารถจัดเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ เศรษฐกิจและการพัฒนาเมือง (Economy and urban development) การใช้พลังงาน (Energy consumption) และระดับเมือง (Urban scale) ทั้ง 3 องค์ประกอบอธิบายความผันแปรรวมได้ 99.1% องค์ประกอบ เศรษฐกิจและการพัฒนาเมืองเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเกิดขยะมูลฝอย โดยที่สัดส่วนของประชากร และจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองมีค่าอิทธิพลมากที่สุดในองค์ประกอบนี้ ส่วนในประเทศไทยนั้นปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยได้รับผลกระทบโดยตรงจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น และการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ส่งผลให้มีผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เกิดขึ้นในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่หลากหลาย พฤติกรรมการบริโภคของประชาชนจึงเปลี่ยนไป (Chiemchaisri, Juanga, & Visvanathan, 2007) จะเห็นว่าปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ควรร่วมพิจารณาในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอย โดยเฉพาะจำนวนประชากรซึ่งมีส่วนสำคัญทำให้เกิดขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น Kawai and Tasaki (2016) ได้ทบทวนวิธีการประมาณปริมาณขยะมูลฝอย พบว่าในหลาย ๆ ประเทศรวมถึงประเทศไทยประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากอัตราการเกิดขยะมูลฝอยต่อคนคูณจำนวนประชากร อัตราการเกิดขยะมูลฝอยต่อคนคำนวณจากปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมดหารด้วยจำนวนประชากรทั้งหมด (วินัย มีแสง, 2559) ในสถานการณ์จริงสถิติประชากรในทะเบียนราษฎรไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการคำนวณอัตราการเกิดขยะมูลฝอยต่อคน แต่ควรใช้จำนวนประชากรในเขตบริการนั้น ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับประชากรในเขตบริการนั้นอาจไม่แน่นอน โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนาเนื่องจาก

ประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวมข้อมูลและปัญหาการย้ายถิ่นของคนในชนบทสู่เมือง ปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้อัตราการเกิดขยะมูลฝอยต่อคนมากเกินไป หรือน้อยเกินไป ค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง อีกทั้งเส้นทางการไหลของขยะมูลฝอยไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณและปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำมากำจัด จะมีปริมาณเท่ากับขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นหรือไม่ สิ่งเหล่านี้ล้วนเกี่ยวข้องไปยังงบประมาณประจำปีที่ใช้ในการจัดการขยะมูลฝอย การใช้แทนชั่งน้ำหนัก หรือเครื่องชั่งขนาดใหญ่ที่มีฐานยึดติดกับพื้นสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอย แต่ในเทศบาลขนาดเล็กไม่มีแทนชั่งน้ำหนัก เพราะมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ โดยเฉพาะในหลาย ๆ ประเทศที่กำลังพัฒนา เทศบาลเหล่านี้จึงประมาณปริมาณขยะมูลฝอยรายปีจากผลคูณของความจุเฉลี่ยต่อคันของรถบรรทุกขยะ อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ย ความหนาแน่นเฉลี่ยขยะมูลฝอย จำนวนเที่ยวเฉลี่ยของการขนส่งต่อวัน และจำนวนรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวัน (Kawai & Tasaki, 2016)

งานวิจัยในประเทศที่เกี่ยวข้องกับขยะมูลฝอยมีเป็นจำนวนมาก แต่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการจัดการขยะมูลฝอย พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย หรือความพึงพอใจที่มีต่อวิธีการจัดการขยะมูลฝอยเป็นส่วนมาก เพื่อหาวิธีการที่ทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยลดลง ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยมีไม่มากนัก เช่น จตุรงค์ พยอมรัมย์, กาญจนา นาคะภากร, อัจฉรา อัสวรจุฑาลัย และสุเพชร จิระจรกุล (2554) ได้ศึกษาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อการคาดการณ์ปริมาณขยะจากการขยายตัวของเมือง ไพบูลย์ ฉัตรทอง, มาลีรัตน์ โสदानิล และเกียรติศักดิ์ โยชนะนัง (2557) ได้ศึกษาการพยากรณ์อนุกรมเวลา สำหรับปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม วินัย มีแสง (2559) ได้ศึกษาแนวโน้มองค์ประกอบและปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยชุมชนในพื้นที่ตำบลสามพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี โดยใช้ผลคูณของอัตราการเกิดขยะมูลฝอยต่อคนกับจำนวนประชากร กฤติยา พุทธิ และวนารัตน์ กรอิสรานุกุล (2560) ได้ศึกษาการประเมินปริมาณขยะมูลฝอยจากการขยายตัวของอาคารที่อยู่อาศัยในอนาคต ศึกษาในเขตพื้นที่เทศบาลนครนนทบุรี โดยศึกษาการขยายตัวของพื้นที่เมือง และอาคารที่อยู่อาศัย ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในครัวเรือนอาคารประเภทที่อยู่อาศัย เพื่อหาอัตราการเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ยต่อคนต่อวัน และคาดการณ์จำนวนประชากรในอนาคตคำนวณร่วมกับอัตราการเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ยตามประเภทอาคารที่อยู่อาศัย จะเห็นว่าการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณขยะมูลฝอยนั้นใช้ข้อมูลจากการประมาณการคาดการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จะเกิดขึ้นต่อไป ดังนั้นในหลาย ๆ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จึงประมาณปริมาณขยะมูลฝอยจากข้อมูลในอดีตซึ่งเป็นวิธีการที่เรียบง่าย โดยใช้ปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ผ่านมา หรือร้อยละที่เพิ่มขึ้นของปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ผ่านมา หรือใช้อัตราการเกิดปริมาณขยะมูลฝอยต่อคนร่วมกับจำนวนประชากรที่คาดคะเน ปรากฏว่า ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ไม่สอดคล้องกับปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจริง หากนำผลการประมาณไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการจัดการขยะมูลฝอย จะต้องจัดสรรงบประมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นทุกปีเช่นกัน

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองหลวงของประเทศไทย และเป็นศูนย์กลางความเจริญทางเศรษฐกิจ การค้า อุตสาหกรรม เทคโนโลยี และการท่องเที่ยว เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีประชาชนเดินทางเข้ามาประกอบอาชีพ ศึกษา และท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก ทำให้จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 ล้านคน จึงเป็นเมืองที่มีประชากรมากอันดับ 1 ของประเทศไทย และผลิตขยะมูลฝอยมากที่สุดเช่นกัน จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ในปี พ.ศ. 2559 ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั่วประเทศ 7,777 แห่ง ประมาณ 27.06 ล้านตัน หรือ 74,130 ตันต่อวัน มีอัตราการเกิดขยะมูลฝอยต่อคนเพิ่มขึ้นจาก 1.13 เป็น 1.14 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน โดยมีสัดส่วนของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานคร 4.21 ล้านตัน หรือร้อยละ 16 สำหรับจังหวัดที่มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นต่อวันสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ชลบุรี นครราชสีมา สมุทรปราการ และขอนแก่น (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2561) สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร แบ่งเขตพื้นที่การจัดการขยะมูลฝอยทั้งหมด 51 เขต ออกเป็น 7 กลุ่ม และเมื่อเทียบปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 กับปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 พบว่า มีปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นในทุกเขตพื้นที่คิดเป็นร้อยละเฉลี่ย 5.66 (สำนักสิ่งแวดล้อม, 2561) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

จากการศึกษาคาดการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยของธนาคารเพื่อความร่วมมือระหว่างประเทศแห่งญี่ปุ่น (Japan Bank for International Cooperation: JBIC) แสดงให้เห็นว่า จะมีขยะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2557 ถึง 13,800 ตันต่อวัน และจากการคาดการณ์ประชากรที่มีอยู่จริงในกรุงเทพมหานคร โดยกรุงเทพมหานครพบว่า มีประชากรตามทะเบียนราษฎรรวมประชากรแฝงประมาณ 10,600,000 คน โดยคาดว่าจะมีอัตราการเกิดมูลฝอยประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อคน มีขยะเกิดขึ้น 12,578 ตันต่อวัน แต่ปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บได้จริง 9,940 ตันต่อวัน และเมื่อเปรียบเทียบกับย้อนหลังตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2550-2560 จะเห็นว่า ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยในอนาคตที่คำนวณจากการคาดคะเนผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศในอนาคตโดย JBIC กับปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้จริงแตกต่างกันมากกว่าร้อยละ 30 (สำนักสิ่งแวดล้อม, 2558, หน้า 5) ดังนั้นในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครจึงใช้วิธีการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น นั่นคือใช้ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยในปีที่ผ่านมา หรือร้อยละที่เพิ่มขึ้นของปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ผ่านมา หรืออัตราการเกิดขยะมูลฝอยต่อคนต่อวันร่วมกับจำนวนประชากรที่คาดคะเน ซึ่งต้องเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดที่เกิดขึ้นในปีงบประมาณจนเสร็จสิ้น จึงจะสามารถประมาณปริมาณขยะมูลฝอยในปีงบประมาณต่อไปได้ ส่งผลให้ไม่สามารถวางแผนการจัดการขยะมูลฝอยที่เหมาะสมกับปริมาณขยะมูลฝอยล่วงหน้าได้

ในทางสถิติการศึกษาเรื่องที่น่าสนใจนั้นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรที่ศึกษา (Study variable) โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากทุกหน่วยวัดในประชากร หรือเรียกว่าการสำมะโน (Census) แต่หากประชากรที่ศึกษานั้นมีขนาดใหญ่ และไม่สามารถเก็บข้อมูลจากทุกหน่วยวัดในประชากรได้ จึงต้องเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยวัดบางหน่วยในประชากร หรือเรียกว่าการสำรวจตัวอย่าง (Sample survey) เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตัวอย่างนั้นมาหาค่าเฉลี่ยของเรื่องที่น่าสนใจในประชากรต่อไปด้วยการอนุมานทางสถิติ วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimation parameter) เป็นวิธีหนึ่งในการอนุมานทางสถิติที่วิเคราะห์ข้อมูลจากตัวอย่างในรูปของค่าสถิติ หรือเรียกว่าตัวประมาณ (Estimator) เพื่ออนุมานพารามิเตอร์ว่าควรมีค่าประมาณเท่าใด และที่สำคัญต้องเป็นค่าประมาณที่มีความแม่นยำ (Montgomery & Runger, 2014, pp. 235-237) ค่าเฉลี่ยเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในทางสถิติ ในการสำรวจตัวอย่างเพื่อประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษานั้น โดยทั่วไปมักขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ศึกษาเพียงอย่างเดียว แต่ในหลาย ๆ สถานการณ์ตัวแปรที่ศึกษาอาจมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น หรือเรียกว่าตัวแปรช่วย (Auxiliary variable) ซึ่งสามารถรวบรวมข้อมูลจากหน่วยวัดได้ง่าย การนำสารสนเทศของตัวแปรช่วยมาช่วยในการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่สนใจ เป็นวิธีหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวประมาณ ทำให้ได้ค่าประมาณที่มีความถูกต้อง และแม่นยำมากขึ้น (Sampath, 2005, p. 110; Scheaffer, Mendenhall, & Ott, 2006, p.181)

การประมาณค่าโดยใช้อัตราส่วน (Ratio estimation) เป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์วิธีหนึ่งที่ใช้สารสนเทศจากตัวแปรช่วย และเรียกตัวประมาณวิธีนี้ว่าตัวประมาณอัตราส่วน (Ratio estimator) ตัวประมาณอัตราส่วนสามารถนำไปประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ เช่น พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย และเรียกตัวประมาณอัตราส่วนที่ใช้ประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยนี้ว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (Ratio estimator for population mean) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ \bar{y}_r (Cochran, 1977) ทิศทางของการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย เมื่อใช้ตัวแปรช่วยตัวเดียวนั้นมีสองกลุ่ม คือกลุ่มแรกใช้สารสนเทศของตัวแปรช่วย เช่น ค่าเฉลี่ย สัมประสิทธิ์ความแปรผัน สัมประสิทธิ์ความโค้ง สัมประสิทธิ์ความเบ้ และมีฐานะ มาปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของ Cochran ดังการศึกษาของ Sisodia and Dwivedi (1981), Singh and Kakran (1993), Upadhyaya and Singh (1999), Singh and Tailor (2003), Yan and Tian (2010) และ Subramani and Kumarapandiyam (2013) และกลุ่มที่สองใช้แนวคิดของการวิเคราะห์การถดถอยปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในกลุ่มแรก ดังการศึกษาของ Kadilar and Cingi (2004), Kadilar and Cingi (2006) และ Yan and Tian (2010) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ของตัวประมาณ ที่ประมาณด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 (First degree of approximation) กับค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่ผ่านมา ทั้งการคำนวณ

เชิงทฤษฎี และการคำนวณเชิงตัวเลขจากข้อมูลจริง หรือข้อมูลจากการจำลอง พบว่า ทุกตัวประมาณ อัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่พัฒนาทั้ง 2 กลุ่ม มีประสิทธิภาพดีกว่าตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยแบบดั้งเดิมภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม

จากการศึกษาที่กล่าวมา ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่พัฒนาได้ พิจารณากรณีที่มีข้อมูลที่มีค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุดของประชากรปะปนอยู่ในข้อมูลสำรวจตัวอย่าง หากการประมาณละเลยข้อมูลเหล่านี้ จะส่งผลให้ค่าประมาณที่ได้มีค่ามากหรือน้อยเกินไป การศึกษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย โดยนำข้อมูลการสำรวจ ตัวอย่างที่มีค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุดของประชากรมาร่วมพิจารณา เริ่มจากแนวคิดของ Sarndal (1972) ปรับค่าตัวประมาณค่าเฉลี่ยด้วยค่าคงที่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวประมาณ โดยพิจารณา ข้อมูลสำรวจตัวอย่างเป็นกรณี 3 กรณี คือกรณีข้อมูลสำรวจตัวอย่างมีค่ามากที่สุด แต่ไม่มีค่าน้อยสุด ของประชากร ปรับค่าตัวประมาณค่าเฉลี่ยโดยลบด้วยค่าคงที่ กรณีข้อมูลสำรวจตัวอย่างมีค่าน้อยสุด แต่ไม่มีค่ามากที่สุดของประชากร ปรับค่าตัวประมาณค่าเฉลี่ยโดยบวกด้วยค่าคงที่ และกรณีข้อมูล สำรวจตัวอย่างไม่เป็นไปตาม 2 กรณีแรก ไม่ต้องปรับค่าตัวประมาณค่าเฉลี่ย เรียกตัวประมาณนี้ว่า ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ \bar{y}_s ต่อมา Khan and Shabbir (2013) ได้นำตัวประมาณอัตราส่วนของ Cochran มาประยุกต์กับ ตัวประมาณ \bar{y}_s ตามแนวคิดของ Sarndal ซึ่งตัวประมาณที่ปรับใหม่นี้มีประสิทธิภาพมากกว่า ตัวประมาณ \bar{y}_r และ \bar{y}_s ในปีต่อมา Al-Hossain and Khan (2014) ได้นำตัวประมาณอัตราส่วน ของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยใช้ตัวแปรช่วย 2 ตัว มาประยุกต์ร่วมกับตัวประมาณ \bar{y}_s และ Khan, Ullah, Al-Hossain, and Bashir (2015) ได้นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย โดยใช้ สารสนเทศของตัวแปรช่วย ได้แก่ สัมประสิทธิ์ความแปรผัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มาประยุกต์กับ ตัวประมาณ \bar{y}_s โดยคำนวณค่าคงที่ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่พัฒนา น้อยที่สุดด้วยวิธีอนุพันธ์ย่อยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ และเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่ ประมาณด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 กับตัวประมาณที่ผ่านมา ทั้งการคำนวณเชิงทฤษฎี และ การคำนวณเชิงตัวเลขจากข้อมูลจริง หรือข้อมูลจากการจำลอง พบว่า ตัวประมาณที่พัฒนาขึ้นมี ประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณ \bar{y}_r และ \bar{y}_s เช่นกัน

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นจะเห็นว่า ทิศทางของงานวิจัยเพื่อพัฒนาตัวประมาณ อัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยนั้นมีย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยเห็นว่ารูปแบบของตัวประมาณอัตราส่วน ของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยมีความซับซ้อนมากขึ้นเช่นกัน ในทางปฏิบัติตัวประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จาก ข้อมูลสำรวจตัวอย่าง ควรเป็นตัวประมาณที่เรียบง่าย และไม่ซับซ้อน (สุชาติ กิระนนนท์, 2542, หน้า 280) ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยสนใจตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของ Subramani and

Kumarapandiyan (2013) ที่นำพารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย ซึ่งเป็นค่ากลางที่มีความแปรปรวน ต่อข้อมูลที่มีค่ามากหรือค่าน้อย มาปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยแบบดั้งเดิมของ Cochran ตัวประมาณนี้เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ \bar{y}_p เป็นตัวประมาณที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณอัตราส่วนที่พัฒนาทั้ง 2 กลุ่มที่กล่าวมาข้างต้น ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีการศึกษาที่นำพารามิเตอร์มัธยฐานมาปรับใช้กับตัวประมาณอัตราส่วนอย่างต่อเนื่อง เช่น Subramani and Prabavathy (2014) ได้นำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในรูปผลรวมเชิงเส้นของมัธยฐานของตัวแปรที่ศึกษาและตัวแปรช่วยกับพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ในลักษณะเดียวกัน Subramani and Prabavathy (2015) ได้นำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในรูปผลรวมเชิงเส้นของมัธยฐานของตัวแปรที่ศึกษาและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน Kumar (2015) และ Subramani and Ajith (2017) ได้ปรับตัวประมาณของ Subramani and Kumarapandiyan ที่นำเสนอในปี ค.ศ. 2013 ให้อยู่ในรูปของสมการถดถอยเชิงเส้น Subramani (2016) ได้นำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในรูปอัตราส่วนของมัธยฐานของตัวแปรที่ศึกษา และ Yadav, Shukla, Tomer, and Kumar (2018) ได้นำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยใช้พารามิเตอร์มัธยฐาน และสัมประสิทธิ์ความโค้งของตัวแปรช่วย พบว่าตัวประมาณที่พัฒนามีประสิทธิภาพดีกว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมเช่นกัน

จากการศึกษางานวิจัยที่ใช้พารามิเตอร์มัธยฐานปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยข้างต้นนั้น ยังไม่ปรากฏว่า มีการนำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของ Subramani and Kumarapandiyan (2013) มาปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและน้อยสุดตามแนวคิดของ Sarndal (1972) ดังเช่น การศึกษาของ Khan and Shabbir (2013) Al-Hossain and Khan (2014) และ Khan et al. (2015) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่ผ่านมานั้น ยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่ใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ย ประกอบกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องประมาณปริมาณขยะมูลฝอยจากปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ผ่านมา ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณขยะมูลฝอยในปีปัจจุบัน ประกอบกับในสถานการณ์จริงปริมาณขยะมูลฝอยเป็นข้อมูลที่มีทั้งค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุดปะปนอยู่ด้วยเช่นกัน

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้เสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย โดยใช้พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วยตัวเดียวมาปรับใช้ร่วมกับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด เพื่อให้ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ที่สามารถประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ในปีงบประมาณต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p)

3. เพื่อประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

กรอบแนวคิดการวิจัย

จากตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ที่ Subramani and Kumarapandiyan (2013) ได้นำเสนอไว้ในรูปแบบการนำพารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วยมาปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย และมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย กรณีใช้สารสนเทศของตัวแปรช่วยตัวเดียว ของ Sisodia and Dwivedi (1981), Singh and Kakran (1993), Upadhyaya and Singh (1999), Singh and Tailor (2003), Kadilar and Cingi (2004), Kadilar and Cingi (2006) และ Yan and Tian (2010) ดังสมการที่ (1.1)

$$\bar{y}_p = \bar{y} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} \quad (1.1)$$

จากสมการที่ (1.1) จะเห็นว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ Subramani and Kumarapandiyan ได้เสนอในปี ค.ศ. 2013 ไม่ได้คำนึงถึงข้อมูลที่มีค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ซึ่งอาจมีปะปนอยู่ในข้อมูลการสำรวจตัวอย่าง การประมาณค่าเฉลี่ยอาจได้ค่าที่มากหรือน้อยเกินไป ดังนั้นนักวิจัยหลายคนจึงได้นำแนวคิดของ Sarndal (1972) ที่เสนอตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงสำหรับการประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยเพิ่มค่าคงที่ในตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย และพิจารณาเป็นกรณีค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ดังสมการที่ (1.2) มาปรับใช้กับตัวประมาณอัตราส่วน

$$\bar{y}_s = \begin{cases} \bar{y} + c & \text{กรณีที่1 ตัวอย่างมีค่า } y_{\min} \text{ แต่ไม่มี } y_{\max} \\ \bar{y} - c & \text{กรณีที่2 ตัวอย่างมีค่า } y_{\max} \text{ แต่ไม่มี } y_{\min} \\ \bar{y} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่1 และ 2} \end{cases} \quad (1.2)$$

ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ปรับใช้ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด เริ่มจาก Khan and Shabbir (2013) นำตัวประมาณอัตราส่วนดั้งเดิม (\bar{y}_r) ประยุกต์กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ปีต่อมา Al-Hossain and Khan (2014) ได้นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยใช้ตัวแปรช่วย 2 ตัวมาประยุกต์ร่วมกับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ในปีต่อมา Khan et al. (2015) ได้นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยใช้สารสนเทศของตัวแปรช่วย ได้แก่ สัมประสิทธิ์ความแปรผัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มาประยุกต์กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวนี้ประมาณความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 (First order approximation) คำนวณค่าคงที่ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณน้อยที่สุดด้วยวิธีอนุพันธ์ย่อยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่พัฒนา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ (MSE) และค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) แต่ยังไม่ปรากฏการนำตัวประมาณอัตราส่วนที่ใช้พารามิเตอร์มีฐานของตัวแปรช่วยมาปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด นอกจากนี้ยังไม่ปรากฏการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่ใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยเช่นกัน

ด้วยแนวคิดดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้เสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) โดยนำตัวประมาณค่าอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ใช้พารามิเตอร์มีฐานของตัวแปรช่วยตัวเดียวของ Subramani and Kumarapandiyam ในปี ค.ศ. 2013 มาปรับใช้กับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุดของ Sarndal ในปี ค.ศ. 1972 ดังสมการที่ (1.3)

$$\bar{y}_{RMC} = \begin{cases} (\bar{y} + c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} + c_2) + M_d} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \end{array} \\ (\bar{y} - c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} - c_2) + M_d} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \end{array} \\ \bar{y} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases} \quad (1.3)$$

เมื่อ c_1, c_2 คือ ค่าคงที่ที่ให้ค่า $MSE(\bar{y}_{RMC})$ น้อยที่สุด

\bar{X} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย

\bar{x} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย

\bar{y} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา

M_d คือ พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย

y_{max} คือ ค่าตัวแปรที่ศึกษาที่มีค่ามากที่สุดในประชากร

y_{min} คือ ค่าตัวแปรที่ศึกษาที่มีค่าน้อยที่สุดในประชากร

x_{max} คือ ค่าตัวแปรช่วยที่มีค่ามากที่สุดในประชากร

x_{min} คือ ค่าตัวแปรช่วยที่มีค่าน้อยที่สุดในประชากร

เมื่อได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) นำไปใช้ในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยพิจารณาความแม่นยำของตัวประมาณค่าจากค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean Percent Relative Error: MPRE)

จากที่กล่าวข้างต้น กรอบแนวคิดการวิจัยสำหรับการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ใช้พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วยตัวเดียว แยกพิจารณาเป็นกรณีมีข้อมูลการสำรวจที่มีค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ดังภาพที่ 1-1

ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ที่ใช้พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วยตัวเดียวของ Subramani and Kumarapandiyam (2013)

$$\bar{y}_p = \bar{y} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d}$$

ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ของ Sarndal (1972)

$$\bar{y}_s = \begin{cases} \bar{y} + c & \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ แต่ไม่มี } y_{max} \\ \bar{y} - c & \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ แต่ไม่มี } y_{min} \\ \bar{y} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases}$$

พัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ใช้พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วยตัวเดียว แยกพิจารณาเป็นกรณีมีข้อมูลการสำรวจที่มีค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) โดยใช้

- พารามิเตอร์มัธยฐาน (M_d) ของตัวแปรช่วยปรับใช้กับกรณีมีค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด
- ประเมินค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ด้วยวิธีอนุกรมเทย์เลอร์ ดีกรีอันดับ 1
- คำนวณค่าคงที่ (c_1, c_2) ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณน้อยที่สุด
- ประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนา (\bar{y}_{RMC}) พิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ (MSE) และค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE)

ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด

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

ประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย เรื่องการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด

สมมติฐานของการวิจัย

1. ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ที่พัฒนาขึ้นให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) น้อยกว่าตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p) และให้ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) เกิน 100 ภายใต้ข้อมูลจริง และข้อมูลจากสถานการณ์จำลอง 150 สถานการณ์ (5×5×6) ซึ่งเป็นผลประกอบของเงื่อนไขย่อย 3 เงื่อนไข ดังนี้

1.1 พารามิเตอร์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรที่ศึกษา (sdlog (Y)) 5 ระดับ ได้แก่ 0.30, 0.4, 0.409640, 0.5 และ 0.6

1.2 ระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษากับตัวแปรช่วย (ρ_{yx}) 5 ระดับ ได้แก่ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9

1.3 ขนาดตัวอย่างสุ่ม (n) 6 ระดับ ได้แก่ 30, 50, 100, 200, 300 และ 400 หน่วย ตัวอย่าง

2. การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปี ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean Percent Relative Error: MPRE) ไม่เกินร้อยละ 10

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ที่มีประสิทธิภาพในการประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยมากกว่าตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุด และค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p) ในบางสถานการณ์ที่ศึกษา

2. สามารถประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จะจัดเก็บได้เฉลี่ยในปีงบประมาณต่อไปโดยใช้ข้อมูลการสำรวจตัวอย่างในปีงบประมาณปัจจุบัน และข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณที่ผ่านมา ประมาณปริมาณขยะมูลฝอยล่วงหน้าก่อนสิ้นปีงบประมาณปัจจุบัน โดยมีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าน้อย ทำให้สามารถวางแผนของบประมาณ แผนการจัดการขยะมูลฝอยระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอบเขตของการวิจัย

การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยโดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด มีขอบเขตการวิจัยตามวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

ขอบเขตของการวิจัยสำหรับวัตถุประสงค์การวิจัยข้อ 1 และข้อ 2

1. ศึกษาเฉพาะการประมาณค่าโดยใช้อัตราส่วน (Ratio estimation) โดยใช้ตัวแปรช่วย ตัวเดียว ภายใต้การเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบไม่คืนที่ (Simple Random Sampling Without Replacement: SRSWOR) เท่านั้น

2. สำหรับข้อมูลจริง ผู้วิจัยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ (ต้นต่อปี) ของ สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551-2561 รายงานโดยสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร (Bangkok Metropolitan Administration) เมื่อวันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2561 จาก <http://www.bangkok.go.th/environment> โดยกำหนดให้ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ ในปีงบประมาณ t เป็นตัวแปรที่ศึกษา (Y) และปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ $t-1$ เป็นตัวแปรช่วย (X) เพื่อใช้คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณในการ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p)

3. ผู้วิจัยศึกษาลักษณะเบื้องต้น และการแจกแจงของข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551-2561 เพื่อนำคุณลักษณะเบื้องต้น เหล่านั้นไปใช้ในการจำลองข้อมูล ปรากฏว่า ข้อมูลมีลักษณะเป็นโค้งเบ้ขวา และมีการแจกแจงแบบ ล็อกปกติ (Lognormal distribution) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p) ภายใต้สถานการณ์ 150 สถานการณ์ ด้วยโปรแกรม R และทดลองซ้ำ 10,000 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์ ซึ่งประกอบด้วยเงื่อนไขย่อย 3 เงื่อนไข ดังนี้

3.1 พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (meanlog) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (sdlog) ของ การแจกแจงแบบล็อกปกติ สำหรับตัวแปรช่วย (X) และตัวแปรที่ศึกษา (Y) ดังนี้
meanlog (X) = 11.112225, sdlog (X) = 0.407707, meanlog (Y) = 11.145860 และ
sdlog (Y) 5 ระดับ ได้แก่ 0.3, 0.4, 0.409640, 0.5 และ 0.6

3.2 ระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา (Y) กับตัวแปรช่วย (X) (ρ_{yx}) 5 ระดับ ได้แก่ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9

3.3 ขนาดตัวอย่างสุ่ม (n) 6 ระดับ ได้แก่ 30, 50, 100, 200, 300 และ 400 หน่วย ตัวอย่าง

4. เกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณ พิจารณาจากคุณสมบัติความเที่ยงตรง (Precision) ของตัวประมาณ โดยพิจารณาจากค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของตัวประมาณ ตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ เป็นตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณ $\hat{\theta}_2$ ก็ต่อเมื่อ $MSE(\hat{\theta}_1) < MSE(\hat{\theta}_2)$ และค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) มีค่าเกิน 100 (Cochran, 1977, p. 16; Scheaffer et al., 2006, p.212)

ขอบเขตของการวิจัยสำหรับวัตถุประสงค์การวิจัยข้อ 3

การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 ด้วยตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุด และค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) มีขอบเขตดังนี้

1. ประชากร (Population) คือ สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 51 แห่ง
2. ตัวอย่าง (Sample) คือ สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 19 แห่ง
3. ตัวแปรที่ศึกษา (Study variable) คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ (ตันต่อปี) ปีงบประมาณที่ t เขียนแทนด้วย Y_t
4. ตัวแปรช่วย (Auxiliary variables) คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ (ตันต่อปี) ปีงบประมาณที่ t-1 เขียนแทนด้วย X_{t-1}

5. การพิจารณาผลการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 ด้วยตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) โดยพิจารณาความคลาดเคลื่อน (Error) ของตัวประมาณ จากร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean percentage relative error: MPRE) โดย MPRE ไม่เกินร้อยละ 10 เป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอย (ชนัญกาญจน์ แสงประสาน, เสรี ชัดแจ่ม และพัชรี วงษ์เกษม, 2558)

นิยามศัพท์เฉพาะ

ขยะมูลฝอย (Solid waste) หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เศษวัสดุ พลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร ถัง มูลสัตว์ ชากสัตว์ หรือสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่น และหมายความรวมถึงมูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยที่เป็นพิษ หรืออันตรายจากชุมชนหรือ

ครัวเรือน ยกเว้นวัสดุที่ไม่ใช้แล้วของโรงงานซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่กำหนดไว้ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

ปริมาณขยะมูลฝอย (Amount of solid waste) หมายถึง ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ (ตั้งแต่ปี) ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2561

ปริมาณขยะมูลฝอยจากหน่วยงานอื่น ๆ หมายถึง ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บโดยกองจัดการขยะของเสียอันตรายและสิ่งปฏิกูล (กจข. สสส.) ซึ่งมีหน้าที่ส่วนหนึ่งที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดเก็บขยะมูลฝอยทั่วไปจากตลาด สถานที่สำคัญ มูลฝอยในแม่น้ำเจ้าพระยา เรือท่องเที่ยว เรือสินค้า และเก็บขนขยะมูลฝอยที่ไม่อยู่ในหน้าที่ความรับผิดชอบของสำนักงานเขต

ตัวแปรช่วย (Auxiliary variable) หมายถึง ตัวแปรเชิงปริมาณอื่นที่ไม่ใช่ตัวแปรที่ศึกษา แต่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา และเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยวัดได้ง่าย ในงานวิจัยนี้คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ (ตั้งแต่ปี) ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2559

ค่ามัธยฐาน (Median) หมายถึง ค่ากลางของชุดข้อมูล ซึ่งมีค่าอยู่ ณ ตำแหน่งตรงกลางของชุดข้อมูลที่เรียงลำดับแล้ว ในงานวิจัยนี้คือมัธยฐานของตัวแปรช่วย

ค่ามากที่สุด (Maximum) หมายถึง ค่าสังเกตที่มีค่ามากที่สุด ในงานวิจัยนี้คือ ค่าสังเกตที่มีค่ามากที่สุดในข้อมูลประชากร

ค่าน้อยสุด (Minimum) หมายถึง ค่าสังเกตที่มีค่าน้อยสุด ในงานวิจัยนี้คือ ค่าสังเกตที่มีค่าน้อยสุดในข้อมูลประชากร

ประสิทธิภาพของตัวประมาณ (Efficiency of estimator) หมายถึง สมบัติของตัวประมาณที่ดี มีค่าประมาณใกล้เคียงกับค่าพารามิเตอร์มากที่สุด และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในงานวิจัยนี้พิจารณาประสิทธิภาพของตัวประมาณจากความเที่ยงตรงสูงสุดและความแม่นยำสูงสุด

ความเที่ยงตรง (Precision) หมายถึง สมบัติของตัวประมาณที่แสดงถึงความเที่ยงตรงในการวัดค่าซ้ำหลาย ๆ ครั้งแล้ว ค่าประมาณที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันหรือค่าประมาณที่ได้นั้นมีการกระจายน้อยมาก ถ้าหากตัวประมาณใดให้ค่าประมาณในการทดลองซ้ำ ๆ หลายครั้ง แล้วให้ค่าประมาณที่มีค่าใกล้เคียงทุกครั้ง หรือมีการกระจายน้อย ถือว่าตัวประมาณค่านั้นมีความเที่ยงตรงสูงสุด ความเที่ยงตรงของตัวประมาณพิจารณาจากความแปรปรวนของตัวประมาณ ถ้า $\hat{\theta}_1$ และ $\hat{\theta}_2$ เป็นตัวประมาณของพารามิเตอร์ θ แล้ว $\hat{\theta}_1$ เป็นตัวประมาณที่เที่ยงตรงกว่า $\hat{\theta}_2$ เมื่อ $V(\hat{\theta}_1) < V(\hat{\theta}_2)$

ความแม่นยำ (Accuracy) หมายถึง สมบัติของตัวประมาณที่ให้ค่าประมาณเฉลี่ยที่เข้าใกล้หรือเท่ากับค่าพารามิเตอร์ หากค่าประมาณมีค่าเท่ากับค่าพารามิเตอร์ หมายความว่าค่าประมาณนั้น

มีความแม่นยำสูงสุด ความแม่นยำของตัวประมาณพิจารณาจากความเอนเอียงของตัวประมาณ ถ้า $\hat{\theta}_1$ และ $\hat{\theta}_2$ เป็นตัวประมาณของพารามิเตอร์ θ แล้ว $\hat{\theta}_1$ เป็นตัวประมาณที่แม่นยำกว่า $\hat{\theta}_2$ เมื่อ $|Bias(\hat{\theta}_1)| < |Bias(\hat{\theta}_2)|$

ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) หมายถึง ค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของตัวประมาณ การหาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณใช้นิยาม $MSE(\hat{\theta}) = E(\hat{\theta} - \theta)^2$ หรือ $MSE(\hat{\theta}) = V(\hat{\theta}) + [Bias(\hat{\theta})]^2$ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาประสิทธิภาพของตัวประมาณจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ถ้า $\hat{\theta}_1$ และ $\hat{\theta}_2$ เป็นตัวประมาณของพารามิเตอร์ θ แล้ว จะได้ว่าตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ เป็นตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวประมาณ $\hat{\theta}_2$ เมื่อ $MSE(\hat{\theta}_1) < MSE(\hat{\theta}_2)$ หรือตัวประมาณใดมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุด ถือเป็นตัวประมาณที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุด

ร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (Percent Relative Efficiency: PRE) หมายถึง ร้อยละของอัตราส่วนความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณเริ่มต้น ($\hat{\theta}_2$) ต่อตัวประมาณที่พัฒนา ($\hat{\theta}_1$) โดยที่ $PRE = [MSE(\hat{\theta}_2) / MSE(\hat{\theta}_1)] \times 100$ ถ้า PRE มีค่ามากกว่า 100 หมายความว่าตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ เป็นตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวประมาณ $\hat{\theta}_2$ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาประสิทธิภาพของตัวประมาณจากร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ร่วมกับความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Percent relative error) หมายถึง ร้อยละของอัตราส่วนความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าประมาณ เทียบกับค่าจริง คำนวณจากค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างค่าจริงกับค่าประมาณหารด้วยค่าจริง ซึ่งใช้วัดความแม่นยำในการประมาณค่าของตัวประมาณ

ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Mean Percent Relative Error: MPRE) หมายถึง ค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ คำนวณจากค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างค่าจริงกับค่าประมาณหารด้วยค่าจริง ซึ่งใช้วัดความแม่นยำในการประมาณค่าของตัวประมาณ ในงานวิจัยนี้พิจารณาความแม่นยำในการประมาณค่าจากค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยโดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและน้อยสุด ผู้วิจัยนำเสนอทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ตอนที่ 1 ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 2 ปริมาณขยะมูลฝอย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก่อนการนำเสนอตอนที่ 1 ขอเสนอสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย ดังนี้

Y คือ ตัวแปรที่ศึกษา (Study variable)

X คือ ตัวแปรช่วย (Auxiliary variable)

N คือ ขนาดประชากร (Population size)

n คือ ขนาดตัวอย่าง (Sample size)

\bar{X}, \bar{Y} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (Population mean)

\bar{x}, \bar{y} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ย (Sample mean)

S_x^2, S_y^2 คือ พารามิเตอร์ความแปรปรวน (Population variance)

S_x, S_y คือ พารามิเตอร์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Population standard deviation)

C_x, C_y คือ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Population Coefficient of variation)

R คือ พารามิเตอร์อัตราส่วน (Population ratio)

r คือ ค่าสถิติอัตราส่วน (Sample ratio)

ρ_{xy} คือ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation)

$\beta_1(x)$ คือ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความเบ้ (Coefficient of skewness)

$\beta_2(x)$ คือ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความโด่ง (Coefficient of kurtosis)

M_d คือ พารามิเตอร์มัธยฐาน (Population median) ของตัวแปรช่วย

f คือ เศษส่วน (Sampling fraction) โดย $f = n/N$

$Bias(.)$ คือ ค่าเอนอียงของตัวประมาณ (Bias of the estimator)

$MSE(.)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ (Mean Squared Error)

ตอนที่ 1 ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิยาม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย มีรายละเอียดดังนี้

1. นิยามและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจตัวอย่าง

1.1 ตัวแปรที่ศึกษา (Study variable)

ตัวแปรที่ศึกษา หมายถึง ข้อมูลที่ศึกษาซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละหน่วยวัด เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Y

1.2 ตัวแปรช่วย (Auxiliary variable หรือ Subsidiary variable)

ตัวแปรช่วย หมายถึง ข้อมูลซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละหน่วยวัดและมีความสัมพันธ์กันกับตัวแปรที่ศึกษา เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ X

1.3 ประชากร (Population)

ประชากร หมายถึง กลุ่มของหน่วยวัด (Observation unit) ทั้งหมดที่ให้ข้อมูลที่ศึกษา (Mann, 2011, p. 5) ซึ่งหน่วยวัดอาจจะเป็นบุคคล สิ่งของ หรือเหตุการณ์ สามารถแบ่งประชากรเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ประชากรจำกัด (Finite population) และประชากรอนันต์ (Infinite population) การวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาภายใต้ประชากรจำกัดเท่านั้น

1.4 ตัวอย่าง (Sample)

ตัวอย่าง หมายถึง กลุ่มย่อยของหน่วยวัดที่เลือกจากประชากร (Mann, 2011, p. 5) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลที่ศึกษา

1.5 การเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling)

การเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่าย เป็นวิธีการเลือกตัวอย่างแบบใช้ความน่าจะเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกต้องตามหลักวิชา และเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ซึ่งมีวิธีการ 2 แบบ คือ การเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบคืนที่ (Simple Random Sampling With Replacement: SRSWR) และการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบไม่คืนที่ (Simple Random Sampling Without Replacement: SRSWOR) (ประชุม สุวดี, 2552, หน้า 33-34) การวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาภายใต้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบไม่คืนที่

1.6 พารามิเตอร์ (Parameters)

พารามิเตอร์ หมายถึง ค่าที่แสดงคุณลักษณะบางประการของประชากร และพารามิเตอร์เป็นฟังก์ชันของข้อมูลทั้งหมดในประชากร ซึ่งมีค่าคงที่และไม่เปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปจะไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ เพราะไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลจากทุกหน่วยวัดในประชากร (Heckard & Utts, 2007, pp. 331-333) ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่

ยอดรวม (Population total) คือ $T_y = \sum_{i=1}^N y_i$

ค่าเฉลี่ย (Population mean) คือ $\bar{Y} = \sum_{i=1}^N y_i / N$

สัดส่วน (Population proportion) คือ $P = A/N$

ความแปรปรวน (Population variance) คือ $S_y^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{Y})^2 / (N - 1)$

อัตราส่วน (Population ratio) คือ $R = \sum_{i=1}^N y_i / \sum_{i=1}^N x_i = \bar{Y} / \bar{X}$

1.7 ตัวสถิติ (Statistic)

ตัวสถิติ หมายถึง ฟังก์ชันของตัวอย่างสุ่ม (Random sample) ซึ่งฟังก์ชันดังกล่าวจะไม่มีตัวพารามิเตอร์ติดอยู่เลย ค่าที่คำนวณได้เรียกว่า ค่าสถิติ ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามกลุ่มตัวอย่าง (Heckard & Utts, 2007, pp. 331-333) ตัวอย่างตัวสถิติที่สำคัญ ได้แก่

ยอดรวม (Sample total) คือ $t_y = \sum_{i=1}^n y_i$

ค่าเฉลี่ย (Sample mean) คือ $\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n$

สัดส่วน (Sample proportion) คือ $p = a/n$

ความแปรปรวน (Sample variance) คือ $s^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n - 1)$

อัตราส่วน (Sample ratio) คือ $r = \sum_{i=1}^n y_i / \sum_{i=1}^n x_i = \bar{y} / \bar{x}$

1.8 การประมาณค่า (Estimation)

การประมาณค่า เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลวิธีหนึ่งในการอนุมานทางสถิติ โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากตัวอย่างในรูปของค่าสถิติเพื่ออนุมานค่าพารามิเตอร์ว่าควรมีค่าประมาณเท่าใด

1.9 ตัวประมาณ (Estimator)

ตัวประมาณ หมายถึง ตัวสถิติที่ใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ที่สนใจ (θ) และค่าที่คำนวณได้จากตัวประมาณ เรียกว่า ค่าประมาณ (Estimate) ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่สนใจ อาจมีตัวประมาณได้หลายตัว เช่น ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ตัวประมาณอาจเป็นค่าเฉลี่ย มัชยฐาน หรืออื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติที่ดี (Sampath, 2005, pp. 2-3) ซึ่งการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ดีต้องมีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด จึงต้องเลือกใช้ตัวประมาณที่ดี ตัวประมาณที่ดีมีสมบัติ ดังนี้

1.9.1 ความไม่เอนเอียง (Unbiasedness)

ตัวประมาณ $\hat{\theta}$ เป็นตัวประมาณไม่เอนเอียง (Unbiased estimator) ของพารามิเตอร์ θ ก็ต่อเมื่อ $E(\hat{\theta}) = \theta$ และตัวประมาณ $\hat{\theta}$ เป็นตัวประมาณเอนเอียง (Biased estimator) ของพารามิเตอร์ θ ก็ต่อเมื่อ $E(\hat{\theta}) \neq \theta$ โดยที่ค่าความเอนเอียงของ $\hat{\theta}$ เท่ากับ

$$Bias(\hat{\theta}) = E(\hat{\theta}) - \theta$$

1.9.2 ความคงเส้นคงวา (Consistency)

ตัวประมาณ $\hat{\theta}$ เป็นตัวประมาณคงเส้นคงวา (Consistent estimator) ของพารามิเตอร์ θ ก็ต่อเมื่อเพิ่มขนาดตัวอย่างมากขึ้นเรื่อย ๆ ตัวประมาณ $\hat{\theta}$ นั้น จะมีค่าประมาณลู่เข้าใกล้พารามิเตอร์ θ มากขึ้น (Cochran, 1977, p. 21)

1.9.3 ความมีประสิทธิภาพ (Efficiency)

ถ้าตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ และ $\hat{\theta}_2$ เป็นตัวประมาณไม่เอนเอียงของพารามิเตอร์ θ แล้วตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ เป็นตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า $\hat{\theta}_2$ ก็ต่อเมื่อ ความแปรปรวนของ $\hat{\theta}_1$ น้อยกว่าความแปรปรวนของ $\hat{\theta}_2$ หรือ $V(\hat{\theta}_1) < V(\hat{\theta}_2)$ แต่ถ้าตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ และ $\hat{\theta}_2$ เป็นตัวประมาณเอนเอียงของพารามิเตอร์ θ จะพิจารณาประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ (Mean Square Error: MSE) และตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ เป็นตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวประมาณ $\hat{\theta}_2$ ก็ต่อเมื่อ $MSE(\hat{\theta}_1) < MSE(\hat{\theta}_2)$ และคำนวณค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (Percent Relative Efficiency: PRE) เพื่อเปรียบเทียบตัวประมาณ $\hat{\theta}_1$ และ $\hat{\theta}_2$ ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ และค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (Cochran, 1977, pp. 15-16) นิยามได้ดังนี้

$$\begin{aligned}MSE(\hat{\theta}) &= E(\hat{\theta} - \theta)^2 \\&= E\{[\hat{\theta} - E(\hat{\theta})] + [E(\hat{\theta}) - \theta]\}^2 \\&= E[\hat{\theta} - E(\hat{\theta})]^2 + E[E(\hat{\theta}) - \theta]^2 + 2[E(\hat{\theta}) - \theta]E[\hat{\theta} - E(\hat{\theta})] \\&= V(\hat{\theta}) + [Bias(\hat{\theta})]^2 \\PRE &= \frac{MSE(\hat{\theta}_2)}{MSE(\hat{\theta}_1)} \times 100\end{aligned}$$

จะเห็นว่า ถ้าตัวประมาณ $\hat{\theta}$ เป็นตัวประมาณไม่เอนเอียงแล้วค่า $Bias(\hat{\theta})$ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ และค่า $MSE(\hat{\theta}) = V(\hat{\theta})$

2. ตัวประมาณอัตราส่วน

ในการสำรวจตัวอย่างเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรที่ศึกษา Y โดยทั่วไป ค่าประมาณพารามิเตอร์มักขึ้นอยู่กับข้อมูลการศึกษา (y_i) ที่รวบรวมจากตัวอย่างเพียงอย่างเดียว แต่ในหลาย ๆ สถานการณ์ ตัวแปรที่ศึกษา Y อาจมีความสัมพันธ์อย่างมากกับตัวแปรช่วย X และสามารถรวบรวมข้อมูลจากหน่วยวัดได้ง่าย ซึ่งในการประมาณนั้นต้องการค่าประมาณที่ถูกต้อง และแม่นยำมากที่สุด การนำเสนอสารสนเทศของตัวแปรช่วยมาช่วยในการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่สนใจเป็นวิธีหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวประมาณ ทำให้ได้ค่าประมาณที่มีความถูกต้อง และแม่นยำมากขึ้น การประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้สารสนเทศจากตัวแปรช่วยในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น การประมาณค่าโดยใช้อัตราส่วน (Ratio estimation) การประมาณค่าโดยใช้ผลคูณ (Product estimation) และการประมาณค่าโดยใช้การถดถอย (Regression estimation) ถ้าตัวแปรที่ศึกษามีความสัมพันธ์ในทางบวกกับตัวแปรช่วย การประมาณค่าโดยใช้อัตราส่วนจะให้ค่าประมาณที่มีประสิทธิภาพ ในทางกลับกันถ้ามีความสัมพันธ์ในทางลบ การประมาณค่าโดยใช้ผลคูณจะให้ค่าประมาณที่มีประสิทธิภาพ และถ้าความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงซึ่งผ่านจุดกำเนิดการประมาณค่าโดยใช้อัตราส่วน และการประมาณค่าโดยใช้ผลคูณจะให้ค่าประมาณที่มีประสิทธิภาพเท่าเทียมกับการประมาณค่าโดยใช้การถดถอย ในทางปฏิบัติตัวประมาณอัตราส่วน และตัวประมาณผลคูณนั้นถูกนำมาใช้เป็นส่วนใหญ่ (Solanki, Singh, & Rathour, 2012) และตัวประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากข้อมูลการสำรวจตัวอย่างมักเป็นตัวประมาณที่เรียบง่ายและไม่ซับซ้อน (สุชาติดา กิระนันท์, 2542, หน้า 280) ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการประมาณค่าโดยใช้อัตราส่วนเพียงเท่านั้น

กำหนดประชากรจำกัดขนาด N และ (y_i, x_i) คือ ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันจากหน่วยวัดที่ i ในประชากร เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N$ พารามิเตอร์อัตราส่วน ดังสมการที่ (2.1)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{\sum_{i=1}^N x_i} = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}} \quad (2.1)$$

เมื่อเลือกตัวอย่างขนาด n จากประชากรขนาด N ด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบไม่คืนที่ และ (y_i, x_i) แทนข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันจากหน่วยวัดที่ i ในตัวอย่าง เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$ ตัวสถิติอัตราส่วน หรือตัวประมาณอัตราส่วน ดังสมการที่ (2.2)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} \quad (2.2)$$

ตัวประมาณอัตราส่วนเริ่มต้นศึกษาในปี ค.ศ. 1802 ประเทศฝรั่งเศสไม่มีการทำสำมะโนประชากร ลาปลาซ (Laplace) จึงต้องการประมาณค่าจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในฝรั่งเศส โดยเลือกตัวอย่างชุมชนที่กระจายทั่วประเทศมา 30 แห่ง และรวบรวมข้อมูลจำนวนคน (y_i) และจำนวนทารกที่เกิดใหม่ 3 ปีย้อนหลัง (x_i) ของแต่ละชุมชน ในวันที่ 23 กันยายน ค.ศ. 1802 พบว่ามีจำนวนประชากรทั้งหมด ($\sum_{i=1}^{30} y_i$) เท่ากับ 2,037,615 คน และ 3 ปีย้อนหลังมีจำนวนทารกที่เกิดใหม่ทั้งหมด 215,599 คน ดังนั้นจำนวนทารกที่เกิดใหม่ทั้งหมด ($\sum_{i=1}^{30} x_i$) ปีละ 71,866.33 คน และจาก $\sum_{i=1}^{30} y_i / \sum_{i=1}^{30} x_i = 2,037,615 / 71,866.33 = 28.35$ นั่นคืออัตราส่วนของจำนวนประชากรต่อทารกที่เกิดใหม่ 1 คน เท่ากับ 28.35 คน หากทราบจำนวนทารกที่เกิดใหม่แล้วคูณด้วย 28.35 ทำให้ทราบจำนวนประชากรทั้งหมด จะเห็นว่าลาปลาซไม่ได้สนใจจำนวนทารกที่เกิดใหม่ แต่จำนวนทารกที่เกิดใหม่นี้ทำให้ลาปลาซสามารถประมาณค่าจำนวนประชากรทั้งหมดได้ (Lohr, 2010, pp. 117-118)

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อทราบค่าประมาณอัตราส่วนแล้ว ค่าประมาณอัตราส่วนนั้นสามารถนำไปประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้อีก เช่น ยอดรวมประชากร ค่าเฉลี่ย สัดส่วน ความแปรปรวน เป็นต้น ในงานวิจัยชิ้นนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการประมาณค่าโดยใช้อัตราส่วน ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยเท่านั้น

2.1 ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย

เมื่อเลือกตัวอย่างขนาด n จากประชากรขนาด N ด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบไม่คืนที่ โดยทั่วไปใช้ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{Y}) คือตัวสถิติค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ซึ่งเป็นตัวประมาณไม่เอนเอียงของ \bar{Y} โดยที่ $\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n$ และ $V(\bar{y}) = \frac{(1-f)}{n} S_y^2$

2.2 ตัวประมาณอัตราส่วนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย

Cochran (1977) ได้เสนอตัวประมาณอัตราส่วนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย เมื่อเลือกตัวอย่างขนาด n จากประชากรขนาด N ด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบไม่คืนที่ และ (y_i, x_i) แทนข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกจากหน่วยวัดที่ i ในตัวอย่าง เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ตัวประมาณอัตราส่วนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า

ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (Ratio estimator for population mean) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ \bar{y}_r ดังสมการที่ (2.3)

$$\bar{y}_r = \bar{y} \frac{\bar{X}}{\bar{x}} \quad (2.3)$$

เนื่องจากตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_r นั้น เป็นตัวประมาณเอนเอียงของพารามิเตอร์ \bar{Y} ดังนั้นประสิทธิภาพของตัวประมาณ จึงพิจารณาด้วยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error: MSE) ซึ่งความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณอัตราส่วน \bar{y}_r ดังสมการที่ (2.4)

$$\begin{aligned} MSE(\bar{y}_r) &= E(\bar{y}_r - \bar{Y})^2 \\ &= V(\bar{y}_r) + [E(\bar{y}_r) - \bar{Y}]^2 \\ &= V(\bar{y}_r) + [Bias(\bar{y}_r)]^2 \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$MSE(\bar{y}_r) \cong \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 (C_y^2 + C_x^2 - 2C_x C_y \rho_{xy})$$

แต่หากตัวอย่างมีขนาดใหญ่พอ ความเอนเอียงจะไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของตัวประมาณ และการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวประมาณอัตราส่วนจะเข้าสู่การแจกแจงแบบปกติ (Cochran, 1977, pp. 160-162)

ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยใช้ประโยชน์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร Y และ X ระดับความสัมพันธ์จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวประมาณค่าเฉลี่ยเมื่อใด ซึ่ง Cochran (1977, pp. 154-158) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_r กับตัวประมาณค่าเฉลี่ย \bar{y} เมื่อเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายด้วยตัวอย่างขนาดใหญ่ ตัวประมาณอัตราส่วน \bar{y}_r มีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวประมาณ \bar{y} ภายใต้เงื่อนไข

$$\rho_{xy} > \frac{1}{2} \left(\frac{S_x}{\bar{X}} \right) / \left(\frac{S_y}{\bar{Y}} \right) \quad \text{หรือ} \quad \rho_{xy} > \frac{1}{2} \frac{C_x}{C_y}$$

2.3 ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและน้อยสุด

การประมาณค่าพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ศึกษา (\bar{Y}) โดยทั่วไปจะใช้ตัวประมาณ \bar{y} ซึ่งคำนวณค่าประมาณโดยใช้ข้อมูลการสำรวจตัวอย่าง แต่ในสถานการณ์จริงนั้นชุดข้อมูล

การสำรวจตัวอย่างหลาย ๆ ชุดอาจมีข้อมูลที่ค่ามากที่สุด (y_{max}) และค่าน้อยสุด (y_{min}) ในประชากรปะปนอยู่ด้วย หากการประมาณค่าไม่สนใจค่าเหล่านี้ อาจทำให้ค่าประมาณที่ได้มีค่ามากเกินไป (Overestimate) หรือน้อยเกินไป (Underestimate) Sarndal (1972) ได้เสนอตัวประมาณไม่เอนเอียงสำหรับการประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ดังสมการที่ (2.5)

$$\bar{y}_s = \begin{cases} \bar{y} + c & \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ แต่ไม่มี } y_{max} \\ \bar{y} - c & \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ แต่ไม่มี } y_{min} \\ \bar{y} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases} \quad (2.5)$$

ความแปรปรวนของตัวประมาณ ดังสมการที่ (2.6)

$$V(\bar{y}_s) = V(\bar{y}) - \frac{2\theta nc}{N-1} (y_{max} - y_{min} - nc) \quad (2.6)$$

เมื่อ $\theta = \frac{1}{n} - \frac{1}{N}$ และ c เป็นค่าคงที่ที่ทำให้ $V(\bar{y}_s) < V(\bar{y})$

ดังนั้น $c_{opt} = \frac{(y_{max} - y_{min})}{2n}$ แทนค่าในสมการที่ (2.6) จะได้สมการที่ (2.7)

$$V(\bar{y}_s)_{opt} = V(\bar{y}) - \frac{\theta(y_{max} - y_{min})^2}{2(N-1)} \quad (2.7)$$

เมื่อ $V(\bar{y}) = \frac{(1-f)}{n} S_y^2$

3. ทฤษฎีสถิติที่เกี่ยวข้อง

ในการจำลองข้อมูลของงานวิจัยนี้ถือว่า ข้อมูลที่ศึกษามีสมบัติเป็นตัวแปรสุ่ม (Random variable) ดังนั้นทฤษฎีสถิติที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึงรูปแบบการเกิดของข้อมูลตัวแปรที่ศึกษา นั่นคือการแจกแจงของข้อมูล (Distribution) ซึ่งอธิบายด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function) ตลอดจนสมบัติที่สำคัญบางประการของตัวแปรสุ่ม ที่สามารถคำนวณได้จากฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มนั้น

3.1 การแจกแจงของตัวแปรสุ่ม (Distribution of random variables)

การแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่นำมาใช้ในการวิจัย คือ การแจกแจงปกติ (Normal distribution) และการแจกแจงแบบล็อกปกติ (Lognormal distribution) รายละเอียดดังนี้

3.1.1 การแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution)

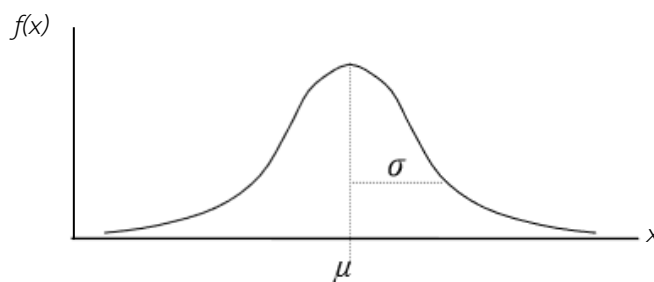
การแจกแจงแบบปกติเป็นการแจกแจงที่สำคัญในศาสตร์ทางความน่าจะเป็นและสถิติ ซึ่งในหลาย ๆ ประชากรที่ศึกษาข้อมูลมีการแจกแจงที่เข้าใกล้โค้งปกติ (Normal curve) ยกตัวอย่างเช่น ส่วนสูง น้ำหนัก ปริมาณขยะ เวลาตอบสนองในการทดลองทางจิตวิทยา การวัดความคลาดเคลื่อนในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ หรือลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ ถึงแม้ว่าบางครั้งตัวแปรอาจจะไม่มีการแจกแจงปกติ แต่ค่าเฉลี่ยและผลรวมของตัวแปรนั้นยังคงมีการแจกแจงเข้าใกล้การแจกแจงปกติโดยอาศัยทฤษฎีบทขีดจำกัดกลาง (Central limit theorem) (Devore, 2012, pp. 152-153; Navidi, 2015, pp. 241-242)

ถ้าตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงปกติที่มีพารามิเตอร์ $-\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$ แล้วฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม X นิยามดังสมการที่ (2.8)

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}; -\infty < x < \infty \quad (2.8)$$

เขียนแทนด้วย $X \sim N(\mu, \sigma^2)$

โดยที่ μ เป็นพารามิเตอร์บอกตำแหน่ง (Location Parameter) σ เป็นพารามิเตอร์บอกมาตราส่วน (Scale Parameter) และกราฟของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติที่มีพารามิเตอร์ μ และ σ นี้มีลักษณะเป็นโค้งระฆังคว่ำ สมมาตรที่ค่า $x = \mu$ ดังนั้น ณ จุดกึ่งกลางของโค้งระฆังคว่ำนี้จะเป็นทั้งค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 กราฟการแจกแจงแบบปกติที่มีพารามิเตอร์ μ และ σ

3.1.2 การแจกแจงแบบล็อกปกติ (Lognormal distribution)

การแจกแจงแบบล็อกปกติเหมาะสำหรับตัวแปรสุ่มที่มีค่าตั้งแต่ 0 แต่มีค่ามาก ๆ เพียง 2-3 ค่า ทำให้การแจกแจงไม่สมมาตร และเบ้ขวา (สายชล สีนสมบูรณ์ทอง, 2558, หน้า 109) การแจกแจงนี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ด้านเศรษฐศาสตร์ นำไปอธิบาย

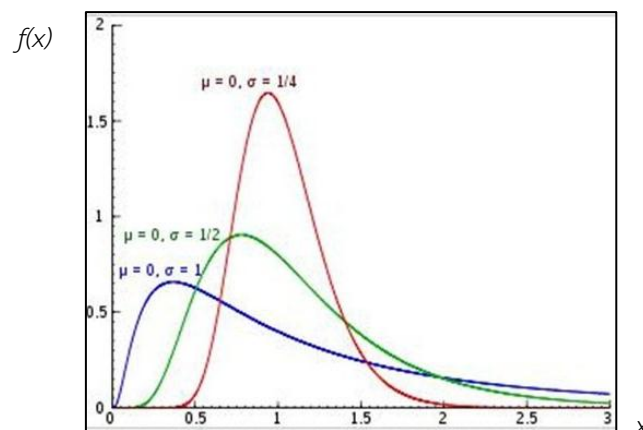
รายได้ของประชากร การกระจายของเงินผลตอบแทนที่บริษัทประกันต้องจ่ายให้กับลูกค้าในแต่ละปี ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเมืองขนาดใหญ่ เป็นต้น

ถ้าตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงแบบล็อกปกติ ที่มีพารามิเตอร์ μ และ σ^2 แล้ว ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม X นิยามดังสมการที่ (2.9)

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2}; 0 \leq x < \infty, -\infty \leq \mu < \infty, \sigma^2 > 0 \quad (2.9)$$

เขียนแทนด้วย $X \sim \text{Lognormal}(\mu, \sigma^2)$

โดยที่ μ เป็นพารามิเตอร์บอกตำแหน่ง (Location Parameter) σ เป็นพารามิเตอร์บอกมาตราส่วน (Scale Parameter) และกราฟของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบล็อกปกติที่มีพารามิเตอร์ μ และ σ นี้มีลักษณะเป็นโค้งเบ้ขวา (Montgomery & Runger, 2014, pp. 256-259) ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 กราฟการแจกแจงแบบล็อกปกติมีพารามิเตอร์ μ และ σ

3.2 สมบัติสำคัญของตัวแปรสุ่ม (The important property of random variable)

สมบัติสำคัญของตัวแปรสุ่มที่ศึกษา ได้แก่ ค่าคาดหวังหรือค่าเฉลี่ย (Expected or Mean values) ความแปรปรวน (Variance) ซึ่งเป็นลักษณะรูปแบบการเกิดของข้อมูลตัวแปรสุ่มสามารถอธิบายด้วยนิยามของโมเมนต์ (Ryan, 2007, pp. 106-107) ดังนี้

3.2.1 นิยามโมเมนต์ (Definition of moments)

นิยาม ให้ X เป็นตัวแปรสุ่ม c เป็นค่าคงตัวใด ๆ และ k เป็นจำนวนเต็มบวก ถ้า $E(X - c)^k$ หาค่าได้ เรียก $E(X - c)^k$ ว่าเป็นโมเมนต์อันดับที่ k ของ X รอบจุด c

3.2.2 ค่าคาดหวัง (Expected value)

ค่าคาดหวังหรือค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม X เขียนแทนด้วย $E(X)$ หรือ μ_x เมื่อ X เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องที่มีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น $f(x)$ สามารถคำนวณได้จากโมเมนต์อันดับที่ 1 ของ X รอบจุดกำเนิด (ศูนย์) ดังสมการที่ (2.10)

$$\mu_x = E(X - 0)^1 = E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx \quad (2.10)$$

3.2.3 ความแปรปรวน (Variance)

ค่าความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม X เขียนแทนด้วย $V(X)$ หรือ σ_x^2 เมื่อ X เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องที่มีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น $f(x)$ สามารถคำนวณได้จากโมเมนต์อันดับที่ 2 ของ X รอบค่าเฉลี่ย (μ_x) ดังสมการที่ (2.11)

$$\sigma_x^2 = V(X) = E(X - \mu_x)^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 \cdot f(x) dx \quad (2.11)$$

4. อนุกรมเทย์เลอร์

อนุกรมเทย์เลอร์ เป็นอนุกรมที่ใช้ประมาณค่าฟังก์ชันที่สามารถหาอนุพันธ์ได้อย่างต่อเนื่อง (Continuously differentiable function) ซึ่งนิยามดังนี้

ให้ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันที่หาอนุพันธ์ทุกอันดับได้ที่จุด x_0 แล้ว อนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor series) ดังสมการที่ (2.12)

$$\begin{aligned} f(x) &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!} (x - x_0)^n \\ &= f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} (x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!} (x - x_0)^2 + \frac{f'''(x_0)}{3!} (x - x_0)^3 + \dots \end{aligned} \quad (2.12)$$

โดยกำหนดให้ x_0 เป็นค่าคงตัว เรียกว่า จุดศูนย์กลางของอนุกรม (Burden & Faires, 2011, pp. 10-11) สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้เฉพาะอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับหนึ่งเท่านั้น

5. งานวิจัยที่เกี่ยวกับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบไม่คืนที่อย่างต่อเนื่อง โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวแปรช่วยในการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของ Cochran ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ.1977

ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยแบบดั้งเดิม (Classical ratio estimator) เช่น พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความแปรผัน สัมประสิทธิ์ความโค้ง สัมประสิทธิ์ความเบ้ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่ามัธยฐาน ซึ่งตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่พัฒนาขึ้นเป็นตัวประมาณเอนเอียงของ \bar{Y} ตัวประมาณอยู่ในรูปอัตราส่วนของตัวแปรสุ่ม จึงทำให้ไม่สามารถหาความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่แท้จริงได้ จะหาได้แต่ค่าประมาณของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณเท่านั้น โดยใช้วิธีอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 (First order approximation) แสดงประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยการคำนวณในเชิงทฤษฎี และการคำนวณเชิงตัวเลข พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยแบบดั้งเดิม ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม เริ่มจาก

Sisodia and Dwivedi (1981) ได้สนใจการกระจายตัวของตัวแปรช่วย หากข้อมูลมีค่ากระจายมาก ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยแบบดั้งเดิมจะเป็นตัวประมาณที่ไม่มีประสิทธิภาพ จึงนำพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความผันแปรของตัวแปรช่วย (C_x) มาปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยแบบดั้งเดิม ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_{r1} ต่อมา Singh and Kakran (1993) ใช้แนวคิดเดียวกับ Sisodia and Dwivedi แต่ใช้พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความโค้ง ($\beta_2(x)$) ในการปรับตัวประมาณค่าอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิม ทำให้ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_{r2} ต่อมา Singh and Tailor (2003) ใช้แนวคิดแบบเดียวกับ Sisodia and Dwivedi และ Singh and Kakran แต่สนใจค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษาและตัวแปรช่วย จึงใช้พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ_{xy}) ในการปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิม ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_{r3} ในแนวคิดลักษณะเดียวกัน Yan and Tian (2010) เสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยใช้พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความเบ้ ($\beta_1(x)$) มาปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิม ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_{r4} ซึ่งแสดงค่าเอนเอียงและความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง ดังตารางที่ 2-1

Upadhyaya and Singh (1999) เริ่มนำพารามิเตอร์ของตัวแปรช่วยมาปรับแก้ตัวประมาณที่พัฒนาต่อจากตัวประมาณอัตราส่วนแบบดั้งเดิม โดยครั้งนี้ใช้พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความแปรผันในการปรับตัวประมาณอัตราส่วน \bar{y}_{r2} ของ Singh and Kakran ที่เสนอในปี ค.ศ.1993 ทำให้ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_{r5} และใช้พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความโค้งปรับตัวประมาณอัตราส่วน \bar{y}_{r1} ของ Sisodia and Dwivedi ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ.1981 ทำให้ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_{r6} แสดงค่าเอนเอียงและความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ ดังตารางที่ 2-1 และมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_{r1} และ \bar{y}_{r2} ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม

Kadilar and Cingi (2004) เริ่มใช้แนวคิดของหลักการวิเคราะห์การถดถอยที่เสนอโดย Ray and Singh (1981) ที่ว่า $\bar{y}_{RS} = \frac{\bar{y} + b(\bar{x}^\alpha - \bar{X}^\alpha)}{\bar{x}^\gamma} \bar{X}^\gamma$ ในการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย โดยกำหนดให้ $\alpha = 1$ และ $\gamma = 1$ จะได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ปรับใหม่คือ $\bar{y}_{r7} = \frac{\bar{y} + b(\bar{x} - \bar{X})}{\bar{x}} \bar{X}$ และนำมาปรับตัวประมาณอัตราส่วนของ Sisodia and Dwivedi ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1981 ทำให้ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_{r8} ปรับตัวประมาณอัตราส่วนของ Singh and Kakran ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1993 ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_{r9} และปรับตัวประมาณอัตราส่วนของ Upadhyaya and Singh ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ.1999 ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_{r10} แสดงค่าเอนเอียงและความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ ดังตารางที่ 2-2 จากนั้น Kadilar and Cingi (2006) ใช้แนวคิดของหลักการวิเคราะห์การถดถอย และตัวประมาณของ Singh and Tailor ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ. 2003 ปรับตัวประมาณอัตราส่วนของ Upadhyaya and Singh ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ.1999 ได้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_{r14} , \bar{y}_{r15} , \bar{y}_{r16} และ \bar{y}_{r17} จากนั้น Yan and Tian (2010) เสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยใช้พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความเบ้ของตัวแปรช่วย ($\beta_1(x)$) มาปรับตัวประมาณของ Kadilar and Cingi ที่ได้นำเสนอไว้ในปี ค.ศ. 2004 โดยนำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยใหม่ 2 ตัว คือ \bar{y}_{r12} และ \bar{y}_{r13} แสดงค่าเอนเอียงและความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ ดังตารางที่ 2-2

Subramani and Kumarapandiyam (2013) ได้ปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิมด้วยพารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย (M_d) เนื่องจากมัธยฐานเป็นค่ากลางที่มีความแกร่งต่อข้อมูลที่มีค่ามากหรือน้อยเกินไป ซึ่งแตกต่างจากพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ค่าเฉลี่ย สัมประสิทธิ์ความแปรผัน สัมประสิทธิ์ความเบ้ และสัมประสิทธิ์ความโด่ง ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้ว (\bar{y}_p) แสดงค่าเอนเอียงและความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ดังสมการที่ (2.13), (2.14) และ (2.15)

$$\bar{y}_p = \bar{y} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} \quad (2.13)$$

$$B(\bar{y}_p) = \frac{1-f}{n} \bar{Y} (\theta_p^2 C_x^2 - \theta_p C_x C_y \rho_{xy}) \quad (2.14)$$

$$MSE(\bar{y}_p) = \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 (C_y^2 + \theta_p^2 C_x^2 - 2\theta_p C_x C_y \rho_{xy}) \quad (2.15)$$

$$\text{เมื่อ } \theta_p = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + M_d}$$

Subramani and Kumarapandiyam จัดกลุ่มตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่มีรูปแบบคล้าย ๆ กันเป็น 2 กลุ่ม โดยตัวประมาณอัตราส่วนในตารางที่ 2-1 อยู่ในกลุ่ม A และตัวประมาณอัตราส่วนในตารางที่ 2-2 อยู่กลุ่ม B และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y}_p ที่พัฒนาขึ้นกับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในกลุ่ม A และ กลุ่ม B โดยมีค่าเอนเอียง และความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในกลุ่ม A และ B ดังสมการที่ (2.16), (2.17), (2.18) และ (2.19)

กลุ่ม A

$$B(\bar{y}_{ri}) = \frac{1-f}{n} \bar{Y} (\theta_i^2 C_x^2 - \theta_i C_x C_y \rho_{xy}) \quad (2.16)$$

$$MSE(\bar{y}_{ri}) = \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 (C_y^2 + \theta_i^2 C_x^2 - 2\theta_i C_x C_y \rho_{xy}) \quad (2.17)$$

$$\text{เมื่อ } i = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ และ } \theta_1 = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + C_x}, \theta_2 = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + \beta_2}, \theta_3 = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + \rho_{xy}},$$

$$\theta_4 = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + \beta_1}, \theta_5 = \frac{\bar{X} C_x}{\bar{X} C_x + \beta_2}$$

กลุ่ม B

$$B(\bar{y}_{ri}) = \frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_i^2 \quad (2.18)$$

$$MSE(\bar{y}_{ri}) = \frac{1-f}{n} (R_i^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2)) \quad (2.19)$$

$$\text{เมื่อ } i = 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17 \text{ และ } R_7 = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}}, R_8 = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + C_x},$$

$$R_9 = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + \beta_2}, R_{10} = \frac{\bar{Y} C_x}{\bar{X} C_x + \beta_2}, R_{12} = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + \beta_1}, R_{13} = \frac{\bar{Y} \beta_1}{\bar{X} \beta_1 + \beta_2}, R_{14} = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + \rho_{xy}},$$

$$R_{15} = \frac{\bar{Y}C_x}{\bar{X}C_x + \rho_{xy}}, R_{16} = \frac{\bar{Y}\rho_{xy}}{\bar{X}\rho_{xy} + C_x}, R_{17} = \frac{\bar{Y}\rho_{xy}}{\bar{X}\rho_{xy} + \beta_2}$$

ตารางที่ 2-1 ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในกลุ่ม A (Class A)

Estimator	Bias	Mean square error (MSE)	Constant
$\bar{y}_{r1} = \bar{y} \frac{\bar{X} + C_x}{\bar{x} + C_x}$	$\frac{1-f}{n} \bar{y} (\theta_1^2 C_x^2 - \theta_1 C_x C_y \rho_{xy})$	$\frac{1-f}{n} \bar{y}^2 (C_y^2 + \theta_1^2 C_x^2 - 2\theta_1 C_x C_y \rho_{xy})$	$\theta_1 = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + C_x}$
Sisodia and Dwivedi (1981)			
$\bar{y}_{r2} = \bar{y} \frac{\bar{X} + \beta_2}{\bar{x} + \beta_2}$	$\frac{1-f}{n} \bar{y} (\theta_2^2 C_x^2 - \theta_2 C_x C_y \rho_{xy})$	$\frac{1-f}{n} \bar{y}^2 (C_y^2 + \theta_2^2 C_x^2 - 2\theta_2 C_x C_y \rho_{xy})$	$\theta_2 = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + \beta_2}$
Singh and Kakran (1993)			
$\bar{y}_{r3} = \bar{y} \frac{\bar{X} + \rho_{xy}}{\bar{x} + \rho_{xy}}$	$\frac{1-f}{n} \bar{y} (\theta_3^2 C_x^2 - \theta_3 C_x C_y \rho_{xy})$	$\frac{1-f}{n} \bar{y}^2 (C_y^2 + \theta_3^2 C_x^2 - 2\theta_3 C_x C_y \rho_{xy})$	$\theta_3 = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + \rho_{xy}}$
Singh and Tailor (2003)			
$\bar{y}_{r4} = \bar{y} \frac{\bar{X} + \beta_1}{\bar{x} + \beta_1}$	$\frac{1-f}{n} \bar{y} (\theta_4^2 C_x^2 - \theta_4 C_x C_y \rho_{xy})$	$\frac{1-f}{n} \bar{y}^2 (C_y^2 + \theta_4^2 C_x^2 - 2\theta_4 C_x C_y \rho_{xy})$	$\theta_4 = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + \beta_1}$
Yan and Tian (2010)			
$\bar{y}_{r5} = \bar{y} \frac{\bar{X}C_x + \beta_2}{\bar{x}C_x + \beta_2}$	$\frac{1-f}{n} \bar{y} (\theta_5^2 C_x^2 - \theta_5 C_x C_y \rho_{xy})$	$\frac{1-f}{n} \bar{y}^2 (C_y^2 + \theta_5^2 C_x^2 - 2\theta_5 C_x C_y \rho_{xy})$	$\theta_5 = \frac{\bar{X}C_x}{\bar{x}C_x + \beta_2}$
Upadhyaya and Singh (1999)			
$\bar{y}_{r6} = \bar{y} \frac{\bar{X}\beta_2 + C_x}{\bar{x}\beta_2 + C_x}$	$\frac{1-f}{n} \bar{y} (\theta_6^2 C_x^2 - \theta_6 C_x C_y \rho_{xy})$	$\frac{1-f}{n} \bar{y}^2 (C_y^2 + \theta_6^2 C_x^2 - 2\theta_6 C_x C_y \rho_{xy})$	$\theta_6 = \frac{\bar{X}\beta_2}{\bar{x}\beta_2 + C_x}$
Upadhyaya and Singh (1999)			

จากผลการคำนวณเชิงทฤษฎี ปรากฏว่าตัวประมาณอัตราส่วนที่ปรับใหม่ \bar{y}_p จะมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในกลุ่ม A หรือ

$$MSE(\bar{y}_p) < MSE(\bar{y}_{ri}) \text{ เมื่อ } \rho_{xy} < \frac{\theta_p + \theta_i}{2} \frac{C_x}{C_y}; i = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ และตัวประมาณ}$$

อัตราส่วนที่ปรับใหม่ \bar{y}_p จะมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย

$$\text{ในกลุ่ม B เมื่อ } \frac{\theta_p C_x - R_i^*}{C_y} < \rho_{xy} < \frac{R_i^* S_x + \theta_p C_x}{C_y}; i = 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17$$

$$\text{เมื่อ } R_i^* = R_i / \bar{Y}$$

จากผลการคำนวณเชิงตัวเลขกับข้อมูลจริงจากประชากร 3 กลุ่ม ภายใต้วิธีการเลือก ตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่าย ในแต่ละกลุ่มคำนวณค่าเอนเอียง ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าอัตราส่วนของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ($MSE(\bar{y}_{ri})/MSE(\bar{y}_p)$) พบว่าค่าเอนเอียงและค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณอัตราส่วนที่ปรับใหม่ \bar{y}_p น้อยกว่าตัวประมาณ

อัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในกลุ่ม A และกลุ่ม B ทุกตัวประมาณและทุกกลุ่มประชากร ค่าอัตราส่วนของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่ามากกว่าหนึ่งในทุกตัวประมาณและทุกกลุ่มประชากรเช่นกัน นั่นหมายความว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ปรับใหม่ \bar{y}_p นั้น มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในกลุ่ม A และกลุ่ม B ทุกตัว

ตารางที่ 2-2 ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในกลุ่ม B (Class B)

Estimator	Bias	Mean square error (MSE)	Constant
$\bar{y}_{r7} = \frac{\bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})}{\bar{x}} \bar{X}$ Kadilar and Cingi (2004)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_7^2$	$\frac{1-f}{n} (R_7^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_7 = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}}$
$\bar{y}_{r8} = \frac{\bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})}{(\bar{x} + C_x)} (\bar{X} + C_x)$ Kadilar and Cingi (2004)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_8^2$	$\frac{1-f}{n} (R_8^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_8 = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + C_x}$
$\bar{y}_{r9} = \frac{\bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})}{(\bar{x} + \beta_2)} (\bar{X} + \beta_2)$ Kadilar and Cingi (2004)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_9^2$	$\frac{1-f}{n} (R_9^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_9 = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + \beta_2}$
$\bar{y}_{r10} = \frac{\bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})}{(\bar{x} C_x + \beta_2)} (\bar{x} C_x + \beta_2)$ Kadilar and Cingi (2004)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_{10}^2$	$\frac{1-f}{n} (R_{10}^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_{10} = \frac{\bar{Y} C_x}{\bar{x} C_x + \beta_2}$
$\bar{y}_{r11} = \frac{\bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})}{(\bar{x} \beta_2 + C_x)} (\bar{x} \beta_2 + C_x)$ Kadilar and Cingi (2004)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_{11}^2$	$\frac{1-f}{n} (R_{11}^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_{11} = \frac{\bar{Y} \beta_2}{\bar{x} \beta_2 + C_x}$
$\bar{y}_{r12} = \frac{\bar{y} + b(\bar{x} - \bar{X})}{(\bar{x} + \beta_1)} (\bar{X} + \beta_1)$ Yan and Tian (2010)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_{12}^2$	$\frac{1-f}{n} (R_{12}^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_{12} = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + \beta_1}$
$\bar{y}_{r7} = \frac{\bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})}{\bar{x}} \bar{X}$ Kadilar and Cingi (2004)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_7^2$	$\frac{1-f}{n} (R_7^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_7 = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}}$
$\bar{y}_{r8} = \frac{\bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})}{(\bar{x} + C_x)} (\bar{X} + C_x)$ Kadilar and Cingi (2004)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_8^2$	$\frac{1-f}{n} (R_8^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_8 = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + C_x}$
$\bar{y}_{r9} = \frac{\bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})}{(\bar{x} + \beta_2)} (\bar{X} + \beta_2)$ Kadilar and Cingi (2004)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_9^2$	$\frac{1-f}{n} (R_9^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_9 = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + \beta_2}$
$\bar{y}_{r10} = \frac{\bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})}{(\bar{x} C_x + \beta_2)} (\bar{x} C_x + \beta_2)$ Kadilar and Cingi (2004)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_{10}^2$	$\frac{1-f}{n} (R_{10}^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_{10} = \frac{\bar{Y} C_x}{\bar{x} C_x + \beta_2}$
$\bar{y}_{r11} = \frac{\bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})}{(\bar{x} \beta_2 + C_x)} (\bar{x} \beta_2 + C_x)$ Kadilar and Cingi (2004)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_{11}^2$	$\frac{1-f}{n} (R_{11}^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_{11} = \frac{\bar{Y} \beta_2}{\bar{x} \beta_2 + C_x}$
$\bar{y}_{r12} = \frac{\bar{y} + b(\bar{x} - \bar{X})}{(\bar{x} + \beta_1)} (\bar{X} + \beta_1)$ Yan and Tian (2010)	$\frac{1-f}{n} \frac{S_x^2}{\bar{Y}} R_{12}^2$	$\frac{1-f}{n} (R_{12}^2 S_x^2 + S_y^2 (1 - \rho_{xy}^2))$	$R_{12} = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + \beta_1}$

ในระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการศึกษาโดยนำพารามิเตอร์มัธยฐานมาปรับใช้กับตัวประมาณ อัตราส่วนอย่างต่อเนื่อง เช่น Subramani and Prabavathy (2014) ได้นำเสนอตัวประมาณ อัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในรูปผลรวมเชิงเส้นของพารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรที่ศึกษา มัธยฐานของตัวแปรช่วย (M) พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย และ ค่าสถิติมัธยฐานของตัวแปรช่วย (m) ดังสมการที่ (2.20) ในลักษณะเดียวกัน Subramani and Prabavathy (2015) ได้นำเสนอ ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในรูปผลรวมเชิงเส้นของมัธยฐานของตัวแปรที่ศึกษา และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ความแปรผัน ดังสมการที่ (2.21)

$$\bar{y}_{SP1} = \bar{y} \left(\frac{M_d M + \bar{X}}{M_d m + \bar{X}} \right) \text{ และ } \bar{y}_{SP2} = \bar{y} \left(\frac{\bar{X} M + M_d}{\bar{X} m + M_d} \right) \quad (2.20)$$

$$\bar{y}_{SP1} = \bar{y} \left(\frac{\rho M + \beta_1}{\rho m + \beta_1} \right) \text{ และ } \bar{y}_{SP2} = \bar{y} \left(\frac{\beta_1 M + \rho}{\beta_1 m + \rho} \right) \quad (2.21)$$

Kumar (2015) และ Subramani and Ajith (2017) ได้ปรับตัวประมาณของ Subramani and Kumarapandiyan ที่ได้นำเสนอในปี ค.ศ. 2013 ให้อยู่ในรูปของสมการที่ถดถอยเชิงเส้น ดังสมการที่ (2.22) และ (2.23)

$$\bar{y}_{ts} = \bar{y} \left[\alpha \left(\frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} \right) + (1 - \alpha) \left(\frac{\bar{x} + M_d}{\bar{X} + M_d} \right) \right] \quad (2.22)$$

$$\bar{y}_{pr} = \alpha \lambda_1 \bar{y} \left(\frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} \right) + (1 - \alpha) \lambda_2 \bar{y} \left(\frac{\bar{x} + M_d}{\bar{X} + M_d} \right) \quad (2.23)$$

Subramani (2016) ได้นำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในรูป อัตราส่วนของมัธยฐานของตัวแปรที่ศึกษา ดังสมการที่ (2.24) และ Yadav, Shukla, Tomer, and Kumar (2018) ได้นำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยใช้พารามิเตอร์มัธยฐาน และสัมประสิทธิ์ความโค้งของตัวแปรช่วย ดังสมการที่ (2.25)

$$\bar{y}_m = \bar{y} \left(\frac{M}{m} \right) \quad (2.24)$$

$$\bar{y}_{dk} = \bar{y} \left(\frac{\bar{X} \beta_2(x) + M_d^2}{\bar{x} \beta_2(x) + M_d^2} \right) \quad (2.25)$$

จากการศึกษาการนำพารามิเตอร์มัธยฐานมาปรับใช้กับตัวประมาณอัตราส่วนที่ผ่านมาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ของตัวประมาณที่ประมาณด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 (First degree of approximation) กับค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่ผ่านมา ทั้งการคำนวณเชิงทฤษฎีและการคำนวณเชิงตัวเลขจากข้อมูลจริงหรือข้อมูลจากการจำลอง พบว่าทุกตัวประมาณมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมเช่นกัน แต่จะเห็นว่ารูปแบบตัวประมาณจะซับซ้อนมากขึ้นหรือไม่ทราบค่าพารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรที่ศึกษา ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจตัวประมาณที่นำเสนอในปี ค.ศ. 2013 โดย Subramani and Kumarapandiyan เป็นตัวประมาณเริ่มต้นในการพัฒนาต่อไป

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้นพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยไม่สนใจข้อมูลที่มีค่ามากที่สุดหรือค่าน้อยสุดในประชากร ซึ่งข้อมูลเหล่านี้อาจมีปะปนอยู่ในข้อมูลสำรวจตัวอย่างในสถานการณ์จริงเสมอ การละเลยข้อมูลเหล่านี้ทำให้ค่าประมาณที่ได้มีค่ามากหรือน้อยเกินไป จึงเริ่มมีการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย โดยแยกพิจารณาเป็นกรณีที่มีค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด โดยเริ่มจาก Khan and Shabbir (2013) ได้เสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้ประชากรจำกัดโดยใช้ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุดของตัวแปรที่ศึกษาและตัวแปรช่วย โดยพัฒนาจากแนวคิดของ Sarndal (1972) ที่เสนอตัวประมาณไม่เอนเอียงสำหรับการประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากรจำกัดโดยพิจารณาค่ามากที่สุดและต่ำสุด (\bar{y}_s) ดังสมการที่ (2.26) มาพิจารณาร่วมกับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิมที่นำเสนอโดย Cochran ในปี ค.ศ. 1977 ปรับปรุงเป็นตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยพิจารณาค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุดของตัวแปรที่ศึกษาและตัวแปรช่วย ดังสมการที่ (2.29)

$$\bar{y}_s = \begin{cases} \bar{y} + c & \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ แต่ไม่มี } y_{max} \\ \bar{y} - c & \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ แต่ไม่มี } y_{min} \\ \bar{y} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases} \quad (2.26)$$

ความแปรปรวนของตัวประมาณ ดังสมการที่ (2.27)

$$V(\bar{y}_s) = V(\bar{y}) - \frac{2\theta nc}{N-1} (y_{max} - y_{min} - nc) \quad (2.27)$$

เมื่อ $\theta = \frac{1}{n} - \frac{1}{N}$ และ c เป็นค่าคงที่ที่ทำให้ $V(\bar{y}_s) < V(\bar{y})$

ดังนั้น $c_{opt} = \frac{(y_{max} - y_{min})}{2n}$ แทนค่าในสมการที่ (2.27) จะได้สมการที่ (2.28)

$$V(\bar{y}_s)_{opt} = V(\bar{y}) - \frac{\theta(y_{max} - y_{min})^2}{2(N-1)} \quad (2.28)$$

$$\text{เมื่อ } V(\bar{y}) = \frac{(1-f)}{n} S_y^2$$

$$\bar{y}_{RC} = \begin{cases} (\bar{y} + c_1) \frac{\bar{X}}{\bar{X} + c_2} & \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ (\bar{y} - c_1) \frac{\bar{X}}{\bar{X} - c_2} & \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \bar{y} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \\ \bar{X} & \end{cases} \quad (2.29)$$

โดยที่ \bar{y}_{RC} เป็นตัวประมาณค่าเอนเอียงของพารามิเตอร์ \bar{Y} และใช้อนุกรมเทย์เลอร์ตีกริอันดับ 1 ประมาณความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณได้ตั้งสมการที่ (2.30)

$$MSE(\bar{y}_{RC}) \cong MSE(\bar{y}_r) - \frac{2\theta n}{N-1} \times \{(c_1 - Rc_2)[(y_{max} - y_{min}) - R(x_{max} - x_{min}) - n(c_1 - Rc_2)]\} \quad (2.30)$$

$$\text{เมื่อ } R = \bar{Y}/\bar{X} \text{ และ } MSE(\bar{y}_r) = \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 (C_y^2 + C_x^2 - 2C_x C_y \rho_{xy})$$

หาค่า c_1 และ c_2 ที่ทำให้ค่า $MSE(\bar{y}_{RC})$ มีค่าน้อยที่สุดจากหาอนุพันธ์ย่อยของ $MSE(\bar{y}_{RC})$ เทียบกับ c_1 และ c_2 กำหนดเท่ากับศูนย์ ตั้งสมการที่ (2.31) และ (2.32)

$$\frac{\partial MSE(\bar{y}_{RC})}{\partial c_1} = (y_{max} - y_{min}) - R(x_{max} - x_{min}) - 2n(c_1 - Rc_2) = 0 \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial MSE(\bar{y}_{RC})}{\partial c_2} = (y_{max} - y_{min}) - R(x_{max} - x_{min}) - 2n(c_1 - Rc_2) = 0 \quad (2.32)$$

จะเห็นว่าไม่มีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 2 ตัว แต่มีสมการที่เพียงสมการที่เดียวผลเฉลยของสมการ จึงมีได้หลายคำตอบ คำตอบหนึ่งของสมการคือกำหนดให้ $c_1 = (y_{max} - y_{min})/2n$ และ $c_2 = (x_{max} - x_{min})/2n$ และแทนค่าในสมการที่ (2.30) จะได้ $MSE(\bar{y}_{RC})$ ดังสมการที่ (2.33)

$$MSE(\bar{y}_{RC}) \cong MSE(\bar{y}_r) - \frac{\theta}{2(N-1)} \times [(y_{max} - y_{min}) - R(x_{max} - x_{min})]^2 \quad (2.33)$$

และแทนค่าในสมการที่ (2.29) จะได้ ตัวประมาณ ดังสมการที่ (2.34)

$$\bar{y}_{RC} = \begin{cases} \left[\bar{y} + \left(\frac{y_{max} - y_{min}}{2n} \right) \right] \left[\frac{\bar{x}}{\bar{x} + \left(\frac{x_{max} - x_{min}}{2n} \right)} \right] & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \end{array} \\ \left[\bar{y} - \left(\frac{y_{max} - y_{min}}{2n} \right) \right] \left[\frac{\bar{x}}{\bar{x} - \left(\frac{x_{max} - x_{min}}{2n} \right)} \right] & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \end{array} \\ \bar{x} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \\ \bar{y} & \\ \bar{x} & \end{cases} \quad (2.34)$$

จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า \bar{y}_{RC} กับ \bar{y} และ \bar{y}_r ด้วยการคำนวณเชิงตัวเลขกับข้อมูลจริงจากประชากร 4 กลุ่มซึ่งตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวก 3 กลุ่มและเชิงลบ 1 กลุ่มโดยมีเงื่อนไข ดังนี้

1. \bar{y}_{RC} มีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y} ถ้า $V(\bar{y}) - MSE(\bar{y}_{RC}) > 0$
2. \bar{y}_{RC} มีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y}_r ถ้า $MSE(\bar{y}_r) - MSE(\bar{y}_{RC}) > 0$

ผลการวิจัยพบว่าตัวประมาณค่า \bar{y}_{RC} มีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y}_r ในประชากรกลุ่มที่ตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวก

ในปีต่อมา Al-Hossain and Khan (2014) ได้เสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้ประชากรจำกัดโดยใช้ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุดของตัวแปรที่ศึกษาและตัวแปรช่วย 2 ตัว โดยพัฒนาจากแนวคิดของ Sarndal ในปี ค.ศ. 1972 พิจารณาร่วมกับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย โดยใช้ตัวแปรช่วย 2 ตัว $\bar{y}_{r2} = \bar{y} \frac{\bar{X}_1 \bar{X}_2}{\bar{x}_1 \bar{x}_2}$ ปรับปรุงเป็นตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยพิจารณาค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุดของตัวแปรที่ศึกษาและตัวแปรช่วย 2 ตัว ดังสมการที่ (2.35)

$$\bar{y}_{RC} = \begin{cases} (\bar{y} + c_1) \frac{\bar{X}_1}{(\bar{x}_1 + c_2)} \frac{\bar{X}_2}{(\bar{x}_2 + c_3)} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่1 ตัวอย่างมีค่า}(y_{min}, x_{1min}, x_{2min}) \\ \text{แต่ไม่มีค่า}(y_{max}, x_{1max}, x_{2max}) \end{array} \\ (\bar{y} - c_1) \frac{\bar{X}_1}{(\bar{x}_1 - c_2)} \frac{\bar{X}_2}{(\bar{x}_2 - c_3)} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่2 ตัวอย่างมีค่า}(y_{max}, x_{1max}, x_{2max}) \\ \text{แต่ไม่มีค่า}(y_{min}, x_{1min}, x_{2min}) \end{array} \\ \bar{y} \frac{\bar{X}_1}{\bar{x}_1} \frac{\bar{X}_2}{\bar{x}_2} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่1และ2} \end{cases} \quad (2.35)$$

โดยที่ \bar{y}_{RC} เป็นตัวประมาณค่าเอนเอียงของพารามิเตอร์ \bar{Y} และใช้อุกรมเทย์เลอร์ตีกรี่
อันดับ 1 ประมาณความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณได้ดังสมการที่ (2.36)

$$MSE(\bar{y}_{RC}) = MSE(\bar{y}_{r2}) - \frac{2n\theta(c_1 - R_2c_3 - R_1c_2)}{N-1} \times [(y_{max} - y_{min}) - R_1(x_{1max} - x_{1min}) - R_2(x_{2max} - x_{2min}) - n(c_1 - R_2c_3 - R_1c_2)] \quad (2.36)$$

หาค่า c_1 , c_2 และ c_3 ที่ทำให้ค่า $MSE(\bar{y}_{RC})$ มีค่าน้อยที่สุดจากอนุพันธ์ย่อยของ
 $MSE(\bar{y}_{RC})$ เทียบกับ c_1 , c_2 และ c_3 กำหนดเท่ากับศูนย์ ดังสมการที่ (2.37), (2.38) และ
(2.39)

$$\frac{\partial MSE(\bar{y}_{RC})}{\partial c_1} = (y_{max} - y_{min}) - R_1(x_{1max} - x_{1min}) - R_2(x_{2max} - x_{2min}) - 2n(c_1 - R_1c_1 - R_2c_3) = 0 \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial MSE(\bar{y}_{RC})}{\partial c_2} = (y_{max} - y_{min}) - R_1(x_{1max} - x_{1min}) - R_2(x_{2max} - x_{2min}) - 2n(c_1 - R_1c_1 - R_2c_3) = 0 \quad (2.38)$$

$$\frac{\partial MSE(\bar{y}_{RC})}{\partial c_3} = (y_{max} - y_{min}) - R_1(x_{1max} - x_{1min}) - R_2(x_{2max} - x_{2min}) - 2n(c_1 - R_1c_1 - R_2c_3) = 0 \quad (2.39)$$

จะเห็นว่ามิตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 3 ตัว แต่มีสมการเพียงสมการเดียวซึ่งค่าตัวแปรมิได้หลาย
คำตอบ จึงกำหนดให้ $c_1 = (y_{max} - y_{min})/2n$, $c_2 = (x_{1max} - x_{1min})/2n$ และ
 $c_3 = (x_{2max} - x_{2min})/2n$ แทนค่าในสมการที่ (2.36) จะได้ $MSE(\bar{y}_{RC})$ ดังสมการที่ (2.40)

$$MSE(\bar{y}_{RC}) \cong MSE(\bar{y}_{r_2}) - \frac{\theta}{2(N-1)} \times [(y_{max} - y_{min}) - R_1(x_{1max} - x_{1min}) - R_2(x_{2max} - x_{2min})]^2 \quad (2.40)$$

$$\text{เมื่อ } MSE(\bar{y}_{r_2}) = \theta(S_y^2 + R_1^2 S_{x_1}^2 + R_2^2 S_{x_2}^2 + 2R_1 R_2 S_{x_1 x_2} - 2R_2 S_{yx_2} - 2R_1 S_{yx_1})$$

แทนค่ากลับในตัวประมาณดังสมการที่ (2.35) จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า \bar{y}_{RC} กับ \bar{y}_{r_2} ด้วยการคำนวณเชิงตัวเลขกับข้อมูลจริงจากประชากร 4 กลุ่มโดยมีเงื่อนไข \bar{y}_{RC} มีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y}_{r_2} ถ้า $MSE(\bar{y}_{r_2}) - MSE(\bar{y}_{RC}) > 0$ ผลการวิจัยพบว่าตัวประมาณค่า \bar{y}_{RC} มีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y}_{r_2} ในประชากรทุกกลุ่ม

ในปีต่อมา Khan et al. (2015) ได้ปรับปรุงตัวประมาณอัตราส่วนโดยใช้ค่ามากที่สุดและน้อยสุดภายใต้การเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่าย โดยพัฒนาจากแนวคิดของ Sarndal ในปี ค.ศ. 1972 มาพิจารณาร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของตัวแปร X และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร X กับ Y โดยปกติถ้าตัวแปร X กับ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวกจะพิจารณาค่า (x_{max}, y_{max}) และ (x_{min}, y_{min}) ดังนั้นตัวประมาณที่ปรับใหม่ ดังสมการที่ (2.41), (2.42), (2.43) และ (2.44)

$$\bar{y}_{p1} = (\bar{y} + c_1) \left(\frac{\bar{X} + C_x}{(\bar{X} + c_2) + C_x} \right) \quad (2.41)$$

$$\bar{y}_{p2} = (\bar{y} + c_1) \left(\frac{\bar{X} + \rho_{xy}}{(\bar{X} + c_2) + \rho_{xy}} \right) \quad (2.42)$$

$$\bar{y}_{p3} = (\bar{y} + c_1) \left(\frac{\bar{X}C_x + \rho_{xy}}{(\bar{X} + c_2)C_x + \rho_{xy}} \right) \quad (2.43)$$

$$\bar{y}_{p4} = (\bar{y} + c_1) \left(\frac{\bar{X}\rho_{xy} + C_x}{(\bar{X} + c_2)\rho_{xy} + C_x} \right) \quad (2.44)$$

โดยที่ \bar{y}_{pi} เมื่อ $i=1, 2, 3, 4$ เป็นตัวประมาณค่าเอนเอียงของพารามิเตอร์ \bar{Y} และใช้ออนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 ประมาณความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณได้ดังสมการที่ (2.45)

$$MSE(\bar{y}_{pi}) = \theta[(S_y^2 + k_{pi}^2 S_x^2 - 2k_{pi} S_{yx}) - \frac{2n}{N-1} \{(c_1 - c_2 k_{pi}) ((y_{max} - y_{min}) - n(c_1 - c_2 k_{pi}) - k_{pi}(x_{max} - x_{min}))\}] \quad (2.45)$$

หาค่า c_1 และ c_2 ที่ทำให้ค่า $MSE(\bar{y}_{pi})$ มีค่าน้อยที่สุดจากอนุพันธ์ย่อยของ $MSE(\bar{y}_{pi})$ เทียบกับ c_1 และ c_2 กำหนดเท่ากับศูนย์ จะเห็นว่าไม่มีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 2 ตัว แต่มีสมการเพียงสมการเดียวซึ่งค่าตัวแปรไม่ได้หลายคำตอบ จึงกำหนดให้ $c_1 = (y_{max} - y_{min})/2n$ และ $c_2 = (x_{1max} - x_{1min})/2n$ แทนค่าในสมการที่ (2.45) ดังสมการที่ (2.46)

$$MSE(\bar{y}_{pi}) = \theta[(S_y^2 + k_{pi}^2 S_x^2 - 2k_{pi} S_{yx}) - \frac{2n}{N-1} ((y_{max} - y_{min}) - k_{pi}(x_{max} - x_{min}))^2] \quad (2.46)$$

และแทนค่ากลับในตัวประมาณดังสมการที่ (2.41), (2.42), (2.43) และ (2.44) จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า \bar{y}_{pi} กับ \bar{y} , \bar{y}_s , \bar{y}_r และ \bar{y}_{SD} ด้วยการคำนวณเชิงตัวเลขกับข้อมูลจริงจากประชากร 3 กลุ่มโดยมีเงื่อนไข ดังนี้

1. \bar{y}_{pi} มีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y} ถ้า $MSE(\bar{y}) - MSE(\bar{y}_{pi}) > 0$
2. \bar{y}_{pi} มีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y}_s ถ้า $MSE(\bar{y}_s) - MSE(\bar{y}_{pi}) > 0$
3. \bar{y}_{pi} มีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y}_r ถ้า $MSE(\bar{y}_r) - MSE(\bar{y}_{pi}) > 0$
4. \bar{y}_{pi} มีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y}_{SD} ถ้า $MSE(\bar{y}_{SD}) - MSE(\bar{y}_{pi}) > 0$

ผลการวิจัยพบว่าตัวประมาณค่า \bar{y}_{RC} มีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y}_{r2} ในทุกประชากร

สรุปผลงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้น จะเห็นว่าทิศทางของการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยเมื่อใช้ตัวแปรช่วยตัวเดียวนั้นมีสองกลุ่ม คือกลุ่มแรกใช้สารสนเทศพารามิเตอร์ของตัวแปรช่วย เช่น พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย สัมประสิทธิ์ความแปรผัน สัมประสิทธิ์ความโค้ง สัมประสิทธิ์ความเบ้ และค่ามัธยฐาน ปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยแบบดั้งเดิม ดังการศึกษาของ Sisodia and Dwivedi (1981), Singh and Kakran (1993), Upadhyaya and Singh (1999), Singh and Tailor (2003), Yan and Tian (2010) และ Subramani and Kumarapandiyani (2013), Subramani and Prabavathy (2014), Subramani and Prabavathy (2015), Subramani (2016) และ Yadav, Shukla, Tomer, and Kumar (2018) กลุ่มที่สองใช้แนวคิดของการวิเคราะห์การถดถอยปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยในกลุ่มแรก ดังการศึกษาของ Kadilar and Cingi (2004), Kadilar and Cingi (2006) Yan and

Tian (2010), Kumar (2015) และ Subramani and Ajith (2017) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 กับตัวประมาณที่ผ่านมา ทั้งการคำนวณเชิงทฤษฎีและการคำนวณเชิงตัวเลขจากข้อมูลจริงและข้อมูลจากการจำลอง อีกทั้งในสถานการณ์จริงข้อมูลมักประกอบด้วยค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด หากการประมาณค่าละเลยข้อมูลเหล่านี้จะทำให้ค่าประมาณที่ได้มีค่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไป จึงมีการศึกษาพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยโดยพิจารณาค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ตามแนวคิดของ Sarndal (1972) ดังเช่น Khan and Shabbir (2013), Al-Hossain and Khan (2014) และ Khan et al. (2015) โดยเพิ่มค่าคงที่ในตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่พัฒนาและแยกพิจารณาเป็นกรณีค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด โดยคำนวณค่าคงที่ที่ให้ค่าคลาดเคลื่อนของตัวประมาณที่พัฒนาน้อยที่สุดด้วยอนุพันธ์ย่อยของคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่ประมาณด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 กับตัวประมาณที่ผ่านมา ทั้งการคำนวณเชิงทฤษฎีและการคำนวณเชิงตัวเลขจากข้อมูลจริงและข้อมูลจากการจำลอง เช่นกัน ซึ่งทุกตัวประมาณที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย

จากการสรุปลงงานวิจัยข้างต้นนั้น พบว่า ทิศทางของงานวิจัยเพื่อพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยนั้นยังมีอย่างต่อเนื่องและรูปแบบของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่พัฒนาก็จะซับซ้อนมากขึ้นเช่นกัน ในทางปฏิบัติในตัวประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากข้อมูลการสำรวจตัวอย่างควรเป็นตัวประมาณที่มีรูปแบบเรียบง่ายและไม่ซับซ้อน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยสนใจตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่นำเสนอโดย Subramani and Kumarapandiyam (2013) ที่นำพารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วยซึ่งเป็นค่ากลางที่มีความแกร่งต่อข้อมูลที่มีค่ามากหรือน้อยมาปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยแบบดั้งเดิมเป็นตัวประมาณเริ่มต้น และยังไม่ปรากฏว่ามีการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนที่ใช้พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วยมาปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุดตามแนวคิดของ Sarndal (1972), Khan and Shabbir (2013) และ Khan et al. (2015)

ผู้วิจัยจึงเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ดังสมการที่ (2.47)

$$\bar{y}_{RMC} = \begin{cases} (\bar{y} + c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} + c_2) + M_d} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \end{array} \\ (\bar{y} - c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} - c_2) + M_d} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \end{array} \\ \bar{y} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่1 และ2} \end{cases} \quad (2.47)$$

เมื่อ c_1, c_2 คือ ค่าคงที่ที่ให้ค่า $MSE(\bar{y}_{RMC})$ น้อยที่สุด

\bar{X} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย

\bar{x} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย

\bar{y} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา

M_d คือ พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย

y_{max} คือ ค่าตัวแปรที่ศึกษาที่มีค่ามากที่สุด

y_{min} คือ ค่าตัวแปรที่ศึกษาที่มีค่าน้อยที่สุด

x_{max} คือ ค่าตัวแปรช่วยที่มีค่ามากที่สุด

x_{min} คือ ค่าตัวแปรช่วยที่มีค่าน้อยที่สุด

คำนวณค่าคงที่ที่ให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่พัฒนาน้อยที่สุดด้วยอนุพันธ์ย่อยของคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่ประมาณด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 กับตัวประมาณที่ผ่านมา ทั้งการคำนวณเชิงทฤษฎีและการคำนวณเชิงตัวเลขจากข้อมูลจริงและข้อมูลจากการจำลอง

ตอนที่ 2 ปริมาณขยะมูลฝอย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความหมาย สถานการณ์ วิธีประมาณปริมาณขยะมูลฝอย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณขยะมูลฝอยมีดังนี้

1. ความหมาย สถานการณ์ และวิธีประมาณปริมาณขยะมูลฝอย

1.1 ขยะมูลฝอย (Solid waste)

ขยะ หรือขยะมูลฝอย เป็นคำที่ใช้ในความหมายเดียวกัน ซึ่งนักวิชาการและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ให้ความหมายไว้ใกล้เคียงกัน เช่น อาณัติ ต๊ะปิ่นตา (2553, หน้า 4) อธิบายว่าขยะมูลฝอยหมายถึง สิ่งต่าง ๆ ที่ใช้ในกิจกรรมการดำเนินชีวิตของมนุษย์แล้วถูกทิ้งขว้าง เนื่องจาก ไม่สามารถ

ใช้งานได้อีกต่อไป หรือไม่เป็นที่พึงประสงค์ของผู้ใช้ หรืออาจด้วยเหตุผลอื่น ๆ ที่มีผลทำให้สิ่งเหล่านั้น กลายเป็นสิ่งที่หมดคุณค่า หรือไม่เป็นที่พึงประสงค์ต่อการดำเนินชีวิตอีก สอดคล้องกับ Shah (2000, p 110) ให้ความหมายว่า ขยะมูลฝอย หมายถึง สิ่งต่าง ๆ ที่ใช้ในกิจกรรมการดำเนินชีวิตของ มนุษย์แล้วถูกทิ้งขว้าง เนื่องจากไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป หรืออาจไม่เป็นที่พึงประสงค์ของผู้ใช้ หรืออาจด้วยเหตุผลอื่น ๆ ที่ทำให้สิ่งเหล่านั้นกลายเป็นสิ่งที่หมดคุณค่า หรือไม่เป็นที่พึงประสงค์ต่อ การดำเนินชีวิต กรมควบคุมมลพิษ (2548) ให้ความหมายว่า ขยะมูลฝอย หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เศษวัตถุ ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร แก้ว วัสดุสัตว์ ชากสัตว์ หรือ สิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่นและหมายความรวมถึงมูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยที่เป็นพิษ หรืออันตรายจากชุมชน หรือคร้วเรือน ยกเว้นวัสดุที่ไม่ใช้แล้วของโรงงาน ซึ่งมี ลักษณะและคุณสมบัติที่กำหนดไว้ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน และ พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ได้ให้นิยามว่า มูลฝอย หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เศษวัสดุ ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร แก้ว วัสดุสัตว์หรือชากสัตว์รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น ๆ เช่นเดียวกับไพบูลย์ แจ่มพงษ์ และศิวพันธ์ุ ชูอินทร์ (2560, หน้า 9) กล่าวว่าขยะมูลฝอยหมายถึงสิ่งต่าง ๆ ที่เหลือใช้จากกิจกรรมการดำเนินชีวิตของมนุษย์รวมทั้งแก้ว ชากสัตว์ วัสดุสัตว์ เศษวัสดุที่ทิ้งแล้วจากอาคารบ้านเรือน หรือสถานที่อื่น ๆ และไม่เป็นที่พึงประสงค์ ของผู้ใช้ ทำให้สิ่งเหล่านั้นหมดคุณค่าหรือไม่เป็นที่พึงประสงค์ต่อการดำเนินชีวิตอีกต่อไป

ในงานวิจัยนี้ให้ความหมายของคำว่าขยะมูลฝอยตามกรมควบคุมมลพิษ (2548) ที่ให้ ให้ความหมายว่า ขยะมูลฝอย หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เศษวัตถุ ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร แก้ว วัสดุสัตว์ ชากสัตว์ หรือสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยง สัตว์ หรือที่อื่น และหมายความรวมถึงมูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยที่เป็นพิษ หรืออันตรายจากชุมชนหรือ คร้วเรือน ยกเว้นวัสดุที่ไม่ใช้แล้วของโรงงานซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่กำหนดไว้ตามกฎหมายว่า ด้วยโรงงาน

1.2 สถานการณ์ขยะมูลฝอยในประเทศ และกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2559

กรมควบคุมมลพิษ โดยสำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย ได้ดำเนินการสำรวจ ข้อมูลขยะมูลฝอยทั่วประเทศ จำนวน 77 จังหวัด ในปี พ.ศ. 2559 โดยประสานแจ้งสำนักงาน สิ่งแวดล้อมภาคที่ 1-16 ผ่านโครงการสำรวจข้อมูลขยะมูลฝอยทั่วประเทศ เพื่อขอความร่วมมือกับ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ประกอบด้วยเทศบาลนคร เทศบาลเมือง เทศบาลตำบล องค์การบริหาร ส่วนตำบล กรุงเทพมหานคร และเมืองพัทยา รวมทั้งหมด 7,777 แห่ง มีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ มีการดำเนินการให้บริการเก็บขนขยะมูลฝอย จำนวน 4,541 แห่ง และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ ไม่มีการดำเนินการให้บริการเก็บขนขยะมูลฝอย จำนวน 3,236 แห่ง กรอกข้อมูลในรูปแบบสำรวจข้อมูล ด้านการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน รายละเอียดข้อมูลตามภาพที่ 2-3 แล้วส่งกลับมายังสำนักงาน

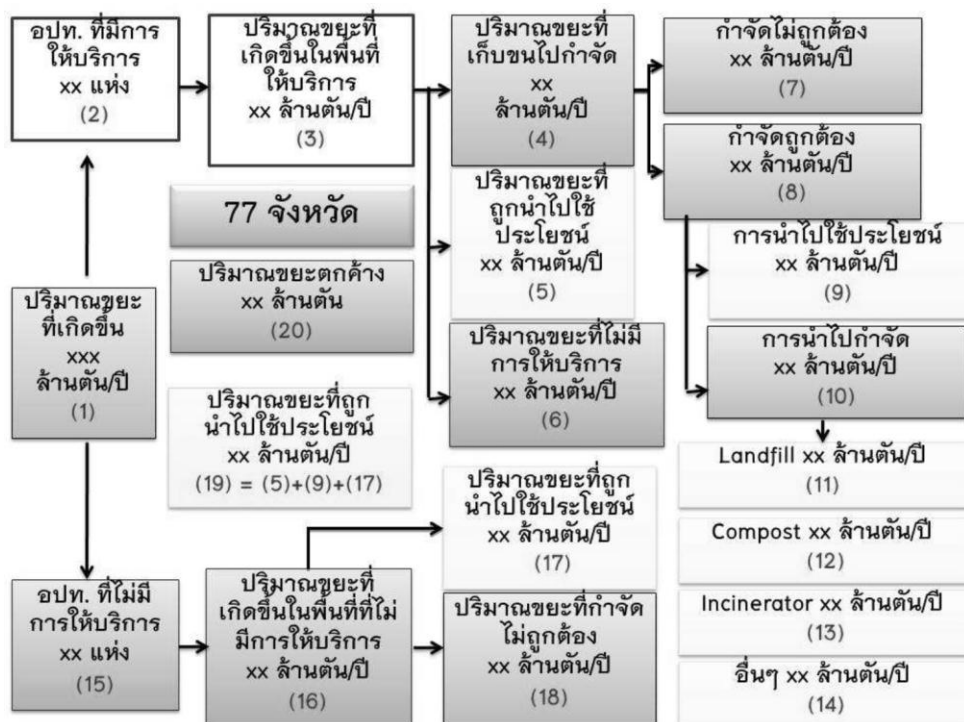
สิ่งแวดล้อมภาคที่ 1-16 เพื่อให้สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคทั้ง 16 ภาค เป็นผู้รวบรวม ตรวจสอบและ ส่งกลับกรมควบคุมมลพิษเพื่อดำเนินการตรวจสอบ และเผยแพร่ข้อมูล

แผนการไหลของขยะมูลฝอย ประกอบด้วยข้อมูล 20 ช่อง (Box) โดยแบ่งการไหลของ ขยะมูลฝอย ออกเป็น 2 พื้นที่ (Zone) หรือ 2 กลุ่มข้อมูล ได้แก่

1. กลุ่มพื้นที่ที่มีการให้บริการ (เก็บขนไปกำจัด) ได้แก่ ข้อมูลตั้งแต่ช่องที่ 2 -14 ดังภาพ ที่ 2-3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ช่องที่ 2 คือ จำนวนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีการให้บริการ (แห่ง)

ช่องที่ 3 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในพื้นที่ให้บริการ (ล้านตันต่อปี) เป็นข้อมูล จากการสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ (ไม่ใช่ขยะมูลฝอยที่นำมาทิ้งในถังขยะ) หากไม่ สามารถดำเนินการสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจริงได้ อาจสามารถใช้การคำนวณโดยใช้อัตรา การเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ยตามตารางที่ 2-3 คูณด้วยจำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎรในพื้นที่ ให้บริการ หรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถนำเสนอข้อมูลขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น โดยข้อมูล ดังกล่าวต้องสอดคล้องกับนิยามการเกิดขยะมูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นนั้น ต้องเกิด ณ แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยที่มีอยู่ในพื้นที่ โดยครอบคลุมทั้งขยะมูลฝอยที่นำมาทิ้งในถังขยะ ขยะมูลฝอยที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ และขยะมูลฝอยที่ตกค้างจากการเก็บขน



ภาพที่ 2-3 แผนการไหลของขยะมูลฝอย (Flow diagram)

ตารางที่ 2-3 อัตราการเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	อัตราการเกิดขยะมูลฝอย(กิโลกรัมต่อคนต่อวัน)
เทศบาลนคร	1.89
เทศบาลเมือง	1.15
เทศบาลตำบล	1.02
เมืองพัทยา	3.90
องค์การบริหารส่วนตำบล	0.91

ช่องที่ 4 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บขนไปกำจัด (ล้านตันต่อปี) เป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บขนที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถเก็บขนได้ ไม่ว่าจะเป็นการดำเนินงานขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเอง หรือเป็นการจ้างให้เอกชนดำเนินการเก็บขน หรือเป็นการจ้างให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นข้างเคียงดำเนินการเก็บขนให้ก็ตาม

ช่องที่ 5 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ (ล้านตันต่อปี) เป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกดึงไปใช้ประโยชน์ก่อนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเก็บขนไปกำจัด หรือก่อนเข้าสู่สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย หรือโดยคำนวณจากข้อมูลช่องที่ 3 ลบด้วยข้อมูลช่องที่ 4 ลบด้วยข้อมูลช่องที่ 6

ช่องที่ 6 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่ไม่มีบริการให้ (ล้านตันต่อปี) เป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นไม่สามารถเก็บขนได้ในพื้นที่ให้บริการ (ปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างในพื้นที่ให้บริการ) อาจได้จากการประเมินปริมาณขยะมูลฝอย

ช่องที่ 7 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่กำจัดไม่ถูกต้อง (ล้านตันต่อปี) เป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นนำไปกำจัดโดยวิธีการกำจัดแบบไม่ถูกต้อง ประกอบด้วย การกำจัดแบบเทกอง (Open dump) การฝังกลบแบบเทกองควบคุม (Control dump) ขนาดตั้งแต่ 50 ตัน/วัน เมากลางแจ้ง (Open burning) และเตาเผาที่ไม่มีระบบกำจัดมลพิษทางอากาศ

ช่องที่ 8 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่กำจัดถูกต้อง (ล้านตันต่อปี) เป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นนำไปกำจัดได้ วิธีการกำจัดแบบถูกต้องมี 2 ประเภทได้แก่ ประเภทที่ 1 การกำจัดแบบถูกหลักวิชาการ ประกอบด้วย การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) การฝังกลบเชิงวิศวกรรม (Engineer landfill) เตาเผาที่มีระบบกำจัดมลพิษทางอากาศ การแปรรูปเพื่อผลิตพลังงาน (WTE) การหมักทำปุ๋ย (Compost) การกำจัดขยะมูลฝอยแบบ

เชิงกลชีวภาพ (MBT) และกระบวนการกำจัดแบบผสมผสาน (Integrated waste treatment) ประเภทที่ 2 การกำจัดแบบยอมรับได้ (Appropriate landfill) ประกอบด้วยการฝังกลบแบบเทกองควบคุม (Control dump) ขนาดน้อยกว่า 50 ตันต่อวัน และเตาเผาขนาดน้อยกว่า 10 ตันต่อวัน ที่มีระบบกำจัดอากาศเสีย

ช่องที่ 9 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ (ล้านตันต่อปี) เป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่มีการถูกดึงกลับไปใช้ประโยชน์ในสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย ซึ่งอาจได้จากระบบคัดแยกโดยเครื่องจักรหรือแรงงานคน

ช่องที่ 10 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่นำไปกำจัด (ล้านตันต่อปี) เป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัด ภายหลังจากมีการคัดแยกขยะมูลฝอยส่วนหนึ่งในสถานที่กำจัดกลับไปใช้ประโยชน์แล้ว

ช่องที่ 11-14 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่นำไปกำจัด (ล้านตันต่อปี) โดยจำแนกออกเป็นวิธีการกำจัด 4 วิธี ประกอบด้วยการฝังกลบ การหมักทำปุ๋ย เตาเผา และอื่น ๆ

2. พื้นที่ที่ไม่มีบริการ (เก็บขนไปกำจัด) ได้แก่ ข้อมูลตั้งแต่ช่องที่ 15-17 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ช่องที่ 15 คือ จำนวนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ไม่มีบริการ (แห่ง)

ช่องที่ 16 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่ไม่มีบริการ (ล้านตันต่อปี) โดยข้อมูลดังกล่าวอาจได้จากการคำนวณ อัตราการเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ยตามตาราง 3 คูณด้วยจำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎรในพื้นที่ที่ไม่มีบริการ หรือจากการประเมินปริมาณขยะมูลฝอยของหน่วยงานวิชาการอื่น ๆ ที่ตรงตามนิยามการเกิดขยะมูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษ

ช่องที่ 17 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ (ล้านตันต่อปี) เป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่มีการถูกดึงกลับไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ที่ไม่มีบริการ

ช่องที่ 18 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่กำจัดไม่ถูกต้อง (ล้านตันต่อปี) เป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่ครัวเรือน ชุมชน หรือหมู่บ้านกำจัดกันเอง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวไม่สามารถหาได้จากแบบสำรวจขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น จำเป็นจะต้องมีการศึกษาวิจัยเชิงพื้นที่ต่อไป

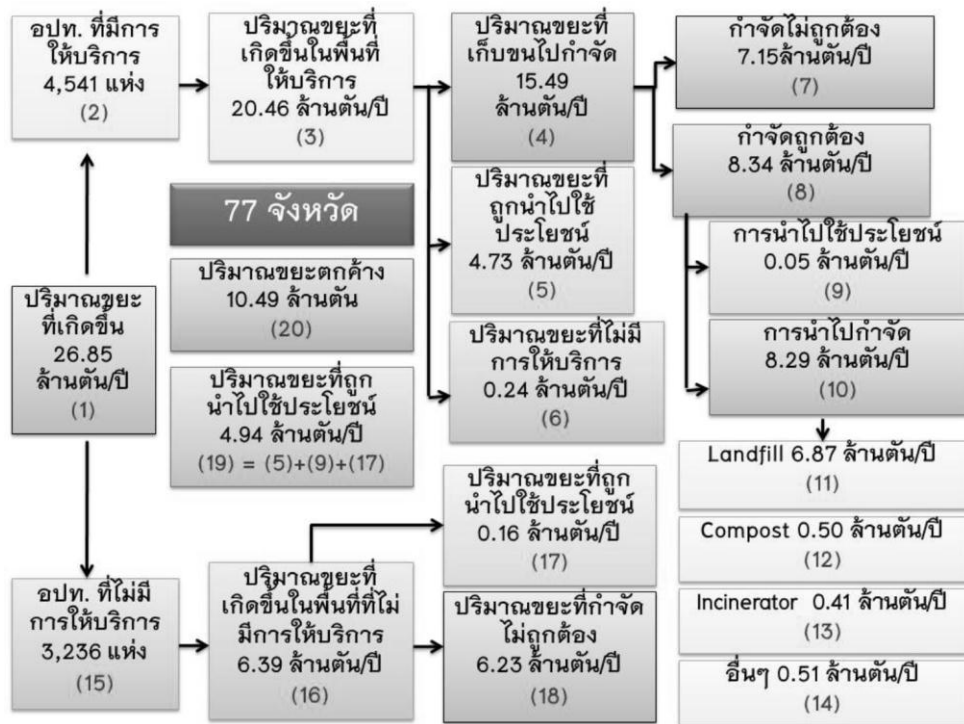
ช่องที่ 19 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ (ล้านตันต่อปี) เป็นปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ หรือโดยคำนวณจากข้อมูลช่องที่ 5 บวกด้วยข้อมูลช่องที่ 9 บวกด้วยข้อมูลช่องที่ 17

และช่องที่ 20 คือ ปริมาณขยะมูลฝอยตกค้าง (ตัน) เป็นปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างที่ถูกทิ้งกองไว้หรืออยู่ในบ่อของสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบไม่ถูกต้อง เช่น การเทกอง (Open dump) หรือพื้นที่ล้นกองทิ้ง หรือพื้นที่เทกองและเผากำจัด เป็นต้น โดยสามารถคำนวณได้จากปริมาตรของ

กองขยะมูลฝอย (ขยะมูลฝอยที่ทิ้งกองหรืออยู่ในหลุม) คูณด้วยความหนาแน่น (ความหนาแน่นเฉลี่ยของการเทกองกำจัด 0.3 ตันต่อลูกบาศก์เมตร) ดังนี้

$$\text{ปริมาณขยะมูลฝอย} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \times \text{ความหนาแน่น}$$

ได้ผลสรุปดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 แผนภาพการไหลของขยะมูลฝอยชุมชน ปี พ.ศ. 2559

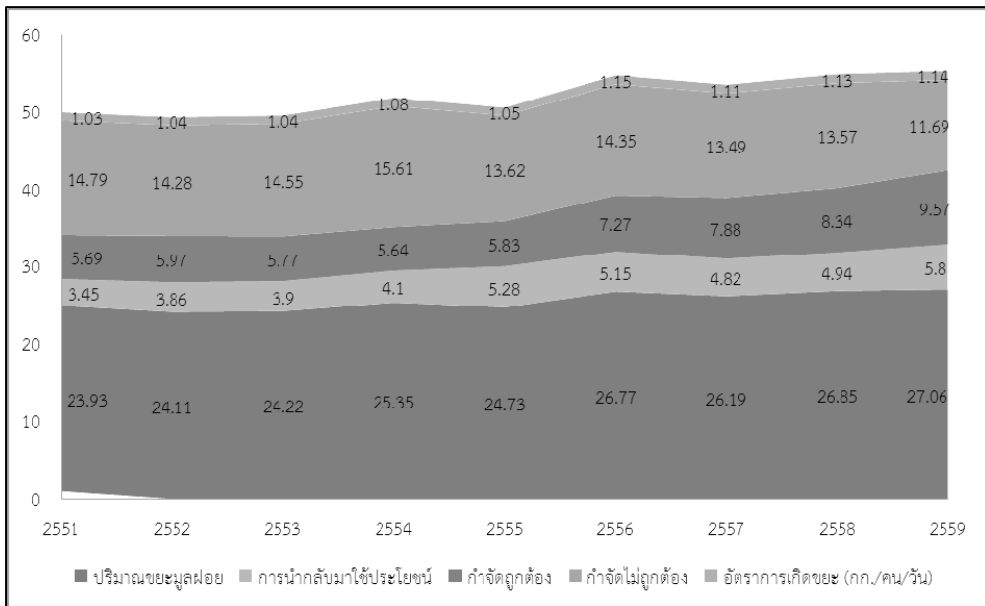
จากการศึกษาข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในพื้นที่ (ล้านตันต่อปี) ในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีการให้บริการ และไม่มีบริการดำเนินการให้บริการเก็บขนขยะมูลฝอย หากศึกษาข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยทั่วประเทศย้อนหลังไป 7 ปี ซึ่งมีวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลเช่นเดียวกับปี พ.ศ. 2559 ได้ผลดังตารางที่ 2-4 และภาพที่ 2-5

จากสถานการณ์ที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีปริมาณและอัตราการเกิดเพิ่มขึ้นสูงทุกปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ในขณะที่ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัดและถูกนำมาใช้ประโยชน์ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงถือได้ว่าขยะมูลฝอยเป็นวิกฤติปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน เนื่องจากปัญหาทวีความรุนแรงมากขึ้นทั้งด้านปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้น รวมทั้งสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ดำเนินการไม่ถูกต้องยังคงไม่ได้รับการปรับปรุง สังคมเมืองที่มีการขยายตัวสูงตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นและการพัฒนาด้าน

เศรษฐกิจ สังคม ตลอดจนเทคโนโลยีส่งผลให้เกิดการบริโภคเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยใน
สังคมเมืองเพิ่มขึ้นตามไป

ตารางที่ 2-4 ปริมาณและอัตราขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ปี พ.ศ. 2551-2559

ปีพ.ศ.	ปริมาณขยะมูลฝอย ที่เกิดขึ้น (ล้านตัน)	อัตราการเกิด ขยะมูลฝอย (กิโลกรัมต่อคนต่อวัน)	ปริมาณขยะมูลฝอย ที่ถูกกำจัด (ล้านตัน)	ปริมาณขยะมูลฝอยที่ ถูกนำมาใช้ประโยชน์ (ล้านตัน)
2551	23.93	1.03	5.69	3.45
2552	24.11	1.04	5.97	3.86
2553	24.22	1.04	5.77	3.90
2554	25.35	1.08	5.64	4.10
2555	24.73	1.05	5.83	5.28
2556	26.77	1.15	7.27	5.15
2557	26.19	1.11	7.88	4.82
2558	26.85	1.13	8.34	4.94
2559	27.06	1.14	9.54	5.81



ภาพที่ 2-5 สถานการณ์ขยะมูลฝอย ปี พ.ศ. 2551-2559

กรุงเทพมหานครในฐานะเมืองหลวงของประเทศไทย และเป็นศูนย์กลางความเจริญทางเศรษฐกิจ การค้า อุตสาหกรรม เทคโนโลยี และการท่องเที่ยว เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีประชาชนเดินทางเข้ามาประกอบอาชีพ ศึกษาและท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก ทำให้จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 ล้านคน กรุงเทพมหานครจึงเป็นเมืองที่มีประชากรมากอันดับ 1 ของประเทศไทยและผลิตขยะมูลฝอยมากที่สุดในประเทศไทยเช่นกัน จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าในปี พ.ศ. 2559 ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั่วประเทศ 7,777 แห่ง ประมาณ 27.06 ล้านตัน หรือ 74,130 ตันต่อวัน มีอัตราการเกิดขยะมูลฝอยต่อคนเพิ่มขึ้นจาก 1.13 เป็น 1.14 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน โดยมีสัดส่วนของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานคร 4.21 ล้านตัน หรือร้อยละ 16 สำหรับจังหวัดที่มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นต่อวันสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ชลบุรี นครราชสีมา สมุทรปราการและขอนแก่น (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2561).

ปริมาณขยะมูลฝอยที่กรุงเทพมหานครจัดเก็บ และกำจัดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 เป็นต้นมา โดยปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปี พ.ศ. 2528 มีปริมาณ 1.2 ล้านตันต่อปี เพิ่มขึ้นเป็น 2.3 ล้านตันต่อปี ในปี พ.ศ.2536 เพิ่มขึ้นเป็น 3 ล้านตันต่อปี พ.ศ. 2540 และมีปริมาณสูงสุดถึง 3.4 ล้านตันต่อปี ในปี พ.ศ. 2544-2547 และมีปริมาณสูงมากที่สุดในปี พ.ศ. 2555 กรุงเทพมหานครต้องกำจัดขยะมูลฝอยมากถึง 3.6 ล้านตัน ซึ่งเป็นผลจากมหาอุทกภัยส่วนหนึ่ง เมื่อศึกษาอัตราการเพิ่มของปริมาณขยะมูลฝอยพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นสูงที่สุดอยู่ในช่วง ปี พ.ศ. 2530-2533 เฉลี่ยร้อยละ 9.3 ต่อปี และเริ่มมีอัตราการเพิ่มที่ลดลงเฉลี่ยร้อยละ 6-6.5 ในช่วงปี พ.ศ.

2534–2543 อัตราการเพิ่มที่ลดลงมากที่สุดเฉลี่ยร้อยละ -1.02 โดยในช่วงปี พ.ศ. 2549–2553 อัตราการเพิ่มขึ้นจากช่วงที่ผ่านมาเล็กน้อยในอัตราร้อยละ 0.65 ปริมาณขยะมูลฝอยเริ่มปรับตัวสูงขึ้นมาก ในปี พ.ศ. 2554 โดยปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ย 8,943 ตันต่อวัน หลังอุทกภัยในปลายปีเดียวกันทำให้ปริมาณขยะมูลฝอย ปี พ.ศ. 2555 เพิ่มขึ้นเป็น 9,747 ปี พ.ศ. 2556 เพิ่มขึ้นเป็น 9,963 ตันต่อวัน และในปี พ.ศ. 2557 ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ย 9,940 ตันต่อวัน

สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานครแบ่งเขตพื้นที่การจัดการขยะมูลฝอยเป็น 50 เขต 6 กลุ่ม อีก 1 กลุ่ม คือ กองจัดการขยะของเสียอันตรายและสิ่งปฏิกูล (กจข. สสส.) และเมื่อเทียบปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ 2560 กับ 2556 พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นในทุกเขตพื้นที่ ดังตาราง ที่ 2-5 และ 2-6

กรุงเทพมหานครให้บริการเก็บขนขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยครอบคลุมพื้นที่ทั้ง 50 เขต สามารถจัดเก็บรวบรวมได้มากกว่าร้อยละ 99 และขนส่งไปยังสถานีขนถ่ายมูลฝอย 3 แห่ง คือ อ่อนนุช หนองแขม และท่าแร้ง โดยขยะมูลฝอยปี พ.ศ. 2557 ที่จัดเก็บได้ 9,900 ตันต่อวัน ส่วนหนึ่งนำไปกำจัดโดยแปรรูปไปใช้ประโยชน์โดยบำบัดด้วยเทคโนโลยีการหมักทำปุ๋ย (Composting) ประมาณ 1,200 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 12 ส่วนที่เหลือ 8,700 ตันต่อวัน หรือร้อยละ 88 นำไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ (Sanitary Landfill) ที่

อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม และ อ. พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา

ตารางที่ 2-5 เขตพื้นที่การจัดการขยะมูลฝอยของสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร

ลำดับ	กลุ่ม	จำนวนเขต	เขต
1	กรุงเทพกลาง	9	ดินแดง วังทองหลาง ราชเทวี ห้วยขวาง ดุสิต พระนคร พญาไท ป้อมปราบศัตรูพ่าย สัมพันธวงศ์
2	กรุงเทพใต้	10	คลองเขต ปทุมวัน วัฒนา สวนหลวง บางนา สาทร ยานนาวา บางรัก พระโขนง บางคอแหลม
3	กรุงเทพเหนือ	7	จตุจักร บางเขน สายไหม ดอนเมือง ลาดพร้าว บางซื่อ หลักสี่
4	กรุงเทพตะวันออก	9	บางกะปิ ประเวศ ลาดกระบัง บึงกุ่ม มีนบุรี

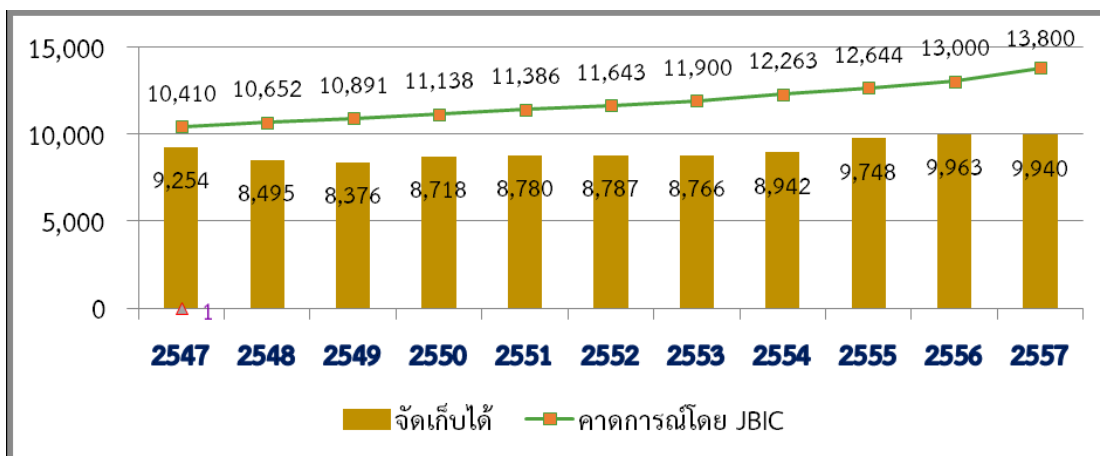
			ลองสามวา คันนายาว สะพานสูง หนองจอก
5	กรุงธนเหนือ	8	จอมทอง บางกอกน้อย ธนบุรี บางพลัด คลองสาน ตลิ่งชัน ทวีวัฒนา บางกอกใหญ่
6	กรุงธนใต้	7	บางขุนเทียน บางแค บางบอน หนองแขม ภาษีเจริญ ทุ่งครุ ราษฎร์บูรณะ
7	กจข. สสล. และอื่น ๆ		จัดการขยะมูลฝอยที่ไม่อยู่ในหน้าที่ความรับผิดชอบของสำนักงานเขตพื้นที่

ตารางที่ 2-6 ค่าเฉลี่ยปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ ประจำปีงบประมาณ 2560

ลำดับ	กลุ่ม	ปีงบประมาณ		ค่าเฉลี่ยเพิ่ม/ลดลง จากปี 2556
		2556	2560	
		ค่าเฉลี่ย (ตัน/วัน)	ค่าเฉลี่ย (ตัน/วัน)	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)
1	กรุงเทพกลาง	1,584.11	1,614.85	30.75(1.94)
2	กรุงเทพใต้	2,169.73	2,211.83	42.10(1.94)
3	กรุงเทพเหนือ	1,462.66	1,690.39	227.73(15.57)
4	กรุงเทพตะวันออก	1,734.54	1,897.37	162.83(9.39)
5	กรุงธนเหนือ	1,130.30	1,139.09	8.79(0.78)
6	กรุงธนใต้	1,323.15	1,417.46	94.30(7.13)
7	กจข. สสล. และอื่น ๆ	588.79	555.94	-2.86(-0.51)

จากการศึกษาคาดการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยของธนาคารเพื่อความร่วมมือระหว่างประเทศแห่งญี่ปุ่น (Japan Bank for International Cooperation: JBIC) ว่าจะมีขยะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2557 ถึง 13,800 ตันต่อวัน และจากการคาดการณ์ประชากรที่มีอยู่จริงในกรุงเทพมหานครโดย กรุงเทพมหานคร พบว่ามีประชากรตามทะเบียนราษฎรรวมประชากรแฝงประมาณ 10,600,000 คน

โดยคาดว่าจะมีอัตราการเกิดมูลฝอยประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อคน จะมีขยะเกิดขึ้น 12,578 ตันต่อวัน แต่ปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บได้จริง 9,940 ตันต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบย้อนหลัง ปี พ.ศ. 2547-2557 จะพบว่า ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยในอนาคตที่คำนวณจากการคาดคะเนผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศในอนาคตโดย JBIC กับปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้จริงแตกต่างกันค่อนข้างมาก จากการนำเสนอของกองนโยบายและแผนงาน สำนักสิ่งแวดล้อม รายละเอียด ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ประจำปี พ.ศ. 2547-2557

จากการศึกษาปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครโดยธนาคารเพื่อความร่วมมือระหว่างประเทศแห่งญี่ปุ่น (JBIC) และสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร ในช่วงเวลา 20 ปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2569 ดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 ปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครโดย JBIC และปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้โดยสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2550-2569

ปี พ.ศ.	ปริมาณขยะมูลฝอย (ตัน/วัน) ที่คาดการณ์โดย JBIC	ปริมาณขยะมูลฝอย(ตัน/วัน) ที่จัดเก็บได้	PRE
2550	11,138.00	8,718.00	27.76
2551	11,386.00	8,780.00	29.68
2552	11,643.00	8,787.00	32.50
2553	11,900.00	8,766.00	35.75
2554	12,263.00	8,942.00	37.14

ตารางที่ 2-7 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	ปริมาณขยะมูลฝอย (ตัน/วัน) ที่คาดการณ์โดย JBIC	ปริมาณขยะมูลฝอย(ตัน/วัน) ที่จัดเก็บได้	PRE
2555	12,644.00	9,748.00	29.71
2556	13,025.00	9,963.00	30.73
2557	13,425.00	9,940.00	35.06
2558	13,835.00	10,166.84	36.08
2559	14,263.00	10,130.22	40.80
2560	14,702.00	10,526.92	39.66
2561	15,150.00		
2562	15,607.00		
2563	16,085.00		
2564	16,577.00		
2565	17,084.00		
2566	17,607.00		
2567	18,146.00		
2568	18,701.00		
2569	19,273.00		

จากตารางที่ 2-7 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยในอนาคตที่คำนวณจากการคาดคะเนผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศในอนาคตโดย JBIC กับปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้จริงแตกต่างกันค่อนข้างมากเช่นกัน

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า กรุงเทพมหานครในฐานะเมืองหลวงของประเทศไทย และเป็นศูนย์กลางความเจริญทางเศรษฐกิจ การค้า อุตสาหกรรม เทคโนโลยี และการท่องเที่ยว เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีประชาชนเดินทางเข้ามาประกอบอาชีพ ศึกษา และท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก ทำให้จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 ล้านคน กรุงเทพมหานครจึงเป็นเมืองที่มีประชากรมากอันดับ 1 ของประเทศไทย และผลิตขยะมูลฝอยมากที่สุดในประเทศไทยเช่นกัน อีกทั้งจากการคาดการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครล่วงหน้าโดยธนาคารเพื่อความร่วมมือระหว่างประเทศแห่งญี่ปุ่น (JBIC) และสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานครกับปริมาณขยะ

ที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบกับการคาดการณ์ปริมาณขยะที่คำนวณจากการเพิ่มของประชากร เพื่อทำการวิเคราะห์และสรุปถึงผลของคาดการณ์ปริมาณขยะที่จะเกิดขึ้นในอนาคต พบว่า ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงให้เห็นว่าพื้นที่เมืองมีขนาดเพิ่มขึ้น คือในปี พ.ศ.2546 พื้นที่เมืองมีขนาดอยู่ประมาณ 27.10 ตารางกิโลเมตร และในปี พ.ศ.2570 มีขนาดเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 69.55 ตารางกิโลเมตร โดยผลจากการคาดการณ์ปริมาณขยะจากการคำนวณทั้งจากการเปลี่ยนแปลงของประชากรและการขยายตัวของเมือง โดยปริมาณขยะจากการคาดการณ์ทั้ง 2 แบบนั้น ไม่แตกต่างกันมากนักและมีทิศทางที่เพิ่มขึ้นทุกปี จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณขยะจากการคาดการณ์ด้วยจากการเปลี่ยนแปลงของประชากรและการขยายตัวของเมืองนั้นมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถนำเอาผลจากการคาดการณ์ปริมาณขยะจากทั้ง 2 วิธีไปใช้ในการกำหนดนโยบายและแผนในการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลเจ้าพระยาสุรศักดิ์ในอนาคตได้

ไพบุลย์ ฉัตรทอง, มาลีรัตน์ โสตานิล และเกียรติศักดิ์ โยชนะนัง (2557) ได้ศึกษาเรื่องการพยากรณ์อนุกรมเวลาสำหรับปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์อนุกรมเวลาสำหรับปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2545 ถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2556 รวม 130 เดือน ดำเนินการตรวจสอบค่าผิดปกติของข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยจากค่าคะแนนมาตรฐาน ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครเป็นอนุกรมเวลาที่ไม่คงที่จึงแปลงค่าข้อมูลโดยใช้ฟังก์ชันลอการิทึมธรรมชาติและผลต่างอันดับที่ 1 การสร้างตัวแบบใช้เครื่องมือประเภท Neural Network Time Series ของ MATLAB 8.0 และเลือกใช้เทคนิคแก้ปัญหาแบบ Nonlinear Autoregressive ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมได้ใช้อัลกอริทึมการส่งค่าย้อนกลับวิธีเลเวนเบิร์ก-มาร์ควอर्थ พบว่าค่า RMSE, MAE และ MAPE ของการเรียนรู้ตัวแบบมีค่าเท่ากับ 0.1070, 0.0848 และ 0.1695 ตามลำดับ เมื่อหาค่าพยากรณ์ของปริมาณขยะมูลฝอยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2561 ปรากฏว่าปริมาณขยะมูลฝอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และยังพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพการพยากรณ์มากกว่าวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลและวิธีการของบ็อกซ์-เจนกินส์เพราะมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับต่ำกว่า

วินัย มีแสง (2559) ได้ศึกษาเรื่องแนวโน้มองค์ประกอบและปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยชุมชนในพื้นที่ตำบลสามพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวโน้มองค์ประกอบและปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยชุมชนในพื้นที่ ตำบลสามพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี โดยศึกษาปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของตำบลสามพร้าว พบอยู่ที่ 6,991 กิโลกรัมต่อวัน เฉลี่ยอัตราการเกิดขยะมูลฝอยต่อวันอยู่ที่ 0.38 กิโลกรัมต่อคน โดยเฉลี่ยจากจำนวนประชากรในตำบลสามพร้าวทั้งหมด 17,417 คน ปริมาตรของขยะมูลฝอยอยู่ที่ 122 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากการคาดการณ์จำนวนประชากรในอีก 5, 10, 15 และ 20 ปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับ ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยและขยะอินทรีย์คิดเป็นร้อยละ 40 ขยะทั่วไปคิดเป็นร้อยละ 33 และขยะรีไซเคิลคิดเป็นร้อยละ 27 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบความหนาแน่นของขยะมูลฝอยในปริมาณ (กิโลกรัม.) ต่อปริมาตรถัง (GL) ตามการจำแนกกลุ่ม (หมู่บ้าน) พบปริมาณขยะแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การเปรียบเทียบปริมาณขยะมูลฝอย โดยจำแนกตามประเภทของขยะ พบขยะอินทรีย์ไม่แตกต่างกับขยะทั่วไปและขยะรีไซเคิลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การเปรียบเทียบปริมาณขยะมูลฝอยของกลุ่ม A โดยจำแนกตามประเภทขยะ พบว่ามีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การเปรียบเทียบปริมาณขยะมูลฝอยของกลุ่ม B โดยจำแนกตามประเภทขยะ พบว่ามีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การเปรียบเทียบปริมาณขยะมูลฝอยของกลุ่ม C โดยจำแนกตามประเภทขยะ พบขยะทั่วไปไม่แตกต่างจากขยะรีไซเคิลและขยะอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

กฤติยา พุดติ และวนารัตน์ กรอิสรานุกูล (2560) ได้ศึกษาเรื่องการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณขยะมูลฝอยจากการขยายตัวของอาคารที่อยู่อาศัยในอนาคต กรณีศึกษาเทศบาลนครนนทบุรี เพื่อศึกษาแนวโน้มการเกิดปริมาณขยะมูลฝอยในอนาคตจากการขยายตัวอาคารประเภทที่อยู่อาศัยในพื้นที่เทศบาลนครนนทบุรี โดยศึกษาปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดในครัวเรือนอาคารประเภทที่อยู่อาศัย 4 ประเภท คือ บ้านเดี่ยว ทาวน์เฮาส์ อพาร์ทเมนท์ และอาคารชุด/คอนโดมิเนียม วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วยการจัดเตรียมข้อมูล การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและอาคารจากภาพถ่ายดาวเทียม การสำรวจพื้นที่ การใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์เพื่อประเมินปริมาณขยะ คาดประมาณการเปลี่ยนแปลงประชากรและอาคารที่อยู่อาศัยแต่ละประเภทและคาดการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตพื้นที่เทศบาลนครนนทบุรีในอนาคต 10, 20 และ 50 ปี ผลการศึกษาพบว่า การคาดการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยจากการเก็บข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยของครัวเรือนในอาคารประเภทที่อยู่อาศัยในปี พ.ศ. 2558 ที่อยู่อาศัยประเภทบ้านเดี่ยวจะมีปริมาณขยะมูลฝอย 321 กิโลกรัมต่อวัน ทาวน์เฮาส์จะมีปริมาณขยะมูลฝอย 240 กิโลกรัมต่อวัน อพาร์ทเมนท์จะมีปริมาณขยะมูลฝอย 83 กิโลกรัมต่อวัน และ อาคารชุด/คอนโดมิเนียมจะมีปริมาณขยะมูลฝอย 6,560 กิโลกรัมต่อวัน การคาดการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยในช่วงระยะเวลา 10, 20 และ 50 ปี ช่างหน้าพบว่า อาคารชุด/คอนโดมิเนียมเป็นประเภทอาคารที่ก่อให้เกิดขยะมูลฝอยมากที่สุด โดยคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2568 จะมีปริมาณขยะมูลฝอยสูงถึง 5,727 กิโลกรัมต่อวัน ในปี พ.ศ. 2578 จะมีปริมาณขยะมูลฝอย 7,277 กิโลกรัมต่อวัน และในปี พ.ศ. 2608 จะมีปริมาณขยะมูลฝอย 8,319 กิโลกรัมต่อวัน รองลงมาคือ บ้านเดี่ยวโดยในปี พ.ศ. 2568 บ้านเดี่ยวจะมีปริมาณขยะมูลฝอย 339 กิโลกรัมต่อวัน ในปี พ.ศ. 2578 จะมีปริมาณขยะมูลฝอย 361 กิโลกรัมต่อวัน และในปี พ.ศ. 2608 จะมีปริมาณขยะมูลฝอย 423 กิโลกรัมต่อวัน ส่วนทาวน์เฮาส์ในปี พ.ศ. 2568 จะมีปริมาณขยะมูลฝอย 266 กิโลกรัมต่อวัน ในปี พ.ศ. 2578 จะมีปริมาณขยะ

มูลฝอย 298 กิโลกรัมต่อวัน และในปี พ.ศ. 2608 จะมีปริมาณขยะมูลฝอย 402 กิโลกรัมต่อวัน และ
 อพาร์ทเมนต์ โดยในปี พ.ศ. 2568 จะมีปริมาณขยะมูลฝอย 86 กิโลกรัมต่อวัน ในปี พ.ศ. 2578 จะมี
 ปริมาณขยะมูลฝอย 89 กิโลกรัมต่อวัน และในปี พ.ศ. 2608 จะมีปริมาณขยะมูลฝอย 100 กิโลกรัม
 ต่อวัน ตามลำดับ

งานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวกับการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยมี ดังนี้

Perri (2005) ได้เสนอตัวประมาณอัตราส่วนที่พัฒนาจากตัวประมาณอัตราส่วน
 ratio-cum-product ของ Singh ที่เสนอไว้ในปี ค.ศ. 1965 และ ปี ค.ศ. 1967 ร่วมกับตัวประมาณ
 ถดถอยแบบดั้งเดิม (Traditional regression estimator) เสนอเป็นตัวประมาณที่ปรับปรุงใหม่
 ดังสมการที่ (2.48)

$$\hat{Y}_{R1} = \bar{y} \frac{t_2 \bar{X}_1}{t_1 \bar{X}_2}, \hat{Y}_{R2} = \bar{y} \frac{\bar{X}_1 \bar{X}_2}{t_1 t_2}, \hat{Y}_{P1} = \bar{y} \frac{t_1 t_2}{\bar{X}_1 \bar{X}_2}, \hat{Y}_{P2} = \bar{y} \frac{t_1 \bar{X}_2}{t_2 \bar{X}_1} \quad (2.48)$$

เมื่อ $t_i = \bar{x}_i + \alpha_i (\bar{X}_i - \bar{x}_i)$ และ α_i เป็นค่าคงตัวที่เหมาะสม

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่นำเสนอด้วยการเปรียบเทียบ *MSE* ของ
 ตัวประมาณที่นำเสนอกับตัวประมาณอัตราส่วน ตัวประมาณโดยใช้ผลคูณ (Product estimator)
 กรณีมีตัวแปรช่วยตัวเดียว และตัวประมาณ Ratio-cum-product ของ Singh ด้วย Relative
 efficiency เมื่อ $eff(\hat{Y}) = MSE(\bar{y}) / MSE(\hat{Y})$ โดยใช้ข้อมูลจากรายงานปริมาณขยะมูลฝอยปี
 ค.ศ. 2004 โดย APAT ใน www.osservatorionazionale rifiuti.it ข้อมูลประกอบด้วยตัวแปร 3
 ตัวที่มีความสัมพันธ์กันจากแต่ละจังหวัดในประเทศอิตาลี ได้แก่ ปริมาณขยะรีไซเคิล (ตัน) ในปี ค.ศ.
 2003 เป็นตัวแปรที่ศึกษา (*Y*) ปริมาณขยะรีไซเคิล (ตัน) ในปี ค.ศ. 2002 เป็นตัวแปรช่วยตัวที่ 1 (*X*₁)
 และ จำนวนชาวบ้านทั้งหมดเป็นตัวแปรช่วยตัวที่ 2 (*X*₂) ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ พบว่า
 ตัวประมาณที่นำเสนอมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณเดิม

Khajuria, Yamamoto, and Morioka (2010) ได้ศึกษาการประมาณค่าขยะมูลฝอย
 ที่เกิดใหม่และพื้นที่ฝังกลบในประเทศกำลังพัฒนาในเอเชีย ได้แก่ ประเทศอินเดีย เนปาล ปากีสถาน
 บังกลาเทศ และ ศรีลังกาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยของการเกิดขยะมูลฝอย
 และประมาณค่าการเกิดขยะมูลฝอยในอนาคต กำหนดปัจจัยของการเกิดขยะมูลฝอยได้แก่

ลักษณะความเป็นเมือง (Urbanization) ประเทศกำลังพัฒนาอัตราการเกิดขยะมูลฝอยที่
 น่าตกใจใน 20 ปีที่ผ่านมาปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเติบโตของพื้นที่เมืองอย่าง
 รวดเร็วและการย้ายถิ่นของคนในชนบทสู่เมือง

รายได้ต่อหัวประชากร (GDP per capita) ในประเทศกำลังพัฒนา ภาวะเศรษฐกิจที่ดีขึ้น เปลี่ยนแปลงชีวิตความเป็นอยู่และการบริโภคเพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุของการเกิดขยะมูลฝอย

การไม่รู้หนังสือและระดับความตระหนักในส่วนรวม (Illiteracy and level of public awareness) การไม่รู้หนังสือและการขาดความตระหนักในส่วนรวม มีผลต่อการเกิดขยะมูลฝอย การไม่แยกขยะและการทิ้งขยะอย่างไม่ถูกวิธี

การบริการสุขาภิบาล (Sanitary services) เช่น การทิ้งของลงท่อระบายน้ำ การกำจัดน้ำเสีย ส้วม เป็นต้น มีการบริการสุขาภิบาลน้อยทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น

วิธีที่ง่ายที่สุดในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณขยะมูลฝอยและปัจจัยการเกิดขยะมูลฝอยคือตัวแบบสหสัมพันธ์เชิงเส้นของปริมาณขยะมูลฝอยและปัจจัยการเกิดขยะมูลฝอย ดังสมการที่ (2.49)

$$WG = a + \beta X_1 + \alpha X_2 + \gamma X_3 \quad (2.49)$$

เมื่อ WG คือ ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอย

X_1 คือ จำนวนประชากร

X_2 คือ รายได้ต่อหัวประชากร

X_3 คือ ระดับการไม่รู้หนังสือ

a, β, α, γ คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

พบว่า ปัจจัยการเกิดขยะมูลฝอยทุกปัจจัยมีความสัมพันธ์อย่างมากในทางบวกกับปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยในทุก ๆ ประเทศ

การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยในปี ค.ศ. 2003-2030 ด้วยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เริ่มจากประมาณจำนวนประชากรในอนาคตจากฐานจำนวนประชากรในปัจจุบัน แล้วคำนวณปริมาณขยะมูลฝอยในอนาคต ดังสมการที่ (2.50) และ (2.51)

$$\text{Future population} = \text{Initial population} (1 + \% \text{growth rate}/100)^{\text{years}} \quad (2.50)$$

$$\text{Future amount of municipal solid waste generation} = (\text{Predicted population}) \times (\text{Waste generation rate}) \times (\text{Number of day}) \div (1000 \text{ kg per metric ton}) \quad (2.51)$$

พบว่า ในประเทศอินเดีย ปี ค.ศ. 2003-2030 จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากร้อยละ 12.28 เป็นร้อยละ 32.43 ทำให้ปริมาณขยะต่อคนเพิ่มขึ้นจาก 0.75 เป็น 0.97 กิโลกรัมต่อวัน ส่วนในประเทศอื่นมีลักษณะเช่นเดียวกัน

Liu and Wu (2011) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดขยะมูลฝอยในประเทศจีน กรณีการวิเคราะห์สถิติหลายตัวแปร โดยศึกษาตัวแปรทั้งหมด 12 ตัวแปร ได้แก่ ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) รายได้ต่อหัว (Per capita GDP) จำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในเมือง (Urban population) สัดส่วนของประชากรอาศัยอยู่ในเมือง (Proportion of urban population) บริเวณที่พัฒนาเป็นถนนและที่อยู่อาศัย (Area of urban construction) บริเวณที่สร้างพื้นผิวเชื่อมต่อกับถนน (Area of paved roads) พื้นที่สวนสาธารณะและพื้นที่สีเขียวในเมือง (Area of urban gardens and green areas) จำนวนเมืองขนาดใหญ่ (Number of the large cities) รายได้ต่อหัวต่อปีของครัวเรือนในเมือง (Annual per capita disposable income of urban households) รายจ่ายต่อหัวต่อครัวเรือนของครัวเรือนในเขตเมือง (Annual per capita consumption expenditure of urban households) การใช้พลังงานทั้งหมด (Total energy consumption) และการบริโภคทุนสำหรับครัวเรือน (Annual per capital consumption for households) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Principal Components Analysis: PCA) และการวิเคราะห์จัดกลุ่ม (Cluster Analysis: CA) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่า ตัวแปรทั้งหมด 12 ตัวนั้นแบ่งเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบ 1: เศรษฐกิจและการพัฒนาเมือง (Economy and urban development) องค์ประกอบ 2: การใช้พลังงาน (Energy consumption) และ องค์ประกอบ 3: ระดับเมือง (Urban scale) ทั้ง 3 องค์ประกอบอธิบายความผันแปรรวมได้ 99.1% องค์ประกอบเศรษฐกิจและการพัฒนาเมืองเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเกิดขยะมูลฝอย โดยที่สัดส่วนของประชากรและจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองมีค่าอิทธิพลมากที่สุด ในองค์ประกอบนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของผลิตภัณฑ์มวลรวม (GDP) และการเกิดขยะมูลฝอยไม่ชัดเจนเหมือนในประเทศที่พัฒนาแล้ว

Kawai and Tasaki (2016) ได้ทบทวนการประมาณปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยต่อคน และความน่าเชื่อถือ และได้เสนอวิธีการประมาณปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยต่อคนจากเดิมที่คิดปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยต่อคนจากปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมดหารด้วยจำนวนประชากรทั้งหมด แต่ความไม่แน่นอนของข้อมูลที่ใช้คำนวณนั้นทำให้การประมาณนั้นขาดความน่าเชื่อถือ เส้นทางการไหลของขยะมูลฝอยไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณ และปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำมากำจัดจะมีปริมาณเท่ากับขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องไปยังงบประมาณประจำปีที่ใช้ในการจัดการขยะมูลฝอย การใช้แทนชั่งน้ำหนักหรือเครื่องชั่งขนาดใหญ่ที่มีฐานติดกับพื้นจะเพิ่มความน่าเชื่อถือในข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอย แต่ในเทศบาลขนาดเล็กไม่มีแทนชั่งน้ำหนักเพราะมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ โดยเฉพาะในหลาย ๆ ประเทศที่กำลังพัฒนา เทศบาลเหล่านั้นจึงประมาณปริมาณขยะมูลฝอยรายปีจากข้อมูลการขนส่งขยะมูลฝอยโดยรถบรรทุก ดังสมการที่ (2.52)

$$W = c \times v \times d \times t \times l \times 365 \quad (2.52)$$

- เมื่อ W คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นรายปี (ตันต่อปี)
 c คือ ความจุเฉลี่ยของรถบรรทุกขยะ (ลูกบาศก์เมตรต่อคัน)
 v คือ อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกเฉลี่ยของรถบรรทุกขยะ
 d คือ ความหนาแน่นเฉลี่ยขยะมูลฝอยของรถบรรทุกขยะ (ตันต่อลูกบาศก์เมตร)
 t คือ จำนวนเที่ยวเฉลี่ยของการขนส่งของรถบรรทุกขยะ (จำนวนเที่ยวใน 1 วัน)
 l คือ จำนวนรถบรรทุกเฉลี่ย (จำนวนคันใน 1 วัน)

ถึงแม้ว่าการคำนวณจะไม่มีข้อมูลจากแท่นชั่งน้ำหนักจะทำให้ความน่าเชื่อถือน้อยลง เนื่องจากความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ยจึงใช้ข้อมูลจากรถบรรทุกขยะแต่ละคันดังสมการที่ (2.53)

$$W = \sum_{j=1}^{365} \sum_{i=1}^m (c_i \times v_i \times d_i \times t_{ij}) \quad (2.53)$$

- เมื่อ m คือ จำนวนรถบรรทุกขยะ
 c คือ ความจุ (ลูกบาศก์เมตรต่อคัน) ของรถบรรทุกขยะคันที่ i
 v คือ อัตราส่วนน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกขยะคันที่ i
 d คือ ความหนาแน่น (ตันต่อลูกบาศก์เมตร) ขยะมูลฝอยของรถบรรทุกขยะคันที่ i
 t คือ จำนวนเที่ยวการขนส่งของรถบรรทุกขยะคันที่ i วันที่ j (จำนวนเที่ยวใน 1 วัน)

ในหลาย ๆ เทศบาลขนาดเล็กมักมอบความรับผิดชอบในการเก็บขนขยะมูลฝอย การขนส่งขยะมูลฝอย การจัดการ ณ สถานีขนถ่าย การแยกขยะ และสถานที่ฝังกลบให้กับบริษัทเอกชนและจ่ายค่าบริการในสัดส่วนปริมาณขยะมูลฝอยที่ดำเนินการ ส่วนเทศบาลขนาดใหญ่มักติดตั้งแท่นชั่งน้ำหนักและมอบหมายให้เจ้าหน้าที่เทศบาลตรวจสอบผู้ดำเนินการอย่างใกล้ชิดและป้องกันไม่ให้รายงานปริมาณขยะที่น้อยเกินไปโดยเจตนา ปริมาณขยะมูลฝอยรายปีคือผลรวมของน้ำหนักของขยะมูลฝอยทั้งหมดที่บันทึกไว้ที่แท่นชั่งน้ำหนักในระหว่างปี ดังสมการที่ (2.54)

$$W = \sum_{j=1}^{365} \sum_{i=1}^m w_{ij} \quad (2.54)$$

- เมื่อ w_{ij} คือ น้ำหนักขยะมูลฝอยบนรถบรรทุกขยะคันที่ i วันที่ j (ตัน)

สถิติประชากรไม่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยต่อหัวแต่ควรใช้จำนวนประชากรในเขตบริการนั้น ในประเทศกำลังพัฒนาข้อมูลเกี่ยวกับประชากรในเขตบริการอาจไม่แน่นอนเนื่องจากประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวมข้อมูลและปัญหาการย้ายถิ่นของคนในชนบทสู่เมือง ปัญหาเหล่านี้อาจส่งผลให้มีการประมาณการเกิดขยะมูลฝอยต่อหัวมากเกินไป หรือน้อยเกินไป

จากงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่กล่าวมานั้น ถึงจะเป็นการประมาณปริมาณขยะมูลฝอย แต่เป็นการคาดการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยโดยใช้สารสนเทศทางภูมิศาสตร์หรือใช้เทคนิคทางสถิติ แต่ไม่ปรากฏงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับตัวประมาณค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอยเลย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยด้วยตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด โดยใช้ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณปัจจุบันเป็นตัวแปรที่ศึกษา (Y) และปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณที่ผ่านมาเป็นตัวแปรช่วย (X)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัย เรื่อง การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยโดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด มีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

ระยะที่ 1 การพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

ระยะที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyam (\bar{y}_p)

ระยะที่ 3 การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีสำนักงานเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ปีงบประมาณ 2562

ระยะที่ 1 การพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

ขั้นตอนนี้เป็นการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) โดยใช้ตัวแปรช่วยตัวเดียว มีรายละเอียด และขั้นตอน ดังภาพที่ 3-1

1. ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) และตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s)

ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยเป็นตัวประมาณที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียง (Unbiased estimator) โดยเก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรที่ศึกษา (Y) จากการสำรวจตัวอย่างเท่านั้น ตัวประมาณ และความแปรปรวนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ (3.1)

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad \text{และ} \quad V(\bar{y}) = \frac{(1-f)}{n} S_y^2 \quad (3.1)$$



ภาพที่ 3-1 แผนผังขั้นตอนของการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

Sandral (1972) ได้ปรับค่าตัวประมาณ \bar{y} ด้วยค่าคงที่ (c) และนำเสนอตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ซึ่งเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียง ดังสมการที่ (3.2)

$$\bar{y}_s = \begin{cases} \bar{y} + c & \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ แต่ไม่มี } y_{max} \\ \bar{y} - c & \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ แต่ไม่มี } y_{min} \\ \bar{y} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases} \quad (3.2)$$

ค่าความแปรปรวนของตัวประมาณ \bar{y}_s เมื่อ $c = (y_{max} - y_{min})/2n$ แสดงดังสมการที่ (3.3)

$$V(\bar{y}_s) = \frac{(1-f)}{n} S_y^2 - \frac{\lambda(y_{max} - y_{min})^2}{2(N-1)} \quad (3.3)$$

- เมื่อ \bar{y} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา
 n คือ จำนวนตัวอย่าง
 N คือ จำนวนประชากร
 S_y^2 คือ พารามิเตอร์ความแปรปรวนของตัวแปรที่ศึกษา
 y_{max} คือ พารามิเตอร์ค่ามากที่สุดของตัวแปรที่ศึกษา
 y_{min} คือ พารามิเตอร์ค่าน้อยสุดของตัวแปรที่ศึกษา
 $\lambda = \frac{1}{n} - \frac{1}{N}$ และ $f = n/N$

2. ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (Ratio estimator for the population mean)

Cochran (1977) ได้เสนอแนวคิดที่ว่า ถ้ามีตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา (Y) หรือเรียกว่าตัวแปรช่วย (Auxiliary variable: X) และตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับตัวแปร Y การปรับค่าของตัวประมาณ \bar{y} ด้วย \bar{X}/\bar{x} จะทำให้ตัวประมาณมีประสิทธิภาพดีขึ้น และนำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) ซึ่งเป็นตัวประมาณที่เอนเอียงดังสมการที่ (3.4) และเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยอย่างต่อเนื่อง

$$\bar{y}_r = \bar{y} \frac{\bar{X}}{\bar{x}} \quad (3.4)$$

เมื่อ \bar{X} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย

\bar{x} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย

\bar{y} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา

ความเอนเอียง (*Bias*) และความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (*MSE*) ของตัวประมาณ \bar{y}_r แสดงดังสมการที่ (3.5) และ (3.6)

$$Bias(\bar{y}_r) = \frac{1-f}{n} \left(\frac{R}{\bar{X}} S_x^2 + \frac{1}{\bar{X}} S_{yx} \right) \quad (3.5)$$

$$MSE(\bar{y}_r) = \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 (C_y^2 + C_x^2 - 2C_x C_y \rho_{xy}) \quad (3.6)$$

เมื่อ \bar{Y} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา

\bar{X} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย

C_y คือ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความแปรผันของตัวแปรที่ศึกษา

C_x คือ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความแปรผันของตัวแปรช่วย

ρ_{xy} คือ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร Y กับ X

S_x^2 คือ พารามิเตอร์ความแปรปรวนของตัวแปรช่วย

S_{yx} คือ พารามิเตอร์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรที่ศึกษากับตัวแปรช่วย

n คือ จำนวนตัวอย่าง

N คือ จำนวนประชากร

$$f = n/N \text{ และ } R = \bar{Y}/\bar{X}$$

ในระยะเวลาที่ผ่านมา มีผู้นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิมของ Cochran ในปี ค.ศ. 1977 โดยใช้ตัวแปรช่วยตัวเดียวมาปรับอย่างต่อเนื่องด้วยค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรช่วย เช่น สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (C_x) สัมประสิทธิ์ความโค้ง ($\beta_2(x)$) สัมประสิทธิ์ความเบ้ ($\beta_1(x)$) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ_{xy}) และมัธยฐาน (M_d) เป็นต้น จุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยทั้งสิ้น งานวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p) ที่นำเสนอในปี ค.ศ. 2013 โดยปรับจากตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิมด้วย

พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วยซึ่งเป็นค่ากลางที่มีความแกร่งต่อข้อมูลที่มีค่ามากหรือน้อย ผิดปกติและมีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนเป็นตัวประมาณเริ่มต้น (Initial estimator) เพื่อพัฒนา ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ปรับใหม่ ทั้งนี้ตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyam ที่นำเสนอไว้ในรูปแบบ ดังสมการที่ (3.7)

$$\bar{y}_p = \bar{y} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} \quad (3.7)$$

- เมื่อ \bar{X} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย
 \bar{x} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย
 \bar{y} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา
 M_d คือ พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย

ความเอนเอียง และความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ \bar{y}_p แสดงดัง สมการที่ (3.8) และ (3.9)

$$Bias(\bar{y}_p) = \frac{1-f}{n} \bar{Y} (\alpha^2 C_x^2 - \alpha C_x C_y \rho_{xy}) \quad (3.8)$$

$$MSE(\bar{y}_p) = \frac{1-f}{n} \bar{Y}^2 (C_y^2 + \alpha^2 C_x^2 - 2\alpha C_x C_y \rho_{xy}) \quad (3.9)$$

- เมื่อ \bar{Y} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา
 C_x คือ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความแปรผันของตัวแปรช่วย
 C_y คือ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความแปรผันของตัวแปรที่ศึกษา
 ρ_{xy} คือ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร Y กับ X
 M_d คือ พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย
 n คือ จำนวนตัวอย่าง
 N คือ จำนวนประชากร

$$f = n/N \text{ และ } \alpha = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + M_d}$$

3. ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ที่มาปรับใช้ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด

จากการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิมอย่างต่อเนื่อง โดยปรับตัวประมาณด้วยพารามิเตอร์ของตัวแปรช่วย แต่ไม่ได้พิจารณาว่าหากข้อมูลสำรวจตัวอย่างมีค่ามากสุดในประชากรของตัวแปรที่ศึกษา (y_{max}) และตัวแปรช่วย (x_{max}) หรือค่าน้อยสุดในประชากรของตัวแปรที่ศึกษา (y_{min}) และตัวแปรช่วย (x_{min}) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยจะมีค่ามากหรือน้อยเกินไป

Khan and Shabbir (2013) ได้นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) มาปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) โดยปรับค่าตัวประมาณ \bar{y} ด้วย $c_1 = (y_{max} - y_{min})/2n$ และปรับค่าตัวประมาณ \bar{x} ด้วย $c_2 = (x_{max} - x_{min})/2n$ นำเสนอตัวประมาณ ดังสมการที่ (3.10)

$$\bar{y}_{RC} = \begin{cases} (\bar{y} + c_1) \frac{\bar{X}}{\bar{x} + c_2} & \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ (\bar{y} - c_1) \frac{\bar{X}}{\bar{x} - c_2} & \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \bar{y} \frac{\bar{X}}{\bar{x}} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases} \quad (3.10)$$

ในปีต่อมา Al-Hossain and Khan (2014) ได้นำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ใช้ตัวแปรช่วย 2 ตัว ปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) โดยปรับค่าตัวประมาณ \bar{y} , \bar{x}_1 และ \bar{x}_2 ด้วย $c_1 = (y_{max} - y_{min})/2n$, $c_2 = (x_{1max} - x_{1min})/2n$ และ $c_3 = (x_{2max} - x_{2min})/2n$ ตามลำดับ นำเสนอตัวประมาณ ดังสมการที่ (3.11)

$$\bar{y}_{RC} = \begin{cases} (\bar{y} + c_1) \frac{\bar{X}_1}{(\bar{x}_1 + c_2)} \frac{\bar{X}_2}{(\bar{x}_2 + c_3)} & \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } (y_{min}, x_{1min}, x_{2min}) \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } (y_{max}, x_{1max}, x_{2max}) \\ (\bar{y} - c_1) \frac{\bar{X}_1}{(\bar{x}_1 - c_2)} \frac{\bar{X}_2}{(\bar{x}_2 - c_3)} & \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } (y_{max}, x_{1max}, x_{2max}) \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } (y_{min}, x_{1min}, x_{2min}) \\ \bar{y} \frac{\bar{X}_1}{\bar{x}_1} \frac{\bar{X}_2}{\bar{x}_2} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases} \quad (3.11)$$

Khan et al. (2015) นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่พัฒนาต่อจากตัวประมาณอัตราส่วนดั้งเดิม ได้แก่ตัวประมาณของ Sisodia and Dwivedi ในปี 1981 และ Singh and Tailor ในปี 2003 มาปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) โดยปรับค่าตัวประมาณ \bar{y} ด้วยค่าคงที่ $c_1 = (y_{max} - y_{min})/2n$ และค่าตัวประมาณ \bar{x} ด้วยค่าคงที่ $c_2 = (x_{max} - x_{min})/2n$ เช่นกัน นำเสนอตัวประมาณ ดังสมการที่ (3.12)–(3.15)

$$\bar{y}_{p1} = (\bar{y} + c_1) \left(\frac{\bar{X} + C_x}{(\bar{x} + c_2) + C_x} \right) \quad (3.12)$$

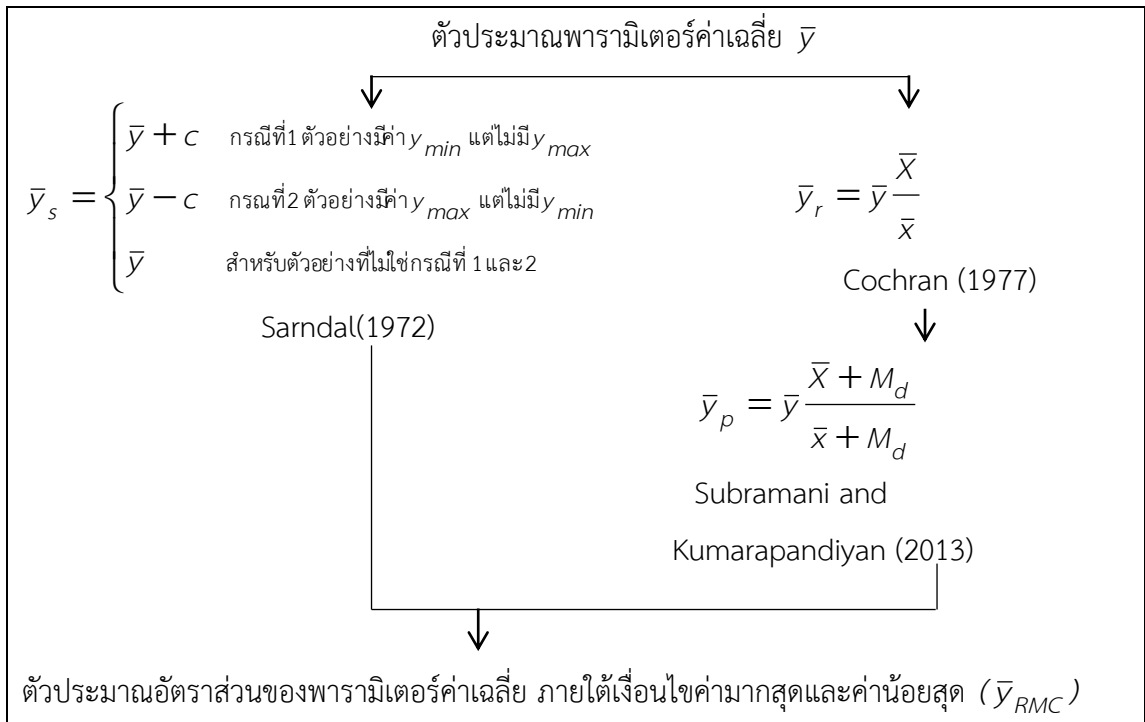
$$\bar{y}_{p2} = (\bar{y} + c_1) \left(\frac{\bar{X} + \rho_{xy}}{(\bar{x} + c_2) + \rho_{xy}} \right) \quad (3.13)$$

$$\bar{y}_{p3} = (\bar{y} + c_1) \left(\frac{\bar{X}C_x + \rho_{xy}}{(\bar{x} + c_2)C_x + \rho_{xy}} \right) \quad (3.14)$$

$$\bar{y}_{p4} = (\bar{y} + c_1) \left(\frac{\bar{X}\rho_{xy} + C_x}{(\bar{x} + c_2)\rho_{xy} + C_x} \right) \quad (3.15)$$

เมื่อ \bar{X}	คือ	พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย
\bar{x}	คือ	ค่าสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย
C_x	คือ	พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความแปรผันของตัวแปรช่วย
ρ_{xy}	คือ	พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร Y กับ X
y_{max}	คือ	พารามิเตอร์ค่ามากที่สุดของตัวแปรที่ศึกษา
y_{min}	คือ	พารามิเตอร์ค่าน้อยสุดของตัวแปรที่ศึกษา
x_{max}	คือ	พารามิเตอร์ค่ามากที่สุดของตัวแปรช่วย
x_{min}	คือ	พารามิเตอร์ค่าน้อยสุดของตัวแปรช่วย

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยมีแนวคิดของการนำตัวประมาณที่พัฒนาพัฒนาเป็นตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 แผนผังของการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

4. ศึกษาแนวคิดทางการวิเคราะห์เชิงตัวเลข และทฤษฎีบทเทย์เลอร์

แนวคิดทางการวิเคราะห์เชิงตัวเลข และทฤษฎีบทเทย์เลอร์ (Burden & Faires, 2011, pp. 10-11) ใช้หาค่าประมาณของฟังก์ชันที่หาอนุพันธ์ ทฤษฎีบทเทย์เลอร์กล่าวว่า ให้ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันที่หาอนุพันธ์ทุกอันดับได้ที่จุด x_0 แล้ว

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!} (x - x_0)^n \tag{3.16}$$

$$= f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} (x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!} (x - x_0)^2 + \dots$$

จากทฤษฎีบทเทย์เลอร์ดังสมการที่ (3.16) จะเรียกว่า อนุกรมเทย์เลอร์ สามารถนำไปกระจายเทอมโพลีโนเมียล เพื่อใช้หาความเอนเอียง (*Bias*) และสมการประมาณค่า *MSE* ของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) (Sisodia & Dwivedi, 1981; Singh & Kakran, 1993; Upadhyaya & Singh, 1999; Singh & Tailor, 2003; Yan & Tian, 2010; Subramani & Kumarapandiyam., 2013; Khan & Shabbir, 2013; Al-Hossain & Khan, 2014; Khan et al., 2015)

5. คำนวณค่าคงที่ c_1 และ c_2 ที่ให้ค่า $MSE(\bar{y}_{RMC})$ น้อยที่สุด

คำนวณค่าคงที่ c_1 และ c_2 ที่ให้ค่า $MSE(\bar{y}_{RMC})$ น้อยที่สุดด้วยวิธีการอนุพันธ์ย่อยของ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ เทียบกับค่า c_1 และ c_2 กำหนดอนุพันธ์ย่อยที่ได้เท่ากับศูนย์ แก่สมการเพื่อหาค่า c_1 และ c_2 แล้วแทนค่ากลับในสมการ $Bias(\bar{y}_{RMC})$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ เพื่อหาค่า $Bias(\bar{y}_{RMC})$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ ที่มีค่าต่ำสุด (Khan & Shabbir, 2013; Al-Hossain & Khan, 2014; Khan et al., 2015)

เมื่อพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด พร้อมทั้งหาสมการความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย $MSE(\bar{y}_{RMC})$ เรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการตามวัตถุประสงค์การวิจัยข้อ 2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณที่ผ่านมา และวัตถุประสงค์การวิจัยข้อ 3) เพื่อประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ต่อไป

ระยะที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p)

ขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณ \bar{y} ตัวประมาณ \bar{y}_s ตัวประมาณ \bar{y}_r และตัวประมาณ \bar{y}_p โดยในขั้นตอนนี้แบ่งการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณเป็น 3 ขั้นตอน คือ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณเชิงทฤษฎี การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจริง และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจากการจำลอง รายละเอียด ดังนี้

1. ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณเชิงทฤษฎี

เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณเชิงทฤษฎีโดยพิจารณาเงื่อนไข $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y})$, $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_s)$, $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_r)$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_p)$

2. ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจริง

จากวิธีการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องปฏิบัติกันอยู่นั้น พบว่าตัวแปรที่ใช้ในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอย คือ ปริมาณขยะมูลฝอยในปีงบประมาณที่ผ่านมา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 ในการศึกษา โดยแบ่งข้อมูลเป็น 5 ชุด หรือ 5 ประชากร ดังนี้

ประชากรชุดที่ 1	ตัวแปรที่ศึกษา (Y)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2560
	ตัวแปรช่วย (X)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2559
ประชากรชุดที่ 2	ตัวแปรที่ศึกษา (Y)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2558
	ตัวแปรช่วย (X)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2557
ประชากรชุดที่ 3	ตัวแปรที่ศึกษา (Y)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2556
	ตัวแปรช่วย (X)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2555
ประชากรชุดที่ 4	ตัวแปรที่ศึกษา (Y)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2554
	ตัวแปรช่วย (X)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2553
ประชากรชุดที่ 5	ตัวแปรที่ศึกษา (Y)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2552
	ตัวแปรช่วย (X)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2551

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณด้วยข้อมูลจริง มีรายละเอียดดังนี้

2.1 คำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวแปรช่วยที่ใช้ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของทุกตัวประมาณในแต่ละประชากร

2.2 แทนค่าพารามิเตอร์ตามข้อ 2.1 ในเงื่อนไขของขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณเชิงทฤษฎี เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลกับเงื่อนไข

2.3 แทนค่าพารามิเตอร์ตามข้อ 2.1 ในความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเพื่อคำนวณค่า $MSE(\bar{y})$, $MSE(\bar{y}_c)$, $MSE(\bar{y}_r)$, $MSE(\bar{y}_p)$, $MSE(\bar{y}_{RMC})$ และร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (Percentage Relative Efficiency: PRE) ของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จาก $PRE = [MSE(\hat{\theta}_2)/MSE(\hat{\theta}_1)] \times 100$ เมื่อ $\hat{\theta}_1$ คือตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} และ $\hat{\theta}_2$ คือตัวประมาณอื่น ๆ โดยใช้เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุด และเกณฑ์ร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์เกิน 100

3. ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจากการจำลอง

ในขั้นตอนนี้จะจำลองข้อมูลให้มีลักษณะเหมือนกับข้อมูลจริง ดังนั้นจึงศึกษาลักษณะเบื้องต้นของปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ

2551–2560 เพื่อให้ทราบลักษณะการเกิดข้อมูล จากนั้นจึงจำลองข้อมูลโดยเทคนิคมอนติคาร์โล รายละเอียดดังนี้

3.1 การศึกษาลักษณะเบื้องต้นของข้อมูล (Pilot study)

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 ศึกษาลักษณะเบื้องต้นของข้อมูลด้วย ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ในการอธิบายลักษณะข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยและใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน และแผนภาพการกระจาย (Scatter plot) เพื่ออธิบายลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560

3.2 การศึกษาการแจกแจงของข้อมูล (Data distribution)

การศึกษาการแจกแจงของปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ W เนื่องจากสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk เป็นสถิติทดสอบที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการทดสอบการแจกแจงข้อมูลที่สมมาตร (Yap & Sim, 2011; Razali & Wah, 2011; Ahad, Yin, Othman, & Yaacob, 2011) โดยใช้คำสั่ง `shapiro.test` ในโปรแกรม R

การทดสอบการแจกแจงข้อมูลตัวแปรปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 ตั้งสมมติฐานการทดสอบ ดังนี้

H_0 : ประชากรของตัวอย่างสุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ประชากรของตัวอย่างสุ่มไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ Shapiro-Wilk ของข้อมูลที่เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

$y_1 < y_2 < y_3 < \dots < y_n$ ดังสมการที่ (3.17)

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.17)$$

เมื่อ y_i คือ ข้อมูลลำดับที่ i เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, n$

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

\bar{y} คือ ค่าสถิติค่าเฉลี่ยของข้อมูล

a_i คือ ค่าคงที่ที่สร้างจากค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และ

ความแปรปรวนร่วมของค่าสถิติลำดับของตัวอย่างขนาด n ที่มีการแจกแจงแบบปกติ

ในกรณีการทดสอบ Shapiro-Wilk Test ให้ผลการยอมรับสมมติฐานหลัก
หมายความว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

หากการทดสอบ Shapiro-Wilk Test ให้ผลปฏิเสธสมมติฐานหลัก จะดำเนินการ
ต่อในข้อ 3.2.2

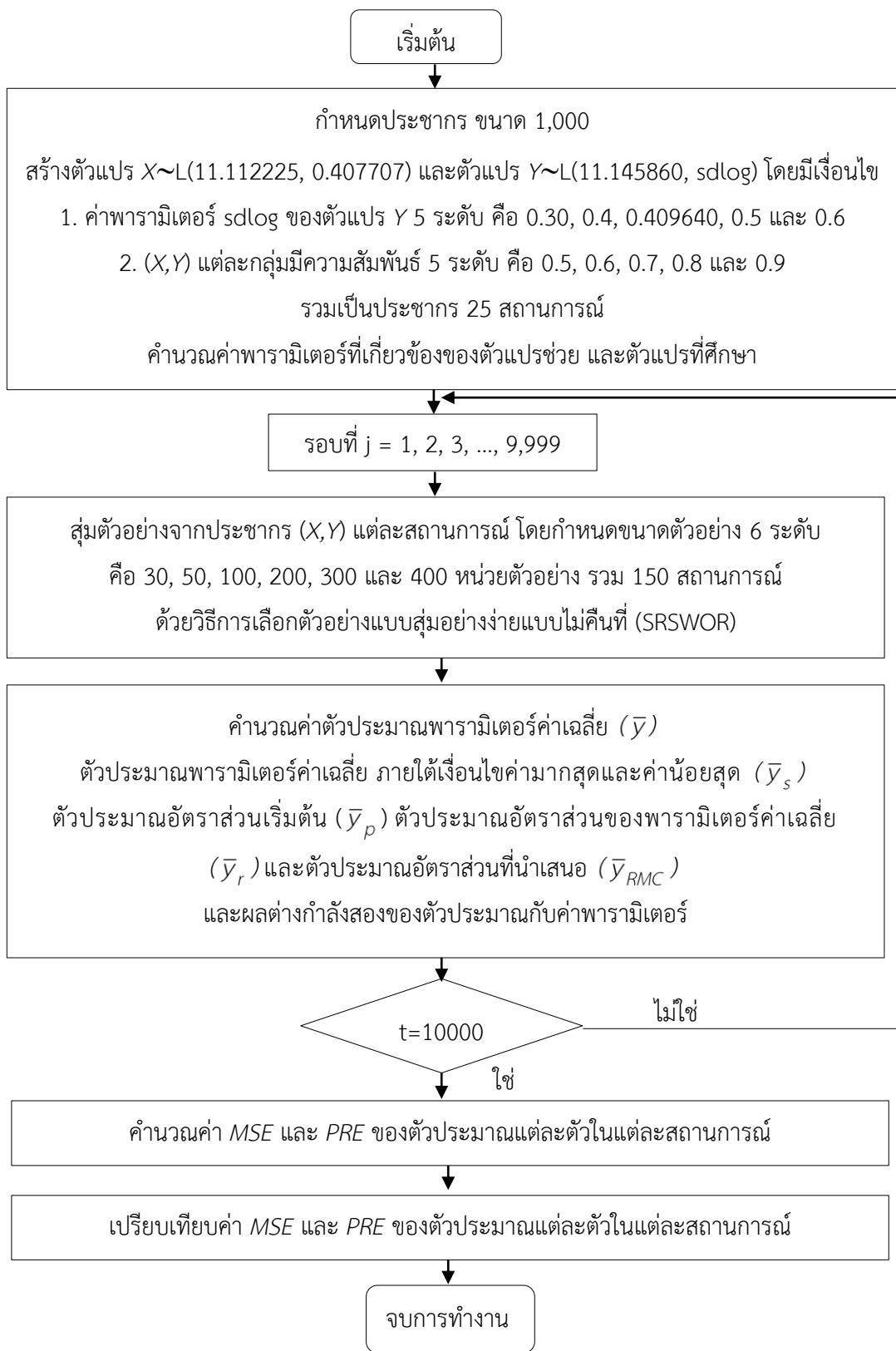
3.2.2 ตรวจสอบการแจกแจงที่เหมาะสมเบื้องต้นให้กับข้อมูลด้วยคำสั่ง `desdist`
และประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยคำสั่ง `fitdistr` ใน package `fitdistrplus` (Delignette-Muller &
Dutang, 2015) และทดสอบการแจกแจงด้วยสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk โดยใช้โปรแกรม R ต่อไป
เมื่อระบุการแจกแจงของข้อมูลที่เหมาะสมได้เรียบร้อยแล้ว จึงนำค่าประมาณ
พารามิเตอร์ที่ได้ ไปทำการจำลองข้อมูลต่อไป

3.3 การจำลองข้อมูล (Simulation) และการทดสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณ
หลังจากศึกษาลักษณะเบื้องต้น และตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล พบว่าปริมาณ
ขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 มี
ลักษณะเป็นโค้งเบ้ขวา มีความสัมพันธ์กันอย่างมากในเชิงบวก (Positive correlation) และมีการ
แจกแจงของข้อมูลเป็นแบบลือคปกติ (Lognormal distribution) เช่นเดียวกันทุกปี จึงใช้ข้อมูล
ปีงบประมาณ 2559 และ 2560 ในการจำลองข้อมูล พบว่า ตัวแปร $X \sim L(11.112225, 0.407707)$
และตัวแปร $Y \sim L(11.145860, 0.409640)$ จากนั้นจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรม R แล้วจึงเปรียบเทียบ
ประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและ
ค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย
ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย
(\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p)
มีรายละเอียด และขั้นตอน ดังภาพที่ 3-3

3.3.1 กำหนดประชากรขนาด 1,000 หน่วย สร้างข้อมูลตัวแปร X และ Y ที่มีการ
แจกแจงแบบลือคปกติ ดังนี้ $X \sim L(11.112225, 0.407707)$ และ $Y \sim L(11.145860, \text{sdlog})$ ภายใต้
เงื่อนไขค่าพารามิเตอร์ `sdlog` ของตัวแปร Y ทั้งหมด 5 กลุ่ม ได้แก่ 0.409640, 0.3, 0.4, 0.5 และ
0.6 ในแต่ละกลุ่มมีความสัมพันธ์ 5 ระดับ ได้แก่ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 รวมเป็นประชากร
ทั้งหมด 25 สถานการณ์

3.3.2 บันทึกข้อมูลประชากรข้อ 3.3.1 ในรูปคู่อันดับ (X, Y) จำนวน 1,000 ค่า

3.3.3 ดึงข้อมูล (Load) ข้อมูลประชากรแต่ละสถานการณ์ และคำนวณ
ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 3-3 แผนผังขั้นตอนของการจำลองข้อมูลและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

3.3.4 ประชากรแต่ละสถานการณ์กำหนดเงื่อนไขขนาดตัวอย่างสุ่ม 6 เงื่อนไข คือ 30, 50, 100, 200, 300 และ 400 หน่วยตัวอย่าง เลือกตัวอย่างแต่ละเงื่อนไขในประชากรแต่ละสถานการณ์ด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบไม่คืนที่ โดยทำซ้ำจำนวน 10,000 ครั้ง ในแต่ละเงื่อนไข

3.3.5 คำนวณค่าเฉลี่ยจากตัวประมาณอัตราส่วนที่นำเสนอ (\bar{y}_{RMC}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนเริ่มต้น (\bar{y}_p) จากข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.3.4 แล้วคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) จากสมการที่ (3.18) และร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) ของตัวประมาณทุกตัวจากสมการที่ (3.19)

$$MSE(\bar{y}_i) = \frac{1}{10000} \sum_{j=1}^{10000} (\bar{y}_{ij} - \bar{Y})^2 \quad (3.18)$$

เมื่อ \bar{y}_{ij} คือ ค่าประมาณของตัวประมาณ \bar{y}_i ในการทำซ้ำครั้งที่ j ;

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

\bar{Y} คือ ค่าเฉลี่ยประชากร

$$PRE(\bar{y}_i) = \frac{MSE(\bar{y}_i)}{MSE(\bar{y}_{RMC})} \times 100 \quad (3.19)$$

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

3.3.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่นำเสนอ (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนเริ่มต้น (\bar{y}_p) โดยพิจารณาประสิทธิภาพของตัวประมาณจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Percentage relative efficiency: PRE) ของตัวประมาณ ตัวประมาณใดมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำกว่า หมายความว่า เป็นตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณใดมีค่าเกิน 100 หมายความว่า \bar{y}_{RMC} เป็นตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพกว่า

ระยะที่ 3 การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไข ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{Y}_{RMC}) ปีงบประมาณ 2562

ขั้นตอนนี้เป็น การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปี สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด เมื่อใช้ตัวแปรช่วยตัวเดียว รายละเอียดดังนี้

1. ประชากร

ประชากร คือ สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 51 แห่ง

2. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง คือ สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 19 แห่ง ภายใต้การเลือกตัวอย่างด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบไม่คืนที่ (Simple Random Sampling Without Replacement: SRSWOR) เพื่อประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย การกำหนดจำนวนตัวอย่าง โดยใช้คุณภาพของตัวประมาณจากการกำหนดขอบเขตความผิดพลาดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ (Limit of error: d) ด้วยระดับความเชื่อมั่น $(1 - \alpha)100\%$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.20) (Sangngam, 2014)

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad \text{เมื่อ} \quad n_0 = \frac{z^2 S^2}{d^2} \quad (3.20)$$

เมื่อ z คือ ค่าจากตารางการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน ที่ระดับความเชื่อมั่น

$$(1 - \alpha)100\%$$

d คือ ความผิดพลาดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในการนำ \bar{y} ไปประมาณ \bar{Y}

S^2 คือ พารามิเตอร์ความแปรปรวน

กำหนดค่าพารามิเตอร์ S^2 และ \bar{Y} จากข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 51 แห่ง ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2551–2560 พบว่าปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ย (\bar{Y}) เท่ากับ 68,584.91 ตันต่อปี ความแปรปรวนของปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ (S^2) เท่ากับ 903,755,929 (ตันต่อปี)² ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 15% (d) เท่ากับ 10,287.74 ตันต่อปี และค่าจากตารางการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (z) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เท่ากับ 1.96

3. ตัวแปร

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ t (ต้นต่อปี)

เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Y_t

ตัวแปรช่วย คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ $t-1$ (ต้นต่อปี)

เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ X_{t-1}

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ต่อปี ของสำนักงานเขตพื้นที่

กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2561 ซึ่งรายงานโดยสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร (Bangkok Metropolitan Administration) จาก www.bangkok.go.th/environment เมื่อวันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2561

5. การพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ ปีงบประมาณ 2562

เนื่องจากตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) เป็นตัวประมาณที่ปรับจากตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของ Subramani and Kumarapandiyam (\bar{y}_p) และตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ก่อนการนำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปี ของสำนักงานเขตพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 ต่อไป จึงดำเนินการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปี ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} และ ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ตามรายละเอียด และขั้นตอน ดังภาพที่ 3-4

5.1 ศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปี ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2552–2560 โดยใช้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean Percentage Relative Error: MPRE) การศึกษาแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน และกรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ (เนื่องจากพารามิเตอร์เป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปี และในการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 นั้น ต้องใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ 2561 ซึ่งมีข้อมูลเพียง 6 เดือนแรกของปีงบประมาณเท่านั้น) โดยกำหนดให้ t แทนปีงบประมาณ 2552-2560

ศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} โดยศึกษาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean Percent Relative Error: $MPRE$) ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2552-2560 กรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน และ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ



ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ เพื่อประมาณปริมาณขยะมูลฝอยตั้งแต่ปีงบประมาณ 2553-2560



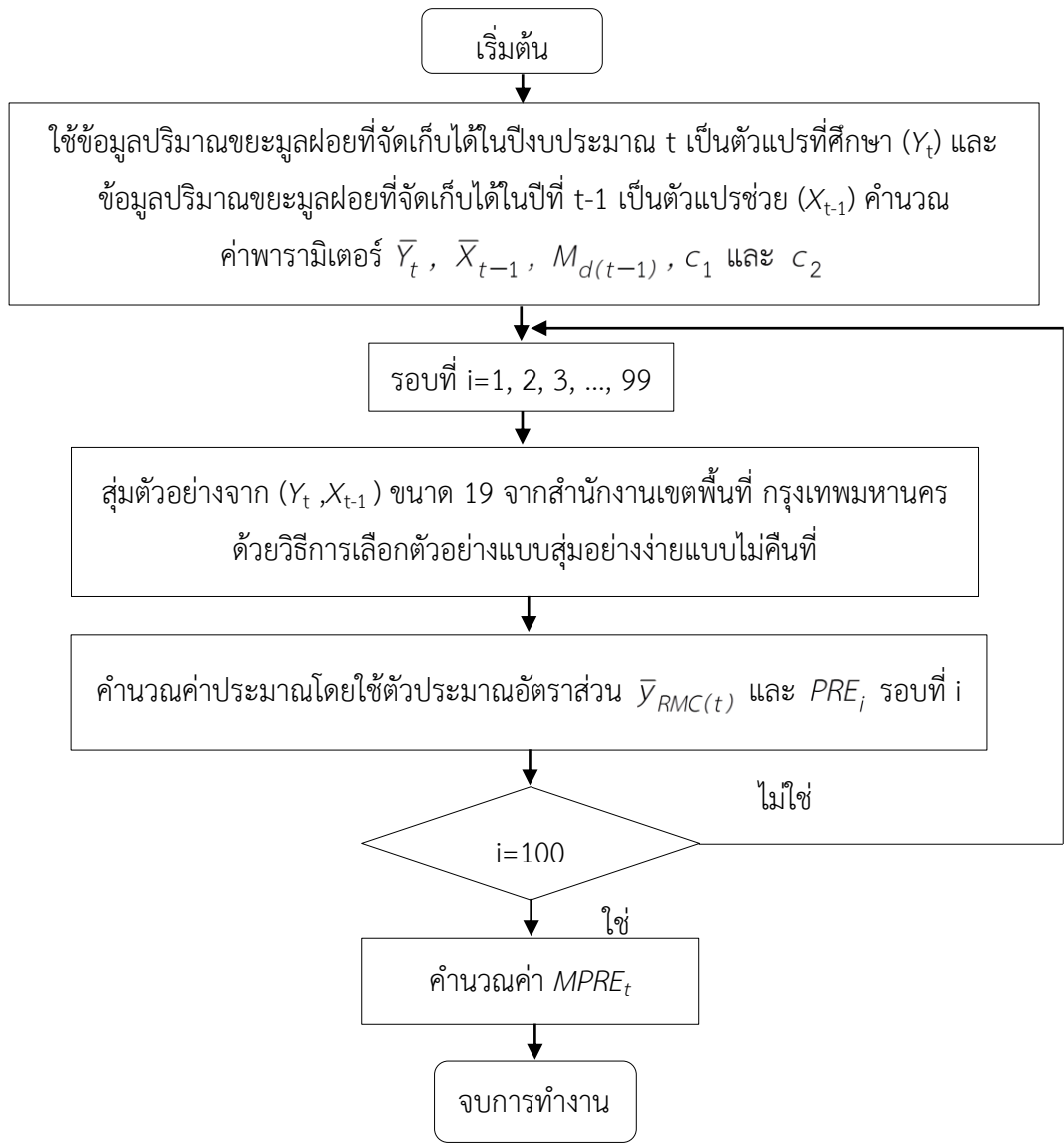
พยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562

ภาพที่ 3-4 แผนผังขั้นตอนของการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ (ตันต่อปี) ในปีงบประมาณ t เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Y_t

ตัวแปรช่วย คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ (ตันต่อปี) ในปีงบประมาณ $t-1$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ X_{t-1}

ในแต่ละปีงบประมาณ t เลือกตัวอย่างสำนักงานเขตพื้นที่จำนวน 19 แห่ง จากทั้งหมด 51 แห่งเพื่อรวบรวมข้อมูล (y, x) โดยในแต่ละปีงบประมาณจะเลือกตัวอย่างจำนวน 100 รอบ ในแต่ละรอบจะคำนวณค่า PRE_t เมื่อครบ 100 รอบ จึงคำนวณค่า $MPRE_t$ ขั้นตอนของการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ด้วยตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ปีงบประมาณ t แสดงดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 แผนผังขั้นตอนของการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ด้วยตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

การคำนวณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} กรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน และกรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนของปีงบประมาณแต่ละรอบ ดังสมการที่ (3.21) และ (3.22)

กรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน

$$\bar{Y}_{(t)} = \bar{Y}_{RMC(t)} \quad (3.21)$$

ข้อมูล 12 เดือน

กรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนของปีงบประมาณ

$$\bar{Y}_{(t)} = \bar{Y}_{RMC(t)} \times w_1 \quad (3.22)$$

ข้อมูล 6 เดือน

เมื่อ t คือ ปีงบประมาณ 2552-2560

w_1 คือ ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนปริมาณขยะมูลฝอย 12 เดือนต่อ 6 เดือนแรก

การคำนวณค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Percent Relative Error: PRE) ของค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บเฉลี่ยต่อปี ในแต่ละรอบ (PRE_i) ดังสมการที่ (3.23) และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยในปีงบประมาณ t ($MPRE_t$) ดังสมการที่ (3.24)

$$PRE_{(t)i} = \left(\frac{|\bar{Y}_{RMC(t)_i} - \bar{Y}_t|}{\bar{Y}_t} \right) \times 100 \quad (3.23)$$

$$MPRE_t = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} PRE_i \quad (3.24)$$

เมื่อ $PRE_{(t)i}$ คือ ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยต่อปี ปีงบประมาณ t รอบที่ i

เมื่อ $t=2552, 2553, 2554, \dots, 2560$ และ $i=1,2,3, \dots, 100$

$MPRE_t$ คือ ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยของค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยต่อปี ปีงบประมาณ t

เมื่อ $t=2552, 2553, 2554, \dots, 2560$

$\bar{Y}_{RMC(t)_i}$ คือ ค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ย ปีงบประมาณ t รอบที่ i

\bar{Y}_t คือ ค่าพารามิเตอร์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปี ปีงบประมาณ t

5.2 ศึกษาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ย (ตันต่อปี) ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ดังสมการที่ (3.25) โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2553-2560

$$\bar{y}_t = (\bar{y}_{RMC(t-1)} \times w_1) \times w_2 \quad (3.25)$$

เมื่อ \bar{y}_t คือ ค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยในปีงบประมาณที่ t

เมื่อ t = 2553, 2554, 2555, ..., 2560

w_1 คือ อัตราส่วนเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอย 12 เดือนต่อ 6 เดือนแรก

w_2 คือ อัตราส่วนเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอยในปีงบประมาณ t ต่อ t-1

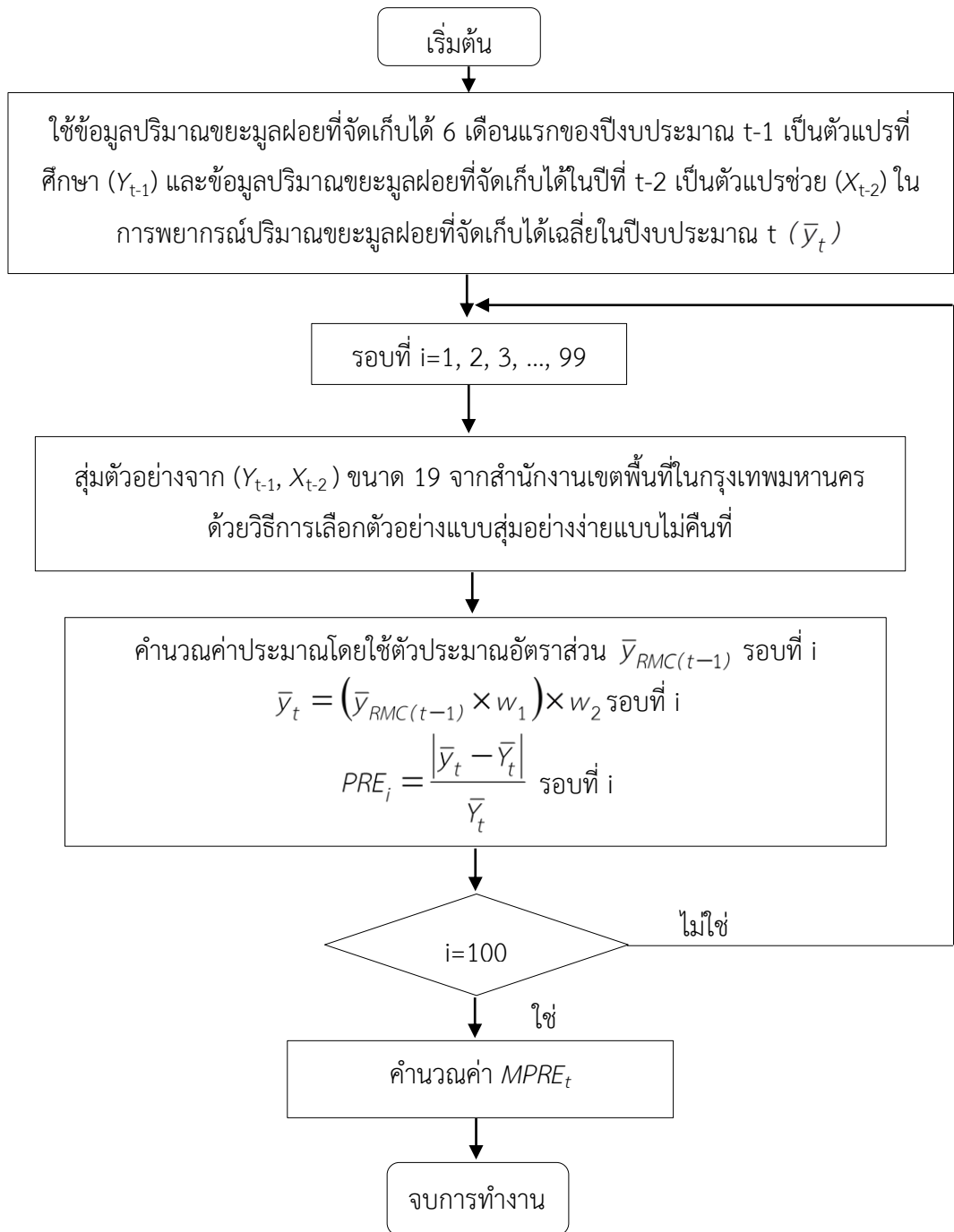
ในการพยากรณ์แต่ละปีงบประมาณ t จะเลือกตัวอย่างสำนักงานเขตพื้นที่จำนวน 19 แห่ง จากทั้งหมด 51 แห่งในปีงบประมาณ t-1 เพื่อรวบรวมข้อมูล (y_{t-1}, x_{t-2}) 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ ในการคำนวณ $\bar{y}_{RMC(t-1)}$ โดยในแต่ละปีงบประมาณจะเลือกตัวอย่างจำนวน 100 รอบ ในแต่ละรอบจะคำนวณค่า PRE_t เมื่อครบ 100 รอบ จึงคำนวณค่า $MPRE_t$ ขึ้นตอนของการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ t ด้วยตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไข ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) แสดงดังภาพที่ 3-8

ตัวอย่างการศึกษาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครในปีงบประมาณ 2553 ด้วยตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC(52)}$ โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2552 แสดงดังภาพที่ 3-9

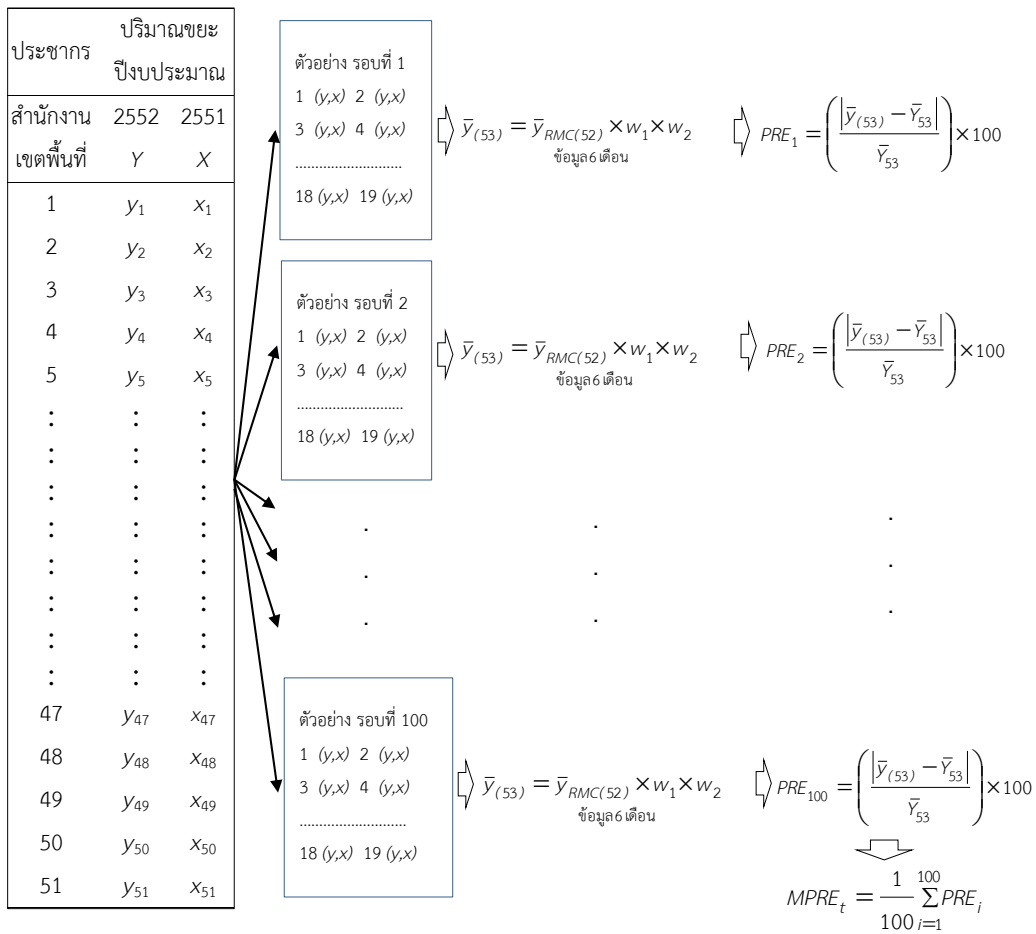
ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยในการพยากรณ์ ปีงบประมาณ t ($MPRE_t$) ดังสมการที่ 3.24 โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยในการพยากรณ์ ($MPRE$) ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยของการพยากรณ์ปีงบประมาณ t ($MPRE_t$)

		ปีงบประมาณ								
		2560	2559	2558	2557	2556	2555	2554	2553	$MPRE$
$MPRE_t$		$MPRE_{60}$	$MPRE_{59}$	$MPRE_{58}$	$MPRE_{57}$	$MPRE_{56}$	$MPRE_{55}$	$MPRE_{54}$	$MPRE_{53}$	



ภาพที่ 3-8 แผนผังขั้นตอนของการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ t ด้วยตัวประมาณ $\bar{y}_{RMC(t-1)}$ โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ



ภาพที่ 3-9 การศึกษาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปี
 ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2553 ด้วยตัวประมาณ
 $\bar{y}_{RMC(52)}$ โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2552

5.3 พยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปี ของสำนักงานเขตพื้นที่
 กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 หลังจากศึกษาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณ
 ขยะมูลฝอยในปีงบประมาณ 2553-2560 ด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} แล้ว จึงพยากรณ์ปริมาณขยะ
 มูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้
 ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ดังสมการที่ (3.26)

$$\bar{y}_{62} = (\bar{y}_{RMC(61)} \times w_1) \times w_2 \tag{3.26}$$

- เมื่อ \bar{y}_{62} คือ ค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยต่อปี ในปีงบประมาณ 2562
- w_1 คือ อัตราส่วนเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอย 12 เดือนต่อ 6 เดือนแรก
- w_2 คือ อัตราส่วนเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอยในปีงบประมาณ t ต่อ t-1

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการวิจัย เรื่อง การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยโดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด นำเสนอตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย แบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และ ตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p)

ตอนที่ 3 การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ปีงบประมาณ 2562

ก่อนการนำเสนอตอนที่ 1 ขอเสนอสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย ดังนี้

Y	คือ	ตัวแปรที่ศึกษา
X	คือ	ตัวแปรช่วย
N	คือ	ขนาดประชากร
n	คือ	ขนาดตัวอย่าง
\bar{X}, \bar{Y}	คือ	พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย
\bar{x}, \bar{y}	คือ	ตัวสถิติค่าเฉลี่ย
S_x^2, S_y^2	คือ	พารามิเตอร์ความแปรปรวน
S_x, S_y	คือ	พารามิเตอร์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Y_{max}, X_{max}	คือ	พารามิเตอร์ค่ามากที่สุด
Y_{min}, X_{min}	คือ	พารามิเตอร์ค่าน้อยสุด
M_d	คือ	พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย
$Bias(.)$	คือ	ความเอนเอียงของตัวประมาณ
$MSE(.)$	คือ	ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ

ตอนที่ 1 การพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

ขั้นตอนนี้เป็นผลการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) โดยใช้ตัวแปรช่วยตัวเดียว มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด

จากการศึกษาตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y} พบว่าเป็นตัวประมาณที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียง (Unbiased estimator) ถ้าในกรณีที่ข้อมูลการสำรวจตัวอย่างมีค่ามากที่สุดในประชากร (y_{max}) หรือมีค่าน้อยสุดในประชากร (y_{min}) ปะปนอยู่ด้วย ตัวประมาณ \bar{y} จะมีค่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไป Sandral (1972) จึงได้ปรับค่าตัวประมาณ \bar{y} ด้วยค่าคงที่ (c) และนำเสนอตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ดังสมการที่ (4.1)

$$\bar{y}_s = \begin{cases} \bar{y} + c & \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ แต่ไม่มี } y_{max} \\ \bar{y} - c & \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ แต่ไม่มี } y_{min} \\ \bar{y} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases} \quad (4.1)$$

การหาค่าตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย \bar{y} และ \bar{y}_s ใช้เพียงข้อมูลตัวแปรที่ศึกษาจากการสำรวจตัวอย่างเท่านั้น โดยไม่สนใจตัวแปรอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา หรือเรียกว่าตัวแปรช่วย (Auxiliary variable: X) Cochran (1977) ได้เสนอแนวคิดที่ว่า เมื่อตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวก ถ้าตัวอย่างที่ได้ให้ค่า \bar{y} เบี่ยงเบนจาก \bar{Y} แล้วค่า \bar{x} เบี่ยงเบนจาก \bar{X} เช่นกัน การปรับค่าของตัวประมาณ \bar{y} ด้วย \bar{X}/\bar{x} จะทำให้ค่าประมาณเบี่ยงเบนจาก \bar{Y} น้อยลง ทำให้ค่าประมาณใกล้เคียง \bar{Y} มากขึ้น และนำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) ดังสมการที่ (4.2)

$$\bar{y}_r = \bar{y} \frac{\bar{X}}{\bar{x}} \quad (4.2)$$

ในระยะเวลาที่ผ่านมา มีผู้นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิมของ Cochran โดยใช้ตัวแปรช่วยตัวเดียวมาปรับอย่างต่อเนื่อง ด้วยค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรช่วย เช่น สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (C_x) สัมประสิทธิ์ความโค้ง ($\beta_2(x)$) สัมประสิทธิ์ความเบ้ ($\beta_1(x)$) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ_{xy}) และมัธยฐาน (M_d) เป็นต้น จุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ

ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยทั้งสิ้น งานวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p) ที่นำเสนอในปี ค.ศ. 2013 โดยปรับจากตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิมด้วยพารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย ซึ่งเป็นค่ากลางที่มีความแกร่งต่อข้อมูลที่มีค่ามากหรือน้อยผิดปกติ และมีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนเป็นตัวประมาณเริ่มต้น (Initial estimator) เพื่อพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ปรับใหม่ ทั้งนี้ตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan ที่นำเสนอไว้ในรูปแบบ ดังสมการที่ (4.3)

$$\bar{y}_p = \bar{y} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} \quad (4.3)$$

จากการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิมอย่างต่อเนื่อง โดยปรับตัวประมาณด้วยพารามิเตอร์ของตัวแปรช่วย แต่ไม่ได้พิจารณาว่าหากข้อมูลสำรวจตัวอย่างมีค่ามากสุดในประชากรของตัวแปรที่ศึกษา (y_{max}) และตัวแปรช่วย (x_{max}) หรือค่าน้อยสุดในประชากรของตัวแปรที่ศึกษา (y_{min}) และตัวแปรช่วย (x_{min}) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยจะมีค่ามากหรือน้อยเกินไป Khan and Shabbir (2013) ได้นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยดั้งเดิม (\bar{y}_r) มาปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) โดยปรับค่าตัวประมาณ \bar{y} ของตัวแปรที่ศึกษาด้วยค่าคงที่ $c_1 = (y_{max} - y_{min})/2n$ และปรับค่าตัวประมาณ \bar{x} ของตัวแปรช่วยด้วยค่าคงที่ $c_2 = (x_{max} - x_{min})/2n$ ในปีต่อมา Al-Hossain and Khan (2014) ได้นำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่ใช้ตัวแปรช่วย 2 ตัว มาปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) โดยปรับค่าตัวประมาณ \bar{y} , \bar{x}_1 และ \bar{x}_2 ด้วยค่าคงที่ c_1 , c_2 และ c_3 ตามลำดับ Khan et al. (2015) ได้นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยที่พัฒนาต่อจากตัวประมาณอัตราส่วนดั้งเดิม มาปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากสุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) โดยปรับค่าตัวประมาณ \bar{y} ของตัวแปรที่ศึกษาด้วยค่าคงที่ c_1 และปรับค่าตัวประมาณ \bar{x} ของตัวแปรช่วยด้วยค่าคงที่ c_2 เช่นกัน จากนั้นประมาณความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับ 1 และหาค่าคงที่ที่ให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่พัฒนาน้อยที่สุดด้วยวิธีอนุพันธ์ย่อยของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณที่พัฒนาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนาด้วยการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณและค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยได้สรุปจุดเด่นและจุดด้อยของตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s , \bar{y}_r , \bar{y}_p และ \bar{y}_{RMC} ดังตารางที่ 4-1 และแนวคิดของการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ดังภาพที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 จุดเด่นและจุดด้อยของตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s , \bar{y}_r , \bar{y}_p และ \bar{y}_{RMC}

ตัวประมาณ	จุดเด่น	จุดด้อย
\bar{y}	<ol style="list-style-type: none"> เป็นตัวประมาณที่มีรูปแบบไม่ซับซ้อน และง่ายต่อการอธิบาย เป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียง 	<ol style="list-style-type: none"> เป็นตัวประมาณที่ไวต่อข้อมูลที่มีค่ามาก หรือน้อยเกินไป ไม่ได้นำตัวแปรช่วยที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษามาร่วมประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย
\bar{y}_s	<ol style="list-style-type: none"> ปรับตัวประมาณ \bar{y} ด้วยค่าคงที่ c เป็น $\bar{y} + c$ กรณีมีค่า y_{min} และ $\bar{y} - c$ กรณีมีค่า y_{max} ของข้อมูลประชากรในข้อมูลสำรวจตัวอย่าง ให้ค่า $MSE(\bar{y}_s)$ น้อยกว่า $MSE(\bar{y})$ 	ไม่ได้นำตัวแปรช่วยที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษามาร่วมประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย
\bar{y}_r	<ol style="list-style-type: none"> ปรับตัวประมาณ \bar{y} ด้วย \bar{X}/\bar{x} ของตัวแปรช่วยที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาเป็น $\bar{y} \frac{\bar{X}}{\bar{x}}$ ให้ค่า $MSE(\bar{y}_r)$ น้อยกว่า $MSE(\bar{y})$ ภายใต้ข้อจำกัด 	ไม่ได้นำสารสนเทศของตัวแปรช่วย เช่น ค่ามัธยฐานของตัวแปรช่วย มาร่วมประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย
\bar{y}_p	<ol style="list-style-type: none"> นำสารสนเทศของตัวแปรช่วยคือค่ามัธยฐานซึ่งเป็นค่ากลางที่มีความแปรปรวนต่อค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด 	ไม่ได้ปรับค่า \bar{y} และ \bar{x} ด้วยค่าคงที่กรณีมีค่า y_{max} และค่า x_{max} กรณีมีค่า y_{min} และค่า x_{min} ของข้อมูลประชากรในข้อมูลสำรวจตัวอย่าง

$$\text{มาปรับตัวประมาณ } \bar{y}_r \text{ เป็น } \bar{y} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d}$$

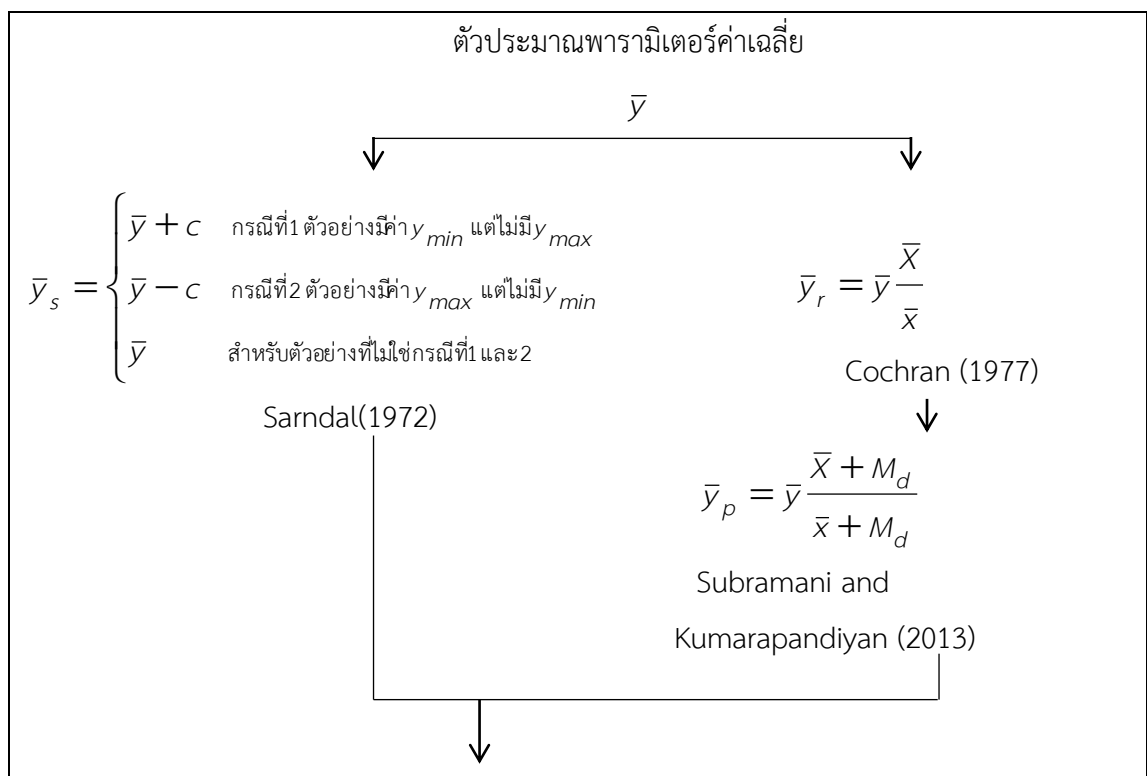
2. ให้ค่า $MSE(\bar{y}_p)$ น้อยกว่า $MSE(\bar{y})$ $MSE(\bar{y}_r)$ และ

MSE ของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์

ค่าเฉลี่ยตัวอื่นที่นำสารสนเทศของตัวแปรช่วย

มาปรับตัวประมาณ \bar{y}_r ภายใต้ข้อจำกัดบางประการ

- \bar{y}_{RMC}
- ปรับค่า \bar{y} และ \bar{x} ในตัวประมาณ \bar{y}_p ด้วยด้วยค่าคงที่ c_1 และค่าคงที่ c_2 เป็น $\bar{y} + c_1$ และ $\bar{x} + c_2$ กรณีมีค่า (y_{min}, x_{min}) แต่ไม่มี (y_{max}, x_{max}) ของประชากรในข้อมูลสำรวจตัวอย่าง
 - ปรับค่า \bar{y} และ \bar{x} ในตัวประมาณ \bar{y}_p ด้วยด้วยค่าคงที่ c_1 และค่าคงที่ c_2 เป็น $\bar{y} - c_1$ และ $\bar{x} - c_2$ กรณีมีค่า (y_{max}, x_{max}) แต่ไม่มี (y_{min}, x_{min}) ของประชากรในข้อมูลสำรวจตัวอย่าง
 - ไม่ปรับค่า \bar{y} และ \bar{x} ในตัวประมาณ \bar{y}_p กรณีข้อมูลสำรวจตัวอย่างไม่เป็นตามข้อ 1 และ 2



$$\bar{y}_{RMC} = \begin{cases} (\bar{y} + c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} + c_2) + M_d} & \text{กรณีที่1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ (\bar{y} - c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} - c_2) + M_d} & \text{กรณีที่2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \bar{y} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่1 และ2} \end{cases}$$

ภาพที่ 4-1 แผนผังของการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด

ด้วยแนวคิดดังกล่าว ผู้วิจัยจึงนำเสนอตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) โดยนำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของ Subramani and Kumarapandiyan (2013) มาปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด ตามแนวคิดของ Sarndal (1972) ดังสมการที่ (4.4)

$$\bar{y}_{RMC} = \begin{cases} (\bar{y} + c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} + c_2) + M_d} & \text{กรณีที่1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ (\bar{y} - c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} - c_2) + M_d} & \text{กรณีที่2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \bar{y} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่1 และ2} \end{cases} \quad (4.4)$$

เมื่อ c_1, c_2 คือ ค่าคงที่ที่ให้ค่า $MSE(\bar{y}_{RMC})$ น้อยที่สุด

\bar{X} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย

\bar{x} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย

\bar{y} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา

M_d คือ พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย

y_{max} คือ พารามิเตอร์ค่ามากที่สุดของตัวแปรที่ศึกษา

y_{min} คือ พารามิเตอร์ค่าน้อยสุดของตัวแปรที่ศึกษา

x_{max} คือ พารามิเตอร์ค่ามากที่สุดของตัวแปรช่วย

x_{min} คือ พารามิเตอร์ค่าน้อยสุดของตัวแปรช่วย

2. ผลการหาสมการ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ ด้วยวิธีการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ ตีกรี่อันดับ 1

ขั้นตอนนี้เป็นผลการหาสมการ $Bias(\bar{y}_{RMC})$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ โดยใช้วิธีการกระจายเทอมโพลีโนเมียลของอนุกรมเทย์เลอร์ตีกรี่อันดับหนึ่ง (Sisodia & Dwivedi, 1981; Singh & Kakran, 1993; Upadhyaya & Singh, 1999; Singh & Tailor, 2003; Yan & Tian, 2010; Subramani & Kumarapandiyan, 2013; Khan & Shabbir, 2013; Al-Hossain & Khan, 2014; Khan et al., 2015) เพื่อหาสมการ $Bias(\bar{y}_{RMC})$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ ดังนี้

จากตัวประมาณที่นำเสนอ แบ่งตัวประมาณเป็น 3 กรณี ดังนี้

$$\bar{y}_{RMC} = \begin{cases} (\bar{y} + c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} + c_2) + M_d} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \end{array} \\ (\bar{y} - c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} - c_2) + M_d} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \end{array} \\ \frac{\bar{y} \bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่1และ2} \end{cases}$$

การหา $MSE(\bar{y}_{RMC})$ ต้องพิจารณาทั้ง 3 กรณี จึงแทนตัวประมาณด้วยสมการที่ (4.5)

$$\bar{y}_{RMC} = \bar{y}_{c1} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x}_{c2} + M_d} \quad (4.5)$$

เมื่อ

$$\bar{y}_{c1} = \begin{cases} \bar{y} + c_1 & \text{กรณีที่1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ แต่ไม่มี } y_{max} \\ \bar{y} - c_1 & \text{กรณีที่2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ แต่ไม่มี } y_{min} \\ \bar{y} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่1และ2} \end{cases} \quad \bar{x}_{c2} = \begin{cases} \bar{x} + c_2 & \text{กรณีที่1 ตัวอย่างมีค่า } x_{min} \text{ แต่ไม่มี } x_{max} \\ \bar{x} - c_2 & \text{กรณีที่2 ตัวอย่างมีค่า } x_{max} \text{ แต่ไม่มี } x_{min} \\ \bar{x} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่1และ2} \end{cases}$$

เนื่องจาก $MSE(\bar{y}_{RMC}) = E(\bar{y}_{RMC} - \bar{Y})^2$

ดังนั้นการหา $MSE(\bar{y}_{RMC}) = E(\bar{y}_{c1} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x}_{c2} + M_d} - \bar{Y})^2$ เป็นเรื่องไม่่ง่ายนัก

เพื่อความสะดวกจึงกำหนดให้ $e_0 = \frac{\bar{y}_{c1} - \bar{Y}}{\bar{Y}}$ และ $e_1 = \frac{\bar{x}_{c2} - \bar{X}}{\bar{X}}$ แล้วแทนค่าในสมการที่ (4.5)

จะได้สมการที่ (4.6)

$$\begin{aligned}
\bar{y}_{RMC} &= \bar{Y}(1+e_0) \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{X}(1+e_1) + M_d} \\
&= \bar{Y}(1+e_0) \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{X} + M_d + \bar{X}e_1} \quad \text{กำหนด } \alpha = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + M_d} \\
&= \bar{Y}(1+e_0) \frac{\frac{\bar{X}}{\alpha}}{\frac{\bar{X}}{\alpha} + \bar{X}e_1} \\
&= \bar{Y}(1+e_0) \frac{1}{1 + \alpha e_1} \\
&= \bar{Y}(1+e_0) \left(\frac{1}{\alpha} \right) \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha e_1} \right)
\end{aligned} \tag{4.6}$$

$$\bar{y}_{RMC} = \bar{Y}(1+e_0)(1 + \alpha e_1)^{-1}$$

ทฤษฎีบท 1 ให้ $U = (U_1, U_2, \dots, U_N)$ เป็นประชากรขนาด N และ (y_i, x_i) เป็นค่าของตัวแปรที่ศึกษา (Y) และค่าของตัวแปรช่วย (X) คู่ที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, N$ ภายใต้การเลือกตัวอย่างอย่างสุ่มแบบไม่แทนที่ ความเอนเอียง และความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ดังสมการที่ (4.7) และ (4.8)

$$\begin{aligned}
Bias(\bar{y}_{RMC}) &= \frac{\lambda\beta}{\bar{Y}} \left[\beta \left(S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right) - S_{xy} \right. \\
&\quad \left. + \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right] \tag{4.7}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
MSE(\bar{y}_{RMC}) &= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{2n}{N-1} \left((c_1 - c_2\beta)(y_{max} - y_{min}) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \beta(x_{max} - x_{min}) - n(c_1 - c_2\beta) \right) \right] \tag{4.8}
\end{aligned}$$

เมื่อ c_1, c_2 คือ ค่าคงที่ และ $\beta = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + M_d}$ และ $\lambda = \frac{1}{n} - \frac{1}{N}$

พิสูจน์ จาก $\bar{y}_{RMC} = \bar{Y}(1+e_0)(1+\alpha e_1)^{-1}$ กระจายเทอม $(1+\alpha e_1)^{-1}$ โดยใช้อนุกรมเทย์เลอร์อันดับ 1 ของการประมาณ (First Order of Approximation) เพื่อประมาณความเอนเอียงและความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} สอดคล้องกับการศึกษาของ Sisodia and Dwivedi (1981), Singh and Kakran (1993), Upadhyaya and Singh (1999), Singh and Tailor (2003), Yan and Tian (2010), Subramani and Kumarapandiyan (2013), Khan and Shabbir (2013), Al-Hossain and Khan (2014) และ Khan et al. (2015) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\bar{y}_{RMC} &= \bar{Y}(1+e_0)(1-\alpha e_1 + \alpha^2 e_1^2 + \dots); \text{ตัดเทอมกำลังมากกว่า 2} \\ &= \bar{Y}(1+e_0 - \alpha e_1 - \alpha e_0 e_1 + \alpha^2 e_1^2 + \alpha^2 e_1^2 e_0 + \dots) \\ &= \bar{Y}(1+e_0 - \alpha e_1 - \alpha e_0 e_1 + \alpha^2 e_1^2); \text{ตัดเทอมกำลังมากกว่า 2}\end{aligned}$$

นำ \bar{Y} ลบออกทั้งสองข้างของสมการและกระจาย \bar{Y} ในเทอมด้านขวา

$$\begin{aligned}\bar{y}_{RMC} - \bar{Y} &= \bar{Y}(e_0 - \alpha e_1 - \alpha e_0 e_1 + \alpha^2 e_1^2) \\ &= \bar{Y}e_0 - \bar{Y}\alpha e_1 - \bar{Y}\alpha e_0 e_1 + \bar{Y}\alpha^2 e_1^2\end{aligned}$$

เนื่องจาก $Bias(\bar{y}_{RMC}) = E(\bar{y}_{RMC} - \bar{Y})$ ดังนั้น

$$\begin{aligned}E(\bar{y}_{RMC} - \bar{Y}) &= E(\bar{Y}e_0 - \bar{Y}\alpha e_1 - \bar{Y}\alpha e_0 e_1 + \bar{Y}\alpha^2 e_1^2) \\ &= \bar{Y}E(e_0) - \bar{Y}\alpha E(e_1) - \bar{Y}\alpha E(e_0 e_1) + \bar{Y}\alpha^2 E(e_1^2)\end{aligned}\tag{4.9}$$

หาค่า $E(e_0)$, $E(e_1)$, $E(e_0 e_1)$ และ $E(e_1^2)$ เพื่อแทนกลับไปในสมการที่ (4.9)

$$\begin{aligned}E(e_0) &= E\left(\frac{\bar{y}_{c1} - \bar{Y}}{\bar{Y}}\right) \\ &= \frac{1}{\bar{Y}}[E(\bar{y}_{c1}) - E(\bar{Y})]\end{aligned}$$

เนื่องจาก \bar{y}_{c1} เป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ \bar{Y} ดังนั้น $E(\bar{y}_{c1}) = \bar{Y}$ (Sampath, 2005)

$$\begin{aligned}
E(e_0) &= \frac{1}{\bar{Y}} [E(\bar{y}_{c1}) - E(\bar{Y})] \\
&= \frac{1}{\bar{Y}} (\bar{Y} - \bar{Y})
\end{aligned} \tag{4.10}$$

$$E(e_0) = 0$$

เนื่องจาก \bar{x}_{c2} เป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ \bar{X} ดังนั้น $E(\bar{x}_{c2}) = \bar{X}$ (Sampath, 2005)

$$\begin{aligned}
E(e_1) &= E\left(\frac{\bar{x}_{c2} - \bar{X}}{\bar{X}}\right) \\
&= \frac{1}{\bar{X}} [E(\bar{x}_{c2}) - E(\bar{X})] \\
&= \frac{1}{\bar{X}} (\bar{X} - \bar{X})
\end{aligned} \tag{4.11}$$

$$E(e_1) = 0$$

$$\begin{aligned}
E(e_1^2) &= E\left(\frac{\bar{x}_{c2} - \bar{X}}{\bar{X}}\right)^2 \\
&= \frac{1}{\bar{X}^2} E(\bar{x}_{c2} - \bar{X})^2 \\
&= \frac{1}{\bar{X}^2} V(\bar{x}_{c2})
\end{aligned}$$

เนื่องจาก $V(\bar{x}_{c2}) = \frac{N-n}{N} \left(\frac{S_x^2}{n} - \frac{2c_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right)$ (Sampath, 2005)

$$\begin{aligned}
E(e_1^2) &= \frac{1}{\bar{X}^2} \left[\frac{N-n}{N} \left(\frac{S_x^2}{n} - \frac{2c_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right) \right] \\
&= \frac{N-n}{\bar{X}^2 N} \left[\frac{S_x^2}{n} - \frac{2c_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right]
\end{aligned}$$

กำหนด $\lambda = \frac{1}{n} - \frac{1}{N} = \frac{N-n}{nN}$ จะได้

$$E(e_1^2) = \frac{\lambda}{\bar{X}^2} \left[S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right] \tag{4.12}$$

$$\begin{aligned}
E(e_0e_1) &= E \left[\left(\frac{\bar{y}_{c1} - \bar{Y}}{\bar{Y}} \right) \left(\frac{\bar{x}_{c2} - \bar{X}}{\bar{X}} \right) \right] \\
&= \frac{1}{\bar{Y}\bar{X}} E(\bar{y}_{c1} - \bar{Y})(\bar{x}_{c2} - \bar{X}) \\
&= \frac{1}{\bar{Y}\bar{X}} COV(\bar{y}_{c1}, \bar{x}_{c2})
\end{aligned} \tag{4.13}$$

จากการศึกษาของ Khan and Shabbir (2013) พบว่า

$$COV(\bar{y}_{c1}, \bar{x}_{c2}) = \lambda S_{yx} - \frac{n\lambda}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2)$$

แทนค่า $COV(\bar{y}_{c1}, \bar{x}_{c2})$ ในสมการที่ (4.13)

$$\begin{aligned}
E(e_0e_1) &= \frac{1}{\bar{Y}\bar{X}} COV(\bar{y}_{c1}, \bar{x}_{c2}) \\
&= \frac{1}{\bar{Y}\bar{X}} \left[\lambda S_{yx} - \frac{n\lambda}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right] \\
&= \frac{\lambda}{\bar{Y}\bar{X}} \left[S_{yx} - \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right]
\end{aligned} \tag{4.14}$$

แทนสมการที่ (4.10) และ (4.11) ในสมการที่ (4.9) จะได้สมการที่ (4.15)

$$E(\bar{y}_{RMC} - \bar{Y}) = Bias(\bar{y}_{RMC}) = \bar{Y}\alpha^2 E(e_1^2) - \bar{Y}\alpha E(e_0e_1) \tag{4.15}$$

แทนสมการที่ (4.12) และ (4.14) ในเทอมด้านขวาของสมการที่ (4.15) จะได้ สมการที่ (4.16) และ (4.17)

$$\begin{aligned}
\bar{Y}\alpha^2 E(e_1^2) &= \bar{Y}\alpha^2 \frac{\lambda}{\bar{X}^2} \left[S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right]; \text{ แทนค่า } \alpha = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + M_d} \\
&= \bar{Y} \left(\frac{\bar{X}}{\bar{X} + M_d} \right)^2 \frac{\lambda}{\bar{X}^2} \left[S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right] \\
&= \frac{\bar{Y} \bar{X}^2 \lambda}{(\bar{X} + M_d)^2 \bar{X}^2} \left[S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right]; \text{ ตัดเทอม } \bar{X}^2 \\
&= \frac{\bar{Y} \lambda}{(\bar{X} + M_d)^2} \left[S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right]
\end{aligned} \tag{4.16}$$

$$\begin{aligned}
\bar{Y}\alpha E(e_0 e_1) &= \bar{Y}\alpha \frac{\lambda}{\bar{Y}\bar{X}} \left[S_{yx} - \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right] \\
&= \bar{Y} \left(\frac{\bar{X}}{\bar{X} + M_d} \right) \frac{\lambda}{\bar{Y}\bar{X}} \left[S_{yx} - \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) \right. \\
&\quad \left. - 2nc_1c_2) \right] \\
&= \frac{\bar{Y}\bar{X}\lambda}{(\bar{X} + M_d)\bar{Y}\bar{X}} \left[S_{yx} - \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) \right. \\
&\quad \left. - 2nc_1c_2) \right]; \text{ ตัดเทอม } \bar{Y}\bar{X} \\
&= \frac{\lambda}{\bar{X} + M_d} \left[S_{yx} - \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right]
\end{aligned} \tag{4.17}$$

แทนค่าสมการที่ (4.16) และ (4.17) ในสมการที่ (4.15) $Bias(\bar{Y}_{RMC})$ แสดงดังสมการที่ (4.18)

$$\begin{aligned}
Bias(\bar{y}_{RMC}) &= \frac{\bar{y} \lambda}{(\bar{X} + M_d)^2} \left[S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right] \\
&\quad - \frac{\lambda}{\bar{X} + M_d} \left[S_{yx} - \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right]; \\
&\quad \text{ดึงตัวร่วม } \frac{\lambda}{\bar{X} + M_d} \text{ ออก} \\
&= \frac{\lambda}{\bar{X} + M_d} \left[\frac{\bar{y}}{\bar{X} + M_d} \left(S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right) - S_{yx} \right. \\
&\quad \left. + \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right] \\
&= \frac{\lambda \left(\frac{\bar{y}}{\bar{X} + M_d} \right)}{\bar{y}} \left[\frac{\bar{y}}{\bar{X} + M_d} \left(S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right) - S_{yx} \right. \\
&\quad \left. + \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right]
\end{aligned}$$

ดังนั้น ความเอนเอียงของตัวประมาณ $Bias(\bar{y}_{RMC})$ ดังสมการที่ (4.18)

$$\begin{aligned}
Bias(\bar{y}_{RMC}) &= \frac{\lambda\beta}{\bar{y}} \left[\beta \left(S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right) - S_{xy} \right. \\
&\quad \left. + \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right] \tag{4.18}
\end{aligned}$$

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{\bar{y}}{\bar{X} + M_d} \text{ และ } \lambda = \frac{1}{n} - \frac{1}{N}$$

ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ $MSE(\bar{y}_{RMC})$

$$\begin{aligned}
 MSE(\bar{y}_{RMC}) &= E(\bar{y}_{RMC} - \bar{Y})^2 \\
 &\cong E(\bar{Y}e_0 - \bar{Y}\alpha e_1 - \bar{Y}\alpha e_0 e_1 + \bar{Y}\alpha^2 e_1^2)^2 \\
 &= E\left[(\bar{Y}e_0)^2 + (\bar{Y}\alpha e_1)^2 + (\bar{Y}\alpha e_0 e_1)^2 + (\bar{Y}\alpha^2 e_1^2)^2 - 2(\bar{Y}^2\alpha e_0 e_1) \right. \\
 &\quad \left. - 2(\bar{Y}^2\alpha e_0^2 e_1) + 4(\bar{Y}^2\alpha^2 e_0 e_1^2) - 2(\bar{Y}^2\alpha^3 e_1^3) - 2(\bar{Y}^2\alpha^3 e_0 e_1^3) \right] \\
 &= E\left[\bar{Y}^2 e_0^2 + \bar{Y}^2 \alpha^2 e_1^2 + \bar{Y}^2 \alpha^2 e_0^2 e_1^2 + \bar{Y}^2 \alpha^4 e_1^4 - 2(\bar{Y}^2 \alpha e_0 e_1) \right. \\
 &\quad \left. - 2(\bar{Y}^2 \alpha e_0^2 e_1) + 4(\bar{Y}^2 \alpha^2 e_0 e_1^2) - 2(\bar{Y}^2 \alpha^3 e_1^3) - 2(\bar{Y}^2 \alpha^3 e_0 e_1^3) \right]
 \end{aligned}$$

ตัดเทอมที่กำลังมากกว่า 2 ออก จะได้สมการที่ (4.19)

$$\begin{aligned}
 MSE(\bar{y}_{RMC}) &\cong E\left[\bar{Y}^2 e_0^2 + \bar{Y}^2 \alpha^2 e_1^2 - 2(\bar{Y}^2 \alpha e_0 e_1) \right] \\
 &= \bar{Y}^2 E(e_0^2) + \bar{Y}^2 \alpha^2 E(e_1^2) - 2\bar{Y}^2 \alpha E(e_0 e_1) \tag{4.19}
 \end{aligned}$$

หาค่า $E(e_0^2)$, $E(e_1^2)$ และ $E(e_0 e_1)$ เพื่อแทนกลับไปในสมการที่ (4.19)

$$\begin{aligned}
 E(e_0^2) &= E\left(\frac{\bar{y}_{c1} - \bar{Y}}{\bar{Y}} \right)^2 \\
 &= \frac{1}{\bar{Y}^2} E(\bar{y}_{c1} - \bar{Y})^2 \\
 &= \frac{1}{\bar{Y}^2} V(\bar{y}_{c1})
 \end{aligned}$$

เนื่องจาก $V(\bar{y}_{c1}) = \frac{N-n}{N} \left(\frac{S_y^2}{n} - \frac{2c_1}{N-1} (y_{max} - y_{min} - nc_1) \right)$ (Sampath, 2005)

$$\begin{aligned}
 E(e_0^2) &= \frac{1}{\bar{Y}^2} \left[\frac{N-n}{N} \left(\frac{S_y^2}{n} - \frac{2c_1}{N-1} (y_{max} - y_{min} - nc_1) \right) \right] \\
 &= \frac{\lambda}{\bar{Y}^2} \left[S_y^2 - \frac{2nc_1}{N-1} (y_{max} - y_{min} - nc_1) \right] \tag{4.20}
 \end{aligned}$$

แทนค่าสมการที่ (4.12) (4.13) และ (4.20) ในเทอมด้านขวาของสมการที่ (4.19) จะได้สมการที่ (4.21), (4.22) และ (4.23)

$$\begin{aligned}
 \bar{Y}^2 E(e_0^2) &= \bar{Y}^2 \frac{\lambda}{\bar{Y}^2} \left[S_y^2 - \frac{2nc_1}{N-1} (y_{max} - y_{min} - nc_1) \right] \\
 &= \lambda \left[S_y^2 - \frac{2nc_1}{N-1} (y_{max} - y_{min} - nc_1) \right] \\
 &= \lambda S_y^2 - \frac{\lambda 2nc_1}{N-1} (y_{max} - y_{min} - nc_1) \tag{4.21}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{Y} \alpha^2 E(e_1^2) &= \bar{Y}^2 \alpha^2 \frac{\lambda}{\bar{X}^2} \left[S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right]; \text{แทนค่า } \alpha = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + M_d} \\
 &= \bar{Y}^2 \left(\frac{\bar{X}}{\bar{X} + M_d} \right)^2 \frac{\lambda}{\bar{X}^2} \left[S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right] \\
 &= \bar{Y}^2 \frac{\bar{X}^2}{(\bar{X} + M_d)^2} \frac{\lambda}{\bar{X}^2} \left[S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right]; \text{ตัดเทอม } \bar{X}^2 \\
 &= \frac{\bar{Y}^2 \lambda}{(\bar{X} + M_d)^2} \left[S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right]; \text{แทน } \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + M_d} \text{ ด้วย } \beta \\
 &= \beta^2 \lambda S_x^2 - \frac{\beta^2 \lambda 2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \tag{4.22}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2\bar{Y}^2 \alpha E(e_0 e_1) &= 2\bar{Y}^2 \alpha \frac{\lambda}{\bar{Y} \bar{X}} \left[S_{yx} - \frac{n}{N-1} \left(c_1 (x_{max} - x_{min}) + c_2 (y_{max} - y_{min}) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - 2nc_1 c_2 \right) \right]; \text{แทนค่า } \alpha = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + M_d} \\
 &= 2\bar{Y}^2 \left(\frac{\bar{X}}{\bar{X} + M_d} \right) \frac{\lambda}{\bar{Y} \bar{X}} \left[S_{yx} - \frac{n}{N-1} \left(c_1 (x_{max} - x_{min}) + c_2 (y_{max} - y_{min}) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - 2nc_1 c_2 \right) \right]; \text{ตัดเทอม } \bar{Y} \bar{X}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2\bar{Y}\lambda}{\bar{X} + M_d} \left[S_{yx} - \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right] \\
&= 2\lambda\beta \left[S_{yx} - \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right] \\
&= 2\lambda\beta S_{yx} - \frac{2n\lambda\beta}{N-1} c_1(x_{max} - x_{min}) - \frac{2n\lambda\beta}{N-1} c_2(y_{max} - y_{min}) + \frac{2n\lambda\beta}{N-1} 2nc_1c_2
\end{aligned} \tag{4.23}$$

แทนค่าสมการที่ (4.21), (4.22) และ (4.23) ในสมการที่ (4.19) จะได้

$$MSE(\bar{y}_{RMC}) = \bar{Y}^2 E(e_0^2) + \bar{Y}^2 \alpha^2 E(e_1^2) - 2\bar{Y}^2 \alpha E(e_0 e_1)$$

$$\begin{aligned}
MSE(\bar{y}_{RMC}) &= \lambda S_y^2 - \frac{\lambda 2nc_1}{N-1} (y_{max} - y_{min} - nc_1) \\
&\quad + \beta^2 \lambda S_x^2 - \frac{\beta^2 \lambda 2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) - 2\lambda\beta S_{yx} \\
&\quad + \frac{2n\lambda\beta}{N-1} c_1(x_{max} - x_{min}) + \frac{2n\lambda\beta}{N-1} c_2(y_{max} - y_{min}) - \frac{2n\lambda\beta}{N-1} 2nc_1c_2; \\
&\text{ดึงตัวร่วม } \lambda \\
&= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{2nc_1}{N-1} (y_{max} - y_{min} - nc_1) \right. \\
&\quad \left. - \frac{\beta^2 2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right. \\
&\quad \left. + \frac{2n\beta}{N-1} c_1(x_{max} - x_{min}) + \frac{2n\beta}{N-1} c_2(y_{max} - y_{min}) - \frac{2n\beta}{N-1} 2nc_1c_2 \right]; \\
&\text{ดึงตัวร่วม } \frac{2n}{N-1} \\
&= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{2n}{N-1} \left(c_1(y_{max} - y_{min} - nc_1) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \beta^2 c_2(x_{max} - x_{min} - nc_2) - \beta c_1(x_{max} - x_{min}) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \beta c_2(y_{max} - y_{min}) + 2n\beta c_1c_2 \right) \right]; \\
&\text{จัดเทอมให้อยู่ในรูป } (y_{max} - y_{min}) \text{ และ } (x_{max} - x_{min})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{2n}{N-1} \left(c_1(y_{max} - y_{min}) - nc_1^2 \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \beta^2 c_2(x_{max} - x_{min}) - nc_2^2 \beta^2 - \beta c_1(x_{max} - x_{min}) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \beta c_2(y_{max} - y_{min}) + 2n\beta c_1 c_2 \right) \right]; \\
&\quad \text{ดึงตัวร่วม } (y_{max} - y_{min}) \text{ และ } (x_{max} - x_{min}) \\
&= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{2n}{N-1} \left((c_1 - c_2\beta)(y_{max} - y_{min}) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + (c_2\beta^2 - c_1\beta)(x_{max} - x_{min}) - n(c_1^2 + c_2^2\beta^2 - 2\beta c_1 c_2) \right) \right]; \\
&\quad \text{ดึงตัวร่วม } \beta \text{ ในเทอมที่ 4 และจัดเทอมสุดท้ายในรูปกำลังสองสมบูรณ์} \\
&= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{2n}{N-1} \left((c_1 - c_2\beta)(y_{max} - y_{min}) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \beta(c_2\beta - c_1)(x_{max} - x_{min}) - n(c_1 - c_2\beta)^2 \right) \right] \\
&= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{2n}{N-1} \left((c_1 - c_2\beta)(y_{max} - y_{min}) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - (c_1 - c_2\beta)\beta(x_{max} - x_{min}) - n(c_1 - c_2\beta)^2 \right) \right]; \\
&\quad \text{ดึงตัวร่วม } c_1 - c_2\beta \text{ ในเทอมที่ 2, 3 และ 4} \\
&= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{2n}{N-1} \left((c_1 - c_2\beta) \left((y_{max} - y_{min}) \right. \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \left. - \beta(x_{max} - x_{min}) - n(c_1 - c_2\beta) \right) \right) \right]
\end{aligned}$$

ดังนั้นความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ ดังสมการที่ (4.24)

$$\begin{aligned}
MSE(\bar{y}_{RMC}) &= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{2n}{N-1} \left((c_1 - c_2\beta) \left((y_{max} - y_{min}) \right. \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \left. - \beta(x_{max} - x_{min}) - n(c_1 - c_2\beta) \right) \right) \right] \\
&\quad \text{เมื่อ } \beta = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + M_d} \text{ และ } \lambda = \frac{1}{n} - \frac{1}{N}
\end{aligned} \tag{4.24}$$

3. ผลการคำนวณค่าคงที่ c_1 และ c_2 ที่ให้ค่า $MSE(\bar{y}_{RMC})$ น้อยที่สุด

ขั้นตอนนี้เป็นผลการคำนวณค่าคงที่ c_1 และ c_2 ที่ให้ค่า $Bias(\bar{y}_{RMC})$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ น้อยที่สุดด้วยวิธีการอนุพันธ์ย่อยของ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ เทียบกับค่า c_1 และ c_2 แล้วกำหนดอนุพันธ์ย่อยที่ได้เท่ากับศูนย์ แก่สมการที่เพื่อหาค่า c_1 และ c_2 แล้วแทนค่ากลับในสมการ $Bias(\bar{y}_{RMC})$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ เพื่อหาค่า $Bias(\bar{y}_{RMC})$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ ที่มีค่าต่ำสุด (Khan & Shabbir, 2013; Al-Hossain & Khan, 2014; Khan et al., 2015)

อนุพันธ์ย่อยของ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ เทียบกับค่า c_1 และ c_2 แล้วกำหนดอนุพันธ์ย่อยที่ได้เท่ากับศูนย์ ดังสมการที่ (4.25) และ (4.26)

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

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

$$\text{ดังนั้น } (y_{max} - y_{min}) - 2n(c_1 - c_2\beta) - \beta(x_{max} - x_{min}) = 0 \quad (4.25)$$

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

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

$$\text{ดังนั้น } \frac{2n\beta}{N-1} \left[(y_{max} - y_{min}) - 2n(c_1 - c_2\beta) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right] = 0$$

$$(y_{max} - y_{min}) - 2n(c_1 - c_2\beta) - \beta(x_{max} - x_{min}) = 0 \quad (4.26)$$

จากสมการที่ (4.25) และ (4.26) มีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 2 ตัว คือ c_1 และ c_2 แต่มีสมการที่เพียงสมการที่เดียว ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ของค่า c_1 และ c_2 คือสมการที่ (4.27) ซึ่งสอดคล้องกับ Sandral (1972) Khan and Shabbir (2013); Al-Hossain and Khan (2014) และ Khan et al. (2015)

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

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

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

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

$$\therefore c_1 = \frac{(y_{max} - y_{min})}{2n} \therefore c_2\beta = \frac{\beta(x_{max} - x_{min})}{2n} \text{ หรือ } c_2 = \frac{(x_{max} - x_{min})}{2n} \quad (4.27)$$

แทนค่า $c_1 = (y_{max} - y_{min})/2n$ และ $c_2 = (x_{max} - x_{min})/2n$ ใน $Bias(\bar{y}_{RMC})$ และ

$MSE(\bar{y}_{RMC})$ จะได้ $Bias(\bar{y}_{RMC})_{min}$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})_{min}$ ดังสมการที่ (4.28) และ (4.29)

จากความเอนเอียงของ \bar{y}_{RMC} คือ

$$Bias(\bar{y}_{RMC}) = \frac{\lambda\beta}{\bar{Y}} \left[\beta \left(S_x^2 - \frac{2nc_2}{N-1} (x_{max} - x_{min} - nc_2) \right) - S_{xy} \right. \\ \left. + \frac{n}{N-1} (c_1(x_{max} - x_{min}) + c_2(y_{max} - y_{min}) - 2nc_1c_2) \right]$$

กำหนดให้ $u = y_{max} - y_{min}$ และ $v = x_{max} - x_{min}$ จะได้ว่า

$$Bias(\bar{y}_{RMC}) = \frac{\lambda\beta}{\bar{Y}} \left[\beta \left(S_x^2 - \frac{2nv}{2n(N-1)} \left(v - \frac{nv}{2n} \right) \right) - S_{xy} + \frac{n}{N-1} \left(\frac{uv}{2n} + \frac{vu}{2n} - \frac{2n uv}{(2n)(2n)} \right) \right] \\ = \frac{\lambda\beta}{\bar{Y}} \left[\beta \left(S_x^2 - \frac{v}{(N-1)} \left(\frac{2v-v}{2} \right) \right) - S_{xy} + \frac{n}{N-1} \left(\frac{2uv}{2n} - \frac{uv}{2n} \right) \right] \\ = \frac{\lambda\beta}{\bar{Y}} \left[\beta \left(S_x^2 - \frac{v^2}{2(N-1)} \right) - S_{xy} + \frac{n}{N-1} \left(\frac{uv}{2n} \right) \right] \\ = \frac{\lambda\beta}{\bar{Y}} \left[\beta \left(S_x^2 - \frac{v^2}{2(N-1)} \right) - S_{xy} + \frac{uv}{2(N-1)} \right] \\ = \frac{\lambda\beta}{\bar{Y}} \left[\beta S_x^2 - S_{xy} - \frac{\beta v^2}{2(N-1)} + \frac{uv}{2(N-1)} \right] \\ = \frac{\lambda\beta}{\bar{Y}} \left[\beta S_x^2 - S_{xy} - \frac{1}{2(N-1)} (\beta v^2 - uv) \right]$$

ดังนั้น

$$Bias(\bar{y}_{RMC})_{min} = \frac{\lambda\beta}{\bar{Y}} \left[\beta S_x^2 - S_{xy} - \frac{1}{2(N-1)} \left(\beta(x_{max} - x_{min})^2 - (y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min}) \right) \right] \quad (4.28)$$

เมื่อ $\beta = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + M_d}$ และ $\lambda = \frac{1}{n} - \frac{1}{N}$

จากสมการที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่า ขนาดของความเอนเอียง ($|Bias|$) ของ \bar{y}_{RMC} จะลดลง เมื่อ 1) ขนาดตัวอย่าง (n) มีค่าเพิ่มขึ้น 2) β มีค่าน้อย และ 3) เทอม βS_x^2 กับ เทอม

$$S_{xy} - \frac{1}{2(N-1)} \left(\beta(x_{max} - x_{min})^2 - (y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min}) \right) \text{ มีค่าใกล้เคียงกัน}$$

จากความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของ \bar{y}_{RMC} คือ

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

กำหนดให้ $u = y_{max} - y_{min}$ และ $v = x_{max} - x_{min}$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} MSE(\bar{y}_{RMC}) &= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{2n}{N-1} \left(\left(\frac{u-v\beta}{2n} \right) \left(u - \beta v - n \left(\frac{u-v\beta}{2n} \right) \right) \right) \right] \\ &= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{N-1} \left((u-v\beta) \left(\frac{2u-2\beta v - (u-v\beta)}{2} \right) \right) \right] \\ &= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left(2u^2 - 2uv\beta - 2uv\beta + 2v^2\beta^2 - u^2 + 2uv\beta - v^2\beta^2 \right) \right] \\ &= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left(u^2 - 2uv\beta + v^2\beta^2 \right) \right] \\ &= \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} (u-v\beta)^2 \right] \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$MSE(\bar{y}_{RMC})_{min} = \lambda \left[(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx}) - \frac{1}{2(N-1)} ((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}))^2 \right] \quad (4.29)$$

เมื่อ $\beta = \frac{\bar{y}}{\bar{x} + M_d}$ และ $\lambda = \frac{1}{n} - \frac{1}{N}$

จากสมการที่ (4.29) แสดงให้เห็นว่า ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลดลง เมื่อ 1) ขนาดตัวอย่าง (n) มีค่าเพิ่มขึ้น 2) S_y^2 มีค่าน้อย 3) $y_{max} - y_{min}$ มีค่ามาก 4) $x_{max} - x_{min}$ มีค่าน้อย 5) S_x^2 มีค่าน้อย และ 6) S_{yx} มีค่ามาก

แทนค่า $c_1 = (y_{max} - y_{min})/2n$ และ $c_2 = (x_{max} - x_{min})/2n$ ในตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} แสดงดังสมการที่ (4.30)

$$\bar{y}_{RMC} = \begin{cases} \left(\bar{y} + \frac{y_{max} - y_{min}}{2n} \right) \frac{\bar{x} + M_d}{\left(\bar{x} + \frac{x_{max} - x_{min}}{2n} \right) + M_d} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \end{array} \\ \left(\bar{y} - \frac{y_{max} - y_{min}}{2n} \right) \frac{\bar{x} + M_d}{\left(\bar{x} - \frac{x_{max} - x_{min}}{2n} \right) + M_d} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \end{array} \\ \frac{\bar{x} + M_d}{\bar{x} + M_d} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases} \quad (4.30)$$

- เมื่อ \bar{X} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย
 \bar{x} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย
 \bar{y} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา
 M_d คือ พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย
 y_{max} คือ พารามิเตอร์ค่ามากที่สุดของตัวแปรที่ศึกษา
 y_{min} คือ พารามิเตอร์ค่าน้อยสุดของตัวแปรที่ศึกษา
 x_{max} คือ พารามิเตอร์ค่ามากที่สุดของตัวแปรช่วย
 x_{min} คือ พารามิเตอร์ค่าน้อยสุดของตัวแปรช่วย

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) และตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p)

ขั้นตอนนี้เป็นผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyan (\bar{y}_p) โดยแบ่งผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณเป็น 3 ส่วน คือ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณเชิงทฤษฎี ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจริง และผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจากการจำลองรายละเอียด ดังนี้

1. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณเชิงทฤษฎี

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณเชิงทฤษฎีโดยพิจารณาเงื่อนไข $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y})$, $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_s)$, $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_r)$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_p)$ ดังนี้

$$\text{เนื่องจาก } f = \frac{n}{N} \text{ ดังนั้น } \frac{1-f}{n} = \frac{N-n}{nN} \text{ และ } \lambda = \frac{1}{n} - \frac{1}{N} = \frac{N-n}{nN}$$

$$\text{ดังนั้น } \frac{1-f}{n} = \lambda$$

เนื่องจาก $MSE(\bar{y})$, $MSE(\bar{y}_s)$, $MSE(\bar{y}_r)$ และ $MSE(\bar{y}_p)$ มีรูปแบบที่แตกต่างจาก $MSE(\bar{y}_{RMC})$ จึงจัดให้รูปในรูปแบบที่ง่ายต่อการเปรียบเทียบ ดังนี้

$$V(\bar{y}) = \frac{(1-f)}{n} S_y^2 \text{ ดังนั้น } MSE(\bar{y}) = \lambda S_y^2$$

$$V(\bar{y}_s) = \frac{(1-f)}{n} S_y^2 - \frac{\lambda(y_{max} - y_{min})^2}{2(N-1)} \text{ ดังนั้น}$$

$$MSE(\bar{y}_s) = \lambda S_y^2 - \frac{\lambda(y_{max} - y_{min})^2}{2(N-1)}$$

$$\begin{aligned}
MSE(\bar{y}_r) &= \lambda \bar{Y}^2 (C_y^2 + C_x^2 - 2C_x C_y \rho_{xy}) \\
&= \lambda \bar{Y}^2 \left(\frac{S_y^2}{\bar{Y}^2} + \frac{S_x^2}{\bar{X}^2} - 2 \frac{S_x}{\bar{X}} \frac{S_y}{\bar{Y}} \frac{S_{yx}}{S_x S_y} \right) \\
&= \lambda \bar{Y}^2 \left(\frac{S_y^2}{\bar{Y}^2} + \frac{S_x^2}{\bar{X}^2} - 2 \frac{S_{yx}}{\bar{X} \bar{Y}} \right) \\
&= \lambda \left(\bar{Y}^2 \frac{S_y^2}{\bar{Y}^2} + \bar{Y}^2 \frac{S_x^2}{\bar{X}^2} - 2 \bar{Y}^2 \frac{S_{yx}}{\bar{X} \bar{Y}} \right); \text{ แทนค่า } \frac{\bar{Y}}{\bar{X}} \text{ ด้วย } R \\
&= \lambda (S_y^2 + R^2 S_x^2 - 2RS_{yx})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
MSE(\bar{y}_p) &= \lambda \bar{Y}^2 (C_y^2 + \alpha^2 C_x^2 - 2\alpha C_x C_y \rho_{xy}) \\
&= \lambda \bar{Y}^2 \left(\frac{S_y^2}{\bar{Y}^2} + \alpha^2 \frac{S_x^2}{\bar{X}^2} - 2\alpha \frac{S_x}{\bar{X}} \frac{S_y}{\bar{Y}} \frac{S_{yx}}{S_x S_y} \right) \\
&= \lambda \bar{Y}^2 \left(\frac{S_y^2}{\bar{Y}^2} + \alpha^2 \bar{Y}^2 \frac{S_x^2}{\bar{X}^2} - 2\alpha \bar{Y}^2 \frac{S_{yx}}{\bar{X} \bar{Y}} \right); \text{ แทนค่า } \frac{\bar{Y}}{\bar{X}} \text{ ด้วย } R \\
&= \lambda (S_y^2 + R^2 \alpha^2 S_x^2 - 2R\alpha S_{yx})
\end{aligned}$$

พิจารณาเงื่อนไขที่ 1 $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y})$ ถ้า

$$\begin{aligned}
\lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] &< \lambda S_y^2 \\
\lambda \left[\left(\beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] &< 0 \\
\left[\left(\beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] &< 0
\end{aligned}$$

ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพดีกว่า \bar{y} เมื่อ

$$\left(\beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 < 0 \quad (4.31)$$

จากสมการที่ (4.31) ซึ่งให้เห็นว่า ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y} เสมอเมื่อ $\beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} < 0$ หรือ $0 < \beta^2 S_x^2 \leq 2\beta S_{yx}$ โดยที่ $\beta = \frac{\bar{y}}{\bar{x} + M_d}$

พิจารณาเงื่อนไขที่ 2 $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_s)$ ถ้า

$$\begin{aligned} & \lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] \\ & < \lambda S_y^2 - \frac{\lambda (y_{max} - y_{min})^2}{2(N-1)} \\ & \lambda \left[\left(\beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left(-2\beta(y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min}) + \beta^2 (x_{max} - x_{min})^2 \right) \right] \\ & < 0 \\ & \left[\left(\beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left(-2\beta(y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min}) + \beta^2 (x_{max} - x_{min})^2 \right) \right] \\ & < 0 \\ & \left[\left(\beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \left(\frac{-2\beta(y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min})}{2(N-1)} + \frac{\beta^2 (x_{max} - x_{min})^2}{2(N-1)} \right) \right] < 0 \\ & \left[\beta \left(\beta S_x^2 - 2S_{yx} + \frac{(y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min})}{(N-1)} - \frac{\beta (x_{max} - x_{min})^2}{2(N-1)} \right) \right] < 0 \\ & \left[\beta S_x^2 - \frac{\beta (x_{max} - x_{min})^2}{2(N-1)} - 2S_{yx} + \frac{(y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min})}{(N-1)} \right] < 0 \\ & \left[\beta \left(S_x^2 - \frac{(x_{max} - x_{min})^2}{2(N-1)} \right) - \left(2S_{yx} - \frac{(y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min})}{(N-1)} \right) \right] < 0 \end{aligned}$$

ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพดีกว่า \bar{y}_s เมื่อ

$$\beta \left(S_x^2 - \frac{(x_{max} - x_{min})^2}{2(N-1)} \right) - \left(2S_{yx} - \frac{(y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min})}{(N-1)} \right) < 0 \quad (4.32)$$

จากสมการที่ (4.32) จะเห็นว่า ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} มีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y}_s

เสมอเมื่อ $\beta \left(S_x^2 - \frac{(x_{max} - x_{min})^2}{2(N-1)} \right) < \left(2S_{yx} - \frac{(y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min})}{(N-1)} \right)$

$$\text{โดยที่ } \beta = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + M_d}$$

พิจารณาเงื่อนไขที่ 3 $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_r)$ ถ้า

$$\lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] < \lambda(S_y^2 + R^2 S_x^2 - 2RS_{yx})$$

$$\lambda \left[\left((\beta^2 - R^2) S_x^2 - 2(\beta - R) S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] < 0$$

$$\left[\left((\beta^2 - R^2) S_x^2 - 2(\beta - R) S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] < 0$$

$$\left[\left((\beta - R)(\beta + R) S_x^2 - 2(\beta - R) S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] < 0$$

$$\left[\left((\beta - R) \left((\beta + R) S_x^2 - 2S_{yx} \right) \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] < 0$$

ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพดีกว่า \bar{y}_r เมื่อ

$$\left((\beta - R) \left((\beta + R) S_x^2 - 2S_{yx} \right) \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 < 0 \quad (4.33)$$

จากสมการที่ (4.33) ซึ่งให้เห็นว่า ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพมากกว่า \bar{y}_r เสมอเมื่อ $\left((\beta - R) \left((\beta + R) S_x^2 - 2S_{yx} \right) \right) < 0$ โดยที่ $\beta = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + M_d}$ และ $R = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}}$

พิจารณาเงื่อนไขที่ 4 $MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_p)$ ถ้า

$$\lambda \left[\left(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] < \lambda(S_y^2 + R^2 \alpha^2 S_x^2 - 2R\alpha S_{yx})$$

$$\lambda \left[\left((\beta^2 - R^2 \alpha^2) S_x^2 - 2(\beta - R\alpha) S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] < 0$$

$$\left[\left((\beta^2 - R^2 \alpha^2) S_x^2 - 2(\beta - R\alpha) S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] < 0$$

$$\left[\left((\beta - R\alpha)(\beta + R\alpha) S_x^2 - 2(\beta - R\alpha) S_{yx} \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] < 0$$

$$\left[\left((\beta - R\alpha) \left((\beta + R\alpha) S_x^2 - 2S_{yx} \right) \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 \right] < 0$$

$$\text{เนื่องจาก } \beta - R\alpha = \frac{\bar{y}}{\bar{X} + M_d} - \frac{\bar{y}}{\bar{X}} \frac{\bar{X}}{\bar{X} + M_d} = 0$$

$$\text{ดังนั้น } -\frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 < 0$$

ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพดีกว่า \bar{y}_p เมื่อ

$$-\frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 < 0 \quad (4.34)$$

จากสมการที่ (4.34) ซึ่งให้เห็นว่า ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพมากกว่า

\bar{y}_p เสมอเนื่องจาก $-\frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 < 0$ โดยที่

$$\beta = \frac{\bar{y}}{\bar{X} + M_d}$$

2. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจริง

ขั้นตอนนี้เป็นผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจริงโดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 ในการศึกษา โดยแบ่งข้อมูลเป็น 5 ชุด หรือ 5 ประชากร ดังนี้

ประชากรชุดที่ 1	ตัวแปรที่ศึกษา (Y)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2560
	ตัวแปรช่วย (X)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2559
ประชากรชุดที่ 2	ตัวแปรที่ศึกษา (Y)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2558
	ตัวแปรช่วย (X)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2557
ประชากรชุดที่ 3	ตัวแปรที่ศึกษา (Y)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2556
	ตัวแปรช่วย (X)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2555
ประชากรชุดที่ 4	ตัวแปรที่ศึกษา (Y)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2554
	ตัวแปรช่วย (X)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2553
ประชากรชุดที่ 5	ตัวแปรที่ศึกษา (Y)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2552
	ตัวแปรช่วย (X)	แทน ปริมาณขยะมูลฝอย ในปีงบประมาณ 2551

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ MSE ของตัวประมาณ แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

พารามิเตอร์	ประชากร				
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4	ชุดที่ 5
N	51	51	51	51	51
n	19	19	19	19	19
\bar{Y}	75,339.74	72,762.68	71,305.79	64,004.57	62,894.37
\bar{X}	72,699.21	71,137.81	69,954.37	62,738.93	63,011.63
S_y^2	1,057,795,000	1,022,677,000	956,785,500	831,317,403.28	635,375,420.45
S_x^2	966,945,700	9,969,602,000	1,202,972,000	702,538,955.71	626,251,207.90

S_{yx}	1,008,143,000	1,006,840,000	1,044,245,000	762,004,524.68	629,380,607.71
M_d	68,937.14	64,219.38	64,237.73	58,161.65	58,934.41
y_{max}	202,916.50	216,790.20	203,958.60	204,813.75	167,197.99
y_{min}	20,598.00	21,357.21	21,653.00	21,242.35	21,725.99
x_{max}	199,522.70	210,942.10	253,886.60	184,275.62	164,779.85
x_{min}	20,401.97	20,630.96	21,944.81	21,309.60	21,776.47

ผลการตรวจสอบเงื่อนไขในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณเชิงทฤษฎี
แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการตรวจสอบเงื่อนไขในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณเชิงทฤษฎี

เงื่อนไข	ประชากร				
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4	ชุดที่ 5
$MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y})$	-874,679,332	-881,112,158	-804,977,294	-704,580,431	-534,061,552
$MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_s)$	-937,073,193	-908,827,881	-1,206,894,931	-575,434,144	-618,921,886
$MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_r)$	176,377,672	135,538,051	73,960,175	119,002,974	9,843,640
$MSE(\bar{y}_{RMC}) < MSE(\bar{y}_p)$	-75,759,482	-86,730,628	-34,879,040	-94,667,950	-51,433,548

จากตารางที่ 4-3 แสดงให้เห็นว่า ผลการตรวจสอบเงื่อนไขในการเปรียบเทียบ
ประสิทธิภาพตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} กับตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s , \bar{y}_r และ \bar{y}_p เชิงทฤษฎี เป็นไป
ตามเงื่อนไขดังสมการที่ (4.31), (4.32) และ (4.34) ในทุกประชากร แต่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข
ดังสมการที่ (4.33) ในทุกประชากรเช่นกัน ซึ่งให้เห็นว่า ภายใต้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่
จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพ
มากกว่าตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s และ \bar{y}_p ในทุกประชากร แต่จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า
ตัวประมาณ \bar{y}_r ในทุกประชากรเช่นกัน

ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของทุกตัวประมาณ แสดงดังตารางที่ 4-4 และ
 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (Percent Relative Efficiency: PRE) ของตัวประมาณ \bar{Y}_{RMC}
 เทียบกับตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s , \bar{y}_r และ \bar{y}_p แสดงดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-4 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

ตัวประมาณ	MSE ของตัวประมาณในประชากร				
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4	ชุดที่ 5
\bar{y}	34,932,356	33,772,616.6	31,596,631	27,453,206.3	20,982,470.03
\bar{y}_s	23,955,253	21,159,510.7	20,621,078	16,324,716.3	13,993,953.11
\bar{y}_r	222,527	199,028.7	2,570,832	255,405.5	95,082.88
\bar{y}_p	8,549,038	7,539,170.8	6,165,109	7,311,617.7	5,044,290.34
\bar{Y}_{RMC}	6,047,177	4,675,001.5	5,013,273	4,185,328.3	3,345,762.42

ตารางที่ 4-5 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) ของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC}

	PRE ของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ในประชากร				
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4	ชุดที่ 5
\bar{y}	577.663	722.408	630.259	655.939	627.135
\bar{y}_s	396.139	452.609	411.329	390.046	418.259
\bar{y}_r	3.679	4.257	51.281	6.102	2.841
\bar{y}_p	147.372	161.265	122.975	174.696	150.766

จากตารางที่ 4-4 แสดงให้เห็นว่า ค่า $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าน้อยกว่า $MSE(\bar{y})$, $MSE(\bar{y}_s)$ และ $MSE(\bar{y}_p)$ ในทุกประชากร แต่มากกว่า $MSE(\bar{y}_r)$ ในทุกประชากรเช่นกัน และจากตารางที่ 4-5 แสดงให้เห็นว่า ค่า PRE ของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} เมื่อเทียบกับตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s และ \bar{y}_p มีค่าเกิน 100 ในทุกประชากร แต่เมื่อเทียบกับตัวประมาณ \bar{y}_r แล้วมีค่าน้อยกว่า 100 ในทุกประชากร ซึ่งให้เห็นว่า ภายใต้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} มีประสิทธิภาพ มากกว่าตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s และ \bar{y}_p ในทุกประชากร แต่จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าตัวประมาณ \bar{y}_r ในทุกประชากร ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐาน

3. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจากการจำลอง

ขั้นตอนนี้เป็นผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจากการจำลองที่มีลักษณะเหมือนกับข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร รายละเอียดดังนี้

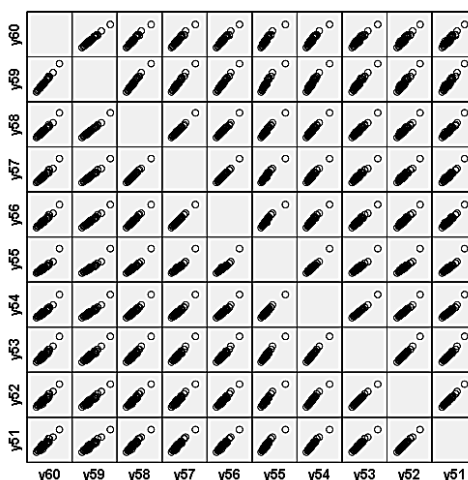
3.1 การศึกษาลักษณะเบื้องต้นของข้อมูล (Pilot study)

จากการศึกษาลักษณะเบื้องต้นของข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร. ปีงบประมาณ 2551-2560 พบว่า มีค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ในลักษณะเดียวกัน ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ลักษณะเบื้องต้นของข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่
กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560

ปีงบประมาณ	ค่าเฉลี่ย (ตัน)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ตัน)	ค่าสูงสุด (ตัน)	ค่าต่ำสุด (ตัน)
2560	75,339.74	32,203.33	202,916.51	20,598.00
2559	72,699.21	30,789.38	199,522.73	20,401.97
2558	72,762.68	31,664.25	216,790.22	21,357.21
2557	71,137.81	31,263.59	210,942.06	20,630.96
2556	71,305.79	30,627.19	203,958.64	21,653.00
2555	69,954.37	34,342.16	253,886.64	21,944.81
2554	64,004.57	28,548.50	204,813.75	21,242.35
2553	62,738.93	26,244.31	184,275.62	21,309.6
2552	62,894.37	24,958.31	167,197.99	21,725.99
2551	63,011.63	24,778.45	164,779.85	21,776.47

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 ด้วยแผนภาพการกระจาย (Scatter plot) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ชี้ให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันอยู่ในช่วง 0.9561–0.9981 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้มีความสัมพันธ์อย่างมากในเชิงบวก (Positive correlation) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ดังภาพที่ 4-2 และ ตารางที่ 4-7



ภาพที่ 4-2 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของ
สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 (Y51–Y60)

ตารางที่ 4-7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บ
ได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 (Y51–Y60)

	Y60	Y59	Y58	Y57	Y56	Y55	Y54	Y53	Y52	Y51
Y60	1									
Y59	0.9968	1								
Y58	0.986	0.9943	1							
Y57	0.9842	0.9928	0.9971	1						
Y56	0.985	0.9938	0.996	0.9981	1					
Y55	0.951	0.9636	0.9799	0.9759	0.9733	1				
Y54	0.958	0.9701	0.9826	0.9786	0.9795	0.9887	1			
Y53	0.9607	0.9727	0.9821	0.9793	0.9812	0.9792	0.9971	1		
Y52	0.961	0.973	0.9779	0.9776	0.9819	0.9641	0.987	0.995	1	
Y51	0.9561	0.9694	0.9752	0.9761	0.981	0.9596	0.9818	0.9904	0.9978	1

3.2 การศึกษาการแจกแจงของข้อมูล (Data distribution)

การศึกษาลักษณะเบื้องต้นของข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 ซึ่งให้เห็นว่า ข้อมูลแต่ละปีมีลักษณะที่คล้ายกัน ดังนั้นจึงตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร เฉพาะปีงบประมาณ 2560 เป็นตัวแปรที่ศึกษา (Y) และ ปีงบประมาณ 2559 เป็นตัวแปรช่วย (X) มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติทดสอบ Shapiro-Wilk โดยใช้คำสั่ง `shapiro.test` ในโปรแกรม R แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรที่ศึกษา (Y) ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ($W = 0.90243$, $p\text{-value} = 0.00050$) และตัวแปรช่วย (X) ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ($W = 0.89203$, $p\text{-value} = 0.00023$) เช่นกัน รายละเอียดในภาคผนวก ข

3.2.2 ตรวจสอบการแจกแจงที่เหมาะสมให้กับข้อมูลด้วยคำสั่ง `desdist` และประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยคำสั่ง `fitdistr` ใน package `fitdistrplus` (Delignette-Muller & Dutang, 2015) รายละเอียดในภาคผนวก ข แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรที่ศึกษา (Y) และตัวแปรช่วย (X) มีลักษณะเป็นโค้งเบ้ขวา การแจกแจงที่เหมาะสมคือ การแจกแจงแบบล็อกปกติ (Lognormal distribution) ด้วยค่าประมาณพารามิเตอร์ $\text{meanlog}(Y) = 11.145860565$, $\text{sdlog}(Y) = 0.409640$,

meanlog(X) = 11.112225 และ sdlog(X) = 0.407707 ทดสอบการแจกแจงแบบล็อกปกติโดยแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมสามัญ (ลัคนา วัฒนชะวีระกุล, 2559, หน้า 40; Law, 2015, p. 458) แล้วทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติ Shapiro-Wilk ปรากฏว่า ตัวแปรที่ศึกษา (Y) มีการแจกแจงแบบล็อกปกติ (W = 0.97825, p-value = 0.4674) และตัวแปรช่วย (X) มีการแจกแจงแบบล็อกปกติ (W = 0.97988, p-value = 0.5338) เช่นกัน รายละเอียดในภาคผนวก ข

3.3 การจำลองข้อมูล (Simulation) และการทดสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณจากการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลปรากฏว่า ตัวแปรที่ศึกษา

$Y \sim L(11.145860, 0.409640)$ และ ตัวแปรช่วย $X \sim L(11.112225, 0.407707)$ จากนั้นจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรม R ภายใต้เงื่อนไขระดับความสัมพันธ์ (ρ_{XY}) 5 ระดับ ได้แก่ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 รวมเป็นประชากรทั้งหมด 5 กลุ่ม ขั้นตอนการสร้างตัวแปรให้มีความสัมพันธ์ตามที่กำหนด และการทดสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณ เริ่มจาก

ขั้นที่ 1 สร้างข้อมูลจำลองตัวแปร $X \sim L(11.112225, 0.407707)$ และตัวแปร $W \sim L(11.145860565, 0.409640)$

ขั้นที่ 2 ที่ระดับความสัมพันธ์ $\rho_{XY} = \theta$ หาค่า α จากสมการที่ (4.35) (มานพ วรภักดิ์, 2547, หน้า 190-191; Srinivas, Boiroju, & Reddy, 2013; Lamichhane, Singh, & Diawara, 2017)

$$\begin{aligned} \text{เนื่องจาก } \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + (1-\alpha)^2}} &= \theta \\ \text{ดังนั้น } \alpha &= \frac{\theta^2 - \theta\sqrt{1-\theta^2}}{2\theta^2 - 1} \end{aligned} \quad (4.35)$$

เมื่อ θ คือ ระดับความสัมพันธ์ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9

ขั้นที่ 3 สร้างตัวแปร Y จากสมการ $Y = \alpha X + (1-\alpha)W$ จะได้ (X,Y) ที่มี

$$\rho_{XY} = \theta$$

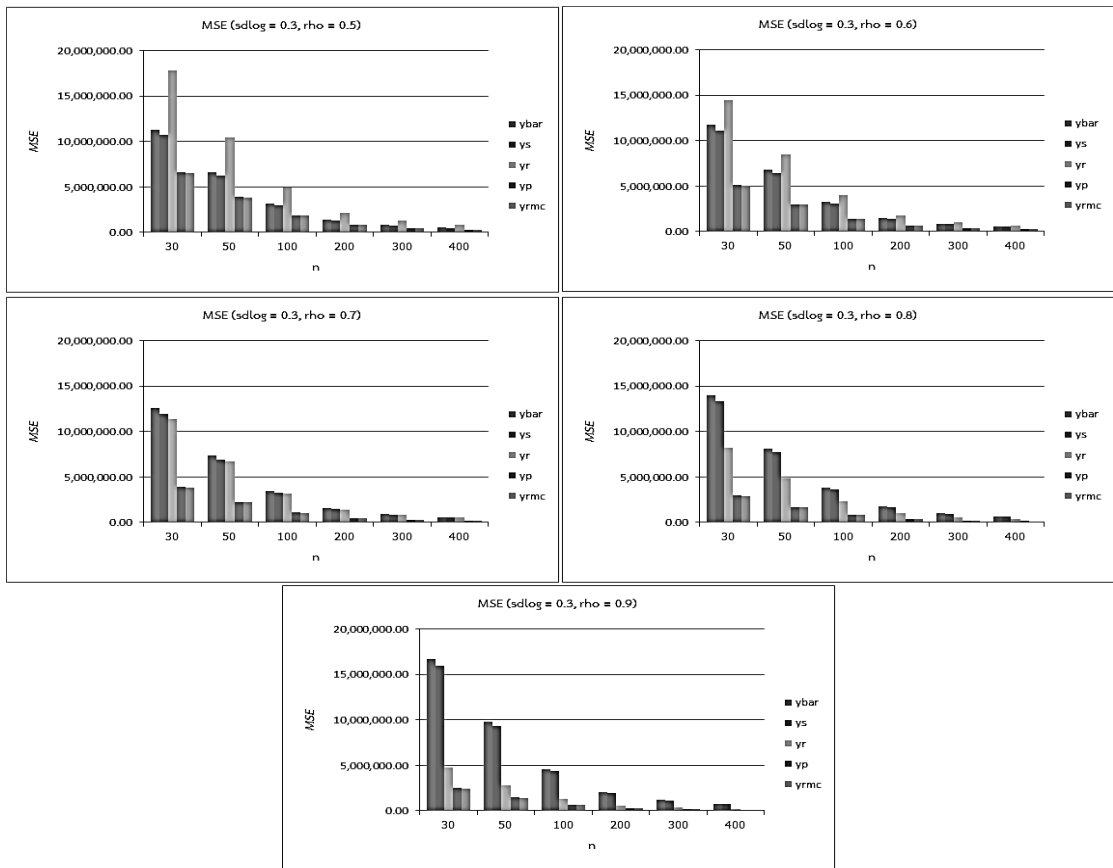
ขั้นที่ 4 เลือกตัวอย่างในประชากรแต่ละกลุ่มด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่ายแบบไม่คืนที่ กำหนดเงื่อนไขขนาดตัวอย่างสุ่ม (n) ในประชากรแต่ละกลุ่ม 6 เงื่อนไข คือ 30, 50, 100, 200, 300 และ 400 หน่วยตัวอย่าง ในตัวอย่างแต่ละขนาดทำซ้ำจำนวน 10,000 รอบ คำนวณค่า MSE และ PRE

ขั้นที่ 5 ทำซ้ำขั้นที่ 1-4 โดยเปลี่ยนค่า sdlog ของ W เป็น 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณด้วยค่า MSE และ PRE แสดงดังตารางที่ 4-8 ถึง 4-17 และภาพที่ 4-3 ถึง 4-12

ตารางที่ 4-8 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี sdlog = 0.3

ρ_{XY}	ตัวอย่าง		MSE ของตัวประมาณ				
	n	\bar{y}	\bar{y}_s	\bar{y}_r	\bar{y}_p	\bar{y}_{RMC}	
0.5	30	11,319,393.00	10,732,231.00	17,812,488.00	6,592,430.00	6,552,641.00	
	50	6,611,470.00	6,246,192.00	10,480,178.00	3,884,971.00	3,858,453.00	
	100	3,127,588.00	2,957,704.00	4,945,887.00	1,841,196.00	1,828,026.00	
	200	1,405,662.10	1,324,690.60	2,153,552.30	810,819.80	805,239.10	
	300	813,647.00	775,830.10	1,269,140.80	475,601.90	473,128.00	
	400	518,722.50	492,759.80	810,746.40	303,292.60	301,393.10	
0.6	30	11,742,830.00	11,145,453.00	14,493,664.00	5,093,788.00	5,056,276.00	
	50	6,853,670.00	6,452,760.00	8,532,649.00	2,998,043.00	2,973,357.00	
	100	3,241,700.00	3,065,328.00	4,026,795.00	1,420,886.00	1,409,911.00	
	200	1,455,846.00	1,382,112.20	1,753,600.60	627,605.10	622,782.00	
	300	843,208.80	804,798.70	1,033,060.20	367,162.80	364,985.10	
	400	537,705.60	516,960.60	660,099.90	234,166.80	232,925.70	
0.7	30	12,563,161.00	11,957,498.00	11,345,350.00	3,872,222.00	3,830,092.00	
	50	7,328,296.00	6,919,985.00	6,684,800.00	2,273,955.00	2,246,320.00	
	100	3,466,044.00	3,285,365.00	3,154,665.00	1,077,858.00	1,065,568.00	
	200	1,554,241.70	1,479,309.70	1,374,057.20	478,159.40	472,841.60	
	300	901,324.80	861,839.70	809,027.40	278,699.30	276,227.70	
	400	574,800.20	553,622.10	517,190.20	177,792.70	176,409.20	
0.8	30	13,975,954.00	13,360,757.00	8,204,731.00	2,937,431.00	2,889,806.00	
	50	8,149,682.00	7,732,793.00	4,840,855.00	1,718,006.00	1,686,903.00	
	100	3,854,705.60	3,669,008.30	2,284,385.80	814,707.60	800,801.10	
	200	1,724,441.10	1,648,124.30	995,296.70	363,618.80	357,718.10	
	300	1,002,014.80	961,274.50	585,537.60	210,949.60	208,121.00	
	400	638,985.40	617,304.00	374,588.50	134,591.90	133,039.00	
0.9	30	16,715,802.00	15,992,575.00	4,776,255.00	2,484,166.00	2,437,736.00	
	50	9,756,482.00	9,287,793.00	2,821,572.00	1,445,170.00	1,414,960.00	
	100	4,613,242.50	4,386,812.10	1,331,440.80	685,635.40	671,371.60	
	200	2,056,834.20	1,972,983.50	580,269.00	307,888.20	302,560.60	
	300	1,198,569.30	1,148,718.10	341,133.10	178,165.00	175,089.30	
	400	764,350.00	740,627.50	218,373.70	113,602.00	112,286.60	



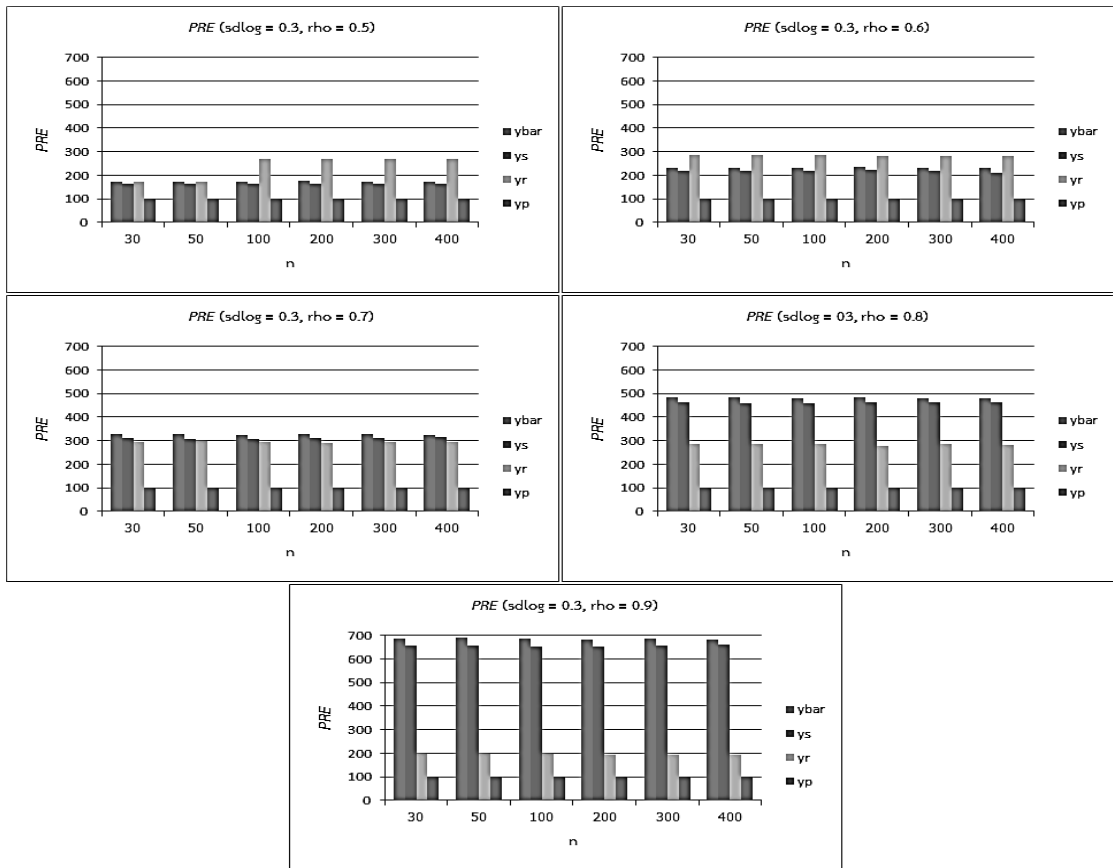
ภาพที่ 4-3 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.3$

จากตารางที่ 4-8 และภาพที่ 4-3 ปรากฏว่า กรณีพารามิเตอร์ $sdlog$ ของ Y เท่ากับ 0.3 MSE ของตัวประมาณมีลักษณะ ดังนี้

1. $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าน้อยกว่า $MSE(\bar{y})$, $MSE(\bar{y}_s)$, $MSE(\bar{y}_r)$ และ $MSE(\bar{y}_p)$ ในทุกสถานการณ์
2. เมื่อ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้น $MSE(\bar{y}_r)$, $MSE(\bar{y}_p)$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าลดลง ในขณะที่ $MSE(\bar{y})$ และ $MSE(\bar{y}_s)$ มีค่าเพิ่มขึ้น
3. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าคงที่ n มีค่าเพิ่มขึ้น MSE ของทุกตัวประมาณมีค่าลดลง
4. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเท่ากับ 0.5 และ 0.6 ในทุกขนาดของตัวอย่าง $MSE(\bar{y}_r)$ มีค่ามากที่สุด แต่เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.7, 0.8 และ 0.9 $MSE(\bar{y})$ และ $MSE(\bar{y}_s)$ มีค่ามากที่สุด ในขณะที่ทุกระดับความสัมพันธ์ $MSE(\bar{y}_p)$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าน้อยใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-9 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี sdlog 0.3

ρ_{XY}	ตัวอย่าง	PRE ของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณ			
	n	\bar{y}	\bar{y}_s	\bar{y}_r	\bar{y}_p
0.5	30	172.7455	163.7848	172.8368	100.6072
	50	171.3503	161.8833	171.6161	100.6873
	100	171.0910	161.7977	270.5589	100.7204
	200	174.5646	164.5090	267.4426	100.6931
	300	171.9719	163.9789	268.2447	100.5229
	400	172.1249	163.4941	268.9996	100.6302
0.6	30	232.2427	220.4281	286.6470	100.7419
	50	230.5027	217.0193	286.9702	100.8302
	100	229.9223	217.4129	285.6063	100.7784
	200	233.7649	221.9255	281.5753	100.7744
	300	231.0255	220.5018	283.0417	100.5966
	400	230.8485	211.9423	283.3950	100.5328
0.7	30	328.0102	312.1988	296.2161	101.1000
	50	326.2357	308.0588	297.5890	101.2302
	100	325.2765	308.3204	296.0547	101.1534
	200	328.7024	312.8552	290.5957	101.1246
	300	326.2978	312.0034	292.8842	100.8948
	400	325.8334	313.8283	293.1764	100.7842
0.8	30	483.6295	462.3410	283.9198	101.6480
	50	483.1150	458.4017	286.9670	101.8437
	100	481.3562	458.1672	285.2626	101.7366
	200	482.0607	460.7327	278.2349	101.6495
	300	481.4578	461.8825	284.3448	101.3591
	400	480.2992	464.0022	281.5628	101.1672
0.9	30	685.7102	656.0422	195.9300	101.9046
	50	689.5236	656.3998	199.4100	102.1350
	100	687.1370	653.4105	198.3165	102.1246
	200	679.8091	652.0954	191.7861	101.7608
	300	684.5473	656.0754	194.8338	101.7566
	400	680.7136	659.5869	194.4789	101.1715



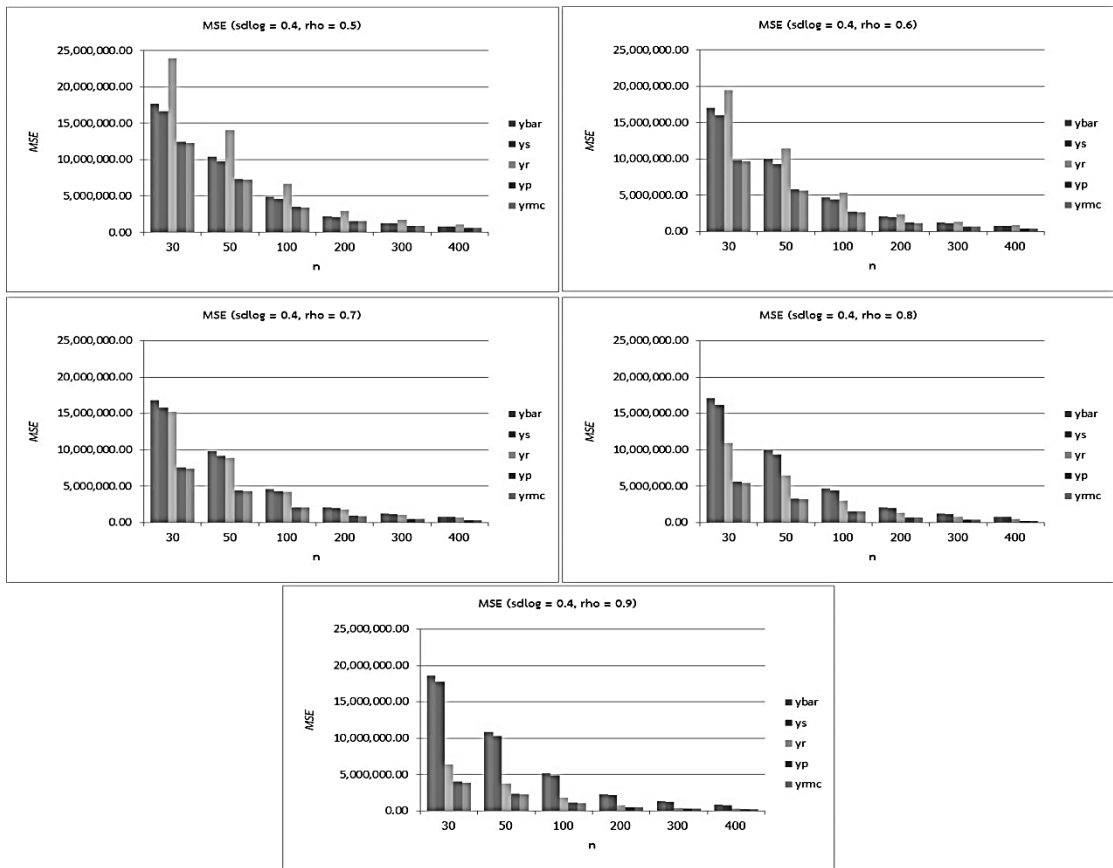
ภาพที่ 4-4 กราฟค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.3$

จากตารางที่ 4-9 และภาพที่ 4-4 ปรากฏว่า กรณีพารามิเตอร์ $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.3 PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณ มีลักษณะ ดังนี้

1. PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณมีค่าเกิน 100 ในทุกสถานการณ์
2. เมื่อ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้น PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับ \bar{y} และ \bar{y}_s มีค่าเพิ่มขึ้นมาก ในขณะที่เทียบกับ \bar{y}_p มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเทียบกับ \bar{y}_r มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ρ_{XY} เท่ากับ 0.5, 0.6 และ 0.7 และมีค่าน้อยลง เมื่อ ρ_{XY} เท่ากับ 0.8 และ 0.9
3. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าคงที่ n เพิ่มขึ้น PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ตารางที่ 4-10 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี sdlog = 0.4

ρ_{XY}	ตัวอย่าง		MSE ของตัวประมาณ				
	n	\bar{y}	\bar{y}_s	\bar{y}_r	\bar{y}_p	\bar{y}_{RMC}	
0.5	30	17,724,299.00	16,675,737.00	23,940,896.00	12,444,214.00	12,226,676.00	
	50	10,379,381.00	9,727,514.00	14,077,014.00	7,325,493.00	7,188,345.00	
	100	4,913,613.00	4,609,202.00	6,641,423.00	3,471,667.00	3,404,359.00	
	200	2,207,633.00	2,064,517.00	2,891,786.00	1,532,833.00	1,503,609.00	
	300	1,278,227.70	1,211,316.90	1,705,458.50	898,549.60	885,289.10	
	400	817,590.80	771,258.50	1,089,267.00	574,246.60	564,364.30	
0.6	30	17,035,462.00	16,033,558.00	19,459,735.00	9,850,248.00	9,673,972.00	
	50	9,967,357.00	9,297,371.00	11,446,583.00	5,793,886.00	5,677,460.00	
	100	4,717,631.00	4,424,141.00	5,400,659.00	2,746,191.00	2,695,041.00	
	200	2,119,928.00	1,995,644.00	2,351,682.00	1,215,228.00	1,192,484.00	
	300	1,227,193.00	1,163,701.00	1,386,566.50	711,041.90	700,554.90	
	400	784,893.50	750,005.90	885,665.70	454,521.10	448,465.00	
0.7	30	16,793,218.00	15,833,202.00	15,210,001.00	7,591,204.00	7,428,207.00	
	50	9,816,669.00	9,172,174.00	8,951,603.00	4,459,075.00	4,351,443.00	
	100	4,645,694.00	4,361,939.00	4,223,614.00	2,114,037.00	2,066,493.00	
	200	2,086,481.40	1,967,227.80	1,839,308.40	938,408.80	917,528.80	
	300	1,208,264.90	1,146,666.10	1,083,945.30	547,588.70	537,801.70	
	400	772,623.00	739,020.00	692,624.50	350,218.60	344,636.40	
0.8	30	17,129,051.00	16,216,201.00	10,972,727.00	5,620,445.00	5,471,971.00	
	50	10,004,311.00	9,388,558.00	6,463,472.00	3,293,447.00	3,195,508.00	
	100	4,734,058.00	4,461,300.00	3,049,774.00	1,562,190.00	1,518,610.00	
	200	2,122,774.30	2,009,187.80	1,328,323.70	696,542.10	677,703.00	
	300	1,230,859.00	1,171,402.90	782,238.40	404,955.60	395,946.00	
	400	786,725.30	754,571.60	500,125.70	259,135.70	254,074.80	
0.9	30	18,607,271.00	17,755,820.00	6,394,236.00	4,035,092.00	3,904,788.00	
	50	10,859,789.00	10,281,514.00	3,774,079.00	2,353,218.00	2,278,539.00	
	100	5,138,793.00	4,880,414.00	1,780,931.00	1,117,458.00	1,078,873.00	
	200	2,296,521.10	2,190,316.10	775,970.90	501,149.90	484,869.10	
	300	1,335,376.70	1,278,728.90	456,288.30	290,130.40	282,114.30	
	400	852,840.40	822,577.40	292,079.80	185,664.90	181,261.30	



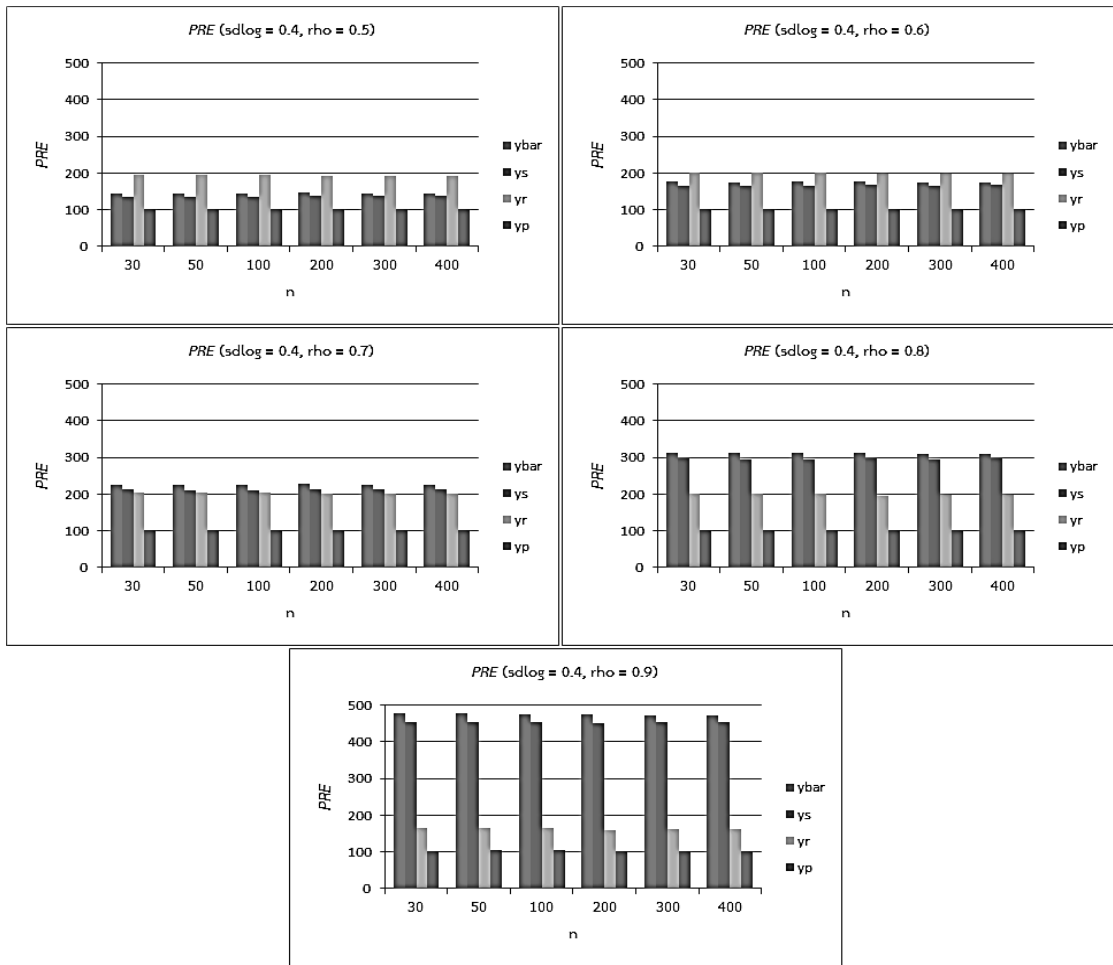
ภาพที่ 4-5 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.4$

จากตารางที่ 4-10 และภาพที่ 4-5 ปรากฏว่า กรณีพารามิเตอร์ $sdlog$ ของ Y เท่ากับ 0.4 MSE ของตัวประมาณมีลักษณะ ดังนี้

1. $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าน้อยกว่า $MSE(\bar{y})$, $MSE(\bar{y}_s)$, $MSE(\bar{y}_r)$ และ $MSE(\bar{y}_p)$ ในทุกสถานการณ์
2. เมื่อ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้น MSE ของทุกตัวประมาณมีค่าลดลง แต่เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.8 และ 0.9 $MSE(\bar{y})$ และ $MSE(\bar{y}_s)$ มีค่าเพิ่มขึ้น
3. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าคงที่ n มีค่าเพิ่มขึ้น MSE ของทุกตัวประมาณมีค่าลดลง
4. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเท่ากับ 0.5 และ 0.6 ขณะที่ n มีค่าเพิ่มขึ้น $MSE(\bar{y}_r)$ มีค่ามากที่สุด แต่เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.7, 0.8 และ 0.9 $MSE(\bar{y})$ และ $MSE(\bar{y}_s)$ มีค่ามากที่สุด ในขณะที่ทุกระดับความสัมพันธ์ $MSE(\bar{y}_p)$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าน้อยใกล้เคียงกัน
5. เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.3 กรณีนี้ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-11 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี sdlog 0.4

ρ_{XY}	ตัวอย่าง	PRE ของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณ			
	n	\bar{y}	\bar{y}_s	\bar{y}_r	\bar{y}_p
0.5	30	144.9642	136.3881	195.8087	101.7792
	50	144.3918	135.3234	195.8311	101.9079
	100	144.3330	135.3912	195.0859	101.9771
	200	146.8223	137.3042	192.3230	101.9436
	300	144.3853	136.8273	192.6442	101.4979
	400	144.8693	136.6597	193.0078	101.7510
0.6	30	176.0958	165.7391	201.1556	101.8222
	50	175.5602	163.7593	201.6145	102.0507
	100	176.0486	164.1586	200.3925	101.8979
	200	177.7741	167.3518	197.2087	101.9072
	300	175.1744	166.1113	197.9240	101.4970
	400	175.0178	167.2384	197.4883	101.3504
0.7	30	226.0736	213.1497	204.7601	102.1943
	50	225.5957	210.7847	205.7157	102.4735
	100	224.8105	211.0792	204.3856	102.3007
	200	227.4023	214.4050	200.4633	102.2757
	300	224.6674	213.2135	201.5511	101.8198
	400	224.1850	214.4347	200.9725	101.6197
0.8	30	313.0326	296.3503	200.5261	102.7134
	50	313.0742	293.8049	202.2674	103.0649
	100	311.7361	293.7751	200.8266	102.8697
	200	313.2308	296.4703	196.0038	102.7798
	300	310.8654	295.8492	197.5619	102.2755
	400	309.6432	296.9879	196.8419	101.9919
0.9	30	476.5245	454.7192	163.7537	103.3370
	50	478.9240	453.4217	166.4394	103.7785
	100	476.3111	452.3622	165.0732	103.5764
	200	473.6373	451.7335	160.0372	103.3578
	300	473.3460	453.2662	161.7388	102.8414
	400	470.5032	453.8075	161.1374	102.4294



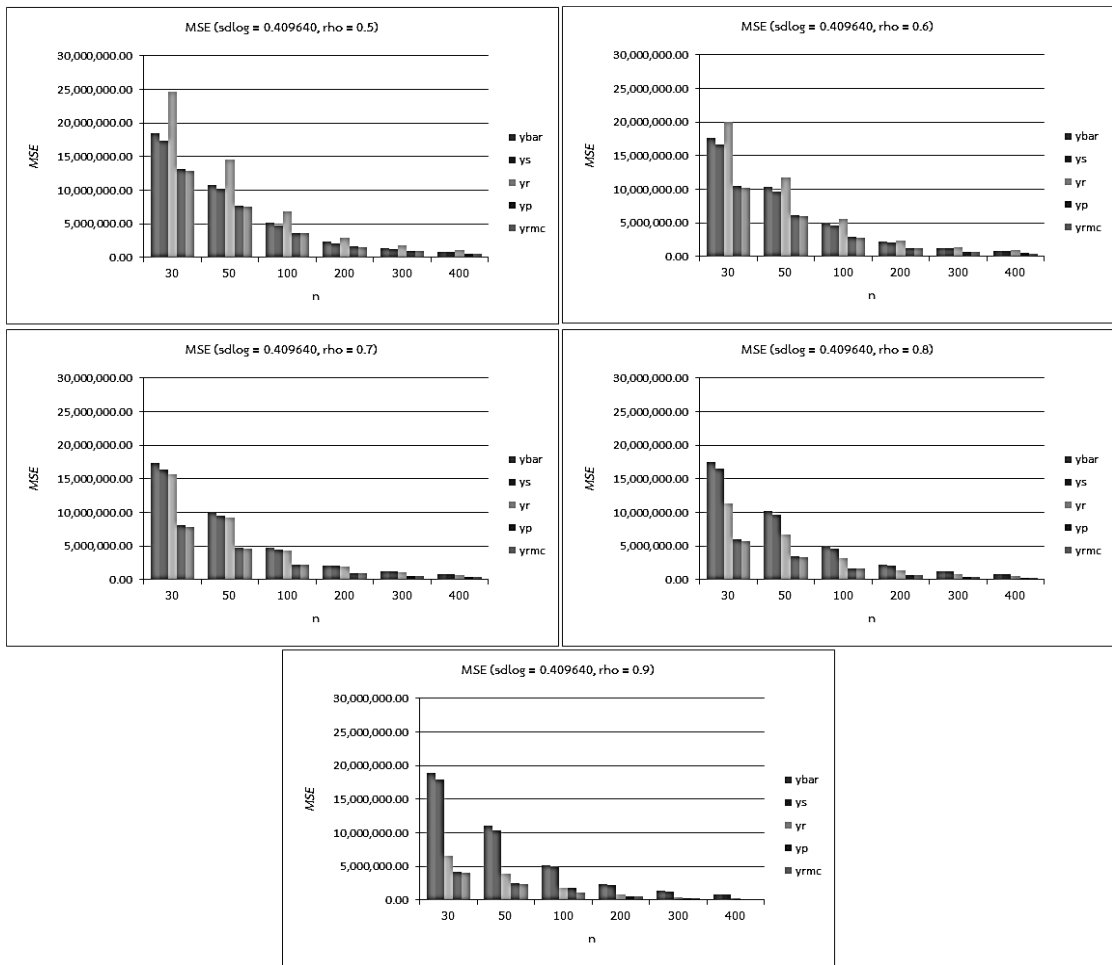
ภาพที่ 4-6 กราฟค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.4$

จากตารางที่ 4-11 และภาพที่ 4-6 ปรากฏว่า กรณีพารามิเตอร์ $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.4 PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณ มีลักษณะ ดังนี้

1. PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณมีค่าเกิน 100 ในทุกสถานการณ์
2. เมื่อ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้น PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับ \bar{y} และ \bar{y}_s มีค่าเพิ่มขึ้นมาก ในขณะที่เทียบกับ \bar{y}_p มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเทียบกับ \bar{y}_r มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ρ_{XY} เท่ากับ 0.5, 0.6 และ 0.7 และมีค่าน้อยลง เมื่อ ρ_{XY} เท่ากับ 0.8 และ 0.9
3. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าคงที่ n เพิ่มขึ้น PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
4. เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.3 ค่า PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s และ \bar{y}_r มีค่าเกิน 100 น้อยลง ในขณะที่เทียบกับตัวประมาณ \bar{y}_p มีค่าเกิน 100 มากขึ้น

ตารางที่ 4-12 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $\text{sdlog} = 0.409640$

ρ_{XY}	ตัวอย่าง		MSE ของตัวประมาณ				
	n	\bar{y}	\bar{y}_s	\bar{y}_r	\bar{y}_p	\bar{y}_{RMC}	
0.5	30	18,506,576.00	17,398,633.00	24,697,594.00	13,166,108.00	12,921,888.00	
	50	10,840,459.00	10,151,708.00	14,521,146.00	7,750,434.00	7,596,617.00	
	100	5,132,193.00	4,810,441.00	6,850,816.00	3,673,066.00	3,597,595.00	
	200	2,305,665.00	2,154,573.00	2,983,246.00	1,622,102.00	1,589,284.00	
	300	1,335,069.50	1,264,414.40	1,759,443.00	950,826.50	935,908.00	
	400	854,245.50	805,308.40	1,123,784.20	607,812.40	596,721.00	
0.6	30	17,680,543.00	16,626,901.00	20,072,951.00	10,436,709.00	10,239,461.00	
	50	10,347,636.00	9,643,210.00	11,806,422.00	6,139,062.00	6,008,664.00	
	100	4,897,921.00	4,589,417.00	5,570,331.00	2,909,828.00	2,852,523.00	
	200	2,200,925.00	2,070,149.00	2,425,781.00	1,287,834.00	1,262,345.00	
	300	1,274,081.70	1,207,381.60	1,430,305.40	753,524.30	741,753.60	
	400	815,155.40	778,448.30	913,624.20	481,807.20	475,003.00	
0.7	30	17,307,272.00	16,302,550.00	15,687,346.00	8,049,389.00	7,868,617.00	
	50	10,119,740.00	9,445,431.00	9,231,607.00	4,728,679.00	4,609,200.00	
	100	4,789,408.00	4,492,622.00	4,355,665.00	2,241,897.00	2,189,111.00	
	200	2,151,194.80	2,026,327.40	1,896,968.40	995,224.30	972,024.30	
	300	1,245,641.70	1,181,253.80	1,117,972.30	580,784.60	569,902.20	
	400	796,774.50	761,595.40	714,376.30	371,555.60	365,339.90	
0.8	30	17,510,591.00	16,560,795.00	11,314,766.00	5,950,603.00	5,787,785.00	
	50	10,229,292.00	9,588,843.00	6,663,991.00	3,487,639.00	3,380,135.00	
	100	4,840,771.00	4,557,187.00	3,144,364.00	1,654,340.00	1,606,503.00	
	200	2,170,987.60	2,052,757.80	1,369,616.00	737,581.70	716,877.30	
	300	1,258,613.50	1,196,835.50	806,597.50	428,882.00	418,981.00	
	400	804,690.40	771,230.10	515,698.60	274,531.90	268,960.30	
0.9	30	18,832,007.00	17,963,442.00	6,590,395.00	4,226,667.00	4,086,198.00	
	50	10,998,248.00	10,401,789.00	3,888,937.00	2,465,805.00	2,373,341.00	
	100	5,204,501.00	4,938,117.00	1,835,141.00	1,770,949.00	1,129,318.00	
	200	2,326,395.70	2,216,778.50	799,623.40	525,082.80	507,487.50	
	300	1,352,467.30	1,294,097.50	470,230.60	304,021.20	295,365.40	
	400	863,939.00	832,712.90	300,994.80	194,624.00	189,859.00	



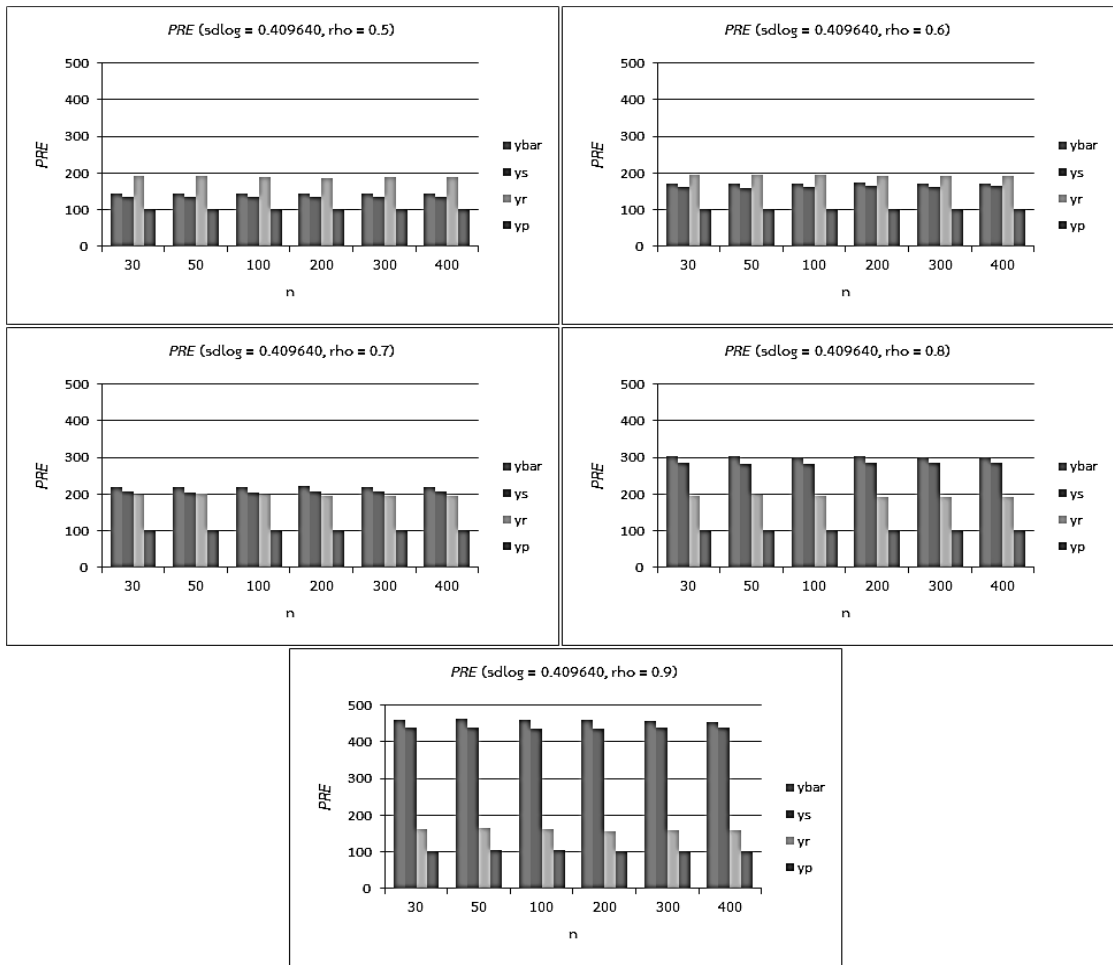
ภาพที่ 4-7 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.409640$

จากตารางที่ 4-12 และภาพที่ 4-7 ปรากฏว่า กรณีพารามิเตอร์ $sdlog$ ของ Y เท่ากับ 0.409640 MSE ของตัวประมาณมีลักษณะ ดังนี้

1. $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าน้อยกว่า $MSE(\bar{y})$, $MSE(\bar{y}_s)$, $MSE(\bar{y}_r)$ และ $MSE(\bar{y}_p)$ ในทุกสถานการณ์
2. เมื่อ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้น MSE ของทุกตัวประมาณมีค่าลดลง แต่เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.8 และ 0.9 $MSE(\bar{y})$ และ $MSE(\bar{y}_s)$ มีค่าเพิ่มขึ้น
3. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าคงที่ n มีค่าเพิ่มขึ้น MSE ของทุกตัวประมาณมีค่าลดลง
4. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเท่ากับ 0.5 และ 0.6 ขณะที่ n มีค่าเพิ่มขึ้น $MSE(\bar{y}_r)$ มีค่ามากที่สุด แต่เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.7, 0.8 และ 0.9 $MSE(\bar{y})$ และ $MSE(\bar{y}_s)$ มีค่ามากที่สุด ในขณะที่ทุกระดับความสัมพันธ์ $MSE(\bar{y}_p)$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าน้อยใกล้เคียงกัน
5. เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.3 และ 0.4 กรณีนี้ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-13 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sd\log = 0.409640$

ρ_{XY}	ตัวอย่าง n	PRE ของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณ			
		\bar{y}	\bar{y}_s	\bar{y}_r	\bar{y}_p
0.5	30	143.2188	134.6447	191.1299	101.8900
	50	142.7011	133.6346	191.1528	102.0248
	100	142.6562	133.7127	190.4277	102.0978
	200	145.0757	135.5688	187.7101	102.0650
	300	142.6496	135.1003	187.9931	101.5940
	400	143.1566	134.9556	188.3266	101.8587
0.6	30	172.6706	162.3806	196.0352	101.9264
	50	172.2119	160.4884	196.4900	102.1702
	100	171.7049	160.8898	195.2774	102.0089
	200	174.3521	163.9923	192.1647	102.0192
	300	171.7662	162.7740	192.8276	101.5869
	400	171.6106	163.8828	192.3407	101.4324
0.7	30	219.9532	207.1844	199.3660	102.2974
	50	219.5552	204.9256	200.5865	102.5922
	100	218.7832	205.2259	198.9696	102.4113
	200	221.3108	208.4647	195.1565	102.3868
	300	218.5711	207.2731	196.1691	101.9095
	400	218.0913	208.4621	195.5374	101.7013
0.8	30	302.5439	286.1336	195.4939	102.8131
	50	302.6297	283.6822	197.1516	103.1805
	100	301.3234	283.6712	195.7272	102.9777
	200	302.8395	286.3472	191.0531	102.8881
	300	300.3987	285.6539	192.5141	102.3631
	400	299.1855	286.7449	191.7378	102.0715
0.9	30	461.1135	439.6127	161.2843	103.4377
	50	463.4077	438.2761	163.8591	103.8959
	100	460.8533	437.2654	162.4999	103.6863
	200	458.4144	436.8144	157.5652	103.4671
	300	457.8963	438.1345	159.2030	102.9305
	400	455.0423	438.5953	158.5359	102.5097



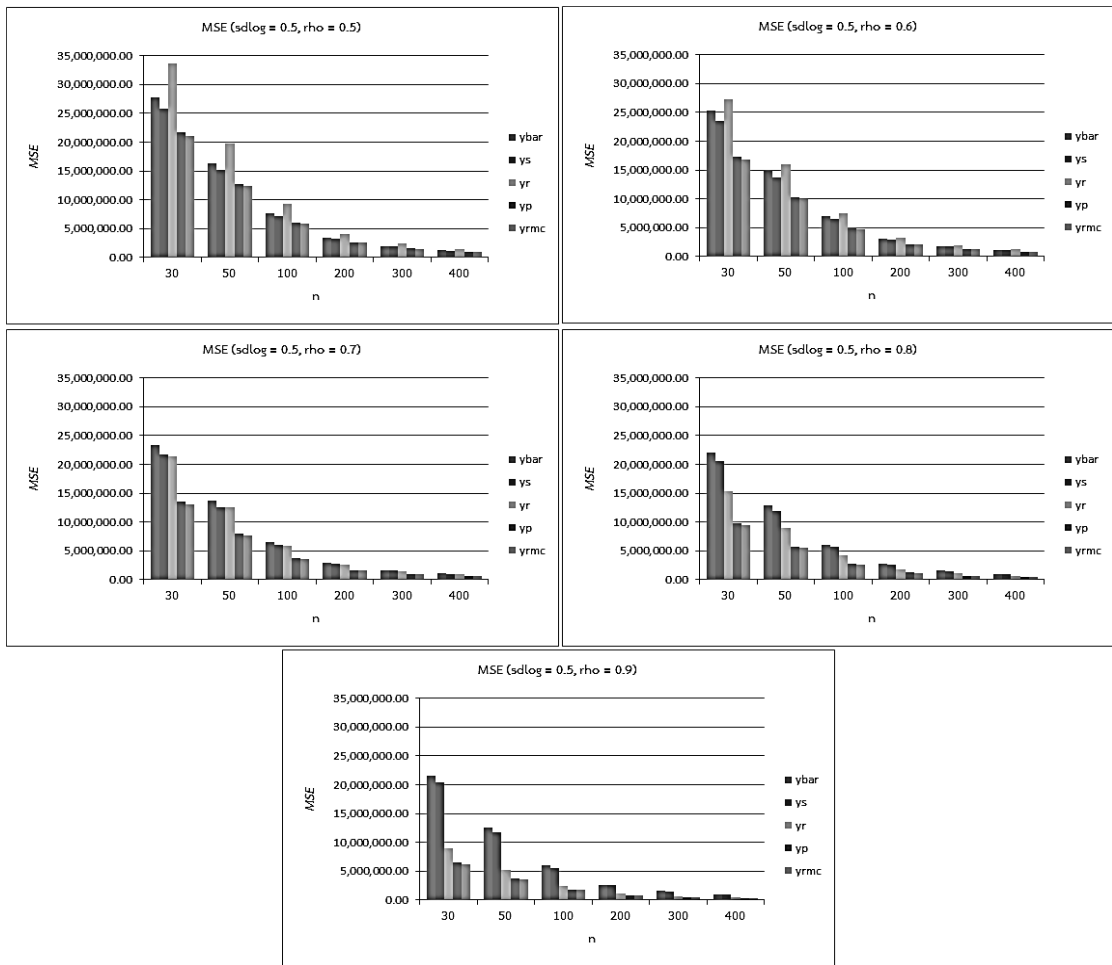
ภาพที่ 4-8 กราฟค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.409640$

จากตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-8 ปรากฏว่า กรณีพารามิเตอร์ $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.4 PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณ มีลักษณะ ดังนี้

1. PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณมีค่าเกิน 100 ในทุกสถานการณ์
2. เมื่อ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้น PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับ \bar{y} และ \bar{y}_s มีค่าเพิ่มขึ้นมาก ในขณะที่เทียบกับ \bar{y}_p มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเทียบกับ \bar{y}_r มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ρ_{XY} เท่ากับ 0.5, 0.6 และ 0.7 และมีค่าน้อยลง เมื่อ ρ_{XY} เท่ากับ 0.8 และ 0.9
3. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าคงที่ n เพิ่มขึ้น PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
4. เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.3 และ 0.4 ค่า PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s และ \bar{y}_r มีค่าเกิน 100 น้อยลง ในขณะที่เทียบกับตัวประมาณ \bar{y}_p มีค่าเกิน 100 มากขึ้น

ตารางที่ 4-14 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี sdlog = 0.5

ρ_{XY}	ตัวอย่าง		MSE ของตัวประมาณ				
	n	\bar{y}	\bar{y}_s	\bar{y}_r	\bar{y}_p	\bar{y}_{RMC}	
0.5	30	27,693,234.00	25,839,857.00	33,626,981.00	21,703,251.00	21,082,447.00	
	50	16,267,423.00	15,115,626.00	19,767,579.00	12,785,175.00	12,395,350.00	
	100	7,704,701.00	7,164,989.00	9,325,054.00	6,059,482.00	5,868,312.00	
	200	3,458,550.00	3,207,636.00	4,066,831.00	2,680,843.00	2,596,859.00	
	300	2,003,864.00	1,886,195.00	2,398,251.00	1,570,545.00	1,531,802.00	
	400	1,286,591.20	1,205,121.80	1,533,022.30	1,006,650.40	978,426.70	
0.6	30	25,243,549.00	23,544,960.00	27,310,038.00	17,370,619.00	16,875,552.00	
	50	14,816,585.00	13,682,514.00	16,057,661.00	10,228,110.00	9,898,026.00	
	100	7,016,576.00	6,520,418.00	7,575,426.00	4,848,488.00	4,702,683.00	
	200	3,151,775.00	2,939,774.00	3,303,786.00	2,148,674.00	2,083,746.00	
	300	1,824,892.00	1,718,181.00	1,947,920.00	1,257,017.00	1,226,685.00	
	400	1,171,526.70	1,112,012.80	1,245,163.20	805,971.00	788,306.10	
0.7	30	23,320,128.00	21,765,089.00	21,322,138.00	13,464,493.00	13,035,985.00	
	50	13,673,557.00	12,632,010.00	12,540,407.00	7,921,565.00	7,635,968.00	
	100	6,474,607.00	6,017,065.00	5,916,501.00	3,756,263.00	3,629,609.00	
	200	2,908,976.00	2,714,767.00	2,580,345.00	1,668,487.00	1,612,569.00	
	300	1,683,736.50	1,585,015.10	1,520,764.10	974,084.40	947,694.80	
	400	1,080,553.30	1,025,872.40	972,380.70	624,957.60	609,722.50	
0.8	30	21,958,295.00	20,560,662.00	15,353,715.00	9,850,219.00	9,492,255.00	
	50	12,858,964.00	11,919,025.00	9,034,354.00	5,786,406.00	5,548,037.00	
	100	6,088,172.00	5,673,127.00	4,262,786.00	2,745,277.00	2,638,995.00	
	200	2,733,495.00	2,558,801.00	1,859,188.00	1,223,507.00	1,177,123.00	
	300	1,582,868.50	1,492,955.30	1,095,068.30	712,213.30	690,027.30	
	400	1,015,090.90	965,718.50	700,487.00	457,284.80	444,623.80	
0.9	30	21,560,762.00	20,360,791.00	8,908,378.00	6,486,566.00	6,212,903.00	
	50	12,606,764.00	11,794,685.00	5,247,684.00	3,797,324.00	3,615,528.00	
	100	5,968,009.00	5,606,595.00	2,476,572.00	1,803,631.00	1,721,826.00	
	200	2,672,552.10	2,522,373.80	1,080,274.40	807,987.60	772,965.80	
	300	1,550,904.90	1,472,135.60	635,489.60	468,338.80	451,221.50	
	400	993,123.20	950,432.80	406,870.20	300,855.20	291,268.50	



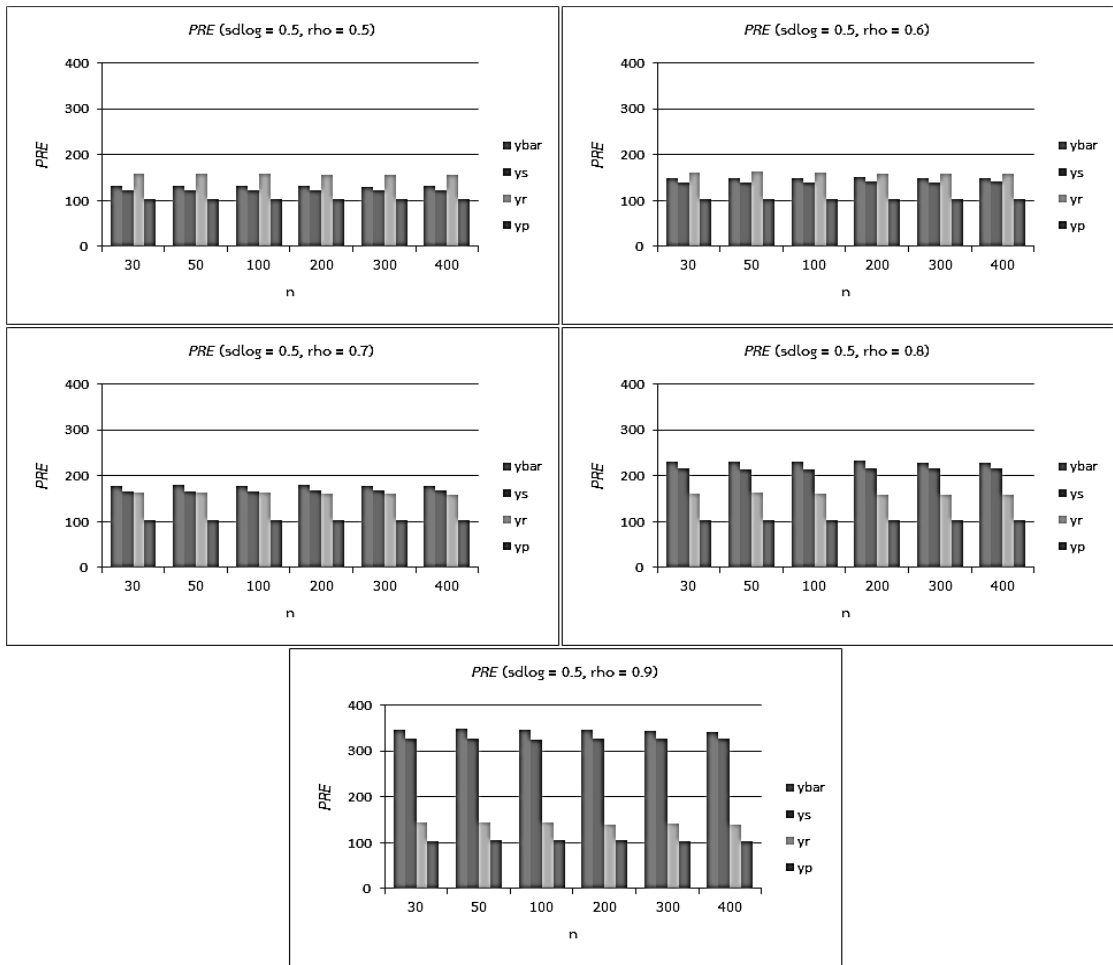
ภาพที่ 4-9 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.5$

จากตารางที่ 4-14 และภาพที่ 4-9 ปรากฏว่า กรณีพารามิเตอร์ $sdlog$ ของ Y เท่ากับ 0.5 MSE ของตัวประมาณมีลักษณะ ดังนี้

1. $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าน้อยกว่า $MSE(\bar{y})$, $MSE(\bar{y}_s)$, $MSE(\bar{y}_r)$ และ $MSE(\bar{y}_p)$ ในทุกสถานการณ์
2. เมื่อ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้น MSE ของทุกตัวประมาณมีค่าลดลง
3. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าคงที่ n มีค่าเพิ่มขึ้น MSE ของทุกตัวประมาณมีค่าลดลง
4. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเท่ากับ 0.5 และ 0.6 ขณะที่ n มีค่าเพิ่มขึ้น $MSE(\bar{y}_r)$ มีค่ามากที่สุด แต่เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.7, 0.8 และ 0.9 $MSE(\bar{y})$ และ $MSE(\bar{y}_s)$ มีค่ามากที่สุด ในขณะที่ทุกระดับความสัมพันธ์ $MSE(\bar{y}_p)$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าน้อยใกล้เคียงกัน
5. เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.409640 กรณีนี้ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-15 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี sdlog 0.5

ρ_{XY}	ตัวอย่าง n	PRE ของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณ			
		\bar{y}	\bar{y}_s	\bar{y}_r	\bar{y}_p
0.5	30	131.3568	122.5657	159.5023	102.9446
	50	131.2381	121.9459	159.4758	103.1449
	100	131.2933	122.0963	158.9052	103.2577
	200	133.1820	123.5198	156.6057	103.2341
	300	130.8174	123.1357	156.5640	102.5293
	400	131.4959	123.1693	156.6824	102.8846
0.6	30	149.5865	139.5211	161.8320	102.9336
	50	149.6923	138.2348	162.2309	103.3349
	100	149.2037	138.6532	161.0873	103.1005
	200	151.2533	141.0812	158.5503	103.1159
	300	148.7661	140.0670	158.7954	102.4727
	400	148.6132	141.0636	157.9543	102.2409
0.7	30	178.8904	166.9616	163.5637	103.2871
	50	179.0677	165.4277	164.2281	103.7401
	100	178.3830	165.7772	163.0066	103.4895
	200	180.3939	168.3504	160.0145	103.4676
	300	177.6665	167.2495	160.4699	102.7846
	400	177.2205	168.2524	159.4792	102.4987
0.8	30	231.3285	216.6046	161.7499	103.7711
	50	231.7750	214.8332	162.8387	104.2965
	100	230.7004	214.9730	161.5307	104.0274
	200	232.2184	217.3776	157.9434	103.9405
	300	229.3922	216.3618	158.6993	103.2152
	400	228.3033	217.1990	157.5460	102.8476
0.9	30	347.0320	327.7178	143.3851	104.4047
	50	348.6839	326.2231	145.1430	105.0282
	100	346.6094	325.6192	143.8341	104.7511
	200	345.7530	326.3241	139.7571	104.5308
	300	343.7125	326.2556	140.8376	103.7935
	400	340.9649	326.3082	139.6891	103.2914



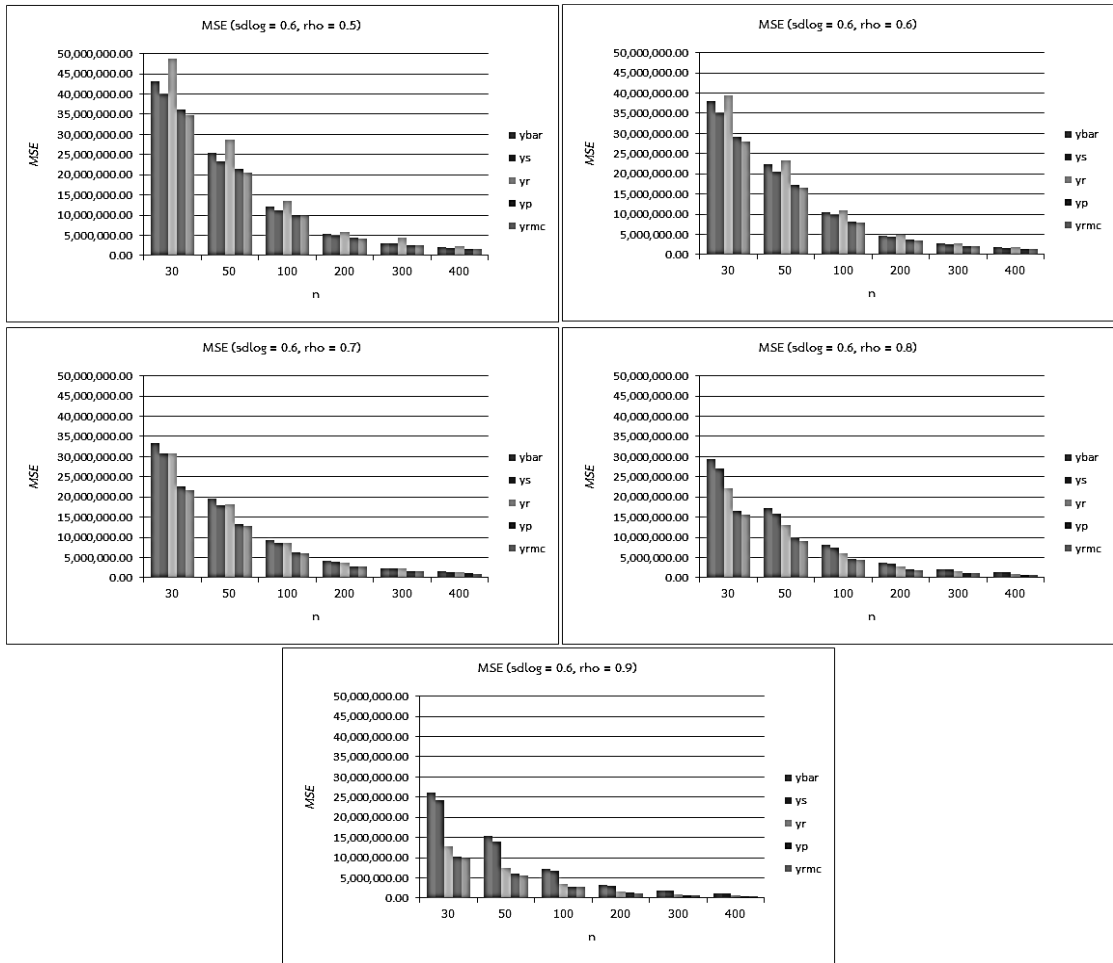
ภาพที่ 4-10 กราฟค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.5$

จากตารางที่ 4-15 และภาพที่ 4-10 ปรากฏว่า กรณีพารามิเตอร์ $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.5 PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณ มีลักษณะ ดังนี้

1. PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณมีค่าเกิน 100 ในทุกสถานการณ์
2. เมื่อ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้น PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับ \bar{y} และ \bar{y}_s มีค่าเพิ่มขึ้นมาก ในขณะที่เทียบกับ \bar{y}_p มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเทียบกับ \bar{y}_r มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ρ_{XY} เท่ากับ 0.5, 0.6 และ 0.7 และมีค่าน้อยลง เมื่อ ρ_{XY} เท่ากับ 0.8 และ 0.9
3. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าคงที่ n เพิ่มขึ้น PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
4. เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.409640 ค่า PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s และ \bar{y}_r มีค่าเกิน 100 น้อยลง ในขณะที่เทียบกับตัวประมาณ \bar{y}_p มีค่าเกิน 100 มากขึ้น

ตารางที่ 4-16 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.6$

ρ_{XY}	ตัวอย่าง		MSE ของตัวประมาณ ($sdlog = 0.6$)				
	n	\bar{y}	\bar{y}_s	\bar{y}_r	\bar{y}_p	\bar{y}_{RMC}	
0.5	30	43,132,444.00	39,849,603.00	48,665,363.00	36,180,332.00	34,719,081.00	
	50	25,431,571.00	23,391,685.00	28,633,733.00	21,360,975.00	20,442,061.00	
	100	12,046,768.00	11,088,412.00	13,509,333.00	10,124,803.00	9,673,960.00	
	200	5,402,983.00	4,961,798.00	5,906,973.00	4,487,484.00	4,288,263.00	
	300	3,132,093.00	2,924,230.00	4,380,702.00	2,626,811.00	2,533,695.00	
	400	2,018,907.00	1,875,687.00	2,228,979.00	1,689,171.00	1,622,684.00	
0.6	30	37,924,174.00	34,968,409.00	39,501,232.00	29,127,963.00	27,879,369.00	
	50	22,345,852.00	20,425,879.00	23,243,716.00	17,193,057.00	16,464,494.00	
	100	10,584,645.00	9,746,431.00	10,967,036.00	8,150,997.00	7,805,361.00	
	200	4,751,310.00	4,361,793.00	4,795,189.00	3,617,270.00	3,455,694.00	
	300	2,751,927.00	2,565,141.00	2,825,169.00	2,115,077.00	2,035,800.00	
	400	1,773,743.00	1,663,830.00	1,809,172.00	1,360,382.00	1,314,796.00	
0.7	30	33,367,127.00	30,790,197.00	30,817,375.00	22,643,397.00	21,670,249.00	
	50	19,641,463.00	17,917,330.00	18,135,473.00	13,359,050.00	12,705,164.00	
	100	9,303,476.00	8,546,276.00	8,557,570.00	6,335,445.00	6,043,727.00	
	200	4,178,908.00	3,855,317.00	3,741,589.00	2,816,441.00	2,687,458.00	
	300	2,418,611.00	2,256,103.00	2,203,724.00	1,644,184.00	1,582,950.00	
	400	1,558,473.00	1,467,282.00	1,411,467.00	1,058,447.00	1,022,811.00	
0.8	30	29,353,272.00	27,144,281.00	22,163,273.00	16,457,227.00	15,682,480.00	
	50	17,254,079.00	15,771,196.00	13,044,764.00	9,700,243.00	9,180,119.00	
	100	8,172,331.00	7,518,384.00	6,156,240.00	4,612,791.00	4,369,881.00	
	200	3,671,063.00	3,393,614.00	2,691,588.00	2,051,390.00	1,949,264.00	
	300	2,124,164.00	1,983,297.00	1,584,503.00	1,194,774.00	1,145,845.00	
	400	1,367,702.90	1,289,278.20	1,015,166.60	769,789.00	741,557.90	
0.9	30	26,038,110.00	24,277,343.00	12,820,649.00	10,311,772.00	9,767,078.00	
	50	15,270,765.00	14,082,341.00	7,549,211.00	6,063,185.00	5,698,253.00	
	100	7,232,232.00	6,704,625.00	3,563,684.00	2,880,273.00	2,715,769.00	
	200	3,243,557.00	3,022,326.00	1,558,037.00	1,289,201.00	1,218,122.00	
	300	1,879,105.40	1,764,782.90	916,259.60	747,989.10	713,390.90	
	400	1,207,607.00	1,144,782.30	587,404.20	482,355.90	462,691.60	



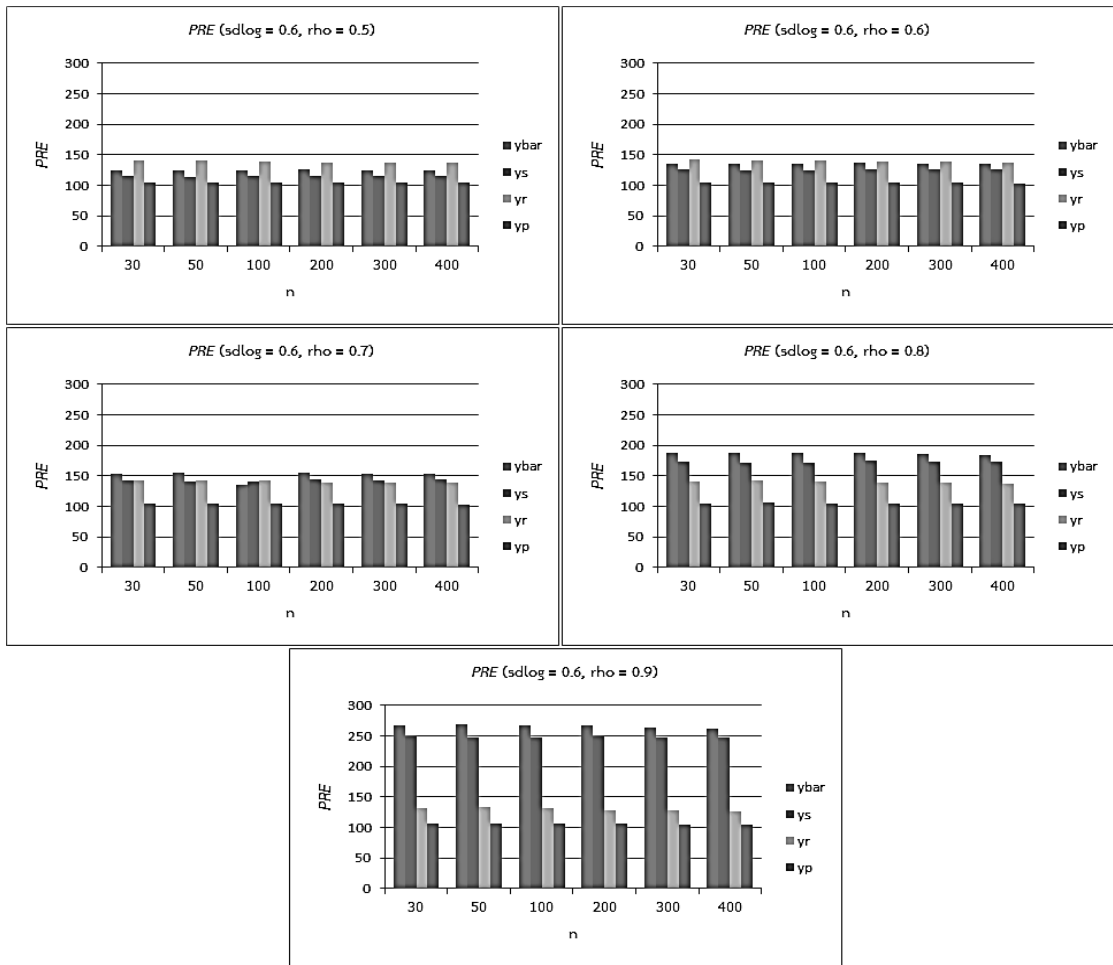
ภาพที่ 4-11 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) กรณี $sdlog = 0.6$

จากตารางที่ 4-16 และภาพที่ 4-11 ปรากฏว่า กรณีพารามิเตอร์ $sdlog$ ของ Y เท่ากับ 0.6 MSE ของตัวประมาณมีลักษณะ ดังนี้

1. $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าน้อยกว่า $MSE(\bar{y})$, $MSE(\bar{y}_s)$, $MSE(\bar{y}_r)$ และ $MSE(\bar{y}_p)$ ในทุกสถานการณ์
2. เมื่อ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้น MSE ของทุกตัวประมาณมีค่าลดลง
3. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าคงที่ n มีค่าเพิ่มขึ้น MSE ของทุกตัวประมาณมีค่าลดลง
4. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเท่ากับ 0.5 และ 0.6 ขณะที่ n มีค่าเพิ่มขึ้น $MSE(\bar{y}_r)$ มีค่ามากที่สุด แต่เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.7, 0.8 และ 0.9 $MSE(\bar{y})$ และ $MSE(\bar{y}_s)$ มีค่ามากที่สุด ในขณะที่ทุกระดับความสัมพันธ์ $MSE(\bar{y}_p)$ และ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าน้อยใกล้เคียงกัน
5. เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.3, 0.4, 0.409640 และ 05 กรณีนี้ $MSE(\bar{y}_{RMC})$ มีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-17 ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี sdlog 0.6

ρ_{XY}	ตัวอย่าง n	PRE ของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณ			
		\bar{y}	\bar{y}_s	\bar{y}_r	\bar{y}_p
0.5	30	124.2327	114.7772	140.1689	104.2088
	50	124.4081	114.4292	140.0726	104.4952
	100	124.5278	114.6212	139.6464	104.6604
	200	125.9947	115.7065	137.7474	104.6457
	300	123.6176	115.4136	137.3765	103.6751
	400	124.4178	115.5917	137.3637	104.0974
0.6	30	136.0295	125.4275	141.6863	104.4786
	50	135.7215	124.0602	141.1748	104.4251
	100	135.6074	124.8684	140.5065	104.4282
	200	137.4922	126.2205	138.7619	104.6756
	300	135.1767	126.0016	138.7744	103.8941
	400	134.9063	126.5466	137.6009	103.4899
0.7	30	153.9767	142.0851	142.2105	104.4907
	50	154.5943	141.0240	142.7410	105.1466
	100	135.9361	141.4074	141.5943	104.8268
	200	155.4967	143.4559	139.2241	104.7994
	300	152.7914	142.5252	139.2163	103.8683
	400	152.3716	143.4559	137.9989	103.4842
0.8	30	187.1724	173.0867	141.3251	104.9402
	50	187.9505	171.7973	142.0980	105.6658
	100	187.0150	172.0501	140.8789	105.3299
	200	188.3308	174.0992	138.0823	105.2393
	300	185.3797	173.0861	138.2827	104.2702
	400	184.4364	173.8620	136.8965	103.8070
0.9	30	266.5906	248.5630	131.2639	105.5768
	50	267.9903	247.1344	132.4829	106.4043
	100	266.3051	246.8776	131.2219	106.0574
	200	266.2752	248.1135	127.9048	105.8351
	300	263.4047	247.3795	128.4371	104.8498
	400	260.9961	247.4180	126.9537	104.2500



ภาพที่ 4-12 กราฟค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) กรณี $sdlog = 0.6$

จากตารางที่ 4-17 และภาพที่ 4-12 ปรากฏว่า กรณีพารามิเตอร์ $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.6 PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณ มีลักษณะ ดังนี้

1. PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณมีค่าเกิน 100 ในทุกสถานการณ์
2. เมื่อ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} มีค่าเพิ่มขึ้น PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับ \bar{y} และ \bar{y}_s มีค่าเพิ่มขึ้นมาก ในขณะที่เทียบกับ \bar{y}_p มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเทียบกับ \bar{y}_r มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ρ_{XY} เท่ากับ 0.5, 0.6 และ 0.7 และมีค่าน้อยลง เมื่อ ρ_{XY} เท่ากับ 0.8 และ 0.9
3. เมื่อ ρ_{XY} มีค่าคงที่ n เพิ่มขึ้น PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับทุกตัวประมาณมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
4. เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี $sdlog$ ของตัวแปร Y เท่ากับ 0.3, 0.4, 0.409640 และ 0.5 ค่า PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s และ \bar{y}_r มีค่าเกิน 100 น้อยลง ในขณะที่เทียบกับตัวประมาณ \bar{y}_p มีค่าเกิน 100 มากขึ้น

จากตารางที่ 4-8 ถึง 4-17 และภาพที่ 4-3 ถึง 4-12 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณด้วยข้อมูลจากการจำลอง 150 สถานการณ์ ($sdlog = 0.3, 0.4, 0.409640, 0.5, 0.6, \rho_{XY} = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, n = 30, 50, 100, 200, 300, 400$) โดยพิจารณาประสิทธิภาพของตัวประมาณจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ต่ำสุด ค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (PRE) มีค่าเกิน 100 สามารถสรุปเป็นประเด็นต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} มีความประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณอื่นในทุกสถานการณ์
2. เมื่อ $sdlog = 0.3$ และ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} แปรผันตรงกับประสิทธิภาพของตัวประมาณ \bar{y}_r, \bar{y}_p และ \bar{y}_{RMC} และแปรผกผันกับประสิทธิภาพของตัวประมาณ \bar{y} และ \bar{y}_s
3. เมื่อ $sdlog = 0.4$ และ 0.409640 และ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} แปรผันตรงกับประสิทธิภาพของทุกตัวประมาณ แต่เมื่อ ρ_{XY} เท่ากับ 0.8 และ 0.9 แปรผกผันกับประสิทธิภาพของตัวประมาณ \bar{y} และ \bar{y}_s
4. เมื่อ $sdlog = 0.5$ และ 0.6 และ n มีค่าคงที่ ρ_{XY} แปรผันตรงประสิทธิภาพของทุกตัวประมาณ
5. ในทุกระดับของ $sdlog$ เมื่อ ρ_{XY} คงที่ n แปรผันตรงกับประสิทธิภาพของทุกตัวประมาณ โดยที่เมื่อ $\rho_{XY} = 0.5$ และ 0.6 ตัวประมาณ \bar{y}_r มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด เมื่อ $\rho_{XY} = 0.7, 0.8$ และ 0.9 ตัวประมาณ \bar{y} และ \bar{y}_s มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในขณะที่ทุกระดับความสัมพันธ์ ตัวประมาณ \bar{y}_p และ \bar{y}_{RMC} มีประสิทธิภาพมากเหมือนกัน
6. เมื่อ ρ_{XY} และ n มีค่าคงที่ $sdlog$ แปรผกผันกับประสิทธิภาพของทุกตัวประมาณ
7. ในทุกระดับของ $sdlog$ และ n มีค่าคงที่ เมื่อ ρ_{XY} มีค่าเท่ากับ 0.5 และ 0.6 ตัวประมาณ \bar{y}_r มีค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์มากที่สุด และเมื่อ ρ_{XY} มีค่าเท่ากับ $0.7, 0.8$ และ 0.9 ตัวประมาณ \bar{y} และ \bar{y}_s มีค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์มากที่สุด ขณะที่ตัวประมาณ \bar{y}_p มีค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ใกล้เคียงกันในทุกกระดับของ ρ_{XY}
8. ในทุกระดับของ $sdlog$ และ ρ_{XY} มีค่าคงที่ เมื่อ n มีค่าเพิ่มขึ้นตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} มีประสิทธิภาพมากกว่าทุกตัวประมาณเล็กน้อย
9. เมื่อ ρ_{XY} และ n มีค่าคงที่ $sdlog$ มีค่าเพิ่มขึ้น ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพน้อยลงเมื่อ เทียบกับตัวประมาณ \bar{y}, \bar{y}_s และ \bar{y}_r แต่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเทียบกับตัวประมาณ \bar{y}_p

กล่าวโดยสรุป ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s , \bar{y}_r และ \bar{y}_p ในทุกสถานการณ์ เป็นไปตามสมมติฐาน ตัวประมาณ \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

ตอนที่ 3 การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไข ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ปีงบประมาณ 2562

ขั้นตอนนี้เป็นผลการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ย (ต้นต่อปี) ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ผู้วิจัยใช้ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ (ต้นต่อปี) ในกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2551-2561 ซึ่งรายงานโดยสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร โดยใช้ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ 2561 เป็นข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 มีขั้นตอนดังนี้

1. ผลการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC}

ขั้นตอนนี้เป็นผลการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ ปีงบประมาณ 2551-2559 ประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ ปีงบประมาณ 2552-2560 โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 กรณี คือกรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน และกรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ เนื่องจากพารามิเตอร์เป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปี แต่ในการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 ใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ 2561 ซึ่งมีข้อมูลเพียง 6 เดือนแรกเท่านั้น โดยกำหนดให้

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ t เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ Y_t

ตัวแปรช่วย คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ t-1 เขียนแทนด้วย
 สัญลักษณ์ X_{t-1}
 เมื่อ t แทน ปีงบประมาณ 2552-2560
 เลือกตัวอย่างสำนักงานเขตพื้นที่จำนวน 19 แห่ง จากทั้งหมด 51 แห่งเพื่อรวบรวมข้อมูล
 (y, x) โดยในแต่ละปีงบประมาณจะเลือกตัวอย่างซ้ำจำนวน 100 รอบ และศึกษาความคลาดเคลื่อนใน
 การประมาณด้วยค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean Percent Relative Error:
 MPRE) ตัวประมาณแสดงดังสมการที่ (4.35) และ (4.36)

$$\bar{y}_{RMC(t)} = \begin{cases} (\bar{y}_t + c_1) \frac{\bar{X}_{t-1} + M_{d(t-1)}}{(\bar{x}_{(t-1)} + c_2) + M_{d(t-1)}} & \text{กรณีที่1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ (\bar{y}_t - c_1) \frac{\bar{X}_{t-1} + M_{d(t-1)}}{(\bar{x}_{t-1} - c_2) + M_{d(t-1)}} & \text{กรณีที่2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \bar{y}_t \frac{\bar{X}_{t-1} + M_{d(t-1)}}{\bar{x}_{t-1} + M_{d(t-1)}} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่1 และ 2} \end{cases}$$

ข้อมูล 12 เดือน

(4.35)

$$\bar{y}_{RMC(t)} = \begin{cases} \left((\bar{y}_t + c_1) \frac{\bar{X}_{t-1} + M_{d(t-1)}}{(\bar{x}_{(t-1)} + c_2) + M_{d(t-1)}} \right) \times w_1 & \text{กรณีที่1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ \left((\bar{y}_t - c_1) \frac{\bar{X}_{t-1} + M_{d(t-1)}}{(\bar{x}_{t-1} - c_2) + M_{d(t-1)}} \right) \times w_1 & \text{กรณีที่2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ & \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \left(\bar{y}_t \frac{\bar{X}_{t-1} + M_{d(t-1)}}{\bar{x}_{t-1} + M_{d(t-1)}} \right) \times w_1 & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่1 และ 2} \end{cases}$$

ข้อมูล 6 เดือน

(4.36)

- เมื่อ \bar{X} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย
 \bar{x} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย
 \bar{y} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา
 M_d คือ พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย
 y_{max} คือ ค่าตัวแปรที่ศึกษาที่มีค่ามากที่สุดในประชากร
 y_{min} คือ ค่าตัวแปรที่ศึกษาที่มีค่าน้อยที่สุดในประชากร

- x_{max} คือ ค่าตัวแปรช่วยที่มีค่ามากที่สุดในประชากร
- x_{min} คือ ค่าตัวแปรช่วยที่มีค่าน้อยที่สุดในประชากร
- t คือ ปีงบประมาณ 2552-2560
- w_1 คือ ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนปริมาณขยะมูลฝอย 12 เดือนต่อ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2551-2560 มีค่าเท่ากับ 2.05
- $$c_1 = \frac{y_{max} - y_{min}}{2n} \text{ และ } c_2 = \frac{x_{max} - x_{min}}{2n}$$

การคำนวณค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Percent Relative Error: PRE) ของการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในแต่ละรอบ (PRE_i) ดังสมการที่ (4.37) และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยในปีที่ t ($MPRE_t$) ดังสมการที่ (4.38)

$$PRE_i = \left(\frac{|\bar{y}_{RMC(t)_i} - \bar{Y}_t|}{\bar{Y}_t} \right) \times 100 \quad (4.37)$$

$$MPRE_t = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} PRE_i \quad (4.38)$$

- เมื่อ PRE_i คือ ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยรอบที่ i เมื่อ $i=1,2,3, \dots, 100$
- $\bar{y}_{RMC(t)_i}$ คือ ค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยปีงบประมาณ t รอบที่ i
- \bar{Y}_t คือ ค่าพารามิเตอร์ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยปีที่ t
- $MPRE_t$ คือ ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยปีที่ t

ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยปีงบประมาณที่ t ($MPRE_t$) และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย ($MPRE$) กรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน และกรณีใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ แสดงดังตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-18 ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยปีงบประมาณที่ t (MPRE_t)

กรณี	ค่า MPRE _t ของปีงบประมาณ										
	ข้อมูล	2560	2559	2558	2557	2556	2555	2554	2553	2552	MPRE
12 เดือน	2.643	2.530	2.416	2.522	2.527	2.814	2.539	2.405	2.488	2.543	
6 เดือน	2.758	2.485	2.542	2.660	2.551	3.722	2.705	2.440	2.584	2.716	

จากตารางที่ 4-18 แสดงให้เห็นว่า การประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครโดยใช้ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} กรณีใช้ข้อมูล 12 เดือน ดังสมการที่ (4.35) ให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 2.405–2.814 หรือเฉลี่ยร้อยละ 2.543 ส่วนกรณีใช้ข้อมูล 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ ดังสมการที่ (4.36) ให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 2.440–3.722 หรือเฉลี่ยร้อยละ 2.716

2. ผลการศึกษาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC}

ขั้นตอนนี้เป็นผลศึกษาความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครเมื่อใช้ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ดังสมการที่ (4.39) โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2553–2560

$$\bar{y}_t = (\bar{y}_{RMC(t-1)} \times w_1) \times w_2 \quad (4.39)$$

ดังนั้น

$$\bar{y}_t = \begin{cases} \left((\bar{y}_{t-1} + c_1) \frac{\bar{X}_{t-2} + M_{d(t-2)}}{(\bar{X}_{t-2} + c_2) + M_{d(t-2)}} \times w_1 \right) \times w_2 & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \end{array} \\ \left((\bar{y}_{t-1} - c_1) \frac{\bar{X}_{t-2} + M_{d(t-2)}}{(\bar{X}_{t-2} - c_2) + M_{d(t-2)}} \times w_1 \right) \times w_2 & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \end{array} \\ \left(\bar{y}_{t-1} \frac{\bar{X}_{t-2} + M_{d(t-2)}}{\bar{X}_{t-2} + M_{d(t-2)}} \times w_1 \right) \times w_2 & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases}$$

เมื่อ \bar{y}_t คือ ค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยในปีงบประมาณที่ t

เมื่อ t=2553, 2554, 2555, ..., 2560

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

- w_2 คือ อัตราส่วนเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอยในปีงบประมาณ t ต่อ $t-1$ มีค่าเท่ากับ 1.0205
- \bar{X} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ $t-2$
- \bar{x} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ $t-2$
- \bar{y} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ $t-1$
- M_d คือ พารามิเตอร์มัธยฐานของปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ $t-2$
- y_{max} คือ ปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ $t-1$ ที่มีค่ามากที่สุดในประชากร
- y_{min} คือ ปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ $t-1$ ที่มีค่าน้อยที่สุดในประชากร
- x_{max} คือ ปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ $t-2$ ที่มีค่ามากที่สุดในประชากร
- x_{min} คือ ปริมาณขยะมูลฝอยในปีที่ $t-2$ ที่มีค่าน้อยที่สุดในประชากร
- $c_1 = \frac{y_{max} - y_{min}}{2n}$ และ $c_2 = \frac{x_{max} - x_{min}}{2n}$

ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยในการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ปีงบประมาณ t ($MPRE_t$) โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2553–2560 แสดงดังตารางที่ 4-19

ตารางที่ 4-19 ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยของการพยากรณ์ปีงบประมาณ 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 4-19 แสดงให้เห็นว่า การพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ดังสมการที่ (4.39) โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ ให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 2.445–3.765 หรือเฉลี่ยร้อยละ 2.952

จากผลการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ t ด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} กรณีใช้ข้อมูล 12 เดือน และ กรณีใช้ข้อมูล 6 เดือนแรกของปีงบประมาณให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 2.543 และ 2.716 ตามลำดับ ส่วนความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่

จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ ให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 2.952 ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือร้อยละ 10 ในทุกกรณี เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ จึงพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุดต่อไป

3. ผลการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562

ขั้นตอนนี้เป็นการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 หลังจากศึกษาความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ตามขั้นตอนที่ 2 ซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 2.952 แล้ว จึงพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ดังสมการที่ (4.40)

$$\bar{y}_{62} = (\bar{y}_{RMC(61)} \times w_1) \times w_2 \quad (4.40)$$

$$\bar{y}_{62} = \begin{cases} \left((\bar{y}_{61} + c_1) \frac{\bar{X}_{60} + M_{d(60)}}{(\bar{X}_{60} + c_2) + M_{d(60)}} \times w_1 \right) \times w_2 & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \end{array} \\ \left((\bar{y}_{61} - c_1) \frac{\bar{X}_{60} + M_{d(60)}}{(\bar{X}_{60} - c_2) + M_{d(60)}} \times w_1 \right) \times w_2 & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \end{array} \\ \left(\bar{y}_{61} \frac{\bar{X}_{60} + M_{d(60)}}{\bar{X}_{60} + M_{d(60)}} \times w_1 \right) \times w_2 & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases}$$

- เมื่อ \bar{y}_{62} คือ ค่าประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยในปีงบประมาณ 2562
 w_1 คือ อัตราส่วนเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอย 12 เดือนต่อ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2551 – 2560 มีค่าเท่ากับ 2.05
 w_2 คือ อัตราส่วนเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอยในปีงบประมาณ t ต่อ t-1 มีค่าเท่ากับ 1.0205
 \bar{X}_{60} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอย 6 เดือนแรกในปีงบประมาณ 2560

\bar{X}_{60} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอย 6 เดือนแรก
ในปีงบประมาณ 2560

\bar{Y}_{61} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอย 6 เดือนแรก
ในปีงบประมาณ 2561

$M_{d(60)}$ คือ พารามิเตอร์มัธยฐานของปริมาณขยะมูลฝอย 6 เดือนแรก
ในปีงบประมาณ 2560

y_{max} คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่มีค่ามากที่สุดในประชากร

y_{min} คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่มีค่าน้อยที่สุดในประชากร

x_{max} คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่มีค่ามากที่สุดในประชากร

x_{min} คือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่มีค่าน้อยที่สุดในประชากร

$$c_1 = \frac{y_{max} - y_{min}}{2n} \text{ และ } c_2 = \frac{x_{max} - x_{min}}{2n}$$

จากการเลือกตัวอย่างสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 19 แห่ง เพื่อรวบรวม
ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอย 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2561 และ 2560 แสดงดังตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-20 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ 2561 จากตัวอย่าง
สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 19 แห่ง

สำนักงานเขต พื้นที่	ปริมาณขยะมูลฝอย (ตัน)		สำนักงานเขต พื้นที่	ปริมาณขยะมูลฝอย (ตัน)	
	ปี 2561	ปี 2560		ปี 2561	ปี 2560
คลองเตย	53,879.71	58,218.55	คลองสาน	22,925.84	22,442.47
ทุ่งครุ	26,001.52	25,247.90	วัฒนา	50,951.75	53,384.79
วังทองหลาง	41,691.29	40,149.39	สัมพันธวงศ์	10,387.04	10,475.23
บางกะปิ	60,942.61	59,610.27	คลองสามวา	37,063.69	33,747.30
สายไหม	42,178.80	38,693.98	มีนบุรี	33,169.95	33,968.96
พญาไท	30,887.31	30,474.09	บางขุนเทียน	60,570.05	57,475.90
สะพานสูง	22,458.70	21,938.82	หนองจอก	23,770.01	22,191.92
ทวีวัฒนา	19,059.72	16,569.48	ป้อมปราบ	15,443.38	15,105.16
ตลิ่งชัน	26,995.98	24,440.53	สาทร	30,830.43	32,268.72
คูสิต	31,293.96	31,521.70			

จากตารางที่ 4-21 แสดงให้เห็นว่า ผลการเลือกตัวอย่างมีสำนักงานเขตพื้นที่สัมพันธวงศ์ซึ่ง ปริมาณขยะมูลฝอยน้อยที่สุดในทุก ๆ ปี ส่งผลให้การสำรวจตัวอย่างมีข้อมูลที่มีค่าน้อยสุดในประชากร อยู่ในกลุ่มตัวอย่าง สอดคล้องกับกรณีที่ 1 ในสมการที่ (4.40) จึงประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่ จัดเก็บได้ในปีงบประมาณ 2562 ดังสมการที่ (4.41)

$$\bar{y}_{62} = \left((\bar{y}_{61} + c_1) \frac{\bar{X}_{60} + M_{d(60)}}{(\bar{x}_{60} + c_2) + M_{d(60)}} \times w_1 \right) \times w_2 \quad (4.41)$$

ค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรช่วย และค่าสถิติในการคำนวณคือ

$$\begin{aligned} \bar{X}_{60} &= 36,340.49 & \bar{x}_{60} &= 33,048.69 & \bar{y}_{61} &= 33,710.62 & M_{d(60)} &= 33,747.30 \\ y_{max} &= 107,597.57 & y_{min} &= 10,387.04 & x_{max} &= 98,593.26 & x_{min} &= 10,475.23 \\ c_1 &= 2,558.17 & c_2 &= 2,318.90 & w_1 &= 2.05 & w_2 &= 1.0205 \end{aligned}$$

ผลการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปี ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครปีงบประมาณ 2562 เมื่อใช้ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} แสดงดังสมการที่ (4.42)

$$\begin{aligned} \bar{y}_{62} &= \left((\bar{y}_{61} + c_1) \frac{\bar{X}_{60} + M_{d(60)}}{(\bar{x}_{60} + c_2) + M_{d(60)}} \times w_1 \right) \times w_2 \\ &= \left((33,710.62 + 2,558.17) \frac{36,340.49 + 33,747.30}{(33,048.69 + 2,318.90) + 33,747.30} \times 2.05 \right) \times 1.0205 \\ &= \left(36,268.79 \frac{70,087.79}{69,114.89} \times 2.05 \right) \times 1.0205 \\ &= (36,779.33 \times 2.05) \times 1.0205 \\ &= 76,943.28 \end{aligned} \quad (4.42)$$

จากสมการที่ (4.42) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของ สำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 ประมาณเขตละ 76,943.28 ตันต่อปี หรือ ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ทั้งหมด 51 เขตในกรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 ประมาณ 3,924,107.28 ตันต่อปี ด้วยความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.952

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยนี้พัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณที่พัฒนาขึ้นกับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyam (\bar{y}_p) ในเชิงทฤษฎี ข้อมูลจริง และข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์โดยวิธีมอนติคาร์โลจำนวน 150 สถานการณ์ (sdlog = 0.3, 0.4, 0.409640, 0.5, 0.6; $\rho_{XY} = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$; n = 30, 50, 100, 200, 300, 400) โดยพิจารณาประสิทธิภาพของตัวประมาณจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) และค่าร้อยละประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (Percent Relative Efficiency: PRE) และประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) สรุปผลได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไข

ค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC})

การพัฒนาตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) โดยนำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของ Subramani and Kumarapandiyam (2013) มาปรับใช้กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุดตามแนวคิดของ Sarndal (1972) โดยปรับค่าเฉลี่ยตัวอย่างของตัวแปรที่ศึกษา และตัวแปรช่วยในตัวประมาณ \bar{y}_p ด้วยค่าคงที่ c_1 และ c_2 ได้ผลดังสมการที่ (5.1)

$$\bar{y}_{RMC} = \begin{cases} (\bar{y} + c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} + c_2) + M_d} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 1 ตัวอย่างมีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \end{array} \\ (\bar{y} - c_1) \frac{\bar{X} + M_d}{(\bar{x} - c_2) + M_d} & \begin{array}{l} \text{กรณีที่ 2 ตัวอย่างมีค่า } y_{max} \text{ และ } x_{max} \\ \text{แต่ไม่มีค่า } y_{min} \text{ และ } x_{min} \end{array} \\ \bar{y} \frac{\bar{X} + M_d}{\bar{x} + M_d} & \text{สำหรับตัวอย่างที่ไม่ใช่กรณีที่ 1 และ 2} \end{cases} \quad (5.1)$$

เมื่อ \bar{X} คือ พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย
 \bar{x} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรช่วย
 \bar{y} คือ ตัวสถิติค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา
 M_d คือ พารามิเตอร์มัธยฐานของตัวแปรช่วย
 y_{max} คือ พารามิเตอร์ค่ามากที่สุดของตัวแปรที่ศึกษา
 y_{min} คือ พารามิเตอร์ค่าน้อยสุดของตัวแปรที่ศึกษา
 x_{max} คือ พารามิเตอร์ค่ามากที่สุดของตัวแปรช่วย
 x_{min} คือ พารามิเตอร์ค่าน้อยสุดของตัวแปรช่วย
และ $c_1 = \frac{y_{max} - y_{min}}{2n}$ และ $c_2 = \frac{x_{max} - x_{min}}{2n}$

จากการกระจายทอมนโพลีโนเมียลของอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับหนึ่งเพื่อประมาณความเอนเอียง และความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} และการคำนวณค่าคงที่ c_1 และ c_2 ที่ให้ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} น้อยที่สุด ปรากฏผลดังสมการที่ (5.2) และ (5.3)

$$Bias(\bar{y}_{RMC})_{min} = \frac{\lambda\beta}{\bar{y}} \left[\beta S_x^2 - S_{xy} - \frac{1}{2(N-1)} \left(\beta(x_{max} - x_{min})^2 + (y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min}) \right) \right] \quad (5.2)$$

$$MSE(\bar{y}_{RMC})_{min} = \lambda \left[(S_y^2 + \beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx}) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min})^2 - \beta(x_{max} - x_{min})^2 \right) \right] \quad (5.3)$$

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{\bar{y}}{\bar{X} + M_d} \text{ และ } \lambda = \frac{1}{n} - \frac{1}{N}$$

2. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}) ตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_s) ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{y}_r) และตัวประมาณอัตราส่วนของ Subramani and Kumarapandiyam (\bar{y}_p)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) กับตัวประมาณที่ผ่านมานั้น แบ่งผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณเป็น 3 ส่วน คือผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณเชิงทฤษฎี ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจริง และผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์โดยวิธีมอนติคาร์โล 150 สถานการณ์ สามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณเชิงทฤษฎี ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณอื่นโดยมีเงื่อนไข ดังสมการที่ (5.4), (5.5), (5.6) และ (5.7)

ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพดีกว่า \bar{y} เมื่อ

$$\left(\beta^2 S_x^2 - 2\beta S_{yx}\right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min})\right)^2 < 0 \quad (5.4)$$

ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพดีกว่า \bar{y}_s เมื่อ

$$\beta \left(S_x^2 - \frac{(x_{max} - x_{min})^2}{2(N-1)} \right) - \left(2S_{yx} - \frac{(y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min})}{(N-1)} \right) < 0 \quad (5.5)$$

ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพดีกว่า \bar{y}_r เมื่อ

$$\left((\beta - R) \left((\beta + R) S_x^2 - 2S_{yx} \right) \right) - \frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 < 0 \quad (5.6)$$

ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพดีกว่า \bar{y}_p เมื่อ

$$-\frac{1}{2(N-1)} \left((y_{max} - y_{min}) - \beta(x_{max} - x_{min}) \right)^2 < 0 \quad (5.7)$$

ผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณด้วยข้อมูลจริง จากปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 โดยแบ่งข้อมูลเป็น 5 ชุด หรือ 5 ประชากร ผลการตรวจสอบเงื่อนไขในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตามสมการ (5.4)–(5.7) ปรากฏว่า สอดคล้องกับเงื่อนไขในสมการ (5.4), (5.5) และ (5.7) แต่ไม่สอดคล้องกับสมการ (5.6) ซึ่งให้เห็นว่า ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} จะมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s และ \bar{y}_p ในทุกประชากร แต่จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าตัวประมาณ \bar{y}_r ในทุกประชากรเช่นกัน เมื่อคำนวณค่า MSE ของทุกตัวประมาณ ปรากฏว่า $MSE(\bar{y}_{RMC})$

มีค่าน้อยกว่า $MSE(\bar{y})$, $MSE(\bar{y}_s)$ และ $MSE(\bar{y}_p)$ แต่มากกว่า $MSE(\bar{y}_r)$ ค่า PRE ของ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s และ \bar{y}_p มีค่าเกิน 100 แต่มีค่าน้อยกว่า 100 เมื่อเทียบกับตัวประมาณ \bar{y}_r แสดงให้เห็นว่า จากข้อมูลจริงตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s และ \bar{y}_p แต่จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าตัวประมาณ \bar{y}_r ในทุกประชากร ไม่สอดคล้องกับสมมติฐาน

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณด้วยข้อมูลภายใต้สถานการณ์จำลอง 150 สถานการณ์ (sdlog = 0.3, 0.4, 0.409640, 0.5, 0.6; ρ_{XY} = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9; n = 30, 50, 100, 200, 300, 400) สรุปผลดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 สรุปผลตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดภายใต้สถานการณ์ 150 สถานการณ์

ρ_{XY}	ตัวอย่าง n	sdlog(Y)				
		0.3	0.4	0.409640	0.5	0.6
0.5	30	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	50	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	100	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	200	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	300	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	400	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
0.6	30	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	50	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	100	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	200	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	300	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	400	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
0.7	30	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	50	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	100	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	200	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	300	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}
	400	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}	\bar{y}_{RMC}

ตารางที่ 5-1 (ต่อ)

ρ_{XY}	ตัวอย่าง		sdlog(Y)				
	n		0.3	0.4	0.409640	0.5	0.6
0.8	30	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}
	50	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}
	100	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}
	200	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}
	300	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}
	400	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}
0.9	30	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}
	50	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}
	100	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}
	200	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}
	300	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}
	400	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}	\bar{Y}_{RMC}

จากตารางที่ 5-1 ชี้ให้เห็นว่า ตัวประมาณ \bar{Y}_{RMC} มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s , \bar{y}_r และ \bar{y}_p ในทุกสถานการณ์ สอดคล้องกับสมมติฐาน นอกจากนี้ตัวประมาณ \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 ในทุกกรณี

3. ผลการประมาณปริมาณขยะมูลฝอย โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด

ผลการศึกษาคความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปรากฏว่า ผลการประมาณกรณีใช้ข้อมูล 12 เดือน มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.543 กรณีใช้ข้อมูล 6 เดือนแรกของปีงบประมาณมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.716 ส่วนผลการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{Y}_{RMC} โดยใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.952 ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือร้อยละ 10 ในทุกกรณี สอดคล้องกับสมมติฐาน จึงพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขต

พื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{y}_{RMC}) ปรากฏว่าปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อปีของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2562 ประมาณเขตละ 76,943.28 ตันต่อปี หรือปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ทั้งหมด 51 เขต ในกรุงเทพมหานคร ประมาณ 3,924,107.28 ตันต่อปี ด้วยความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.952

อภิปรายผล

ในส่วนของผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ด้วยข้อมูลจริงนั้น ข้อค้นพบที่ได้คือตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s และ \bar{y}_p แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่า \bar{y}_r ในทุกประชากร เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551-2560 ซึ่งเป็นข้อมูลอนุกรมเวลา และแบ่งศึกษาเป็นประชากร 5 ชุด ที่มีลักษณะคล้ายกันมาก ตัวแปรที่ศึกษาและตัวแปรช่วยมีความสัมพันธ์กันในระดับมาก โดยระดับความสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.9561-0.9978 จึงอาจเป็นสาเหตุให้ผลการตรวจสอบเงื่อนไขประสิทธิภาพของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} เทียบกับตัวประมาณ \bar{y}_r นั้นไม่เป็นจริง และค่า $MSE(\bar{y}_{RMC})$ สูงกว่า $MSE(\bar{y}_r)$ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Subramani and Ajith (2017) ที่พัฒนาตัวประมาณจากตัวประมาณ \bar{y}_p และผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณ \bar{y}_p น้อยกว่า \bar{y}_r เช่นกัน

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} ด้วยข้อมูลภายใต้สถานการณ์จำลองที่แตกต่างกัน ซึ่งค้นพบว่าตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณ \bar{y} , \bar{y}_s , \bar{y}_r และ \bar{y}_p โดยเฉพาะจะมีประสิทธิภาพแตกต่างจากตัวประมาณ \bar{y}_r มากที่สุดเมื่อระดับความสัมพันธ์ของ Y กับ X น้อย และมีประสิทธิภาพแตกต่างจากตัวประมาณ \bar{y} และ \bar{y}_s มากที่สุดเมื่อระดับความสัมพันธ์ของ Y กับ X มากขึ้น ในขณะที่จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตัวประมาณ \bar{y}_p ในทุกระดับความสัมพันธ์ แสดงให้เห็นว่า เมื่อตัวแปรมีความสัมพันธ์กันน้อย การอธิบายพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยอาจไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวแปรช่วยในการอธิบาย ในขณะที่ถ้าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันในระดับกลางและสูง การอธิบายพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยด้วยตัวแปรช่วยและสารสนเทศของตัวแปรช่วย เช่น มัธยฐาน จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ถ้าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันสูงมากเกินไป การอธิบายพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยด้วยตัวแปรช่วยอาจไม่จำเป็นต้องใช้สารสนเทศของตัวแปรช่วย เช่น มัธยฐาน ในการอธิบายพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาเพิ่มเติมด้วยการจำลองในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์มากกว่า 0.9 พบว่า เมื่อระดับความสัมพันธ์เป็น 0.96 ตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} มีประสิทธิภาพน้อยกว่า \bar{y}_r

เช่นเดียวกับกรณีใช้ข้อมูลจริง ซึ่งในสถานการณ์จริงนั้นข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลอนุกรมเวลา จะมีความสัมพันธ์กันในระดับไม่สูงมากเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Subramani and Kumarapandiyam (2013); Subramani and Prabavathy (2014); Kumar (2015); Subramani (2016); Subramani and Ajith (2017) และ Yadav et al. (2018) ที่นำพารามิเตอร์มัธยฐานมาปรับตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสอดคล้องกับ Khan & Shabbir (2013); Al-Hossain & Khan (2014); Khan et al. (2015) ที่นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยมาปรับใช้ร่วมกับตัวประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด และตัวประมาณที่พัฒนามีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณก่อนหน้านี้

สรุปได้ว่าการนำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{Y}_{RMC}) ให้ความคลาดเคลื่อนในการประมาณร้อยละ 2.952 (ไม่เกิน 10%) อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประมาณปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้เฉลี่ยต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1. ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{Y}_{RMC}) นี้ สามารถใช้ประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีค่ามากหรือน้อยเกินไปปะปนอยู่ในข้อมูลสำรวจตัวอย่าง ภายใต้ตัวแปรที่ศึกษากับตัวแปรช่วยต้องมีความสัมพันธ์เชิงบวก

2. ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{Y}_{RMC}) สามารถประมาณพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีค่ามากหรือน้อยเกินไปปะปนอยู่ เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยจากจำนวนนักศึกษา ปริมาณผลผลิตทางการเกษตรจากพื้นที่การเกษตร ปริมาณขยะมูลฝอยต่อครัวเรือนจากจำนวนคนในครัวเรือน ประมาณรายได้สุทธิต่อครัวเรือนจากจำนวนคนในครัวเรือน ซึ่งมีประโยชน์ในการวางแผนการจัดสรรงบประมาณต่อไป

ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป

1. ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{Y}_{RMC}) นี้ อาจมีประสิทธิภาพในการประมาณน้อยกว่าตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย (\bar{Y}_r) เมื่อตัวแปรที่ศึกษาและตัวแปรช่วยมีความสัมพันธ์กันสูงเกินไป งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจริงที่ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ระดับความสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.9561-0.9978 เป็นสาเหตุให้ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพไม่สอดคล้องกับกรณีใช้ข้อมูลจากสถานการณ์จำลอง งานวิจัยนี้ใช้ระดับความสัมพันธ์สูงสุดคือ 0.9 ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปในส่วนของ

การจำลองข้อมูลควรรศึกษาในกรณีที่ระดับความสัมพันธ์ครอบคลุมระดับความสัมพันธ์ของข้อมูลจริง หรือพัฒนาตัวประมาณใหม่เมื่อตัวแปรมีความสัมพันธ์กันสูง

2. ในงานวิจัยนี้ได้นำตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุดและค่าน้อยสุด (\bar{Y}_{RMC}) มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2551–2560 ซึ่งเป็นข้อมูลอนุกรมเวลา จะมีความสัมพันธ์กันมาก ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษากับข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลอนุกรมเวลา เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยกับจำนวนนักศึกษา ปริมาณผลผลิตทางการเกษตรกับพื้นที่การเกษตร ปริมาณขยะมูลฝอยต่อครัวเรือนกับจำนวนคนในครัวเรือน ประมาณรายได้สุทธิต่อครัวเรือนกับจำนวนคนในครัวเรือน ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 กับจำนวนรถยนต์ เป็นต้น

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2548). *แนวทางและข้อกำหนดเบื้องต้น การลด และใช้ประโยชน์ขยะมูลฝอย* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2559). *รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559*. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมโรค. (2559). *แนวทางการเตรียมความพร้อมรับมือภาวะฉุกเฉินด้านสาธารณสุข: กรณีไฟไหม้บ่อขยะ*. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข.
- ข่าวสดออนไลน์. (2557). *เหตุการณ์ไฟไหม้บ่อขยะที่อยู่บริเวณหลังวัดป่าสำราญนิवास*. วันที่ค้นข้อมูล 28 มกราคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.khaosod.co.th/view_newsonline.php?newsid=TVRNNU5qYzJOEUxTnc9PQ==.
- กฤติยา พุทธิ และวนารัตน์ กรอิสรานุกุล. (2560). การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณขยะมูลฝอย จากการขยายตัวของอาคารที่อยู่อาศัยในอนาคต: กรณีศึกษาเทศบาลนครนนทบุรี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25(2), 210-224.
- จตุรงค์ พยอมรัมย์, กาญจนา นาคะภากร, อัจฉรา อัครวุฒิจุลชัย และสุเพชร จิระจรกุล. (2554). ระบบภูมิสารสนเทศเพื่อการคาดการณ์ปริมาณขยะจากการขยายตัวของเมือง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 19(3), 51-61.
- ชาญญาณุรักษ์ แสงประสาน, เสรี ชัดเข้ม และพัชรี วงษ์เกษม. (2558). การประมาณค่าการระเหยน้ำโดยใช้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่. *วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา*, 13(2), 30-43.
- เดลินิวส์ออนไลน์. (2557). *ระทึกเพลิงไหม้บ่อขยะเทศบาลนครหาดใหญ่*. วันที่ค้นข้อมูล 28 มกราคม 2558, เข้าถึงได้จาก <http://www.dailynews.co.th/Content/regional/226716>.
- ประชุม สุวัตถ์. (2552). *การสำรวจด้วยตัวอย่าง: การชักตัวอย่างและการวิเคราะห์*. กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- ไทยรัฐออนไลน์. (2557). *อันตรายควันพิษบ่อขยะ*. วันที่ค้นข้อมูล 28 มกราคม 2558, เข้าถึงได้จาก <http://www.thairath.co.th/content/edu/410843>.
- มานพ วราภักดิ์. (2547). *การจำลองเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- ลัคนา วัฒนชะวีระกุล. (2559). *การแปลงข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ*. เชียงใหม่: สันติภาพ แพ็คพรีนธ์.
- วินัย มีแสง. (2559). แนวโน้มองค์ประกอบและปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยชุมชนในพื้นที่ตำบลสามพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี. *วารสารสมาคมนักวิจัย*, 21(3), 211-220.
- ไพบูลย์ แจ่มพงษ์ และศิวพันธุ์ ชูอินทร์. (2560). *การจัดการขยะมูลฝอย*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพบูลย์ ฉัตรทอง, มาลีรัตน์ โสตานิล และเกียรติศักดิ์ โยชะนัง. (2557). การพยากรณ์อนุกรมเวลา สำหรับปริมาณขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. ใน *The Tenth National Conference on Computing and Information Technology ครั้งที่ 10 ประจำปี 2014*. กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- โพสท์ทูเดย์. (2560). *ไฟไหม้บ่อขยะใน อ.พนมสารคาม*. วันที่ค้นข้อมูล 10 เมษายน 2561, เข้าถึงได้จาก <https://www.posttoday.com/social/local/530000>.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2561). *ข้อมูลตัวชี้วัด “ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนต่อวัน”*. วันที่ค้นข้อมูล 10 เมษายน 2561, เข้าถึงได้จาก http://www.onep.go.th/env_data/2016/01_53/.
- สำนักสิ่งแวดล้อม. (2561). *ปริมาณมูลฝอยที่จัดเก็บได้ในแต่ละปีงบประมาณ*. วันที่ค้นข้อมูล 10 เมษายน 2561, เข้าถึงได้จาก <http://bangkok.go.th/environment>.
- สำนักสิ่งแวดล้อม. (2558). *แผนบริหารจัดการขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2558-2562*. กรุงเทพฯ: สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร.
- สำนักสิ่งแวดล้อม. (2559). *รายงานสถานการณ์ คุณภาพสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2558-2559*. กรุงเทพฯ: สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร.
- สายชล สินสมบูรณ์.(2558). *การแจกแจงเชิงสถิติ*. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักส์จำกัด.
- สุชาติ ภิระนันท์. (2542). *ทฤษฎีและวิธีการสำรวจตัวอย่าง*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อานนท์ ศักดิ์วรวิชญ์. (2560). *สถิติเชิงบรรยายการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงบุกเบิกและกราฟิกทางสถิติด้วยการเขียนโปรแกรม R เบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อานันท์ ต๊ะปินตา. (2553). *ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Ahad, N. A., Yin, T. S., Othman, A. R., & Yaacob, C. R. (2011). Sensitivity of normality tests to non-normal data. *Sains Malaysiana*, 40(6), 637-641.

- 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*, 2014, 1-6.
doi: 10.1155/2014/693782
- Burden, R. L., & Faires, J. D. (2011). *Numerical Analysis* (9th ed.). Boston: Brook/Cole, Cengage Learning.
- Chiemchaisri, C., Juanga, J. P., & Visvanathan, C. (2007). Municipal solid waste management in Thailand and disposal emission inventory. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135(1), 13–20.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques* (3rd ed.). New York: Wiley.
- Delignette-Muller, M. L., & Dutang, C. (2015). fitdistrplus: An R package for fitting distribution. *Journal of Statistical Software*, 64(4), 1-34.
- Devore, J. L. (2012). *Probability and Statistics for Engineering and the Science* (8th ed.). Boston: Brook/Cole, Cengage Learning.
- Heckard, R. F., & Utts, J. M. (2007). *Mind on statistics* (3rd ed.). California: Thomson Brooks/Cole.
- Kadilar, C., & Cingi, H. (2004). Ratio estimators in simple random sampling. *Applied Mathematics and Computation*, 151(3), 893-902.
- Kadilar, C., & Cingi, H. (2006). An improvement in estimating the population mean by using the correlation coefficient. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 35(1), 103-109.
- Kawai, K., & Tasaki, T. (2016). Revisiting estimates of municipal solid waste generation per capita and their reliability. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18(1), 1-13.
- Khajuria, A., Yamamoto Y., & Morioka T. (2010). Estimation of municipal solid waste generation and landfill area in Asian developing countries. *Journal of Environmental Biology*, 31(5), 649-654.
- 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.
- Kumar, S. (2015). An estimator of the mean estimation of study variable using median of auxiliary variable. *Sri Lankan Journal of Applied Statistics*, 16(2), 107-115.
- Lamichhane, R., Singh, S., & Diawara, N. (2017). Improved estimator of population mean using known median of auxiliary variable. *Communications in Statistics – Simulation and Computation*, 46(4), 2821-2828.
- Law, A. M. (2015). *Simulation Modeling and Analysis* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Liu, C., & Wu, X. (2011). Factors influencing municipal solid waste generation in China: A multiple statistical analysis study. *Waste Management & Research*, 29(4), 371-378.
- Lohr, S. L. (2010). *Sampling: Design and Analysis* (2nd ed.). Boston: Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Mann, P. S. (2011). *Introductory Statistics* (7th ed.). New Jersey: John Wiley & Son.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2014). *Applied Statistics and Probability for Engineers* (6th ed.). New Jersey: John Wiley & Son.
- Navidi, W. (2015). *Statistics for Engineers & Scientists* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Perri, P. F. (2005). Combining two auxiliary variables in ratio-cum-product type estimator. In *Proceeding of Italian Statistical Society, Intermediate meeting on Statics and Environment, Messina, 21-23 September, 2005* (pp. 193-196). Italy: Italian Statistical Society.
- Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21-33.
- Ryan, T. P. (2007). *Modern Engineering Statistics*. New York: John Wiley & Sons.
- Sampath, S. (2005). *Sampling Theory and Methods* (2nd ed.). Harrow: Alpha Science International.

- Sangngam, P. (2014). Ratio Estimators Using Coefficient of Variation and Coefficient of Correlation. *Modern Applied Science*, 8(5), 70-79.
- Sarndal, C. E. (1972). Sample Survey Theory vs. General Statistical Theory: Estimation of the Population Mean. *International Statistical Institute*, 40(1), 1-12.
- Scheaffer, R. L., Mendenhall, W., & Ott, R. L. (2006). *Elementary Survey Sampling* (6th ed.). California: Thomson Brooks/Cole.
- Shah, K. L. (2000). *Basic of Solid and Hazardous Waste Management Technology*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Sharholly, M., Ahmad, K., Mahmood, G., & Trivedi, R. C. (2008) Municipal solid waste management in Indian cities – A review. *Waste Management*, 28(2008), 459–467. doi:10.1016/j.wasman.2007.02.008
- 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.
- Singh, H., & Kakran, M. (1993). A modified ratio estimator using known coefficient of kurtosis of an auxiliary character. *unpublished paper*.
- Singh, H., & Tailor, R. (2003). Use of known correlation coefficient in estimating the finite population mean. *Statistics in Transition*, 6(4), 555-560.
- Solanki, R. S., Singh, H. P., & Rathour, A. (2012). An alternative estimator for estimating the finite population mean using auxiliary information in sample surveys. *Probability and Statistics*, 2012, 1-14. doi:10.5402/2012/657682
- Srinivas, J., Boiroju, N. K., & Reddy, M. K. (2013). Comparison of ratio estimators of population mean. *International Journal of Mathematical Sciences, Technology and Humanities*, 108(2013), 1158-1163. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/270876376_Comparison_of_Ratio_Estimators_Of_Population_Mean
- 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., & Ajith, M. (2017). Almost unbiased ratio cum product estimator for finite population mean with known median in simple random sampling, *Nepalese Journal of Statistics*, 1, 1-14.

- Subramani, J., & Prabavathy, G. (2014). Median based modified ratio estimators with linear combinations of population mean and median of an auxiliary variable. *Journal of Reliability and Statistical Studies*, 7(1), 1-10.
- Subramani, J., & Prabavathy, G. (2015). Median based modified ratio estimators with known skewness and correlation coefficient for the estimation of finite population mean. *Journal of Reliability and Statistical Studies*, 8(1), 15-23.
- 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.
- Wilcox, R. R. (2017). *Understanding and applying basic statistical methods using R*. New Jersey: John Wiley & Son.
- Yadav, D. K., Shukla, A. K., Tomer, S., & Kumar, B. (2018). Predictive estimation of finite population mean using coefficient of kurtosis and median of an auxiliary variable under simple random sampling scheme. *International Journal of Mathematical Archive*, 9(5), 137-143.
- Yap, B., & Sim, C. (2011). Comparisons of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 81(12), 2141-2155.
- 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

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร

ปีงบประมาณ 2551-2561

ตารางที่ ก-1 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรก ปีงบประมาณ 2551-2555

ที่	หน่วยงาน	ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรก ปีงบประมาณ				
		2555	2554	2553	2552	2551
1	คลองเตย	55,664.62	50,308.16	51,041.77	51,678.05	53,289.03
2	คลองสาน	22,648.69	21,362.02	21,967.54	21,366.66	23,051.34
3	คลองสามวา	24,213.90	22,489.24	20,675.20	19,903.28	19,027.25
4	คันนายาว	21,925.61	17,495.35	18,193.54	17,372.74	16,709.45
5	จตุจักร	62,532.98	59,882.12	58,967.57	56,992.19	56,731.77
6	จอมทอง	34,160.04	33,875.52	33,856.17	32,967.65	34,859.16
7	ดอนเมือง	45,545.14	28,246.93	27,095.89	26,896.94	28,673.80
8	ดินแดง	45,578.80	40,835.39	41,507.11	41,558.89	43,069.72
9	ดุสิต	32,264.94	30,903.08	30,602.47	30,181.95	30,921.40
10	ตลิ่งชัน	21,428.52	19,611.46	19,390.54	18,990.62	19,267.43
11	ทวีวัฒนา	16,532.36	16,000.24	15,511.87	14,619.60	15,181.27
12	ทุ่งครุ	20,441.81	20,304.88	20,107.03	19,485.32	20,451.93
13	ธนบุรี	29,456.59	29,085.67	29,490.62	29,734.28	31,482.99
14	บางกอกน้อย	36,125.26	31,960.74	32,383.47	31,875.86	32,412.71
15	บางกอกใหญ่	16,425.34	15,521.62	15,805.35	15,387.04	16,510.50
16	บางกะปิ	56,762.65	49,895.78	50,065.06	51,646.98	51,979.37
17	บางขุนเทียน	47,188.72	44,811.03	42,930.28	40,762.35	41,236.38
18	บางเขน	44,415.56	41,381.72	40,972.01	39,174.36	41,765.64
19	บางคอแหลม	22,907.43	22,004.30	22,588.25	22,710.50	24,370.82
20	บางแค	48,438.26	45,482.86	44,533.11	43,684.61	45,724.16
21	บางซื่อ	29,697.09	28,059.04	28,379.06	27,850.12	28,951.47
22	บางนา	35,676.37	33,376.68	33,331.51	33,480.79	35,341.45
23	บางบอน	33,893.95	32,895.89	33,644.60	32,317.03	33,429.49
24	บางพลัด	27,368.51	25,222.81	25,403.14	24,749.97	25,985.82
25	บางรัก	29,250.20	27,600.38	27,852.24	27,931.94	28,906.40
26	บึงกุ่ม	31,175.59	25,178.69	27,118.64	26,102.07	26,552.54
27	ปทุมวัน	46,685.90	38,799.58	40,418.60	39,863.52	43,917.71
28	ประเวศ	39,794.04	37,833.90	38,164.17	37,586.08	38,187.25
29	ป้อมปราบ	16,727.59	15,927.16	16,069.82	15,490.31	16,380.08
30	พญาไท	29,243.94	26,172.95	26,536.77	25,956.48	25,956.82
31	พระโขนง	26,346.76	23,881.66	25,124.16	25,024.07	25,696.19

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ที่	หน่วยงาน	ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรก ปีงบประมาณ				
		2555	2554	2553	2552	2551
32	พระนคร	34,274.22	33,715.01	35,394.56	33,403.92	36,690.15
33	ภาษีเจริญ	27,977.40	26,302.61	27,290.41	26,653.86	27,705.21
34	มีนบุรี	31,899.01	29,575.58	29,606.03	29,447.23	30,851.97
35	ยานนาวา	30,378.35	28,010.87	28,577.97	29,449.75	30,117.07
36	ราชเทวี	34,832.63	30,959.41	29,784.49	30,838.43	31,226.02
37	ราษฎร์บูรณะ	21,081.79	20,847.37	20,759.68	20,498.60	22,029.65
38	ลาดกระบัง	38,671.62	35,313.47	34,924.30	33,005.63	35,533.19
39	ลาดพร้าว	28,562.75	27,217.16	25,774.67	25,049.84	25,549.35
40	วังทองหลาง	38,682.21	34,113.94	33,430.44	33,774.88	33,794.43
41	วัฒนา	46,886.48	40,411.43	39,446.22	38,812.44	39,046.83
42	สวนหลวง	37,881.31	32,123.61	37,599.55	35,113.76	35,278.84
43	สะพานสูง	18,334.02	15,485.92	16,877.25	16,492.56	16,495.57
44	สัมพันธวงศ์	11,175.26	10,740.88	10,822.13	10,866.51	11,046.14
45	สาทร	30,643.18	28,418.93	28,968.70	27,680.29	29,076.16
46	สายไหม	36,557.45	29,144.20	26,817.42	29,247.10	28,554.58
47	หนองแขม	31,087.50	29,019.19	27,826.30	27,309.91	27,664.06
48	หนองจอก	17,268.31	15,311.59	15,743.52	15,713.75	14,604.08
49	หลักสี่	29,278.11	26,083.52	25,858.70	24,614.01	24,290.63
50	ห้วยขวาง	32,065.08	26,510.59	26,610.24	26,264.82	30,738.31
51	กจข. สสส.	143,476.74	97,699.09	87,177.29	80,692.81	78,197.35

ตารางที่ ก-2 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรก ปีงบประมาณ 2556-2561

ที่	หน่วยงาน	ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรก ปีงบประมาณ					
		2561	2560	2559	2558	2557	2556
1	คลองเตย	53,879.71	58,218.55	58,537.38	61,431.48	61,092.42	60,154.98
2	คลองสาน	22,925.84	22,442.47	23,730.02	23,921.74	21,984.94	23,014.43
3	คลองสามวา	37,063.69	33,747.30	32,463.46	31,165.42	29,786.71	29,302.30
4	คันนายาว	26,670.10	24,804.21	24,916.38	22,790.26	21,759.01	23,086.75
5	จตุจักร	76,881.90	72,091.10	68,152.80	67,378.30	64,644.93	65,624.20
6	จอมทอง	37,319.42	32,735.89	36,429.26	36,549.00	34,525.88	35,929.55
7	ดอนเมือง	37,762.91	35,021.69	33,635.89	32,908.29	29,712.25	29,824.64
8	ดินแดง	52,170.99	49,911.49	48,742.02	49,032.32	48,897.78	48,375.47
9	ดุสิต	31,293.96	31,521.70	31,610.77	31,088.29	30,636.20	32,703.34
10	ตลิ่งชัน	26,995.98	24,440.53	23,839.51	24,058.73	22,022.46	21,818.42
11	ทวีวัฒนา	19,059.72	16,569.48	18,438.16	18,981.06	17,130.61	17,135.40
12	ทุ่งครุ	26,001.52	25,247.90	21,659.36	20,482.86	21,397.68	22,294.44
13	ธนบุรี	29,829.29	28,772.42	28,688.30	30,039.65	28,540.48	29,332.24
14	บางกอกน้อย	31,390.34	34,173.59	35,180.40	36,748.76	32,496.37	34,821.84
15	บางกอกใหญ่	14,094.07	13,145.35	15,035.46	15,600.89	14,355.95	15,937.14
16	บางกะปิ	60,942.61	59,610.27	56,835.23	57,271.14	58,731.95	59,553.44
17	บางขุนเทียน	60,570.05	57,475.90	55,013.60	51,121.45	48,844.42	49,711.34
18	บางเขน	54,929.30	52,086.40	48,796.55	47,893.40	45,055.87	44,670.53
19	บางคอแหลม	24,818.82	24,480.12	24,224.27	25,277.52	23,678.40	24,555.42
20	บางแค	52,121.85	50,615.01	49,161.33	49,053.67	46,536.73	47,693.90
21	บางซื่อ	29,559.71	30,341.07	28,517.36	27,925.53	26,876.37	29,200.45
22	บางนา	41,023.27	39,462.70	36,821.97	39,859.69	39,019.48	38,519.29
23	บางบอน	40,635.95	38,502.66	37,484.31	38,299.15	35,743.79	36,428.94
24	บางพลัด	28,429.54	27,387.89	27,118.91	27,393.51	25,013.28	25,973.50
25	บางรัก	28,510.65	30,318.62	29,505.47	30,922.54	29,424.66	30,745.27
26	บึงกุ่ม	36,795.12	34,799.70	33,681.06	33,944.78	32,753.41	33,455.91
27	ปทุมวัน	55,660.67	54,427.37	52,219.77	53,056.95	50,876.47	51,608.43
28	ประเวศ	50,984.45	50,821.76	47,692.94	48,787.20	48,111.34	45,180.39
29	ป้อมปราบ	15,443.38	15,105.16	15,477.23	16,250.22	15,249.47	16,676.22
30	พญาไท	30,887.31	30,474.09	29,031.37	28,674.89	26,989.54	28,736.98
31	พระโขนง	25,769.36	26,801.28	26,171.77	27,106.25	27,826.02	27,392.71

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

ที่	หน่วยงาน	ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรก ปีงบประมาณ					
		2561	2560	2559	2558	2557	2556
32	พระนคร	36,864.01	34,839.77	35,699.38	36,206.83	34,035.96	35,237.37
33	ภาษีเจริญ	29,487.78	26,742.70	29,679.18	30,315.11	26,317.50	28,579.83
34	มีนบุรี	33,169.95	33,968.96	33,076.01	34,408.94	34,167.32	33,018.37
35	ยานนาวา	33,352.22	32,849.42	33,332.31	32,837.48	30,420.63	31,759.91
36	ราชเทวี	39,253.11	37,822.53	36,272.36	36,694.47	34,849.29	37,248.46
37	ราชบุรีบูรณะ	21,425.51	21,019.28	20,491.65	22,031.19	20,162.80	21,141.86
38	ลาดกระบัง	51,570.10	49,216.81	44,957.21	45,696.16	42,889.33	42,317.74
39	ลาดพร้าว	38,318.46	34,998.20	32,385.29	31,454.23	29,467.70	29,797.30
40	วังทองหลาง	41,691.29	40,149.39	40,090.77	39,447.59	40,345.79	40,663.12
41	วัฒนา	50,951.75	53,384.79	51,243.04	51,041.41	50,259.32	50,468.14
42	สวนหลวง	40,889.83	43,261.29	40,811.88	42,921.93	41,512.96	39,651.19
43	สะพานสูง	22,458.70	21,938.82	21,788.42	21,366.56	21,217.87	19,880.19
44	สัมพันธวงศ์	10,387.04	10,475.23	10,420.66	10,953.62	10,338.17	11,180.60
45	สาทร	30,830.43	32,268.72	32,805.30	32,705.29	32,228.27	31,544.02
46	สายไหม	42,178.80	38,693.98	35,324.03	34,810.82	33,205.06	33,060.54
47	หนองแขม	31,867.91	28,772.02	31,953.32	31,206.11	30,335.74	30,568.10
48	หนองจอก	23,770.01	22,191.92	21,188.47	21,518.30	20,020.16	19,254.61
49	หลักสี่	33,506.05	30,663.13	28,272.17	27,611.22	27,036.94	28,397.90
50	ห้วยขวาง	40,302.96	35,961.31	34,853.46	36,963.72	36,004.58	35,422.21
51	กจข. สสส.	107,597.57	98,593.26	102,167.22	105,826.31	100,650.57	100,838.54

ตารางที่ ก-3 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน ปีงบประมาณ 2551-2555

ที่	หน่วยงาน	ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน ปีงบประมาณ				
		2555	2554	2553	2552	2551
1	คลองเตย	113,366.98	103,491.31	101,396.49	104,987.44	107,875.35
2	คลองสาน	45,777.54	44,231.81	44,241.57	44,689.45	46,155.75
3	คลองสามวา	53,176.12	46,406.51	44,411.36	41,318.27	40,145.57
4	คันนายาว	45,761.45	35,772.32	35,487.68	36,180.30	35,187.25
5	จตุจักร	130,269.48	123,318.95	121,823.21	120,313.02	116,654.42
6	จอมทอง	70,074.85	70,150.38	69,568.54	70,028.29	71,214.45
7	ดอนเมือง	76,464.78	57,342.01	55,792.29	55,873.21	57,056.73
8	ดินแดง	92,598.24	84,144.16	83,472.87	85,668.42	87,557.53
9	ดุสิต	65,844.29	64,273.97	61,852.14	62,063.77	62,770.93
10	ตลิ่งชัน	43,539.77	41,395.41	40,608.27	40,242.58	39,556.01
11	ทวีวัฒนา	33,810.00	33,509.66	32,444.06	31,462.86	30,776.86
12	ทุ่งครุ	42,528.13	42,172.89	41,696.25	41,204.82	41,313.04
13	ธนบุรี	59,870.67	59,361.12	60,527.94	61,792.87	62,813.51
14	บางกอกน้อย	72,305.35	67,759.05	66,244.14	67,186.92	65,655.00
15	บางกอกใหญ่	32,697.77	31,991.19	32,245.60	32,746.94	32,882.79
16	บางกะปิ	116,852.28	103,590.17	102,314.87	106,336.07	105,965.38
17	บางขุนเทียน	97,182.80	93,473.71	89,416.14	86,799.27	83,952.21
18	บางเขน	90,887.60	86,669.71	85,332.92	84,091.15	84,222.44
19	บางคอแหลม	47,786.66	45,741.32	46,484.99	47,320.56	48,849.87
20	บางแค	96,728.61	94,322.66	91,789.88	91,574.29	91,510.86
21	บางซื่อ	60,295.37	57,771.46	58,195.91	58,904.87	59,161.14
22	บางนา	73,261.07	69,292.28	66,861.00	68,976.78	71,120.20
23	บางบอน	69,958.36	68,331.54	69,018.57	68,519.66	67,738.39
24	บางพลัด	54,575.48	52,116.95	51,816.05	52,111.16	52,518.26
25	บางรัก	58,521.20	55,685.21	54,424.08	56,354.93	57,486.56
26	บึงกุ่ม	64,237.73	55,150.42	55,116.07	55,247.08	54,873.69
27	ปทุมวัน	96,094.56	79,752.66	76,843.79	80,231.17	85,592.34
28	ประเวศ	84,074.11	78,276.71	78,607.18	78,642.45	77,775.65
29	ป้อมปราบ	33,087.79	31,841.21	32,207.60	31,771.40	32,568.82
30	พญาไท	58,541.32	54,336.13	54,133.12	54,163.03	53,064.23
31	พระโขนง	53,539.86	49,482.95	49,642.92	51,475.92	52,180.33

ตารางที่ ก-3 (ต่อ)

ที่	หน่วยงาน	ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน ปีงบประมาณ				
		2555	2554	2553	2552	2551
32	พระนคร	69,830.96	69,543.25	70,271.63	69,985.06	71,878.33
33	ภาษีเจริญ	55,929.26	54,596.53	55,426.05	56,040.72	56,190.56
34	มีนบุรี	65,441.40	61,733.22	60,448.32	60,762.53	61,757.95
35	ยานนาวา	62,458.04	58,079.10	58,941.55	60,939.14	61,323.55
36	ราชเทวี	71,190.66	63,507.55	59,713.75	63,480.57	63,029.27
37	ราษฎร์บูรณะ	42,775.41	43,143.35	42,954.01	42,986.38	44,559.30
38	ลาดกระบัง	81,751.98	74,133.96	71,626.50	70,439.75	71,872.58
39	ลาดพร้าว	59,419.07	57,439.32	54,488.82	52,995.70	52,176.11
40	วังทองหลาง	78,974.86	71,218.89	67,960.34	68,576.48	69,055.35
41	วัฒนา	96,420.35	84,791.00	80,695.02	80,427.35	79,340.39
42	สวนหลวง	77,954.08	68,324.37	70,351.88	74,034.16	72,591.34
43	สะพานสูง	37,885.63	32,785.73	34,003.69	33,962.76	34,144.97
44	สัมพันธวงศ์	21,944.81	21,242.35	21,309.60	21,725.99	21,776.47
45	สาทร	62,626.88	56,674.40	58,161.65	58,281.29	58,322.70
46	สายไหม	71,075.44	60,694.28	57,492.90	60,617.96	58,934.41
47	หนองแขม	62,457.00	59,892.59	57,993.33	57,571.50	55,573.34
48	หนองจอก	36,937.93	32,303.76	32,609.42	33,010.40	31,344.76
49	หลักสี่	58,508.12	53,624.45	53,070.79	52,401.99	50,084.65
50	ห้วยขวาง	66,494.25	54,535.24	53,872.89	53,896.05	58,661.44
51	กจข. สสส.	253,886.64	204,813.75	184,275.62	167,197.99	164,779.85

ตารางที่ ก-4 ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน ปีงบประมาณ 2556-2561

ที่	หน่วยงาน	ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน ปีงบประมาณ					
		2561*	2560	2559	2558	2557	2556
1	คลองเตย	53,879.71	116,396.18	119,642.90	123,886.54	123,375.07	124,199.50
2	คลองสาน	22,925.84	45,685.47	46,209.77	48,917.93	45,362.27	46,420.76
3	คลองสามวา	37,063.69	70,591.14	64,031.04	64,910.16	62,062.73	61,035.00
4	คันนายาว	26,670.10	51,563.45	51,929.33	47,552.40	44,940.93	46,979.62
5	จตุจักร	76,881.90	151,621.80	142,645.00	137,943.90	132,541.73	134,690.30
6	จอมทอง	37,319.42	69,848.35	71,808.84	75,331.79	73,694.79	74,178.08
7	ดอนเมือง	37,762.91	72,866.69	69,020.98	67,380.18	61,924.77	61,173.89
8	ดินแดง	52,170.99	103,354.47	99,687.02	97,880.99	99,857.15	99,180.64
9	ดุสิต	31,293.96	63,750.50	63,750.08	63,460.02	62,915.62	65,105.56
10	ตลิ่งชัน	26,995.98	51,224.44	48,360.44	48,665.78	46,197.79	44,741.69
11	ทวีวัฒนา	19,059.72	35,715.71	35,862.06	37,708.59	35,221.33	35,148.68
12	ทุ่งครุ	26,001.52	51,660.98	47,280.39	42,018.74	44,073.77	45,446.76
13	ธนบุรี	29,829.29	58,926.20	57,750.21	59,905.18	58,793.52	59,427.76
14	บางกอกน้อย	31,390.34	70,289.53	70,786.25	73,735.48	68,311.84	68,516.74
15	บางกอกใหญ่	14,094.07	27,614.68	29,004.66	31,361.15	29,936.32	31,822.03
16	บางกะปิ	60,942.61	123,449.53	117,706.24	114,309.04	119,561.54	121,221.72
17	บางขุนเทียน	60,570.05	120,056.87	111,452.97	105,616.90	100,637.34	103,186.88
18	บางเขน	54,929.30	109,341.16	102,066.16	98,715.70	94,551.77	92,979.20
19	บางคอแหลม	24,818.82	50,708.76	50,212.71	50,797.65	49,387.07	50,399.72
20	บางแค	52,121.85	105,134.14	99,456.66	99,145.28	95,859.89	96,731.50
21	บางซื่อ	29,559.71	61,684.82	59,440.61	57,969.53	55,616.92	58,537.55
22	บางนา	41,023.27	81,172.10	77,500.33	80,824.24	80,428.07	78,707.49
23	บางบอน	40,635.95	79,729.40	75,538.08	77,088.40	74,829.60	74,943.88
24	บางพลัด	28,429.54	56,463.61	55,060.87	55,490.05	53,022.55	52,302.50
25	บางรัก	28,510.65	61,712.76	58,286.80	62,333.38	58,888.59	61,312.31
26	บึงกุ่ม	36,795.12	73,153.56	69,854.74	68,543.24	68,234.58	68,763.52
27	ปทุมวัน	55,660.67	111,836.10	106,544.60	104,853.11	102,164.88	104,253.97
28	ประเวศ	50,984.45	106,400.02	99,983.14	98,856.90	100,039.91	95,208.17
29	ป้อมปราบ	15,443.38	30,420.78	30,383.52	31,557.08	30,773.10	33,003.20
30	พญาไท	30,887.31	62,516.07	60,367.09	59,116.60	56,102.81	57,523.47
31	พระโขนง	25,769.36	54,785.63	53,592.83	54,746.30	56,855.12	56,753.20

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

ที่	หน่วยงาน	ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 12 เดือน ปีงบประมาณ					
		2561*	2560	2559	2558	2557	2556
32	พระนคร	36,864.01	71,592.19	70,243.12	72,070.09	69,299.50	71,713.05
33	ภาษีเจริญ	29,487.78	56,958.11	58,670.93	61,268.07	56,299.54	57,463.99
34	มีนบุรี	33,169.95	70,334.19	69,050.94	69,869.10	70,706.48	69,022.43
35	ยานนาวา	33,352.22	67,686.30	67,770.90	67,104.25	64,219.38	65,118.84
36	ราชเทวี	39,253.11	77,623.76	74,148.35	73,940.09	70,191.22	74,730.65
37	ราษฎร์บูรณะ	21,425.51	43,002.86	41,835.00	42,671.59	42,497.82	42,707.99
38	ลาดกระบัง	51,570.10	103,735.45	95,759.88	93,257.12	90,386.71	88,903.40
39	ลาดพร้าว	38,318.46	74,074.32	68,937.14	65,313.29	61,136.23	61,675.94
40	วังทองหลาง	41,691.29	83,846.69	81,991.61	77,917.92	82,777.04	82,652.84
41	วัฒนา	50,951.75	108,485.32	106,449.78	104,908.60	102,550.70	104,435.06
42	สวนหลวง	40,889.83	88,556.47	85,651.11	86,730.60	86,217.60	83,642.33
43	สะพานสูง	22,458.70	46,103.12	44,819.52	43,127.84	43,415.08	41,665.98
44	สัมพันธวงศ์	10,387.04	20,598.00	20,401.97	21,357.21	20,630.96	21,653.00
45	สาทร	30,830.43	65,979.33	65,883.17	65,995.39	65,347.55	63,128.97
46	สายไหม	42,178.80	82,722.87	75,337.47	71,907.86	69,603.82	67,582.79
47	หนองแขม	31,867.91	60,829.18	61,380.55	63,324.16	63,247.08	62,470.15
48	หนองจอก	23,770.01	47,208.78	43,545.74	43,479.59	43,346.67	40,305.62
49	หลักสี่	33,506.05	64,680.52	59,191.80	57,118.17	55,536.33	57,232.42
50	ห้วยขวาง	40,302.96	75,717.90	71,851.82	72,123.32	73,513.35	72,635.95
51	กจข. สสส.	107,597.57	202,916.51	199,522.73	216,790.22	210,942.06	203,958.64

หมายเหตุ: * ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ 6 เดือนแรก ปีงบประมาณ 2561

ภาคผนวก ข

R script สำหรับการตรวจสอบการแจกแจงที่เหมาะสม
ของปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร
ปีงบประมาณ 2559-2560

การตรวจสอบการแจกแจงที่เหมาะสมของปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2560 (Y)

```
> mswyear=read.csv("E://RMCS/MSW/data/MSW51-61year.csv",header=TRUE)
> Y=mswyear$y2560
> X=mswyear$y2559
> library("fitdistrplus", lib.loc=~R/win-library/3.4")
```

```
> shapiro.test(Y)
```

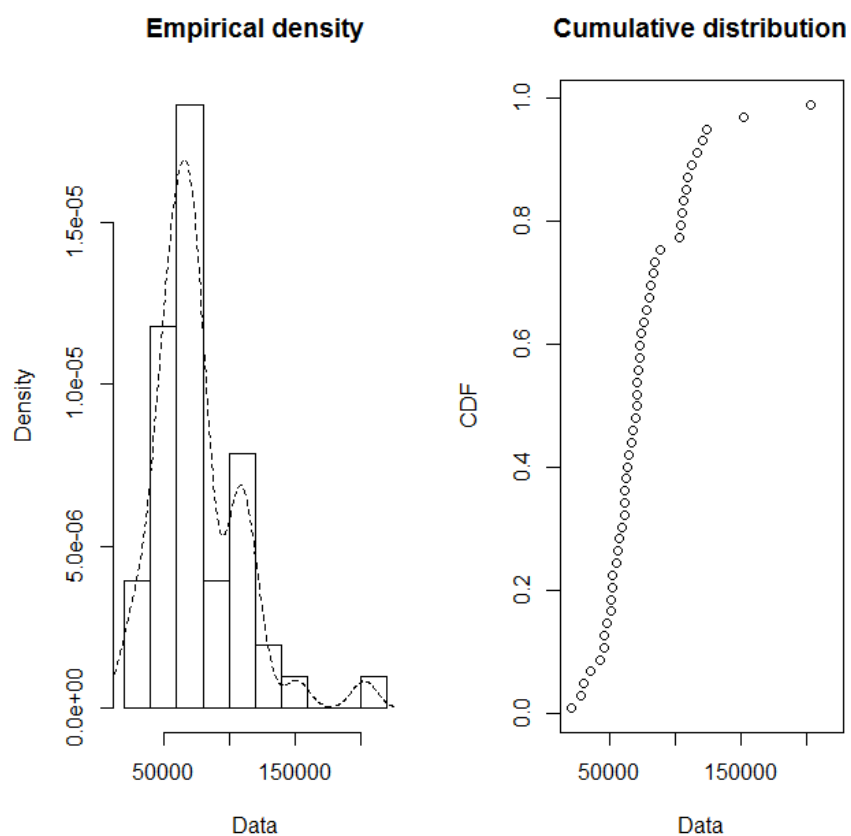
Shapiro-Wilk normality test

data: Y

W = 0.90243, p-value = 0.0005074

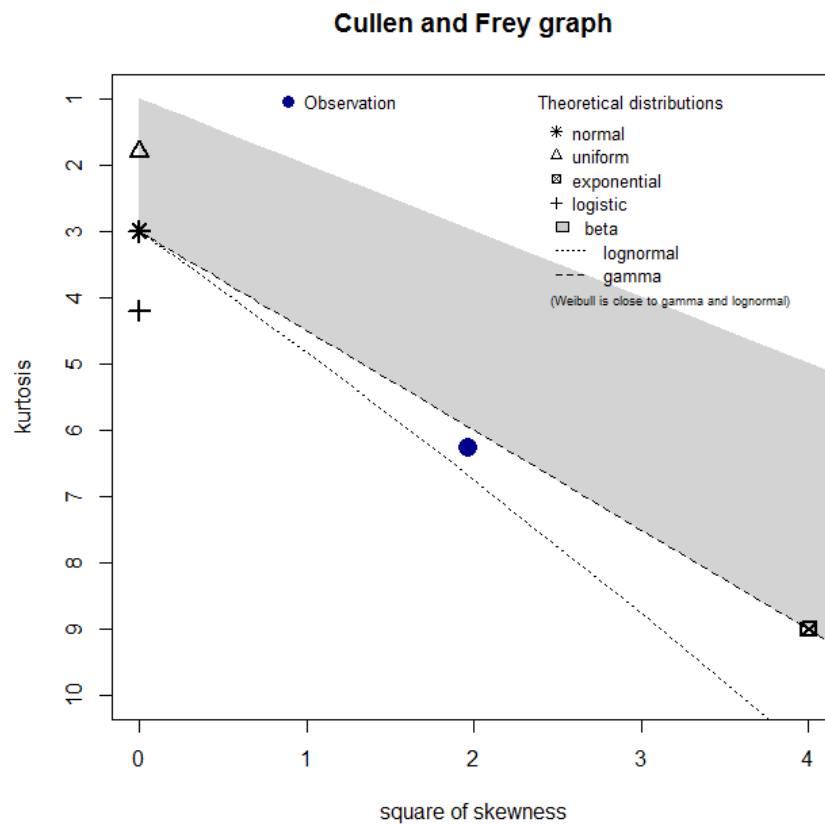
ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

```
> plotdist(Y,histo=TRUE,demp=TRUE)
```



ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเป็นโค้งเบ้ขวา

```
> descdist(Y,discrete=FALSE, method="sample")
```



การแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูลอาจจะเป็นการแจกแจงแบบ Lognormal หรือ Weibull

summary statistics

min: 20598 max: 202916.5

median: 70289.53

mean: 75339.74

sample sd: 32203.33

sample skewness: 1.403328

sample kurtosis: 6.27623

```
> fwy=fitdist(Y,"weibull")
```

```
> fwy
```

Fitting of the distribution ' weibull ' by maximum likelihood

Parameters:

	estimate	Std. Error
--	----------	------------

shape	2.4318	0.2474869
-------	--------	-----------

scale	84961.4900	6484.4606589
-------	------------	--------------

ค่าพารามิเตอร์สำหรับการแจกแจงแบบ Weibull

```
> flny=fitdist(Y,"lnorm")
```

```
> flny
```

Fitting of the distribution 'lnorm' by maximum likelihood

Parameters:

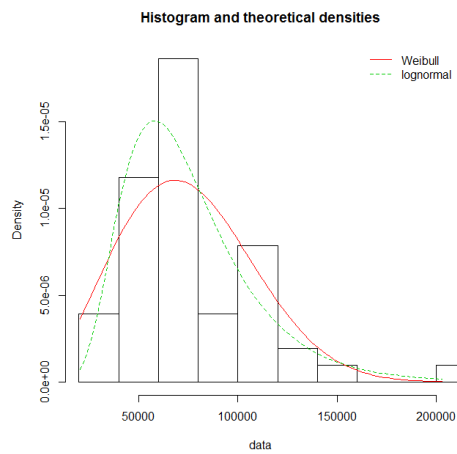
	estimate	Std. Error
meanlog	11.145860565	0.05862236
sdlog	0.409640	0.04145120

ค่าพารามิเตอร์สำหรับการแจกแจงแบบ Lognormal

```
> par(mfrow=c(2,2))
```

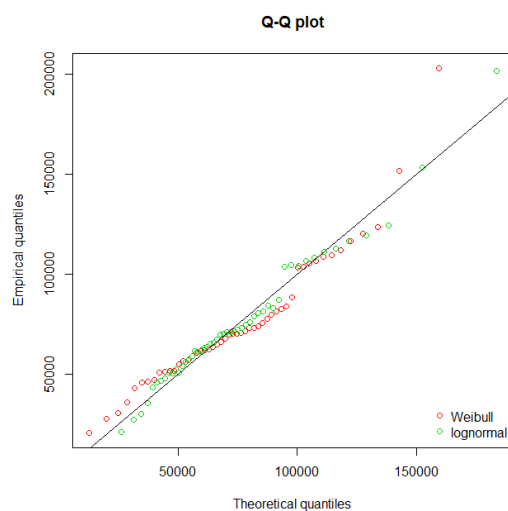
```
> ploty.legend=c("Weibull","lognormal")
```

```
> denscomp(list(fwy,flny),legendtext=ploty.legend)
```



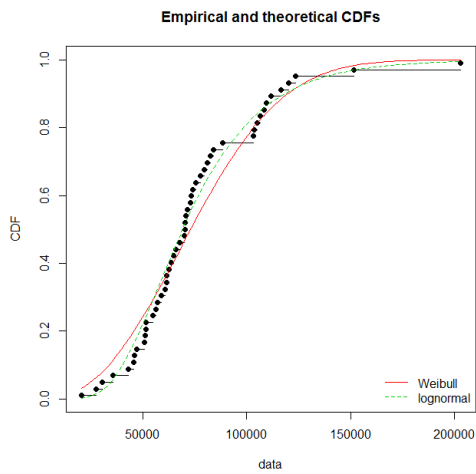
ฮิสโตแกรมของข้อมูลใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบ Lognormal

```
> qqcomp(list(fwy,flny),legendtext=ploty.legend)
```



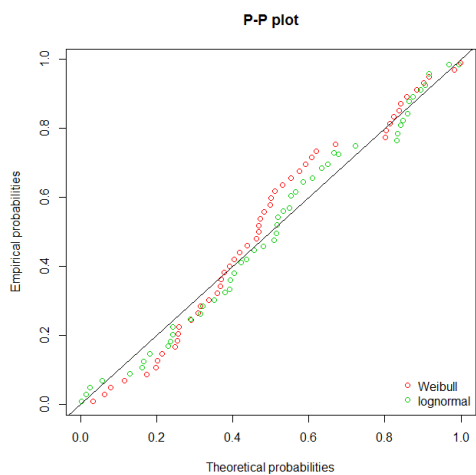
จุดของข้อมูลใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบ Lognormal

```
> cdfcomp(list(fwy,flny),legendtext=ploty.legend)
```



จุดของข้อมูลใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบ Lognormal

```
> ppcomp(list(fwy,flny),legendtext=ploty.legend)
```



จุดของข้อมูลใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบ Lognormal

```
> logY=log(Y)
```

```
> shapiro.test(logY)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: logY

W = 0.97825, p-value = 0.4674

หลังจากแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึม ตรวจสอบแล้วปรากฏว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

ดังนั้นการแจกแจงที่เหมาะสมของปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร

ปีงบประมาณ 2560 (Y) คือการแจกแจงแบบ Lognormal ด้วยพารามิเตอร์ $\text{meanlog} = 11.145860565$ และ

$\text{sdlog} = 0.409640$

การศึกษาการแจกแจงของปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ ในกรุงเทพมหานคร ในปีประมาณ 2559 (X)

```
> shapiro.test(X)
```

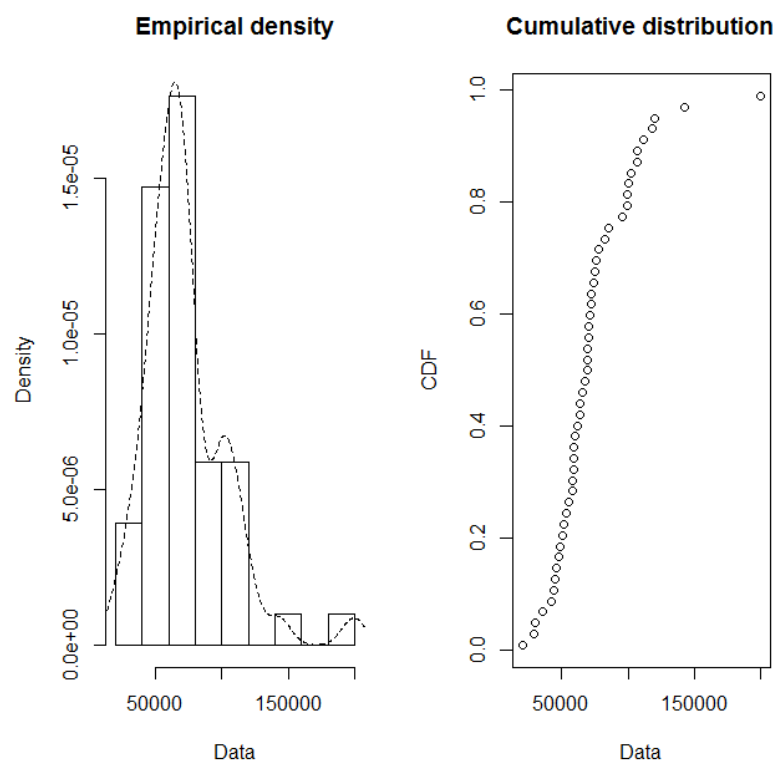
Shapiro-Wilk normality test

data: X

W = 0.89203, p-value = 0.0002304

ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

```
> plotdist(X,histo=TRUE,demp=TRUE)
```



ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเป็นโค้งเบ้ขวา

```
> descdist(X,discrete=FALSE, method="sample")
```

summary statistics

min: 20401.97 max: 199522.7

median: 68937.14

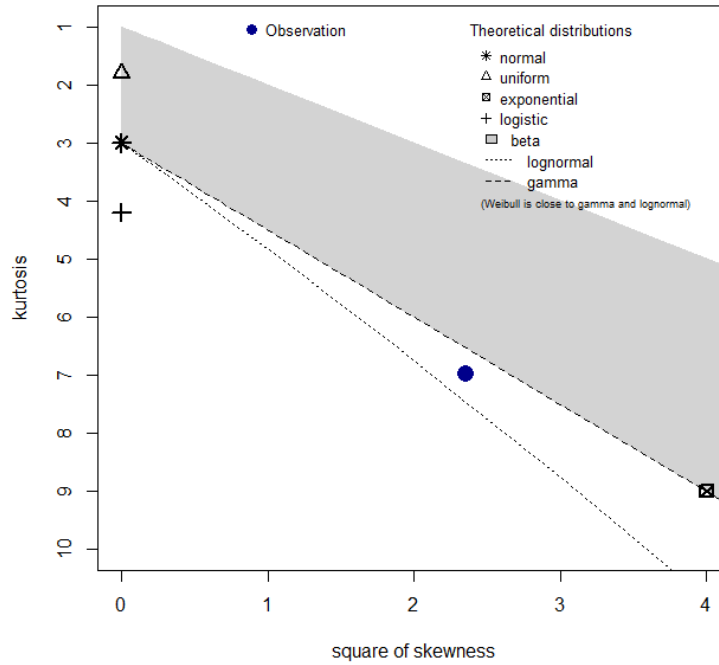
mean: 72699.21

sample sd: 30789.38

sample skewness: 1.533295

sample kurtosis: 6.975672

Cullen and Frey graph



การแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูลอาจจะเป็นการแจกแจงแบบ Lognormal หรือ Weibull

```
> fwx=fitdist(X,"weibull")
```

```
> fwx
```

Fitting of the distribution ' weibull ' by maximum likelihood

Parameters:

	estimate	Std. Error
--	----------	------------

shape	2.440769	0.2475834
-------	----------	-----------

scale	81942.435021	6540.8850905
-------	--------------	--------------

ค่าพารามิเตอร์สำหรับการแจกแจงแบบ Weibull

```
> flnx=fitdist(X,"lnorm")
```

```
> flnx
```

Fitting of the distribution ' lnorm ' by maximum likelihood

Parameters:

	estimate	Std. Error
--	----------	------------

meanlog	11.112225	0.05709039
---------	-----------	------------

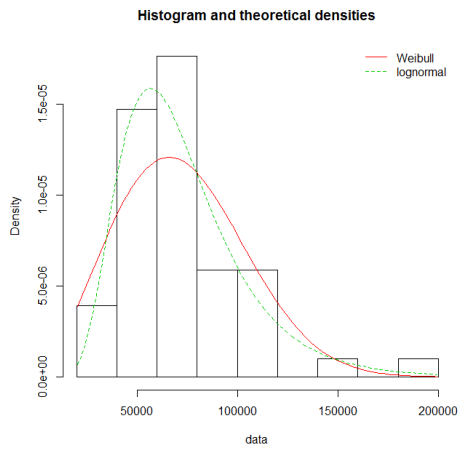
sdlog	0.407707	0.04036791
-------	----------	------------

ค่าพารามิเตอร์สำหรับการแจกแจงแบบ Lognormal

```

> par(mfrow=c(2,2))
> plotx.legend=c("Weibull","lognormal")
> denscomp(list(fwx,flnx),legendtext=plotx.legend)

```

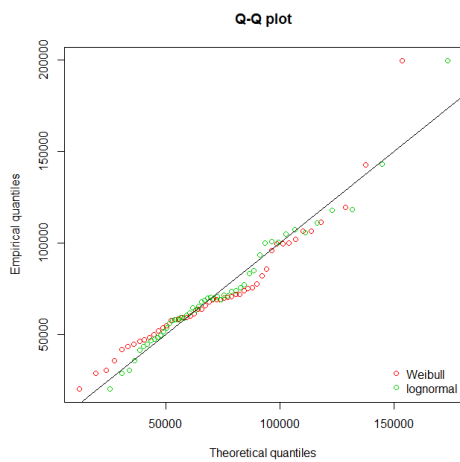


ฮิสโตแกรมของข้อมูลใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบ Lognormal

```

> qqcomp(list(fwx,flnx),legendtext=plotx.legend)

```

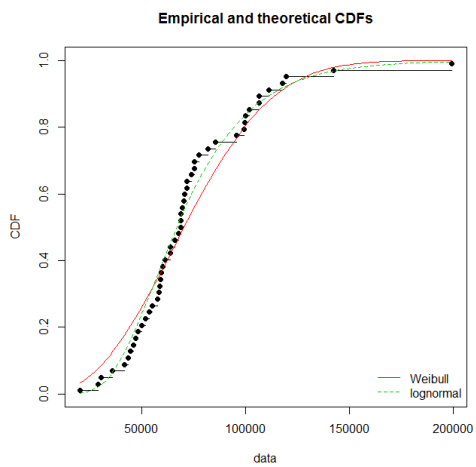


จุดของข้อมูลใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบ Lognormal

```

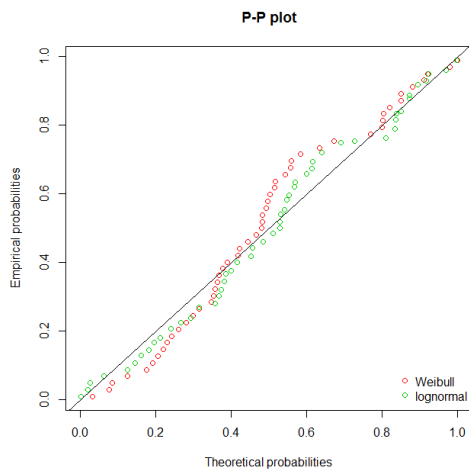
> cdfcomp(list(fwx,flnx),legendtext=plotx.legend)

```



จุดของข้อมูลใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบ Lognormal

```
> ppcomp(list(fwx,flnx),legendtext=plotx.legend)
```



จุดของข้อมูลใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบ Lognormal

```
> logX=log(X)
```

```
> shapiro.test(logX)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: logX

W = 0.97988, p-value = 0.5338

หลังจากแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึม ตรวจสอบแล้วปรากฏว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

ดังนั้นการแจกแจงที่เหมาะสมของปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บได้ของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร

ปีงบประมาณ 2559 (X) คือการแจกแจงแบบ Lognormal ด้วยพารามิเตอร์ $\text{meanlog} = 11.112225$ และ

$\text{sdlog} = 0.407707$

ภาคผนวก ค

R script สำหรับการตรวจสอบเงื่อนไข
ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณจากข้อมูลจริง

```

mswyear=read.csv("E://RMCS/MSW/data/MSW51-61year.csv",header=TRUE)
str(mswyear)
###check condition#####yRMC Y52 X51
X=mswyear$y2551
Y=mswyear$y2552
lamda=(1/19)-(1/51)
beta=mean(Y)/(mean(X)+median(X))
yn1=max(Y)-min(Y)
xn1=max(X)-min(X)
r=mean(Y)/mean(X)
MSE.ybar=((beta^2*var(X))-(2*beta*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.y=(beta*(var(X)-(xn1^2)*0.01))-((2*var(X))-((yn1*xn1)/50))
MSE.yr=(beta-r)*(((beta+r)*var(X))-(2*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.y=(beta-r)*(((beta+r)*var(X))-(2*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.yr=-0.01*((yn1-(beta*xn1))^2)
print(c("ybar52"=MSE.ybar,"ys52"=MSE.y,"yr52"=MSE.yr,"yp52"=MSE.yr))

```

```
#####yRMC Y54 X53
```

```

X=mswyear$y2553
Y=mswyear$y2554
lamda=(1/19)-(1/51)
beta=mean(Y)/(mean(X)+median(X))
yn1=max(Y)-min(Y)
xn1=max(X)-min(X)
r=mean(Y)/mean(X)
yxn1=yn1-xn1
MSE.ybar=((beta^2*var(X))-(2*beta*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.y=(beta*(var(X)-(xn1^2)*0.01))-((2*var(X))-((yn1*xn1)/50))
MSE.yr=(beta-r)*(((beta+r)*var(X))-(2*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.y=(beta-r)*(((beta+r)*var(X))-(2*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.yr=-0.01*((yn1-(beta*xn1))^2)
print(c("ybar54"=MSE.ybar,"ys54"=MSE.y,"yr54"=MSE.yr,"yp54"=MSE.yr))

```

```
#####yRMC Y56 X55
```

```

X=mswyear$y2555
Y=mswyear$y2556
lamda=(1/19)-(1/51)

```

```

beta=mean(Y)/(mean(X)+median(X))
yn1=max(Y)-min(Y)
xn1=max(X)-min(X)
r=mean(Y)/mean(X)
yxn1=yn1-xn1
MSE.ybar=((beta^2*var(X))-(2*beta*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.y=(beta*(var(X)-(xn1^2)*0.01))-((2*var(X))-((yn1*xn1)/50))
MSE.yr=(beta-r)*(((beta+r)*var(X))-(2*cov(X,Y)))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.yr=-0.01*((yn1-(beta*xn1))^2)
print(c("ybar56"=MSE.ybar,"ys56"=MSE.y,"yr56"=MSE.yr,"yp56"=MSE.yr))

```

```
#####yRMC Y58 X57
```

```

X=mswyear$y2557
Y=mswyear$y2558
lamda=(1/19)-(1/51)
beta=mean(Y)/(mean(X)+median(X))
yn1=max(Y)-min(Y)
xn1=max(X)-min(X)
r=mean(Y)/mean(X)
yxn1=yn1-xn1
MSE.ybar=((beta^2*var(X))-(2*beta*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.y=(beta*(var(X)-(xn1^2)*0.01))-((2*var(X))-((yn1*xn1)/50))
MSE.yr=(beta-r)*(((beta+r)*var(X))-(2*cov(X,Y)))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.yr=-0.01*((yn1-(beta*xn1))^2)
print(c("ybar58"=MSE.ybar,"ys58"=MSE.y,"yr58"=MSE.yr,"yp58"=MSE.yr))

```

```
#####yRMC Y60 X59
```

```

X=mswyear$y2559
Y=mswyear$y2560
lamda=(1/19)-(1/51)
beta=mean(Y)/(mean(X)+median(X))
yn1=max(Y)-min(Y)
xn1=max(X)-min(X)
r=mean(Y)/mean(X)
yxn1=yn1-xn1

```

```
MSE.ybar=((beta^2*var(X))-(2*beta*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.ys=(beta*(var(X)-(xn1^2)*0.01))-((2*var(X))-((yn1*xn1)/50))
MSE.yr=(beta-r)*(((beta+r)*var(X))-(2*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2))
MSE.yp=-0.01*((yn1-(beta*xn1))^2)
print(c("ybar60"=MSE.ybar,"ys60"=MSE.ys,"yr60"=MSE.yr,"yp60"=MSE.yp))
```

ภาคผนวก ง

R script สำหรับการคำนวณค่า *MSE* และ *PRE*
ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณจากข้อมูลจริง

```

mswyear=read.csv("E://RMCS/MSW/data/MSW51-61year.csv",header=TRUE)
str(mswyear)
#####yRMC Y52 X51#####
X=mswyear$y2551
Y=mswyear$y2552
#####parameter#####
lamda=(1/19)-(1/51)
beta=mean(Y)/(mean(X)+median(X))
alpha=mean(X)/(mean(X)+median(X))
yn1=max(Y)-min(Y)
max(Y)
xn1=max(X)-min(X)
r=mean(Y)/mean(X)
#####MSE#####
MSE.ybar=lamda*var(Y)
MSE.y=(lamda*var(Y))-(lamda*(yn1^2)*0.01)
MSE.yr=lamda*(var(Y)+(r^2*var(X))-(2*r*cov(X,Y)))
MSE.yp=lamda*(var(Y)+(r^2*alpha^2*var(X))-(2*r*alpha*cov(X,Y)))
MSE.yrmc=lamda*((var(Y)+(beta^2*var(X))-(2*beta*cov(X,Y)))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2)))
#####PRE#####
PRE.ybar=(MSE.ybar/MSE.yrmc)*100
PRE.y=(MSE.y/MSE.yrmc)*100
PRE.yr=(MSE.yr/MSE.yrmc)*100
PRE.yp=(MSE.yp/MSE.yrmc)*100
print(c("preybar52"=PRE.ybar,"preys52"=PRE.y,"preyr52"=PRE.yr,"preyp52"=PRE.yp))
print(c("Mybar52"=MSE.ybar,"Mys52"=MSE.y,"Myr52"=MSE.yr,"Myp52"=MSE.yp,"Myrmc52"=MSE.yrmc))
print(c("Ybar52"=mean(Y),"Xbar51"=mean(X),"sy52"=var(Y),"sx51"=var(X),"sxy"=cov(X,Y),
      "Md51"=median(X),"ymax52"=max(Y),"ymin52"=min(Y),"xmax52"=max(X),"minx52"=min(X)))
#####yRMC Y54 X53
X=mswyear$y2553
Y=mswyear$y2554
#####parameter#####
lamda=(1/19)-(1/51)
beta=mean(Y)/(mean(X)+median(X))

```

```

alpha=mean(X)/(mean(X)+median(X))
yn1=max(Y)-min(Y)
xn1=max(X)-min(X)
r=mean(Y)/mean(X)
#####MSE#####
MSE.ybar=lamda*var(Y)
MSE.ys=(lamda*var(Y)-(lamda*(yn1^2)*0.01)
MSE.yr=lamda*(var(Y)+(r^2*var(X))-(2*r*cov(X,Y)))
MSE.yp=lamda*(var(Y)+(r^2*alpha^2*var(X))-(2*r*alpha*cov(X,Y)))
MSE.yrmc=lamda*((var(Y)+(beta^2*var(X))-(2*beta*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2)))
#####PRE#####
PRE.ybar=(MSE.ybar/MSE.yrmc)*100
PRE.ys=(MSE.ys/MSE.yrmc)*100
PRE.yr=(MSE.yr/MSE.yrmc)*100
PRE.yp=(MSE.yp/MSE.yrmc)*100
print(c("preybar54"=PRE.ybar,"preys54"=PRE.ys,"preyr54"=PRE.yr,"preyp54"=PRE.yp))
print(c("Mybar54"=MSE.ybar,"Mys54"=MSE.ys,"Myr54"=MSE.yr,"Myp54"=MSE.yp,"Myrmc54"=MSE.yrm
c))
print(c("Ybar54"=mean(Y),"Xbar53"=mean(X),"sy54"=var(Y),"sx52"=var(X),"sxy"=cov(X,Y),
      "Md53"=median(X),"ymax54"=max(Y),"ymin54"=min(Y),"xmax53"=max(X),"minx53"=min(X)))
#####yRMC Y56 X55
X=mswyear$y2555
Y=mswyear$y2556
#####parameter#####
lamda=(1/19)-(1/51)
beta=mean(Y)/(mean(X)+median(X))
alpha=mean(X)/(mean(X)+median(X))
yn1=max(Y)-min(Y)
xn1=max(X)-min(X)
r=mean(Y)/mean(X)
#####MSE#####
MSE.ybar=lamda*var(Y)
MSE.ys=(lamda*var(Y)-(lamda*(yn1^2)*0.01)
MSE.yr=lamda*(var(Y)+(r^2*var(X))-(2*r*cov(X,Y)))
MSE.yp=lamda*(var(Y)+(r^2*alpha^2*var(X))-(2*r*alpha*cov(X,Y)))

```

```

MSE.yrmc=lamda*((var(Y)+(beta^2*var(X))-(2*beta*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2)))
#####PRE#####
PRE.ybar=(MSE.ybar/MSE.yrmc)*100
PRE.ys=(MSE.ys/MSE.yrmc)*100
PRE.yr=(MSE.yr/MSE.yrmc)*100
PRE.yp=(MSE.yp/MSE.yrmc)*100
print(c("preybar56"=PRE.ybar,"preys56"=PRE.ys,"preyr56"=PRE.yr,"preyp56"=PRE.yp))
print(c("Mybar56"=MSE.ybar,"Mys56"=MSE.ys,"Myr56"=MSE.yr,"Myp56"=MSE.yp,"Myrmc56"=MSE.yrm
c))
print(c("Ybar56"=mean(Y),"Xbar56"=mean(X),"sy56"=var(Y),"sx56"=var(X),"sxy"=cov(X,Y),
      "Md56"=median(X),"ymax56"=max(Y),"ymin56"=min(Y),"xmax56"=max(X),"xmin56"=min(X)))
#####yRMC Y58 X57
X=mswyear$y2557
Y=mswyear$y2558
#####parameter#####
lamda=(1/19)-(1/51)
beta=mean(Y)/(mean(X)+median(X))
alpha=mean(X)/(mean(X)+median(X))
yn1=max(Y)-min(Y)
xn1=max(X)-min(X)
r=mean(Y)/mean(X)
#####MSE#####
MSE.ybar=lamda*var(Y)
MSE.ys=(lamda*var(Y))-(lamda*(yn1^2)*0.01)
MSE.yr=lamda*(var(Y)+(r^2*var(X))-(2*r*cov(X,Y)))
MSE.yp=lamda*(var(Y)+(r^2*alpha^2*var(X))-(2*r*alpha*cov(X,Y)))
MSE.yrmc=lamda*((var(Y)+(beta^2*var(X))-(2*beta*cov(X,Y))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2)))
#####PRE#####
PRE.ybar=(MSE.ybar/MSE.yrmc)*100
PRE.ys=(MSE.ys/MSE.yrmc)*100
PRE.yr=(MSE.yr/MSE.yrmc)*100
PRE.yp=(MSE.yp/MSE.yrmc)*100
print(c("preybar58"=PRE.ybar,"preys58"=PRE.ys,"preyr58"=PRE.yr,"preyp58"=PRE.yp))
print(c("Mybar58"=MSE.ybar,"Mys58"=MSE.ys,"Myr58"=MSE.yr,"Myp58"=MSE.yp,"Myrmc58"=MSE.yrm
c))

```



```

print(c("Ybar58"=mean(Y),"Xbar57"=mean(X),"sy58"=var(Y),"sx57"=var(X),"sxy"=cov(X,Y),
      "Md57"=median(X),"ymax58"=max(Y),"ymin58"=min(Y),"xmax57"=max(X),"minx57"=min(X)))
#####yRMC Y60 X59
X=mswyear$y2559
Y=mswyear$y2560
#####parameter#####
lamda=(1/19)-(1/51)
beta=mean(Y)/(mean(X)+median(X))
alpha=mean(X)/(mean(X)+median(X))
yn1=max(Y)-min(Y)
xn1=max(X)-min(X)
r=mean(Y)/mean(X)
#####MSE#####
MSE.ybar=lamda*var(Y)
MSE.ys=(lamda*var(Y))-(lamda*(yn1^2)*0.01)
MSE.yr=lamda*(var(Y)+(r^2*var(X))-(2*r*cov(X,Y)))
MSE.yp=lamda*(var(Y)+(r^2*alpha^2*var(X))-(2*r*alpha*cov(X,Y)))
MSE.yrmc=lamda*((var(Y)+(beta^2*var(X))-(2*beta*cov(X,Y)))-(0.01*((yn1-(beta*xn1))^2)))
#####PRE#####
PRE.ybar=(MSE.ybar/MSE.yrmc)*100
PRE.ys=(MSE.ys/MSE.yrmc)*100
PRE.yr=(MSE.yr/MSE.yrmc)*100
PRE.yp=(MSE.yp/MSE.yrmc)*100
print(c("preybar60"=PRE.ybar,"preys60"=PRE.ys,"preyr60"=PRE.yr,"preyp60"=PRE.yp))
print(c("Mybar60"=MSE.ybar,"Mys60"=MSE.ys,"Myr60"=MSE.yr,"Myp60"=MSE.yp,"Myrmc60"=MSE.yrmc
c))
print(c("Ybar60"=mean(Y),"Xbar59"=mean(X),"sy60"=var(Y),"sx59"=var(X),"sxy"=cov(X,Y),
      "Md59"=median(X),"ymax60"=max(Y),"ymin60"=min(Y),"xmax59"=max(X),"minx59"=min(X)))

```

ภาคผนวก จ

R script สำหรับการจำลองข้อมูล
และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณ

```

##### MSE and PRE #####
mse = function(n,N,r,a)
{
##### Correlate random number #####
set.seed(1234)
X = rlnorm(N,meanlog=11.112225 , sdlog=0.407707)
W = rlnorm(N,meanlog=11.145860565 , sdlog=0.409640)
al = ( r^2 - ( r*sqrt( 1 - r^2 ) ))/( 2*r^2) - 1 )
Y = al*X + (1-a)*W
#####set ymin xmin ymax xmax#####
Y[1]=min(Y)
X[1]=min(X)
Y[N]=max(Y)
X[N]=max(X)
mu=mean(Y)
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*n)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*n)
y.bar = vector()
y.bar.s = vector()
y.bar.r = vector()
y.bar.p = vector()
y.bar.rmc = vector()
for(i in 1:a)
{
num = sample(1:N,n)
x = X[num]
y = Y[num]
## method 1 y.bar Classical Estimator #####
y.bar[i] = mean(y)
## method 2 y.bar.s Sarndal 1972 #####
if( min(y) == min(Y) & max(y) != max(Y) )
{y.bar.s[i] = mean(y) + c1}
else if( min(y) != min(Y) & max(y) == max(Y) )
{y.bar.s[i] = mean(y) - c1}
else {y.bar.s[i] = mean(y)}
}
}

```

```

## method 3 y.bar.r Cochran 1977 #####
  y.bar.r[i] = mean(y)*( mean(X)/mean(x) )
## method 4 y.bar.p Subramani 2013 #####
  y.bar.p[i] = mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) )
## method 5 y.bar.rmc Chalida 2018 #####
  if( ( min(y) == min(Y) ) & ( max(y) != max(Y) ) )
    {y.bar.rmc[i] = (mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) ) }
  else if( ( min(y) != min(Y) ) & ( max(y) == max(Y) ) )
    {y.bar.rmc[i] = (mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) ) }
  else { y.bar.rmc[i] = mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X))) }
}

##### MSE #####
mse.y.bar = (1/a)*sum( (y.bar - mu)^2 )
mse.y.bar.s = (1/a)*sum( (y.bar.s - mu)^2 )
mse.y.bar.r = (1/a)*sum( (y.bar.r - mu)^2 )
mse.y.bar.p = (1/a)*sum( (y.bar.p - mu)^2 )
mse.y.bar.rmc = (1/a)*sum( (y.bar.rmc - mu)^2 )

##### PRE #####
pre.y.bar = (mse.y.bar/mse.y.bar.rmc)*100
pre.y.bar.s = (mse.y.bar.s/mse.y.bar.rmc)*100
pre.y.bar.r = (mse.y.bar.r/mse.y.bar.rmc)*100
pre.y.bar.p = (mse.y.bar.p/mse.y.bar.rmc)*100
print( c("Classical"=mse.y.bar,"Sarndal" = mse.y.bar.s, "Cochran" = mse.y.bar.r, "Subra&Kuma" =
mse.y.bar.p, "RMC" = mse.y.bar.rmc ) )
print( c("preClassical"=pre.y.bar,"preSarndal" = pre.y.bar.s, "preCochran" = pre.y.bar.r,
"preSubra&Kuma" = pre.y.bar.p ) )
print( c("sam"=n,"population"=N,"correation"=r,"iteration"=a,"rcal"=b))
}

mse(30,1000,0.5,10000)
mse(50,1000,0.5,10000)
mse(100,1000,0.5,10000)
mse(200,1000,0.5,10000)
mse(300,1000,0.5,10000)
mse(400,1000,0.5,10000)

```

mse(30,1000,0.6,10000)
mse(50,1000,0.6,10000)
mse(100,1000,0.6,10000)
mse(200,1000,0.6,10000)
mse(300,1000,0.6,10000)
mse(400,1000,0.6,10000)
mse(30,1000,0.7,10000)
mse(50,1000,0.7,10000)
mse(100,1000,0.7,10000)
mse(200,1000,0.7,10000)
mse(300,1000,0.7,10000)
mse(400,1000,0.7,10000)

mse(30,1000,0.8,10000)
mse(50,1000,0.8,10000)
mse(100,1000,0.8,10000)
mse(200,1000,0.8,10000)
mse(300,1000,0.8,10000)
mse(400,1000,0.8,10000)

mse(30,1000,0.9,10000)
mse(50,1000,0.9,10000)
mse(100,1000,0.9,10000)
mse(200,1000,0.9,10000)
mse(300,1000,0.9,10000)
mse(400,1000,0.9,10000)

ภาคผนวก ฉ

R script สำหรับการศึกษาคความคลาดเคลื่อนในการประมาณ

ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยของสำนักงานเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC}

R script สำหรับการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยของสำนักงาน
เขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} กรณีใช้ข้อมูล 12 เดือน

```
mswyear=read.csv("E://RMCS/MSW/data/MSW51-61year.csv",header=TRUE)
str(mswyear)
#####yRMC Y52 X51
X=mswyear$y2551
Y=mswyear$y2552
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
#####set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
num=sample(1:51,19)
x=X[num]
y=Y[num]
if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
{
y.bar.rmc[i] = (mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) )
} else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
y.bar.rmc[i] = (mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) )
} else {
y.bar.rmc[i] = mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) )
}
}
PRE52=(abs(y.bar.rmc-mean(Y))/mean(Y))*100
MPRE52=mean(PRE52)
#####yRMC Y53 X52
X=mswyear$y2552
Y=mswyear$y2553
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
```

```

for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) )
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) )
  } else {
    y.bar.rmc[i] = mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) )
  }
}
PRE53=(abs(y.bar.rmc-mean(Y))/mean(Y))*100
MPRE53=mean(PRE53)

```

```
#####yRMC Y54 X53
```

```
X=mswyear$y2553
```

```
Y=mswyear$y2554
```

```
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
```

```
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
```

```
y.bar.rmc=vector()
```

```
set.seed(1234)
```

```
for (i in 1:100)
```

```

{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) )
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) )
  } else {

```



```

    y.bar.rmc[i] = mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) )
  }
}
PRE54=(abs(y.bar.rmc-mean(Y))/mean(Y))*100
MPRE54=mean(PRE54)

```

```
#####yRMC Y55 X54
```

```

X=mswyear$y2554
Y=mswyear$y2555
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) )
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) )
  } else {
    y.bar.rmc[i] = mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) )
  }
}
PRE55=(abs(y.bar.rmc-mean(Y))/mean(Y))*100
MPRE55=mean(PRE55)

```

```
#####yRMC Y56 X55
```

```

X=mswyear$y2555
Y=mswyear$y2556
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)

```

```

y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) )
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) )
  } else {
    y.bar.rmc[i] = mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) )
  }
}
PRE56=(abs(y.bar.rmc-mean(Y))/mean(Y))*100
MPRE56=mean(PRE56)

```

```
#####yRMC Y57 X56
```

```

X=mswyear$y2556
Y=mswyear$y2557
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) )
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {

```

```

    y.bar.rmc[i] = (mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) )
  } else {
    y.bar.rmc[i] = mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) )
  }
}
PRE57=(abs(y.bar.rmc-mean(Y))/mean(Y))*100
MPRE57=mean(PRE57)

```

```
#####yRMC Y58 X57
```

```

X=mswyear$y2557
Y=mswyear$y2558
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) )
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) )
  } else {
    y.bar.rmc[i] = mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) )
  }
}
PRE58=(abs(y.bar.rmc-mean(Y))/mean(Y))*100
MPRE58=mean(PRE58)

```

```
#####yRMC Y59 X58
```

```

X=mswyear$y2558
Y=mswyear$y2559

```

```

c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) )
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) )
  } else {
    y.bar.rmc[i] = mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) )
  }
}
PRE59=(abs(y.bar.rmc-mean(Y))/mean(Y))*100
MPRE59=mean(PRE59)

```

```
#####yRMC Y60 X59
```

```
X=mswyear$y2559
```

```
Y=mswyear$y2560
```

```
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
```

```
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
```

```
y.bar.rmc=vector()
```

```
set.seed(1234)
```

```
for (i in 1:100)
```

```
{
```

```
  num=sample(1:51,19)
```

```
  x=X[num]
```

```
  y=Y[num]
```

```
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
```

```
  {
```

```

y.bar.rmc[i] = (mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) )
} else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
  y.bar.rmc[i] = (mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) )
} else {
  y.bar.rmc[i] = mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) )
}
}
PRE60=(abs(y.bar.rmc-mean(Y))/mean(Y))*100
MPRE60=mean(PRE60)
print(c("PRE52"=MPRE52,"PRE53"=MPRE53,"PRE54"=MPRE54,"PRE55"=MPRE55,"PRE56"=MPRE56,
"PRE57"=MPRE57,"PRE58"=MPRE58,"PRE59"=MPRE59,"PRE60"=MPRE60))

```

R script สำหรับการศึกษาคความคลาดเคลื่อนในการประมาณปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยของสำนักงาน
เขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{y}_{RMC} กรณีใช้ข้อมูล 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ

```
m$month=read.csv("E://RMCS/MSW/data/MSW51-61month.csv",header=TRUE)
str(m$month)
m$year=read.csv("E://RMCS/MSW/data/MSW51-61year.csv",header=TRUE)
str(m$year)
#####yRMC Y52 X51
X=m$month$y2551
Y=m$month$y2552
Yyear=m$year$y2552
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
num=sample(1:51,19)
x=X[num]
y=Y[num]
if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
{
y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( mean(X) + median(X))/( mean(x) + c2) + median(X) ))*2.05
} else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( mean(X) + median(X))/( mean(x) - c2) + median(X) ))*2.05
} else {
y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ))*2.05
}
}
PRE52=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE52=mean(PRE52)
#####yRMC Y53 X52
X=m$month$y2552
Y=m$month$y2553
Yyear=m$year$y2553
```

```

c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ))*2.05
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ))*2.05
  } else {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ))*2.05
  }
}
PRE53=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE53=mean(PRE53)
#####yRMC Y54 X53
X=mswmonth$y2553
Y=mswmonth$y2554
Yyear=mswyear$y2554
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {

```

```

y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) ))*2.05
} else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) ))*2.05
} else {
y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) ))*2.05
}
}
PRE54=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE54=mean(PRE54)
#####yRMC Y55 X54
X=mswmonth$y2554
Y=mswmonth$y2555
Yyear=mswyyear$y2555
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
num=sample(1:51,19)
x=X[num]
y=Y[num]
if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
{
y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) ))*2.05
} else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) ))*2.05
} else {
y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) ))*2.05
}
}
}
PRE55=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE55=mean(PRE55)

```



```

#####yRMC Y56 X55
X=mswmonth$y2555
Y=mswmonth$y2556
Yyear=mswyear$y2556
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ))*2.05
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ))*2.05
  } else {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ))*2.05
  }
}
PRE56=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE56=mean(PRE56)
#####yRMC Y57 X56
X=mswmonth$y2556
Y=mswmonth$y2557
Yyear=mswyear$y2557
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)

```

```

x=X[num]
y=Y[num]
if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
{
  y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) ))*2.05
} else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
  y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) ))*2.05
} else {
  y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) ))*2.05
}
}
PRE57=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE57=mean(PRE57)
#####yRMC Y58 X57
X=mswmonth$y2557
Y=mswmonth$y2558
Yyear=mswyear$y2558
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) ))*2.05
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) ))*2.05
  } else {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) ))*2.05
  }
}
}

```

```

PRE58=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE58=mean(PRE58)
#####yRMC Y59 X58
X=mswmonth$y2558
Y=mswmonth$y2559
Yyear=mswyear$y2559
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]

  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) ))*2.05
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) ))*2.05
  } else {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ) ))*2.05
  }
}
PRE59=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE59=mean(PRE59)
#####yRMC Y60 X59
X=mswmonth$y2559
Y=mswmonth$y2560
Yyear=mswyear$y2560
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)

```

```

for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) ) ))*2.05
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) ) ))*2.05
  } else {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ))*2.05
  }
}
PRE60=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE60=mean(PRE60)
print(c("PRE52"=MPRE52,"PRE53"=MPRE53,"PRE54"=MPRE54,"PRE55"=MPRE55,"PRE56"=MPRE56,
"PRE57"=MPRE57,"PRE58"=MPRE58,"PRE59"=MPRE59,"PRE60"=MPRE60))

```

R script สำหรับการศึกษาคความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยของสำนักงาน
เขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครด้วยตัวประมาณ \bar{Y}_{RMC} กรณีใช้ข้อมูล 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ

```
#####PRE for Estimation Amount of Solid Waste#####  
#####Y 6 months X 6 months#####  
mswmonth=read.csv("E://RMCS/MSW/data/MSW51-61month.csv",header=TRUE)  
str(mswmonth)  
mswyear=read.csv("E://RMCS/MSW/data/MSW51-61year.csv",header=TRUE)  
str(mswyear)  
#####Estimate Y53 with yRMC Y52 X51  
X=mswmonth$y2551  
Y=mswmonth$y2552  
Yyear=mswyear$y2553  
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)  
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)  
y.bar.rmc=vector()  
set.seed(1234)  
for (i in 1:100)  
{  
num=sample(1:51,19)  
x=X[num]  
y=Y[num]  
if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )  
{  
y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) + c2) + median(X) )  
)*2.05*1.0205  
} else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {  
y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) - c2) + median(X) )  
)*2.05*1.0205  
} else {  
y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ))*2.05*1.0205  
}  
}  
PRE53=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100  
MPRE53=mean(PRE53)
```

```

#####Estimate Y54 with yRMC Y53 X52
X=mswmonth$y2552
Y=mswmonth$y2553
Yyear=mswyear$y2554
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) + c2) + median(X) )
  )*2.05*1.0205
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) - c2) + median(X) )
  )*2.05*1.0205
  } else {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ))*2.05*1.0205
  }
}
PRE54=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE54=mean(PRE54)
#####Estimate Y55 with yRMC Y54 X53
X=mswmonth$y2553
Y=mswmonth$y2554
Yyear=mswyear$y2555
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)

```

```

{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) + c2) + median(X) )
  ))*2.05*1.0205
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) - c2) + median(X) )
  ))*2.05*1.0205
  } else {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ))*2.05*1.0205
  }
}
PRE55=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE55=mean(PRE55)
#####Estimate Y56 with yRMC Y55 X54
X=mswmonth$y2554
Y=mswmonth$y2555
Yyear=mswyear$y2556
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) + c2) + median(X) )
  ))*2.05*1.0205
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {

```

```

y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) )
))*2.05*1.0205
} else {
y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ))*2.05*1.0205
}
}
PRE56=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE55=mean(PRE56)
#####Estimate Y57 with yRMC Y56 X55
X=mswmonth$y2555
Y=mswmonth$y2556
Yyear=mswyear$y2557
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
num=sample(1:51,19)
x=X[num]
y=Y[num]
if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
{
y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) + c2) + median(X) )
))*2.05*1.0205
} else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( (mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) )
))*2.05*1.0205
} else {
y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ))*2.05*1.0205
}
}
}
PRE57=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE57=mean(PRE57)

```



```

#####Estimate Y58 with yRMC Y57 X56
X=mswmonth$y2556
Y=mswmonth$y2557
Yyear=mswyear$y2558
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) + c2) + median(X) )
  )*2.05*1.0205
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {

    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) - c2) + median(X) )
  )*2.05*1.0205
  } else {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ))*2.05*1.0205
  }
}
PRE58=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE58=mean(PRE58)
#####Estimate Y59 with yRMC Y58 X57
X=mswmonth$y2557
Y=mswmonth$y2558
Yyear=mswyear$y2559
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)

```

```

for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) + c2) + median(X) )
  ))*2.05*1.0205
  } else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) - c2) + median(X) )
  ))*2.05*1.0205
  } else {
    y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X) ))*2.05*1.0205
  }
}
PRE59=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE59=mean(PRE59)
#####Estimate Y60 with yRMC Y59 X58
X=mswmonth$y2558
Y=mswmonth$y2559
Yyear=mswyyear$y2560
c1 = ( max(Y) - min(Y) )/(2*19)
c2 = ( max(X) - min(X) )/(2*19)
y.bar.rmc=vector()
set.seed(1234)
for (i in 1:100)
{
  num=sample(1:51,19)
  x=X[num]
  y=Y[num]
  if( min(y) == min(Y) & min(x) == min(X) & ( max(y) != max(Y) | max(x) != max(X) ) )
  {
    y.bar.rmc[i] = ((mean(y) + c1)*( mean(X) + median(X)))/( (mean(x) + c2) + median(X) )
  ))*2.05*1.0205

```

```

} else if( (min(y) != min(Y) | min(x) != min(X)) & max(y) == max(Y) & max(x) == max(X) ) {
  y.bar.rmc[i] = ((mean(y) - c1)*(mean(X) + median(X))/( (mean(x) - c2) + median(X) )
))*2.05*1.0205
} else {
  y.bar.rmc[i] = (mean(y)*( (mean(X) + median(X))/(mean(x) + median(X)) ))*2.05*1.0205
}
}
PRE60=(abs(y.bar.rmc-mean(Yyear))/mean(Yyear))*100
MPRE60=mean(PRE60)

```

ภาคผนวก ช

เอกสารรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

ที่ ๐๔๕/๒๕๖๑



เอกสารรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
มหาวิทยาลัยบูรพา

๑. ชื่อเรื่องคุษฎีนิพนธ์

ชื่อเรื่อง: การประมาณปริมาณขยะมูลฝอย โดยใช้ตัวประมาณอัตราส่วนของพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ย
ภายใต้เงื่อนไขค่ามากที่สุด และค่าน้อยสุด

TITLE: ESITMATING AMOUNT OF SOLID WASTE USING RATIO ESTIMATOR OF POPULATION
MEAN UNDER MAXIMUM AND MINIMUM VALUES

๒. ชื่อนิสิต: นางสาวชลิตา ตระกูลสุนทร

หลักสูตร ปรัชญาคุษฎีบัณฑิต (Ph.D.) สาขาวิชา การวิจัยและสถิติทางวิทยาการปัญญา
รหัส ๕๓๘๑๐๐๕๔

๓. ผลการพิจารณาของคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
มหาวิทยาลัยบูรพา ได้พิจารณาแล้วเห็นว่า คำโครงการคุษฎีนิพนธ์ดังกล่าวเป็นไปตามหลักการของจริยธรรม
การวิจัยในมนุษย์ โดยที่ผู้วิจัยเคารพสิทธิและศักดิ์ศรีในความเป็นมนุษย์ ไม่มีการล่วงละเมิดสิทธิ สวัสดิภาพ
และไม่ก่อให้เกิดภัยอันตรายแก่ตัวอย่างการวิจัย กลุ่มตัวอย่าง และผู้เข้าร่วมในโครงการวิจัย

จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยในขอบข่ายของคำโครงการคุษฎีนิพนธ์ที่เสนอได้ ตั้งแต่วันที่ออกเอกสาร
รับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ฉบับนี้ จนถึงวันที่ ๓๑ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๖๑

ออกให้ ณ วันที่ ๒๑ พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๖๑

ลงนาม


(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดรัมย์)

ประธานคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา
มหาวิทยาลัยบูรพา