การประมาณค่าการระเหยน้ำโดยใช้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่

ชนัญกาญจน์ แสงประสาน [1*] เสรี ชัดแช้ม [1] พัชรี วงษ์เกษม [2]
[1] วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา
[2] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ กรณีใช้ตัวแปรช่วยสองตัวและตัวแปรที่ศึกษามีค่าผิดปกติ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่กับตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน $\overline{y}_{m(SD)}$ ของ Gupta and Shabbir (2007) ภายใต้ 12 สถานการณ์ ด้วยเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ต่ำสุด และเพื่อประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดสกลนคร ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงธันวาคม 2556 ด้วยตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่ โดยใช้ข้อมูลการระเหยน้ำ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ จากสถานีอุตุนิยมวิทยาสกลนครจังหวัดสกลนคร กำหนดความแม่นยำของการประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดสกลนครด้วยค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ไม่เกิน 10%

ผลการวิจัยปรากฏว่า

1. ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่

$$\left(\overline{y}_M = \left[\overline{y} + b_1^*\left(\overline{X} - \overline{x}\right) + b_2^*\left(\overline{Z} - \overline{z}\right)\right]\left[\frac{\overline{X} + \beta_{1(x)}}{\overline{x} + \beta_{1(x)}}\right]\left[\frac{\overline{z} + \beta_{1(z)}}{\overline{Z} + \beta_{1(z)}}\right]\right)$$

มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน $\overline{y}_{m(SD)}$ ของ Gupta and Shabbir (2007)

2. การประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดสกลนคร โดยใช้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่ ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เท่ากับ 6.71

คำสำคัญ: ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน, วิธีกำลังสองตัดขอบน้อยสุด, ตัวแปรช่วย, การระเหยน้ำ

*Corresponding author. E-mail: nor.chayen@gmail.com

An Evaporation Estimation using the Modified Ratio Estimator

Chanankarn Saengprasan [1*], Seree Chadcham [1], Patcharee Wongkasem [2]
[1] *College of Research Methodology and Cognitive Science, Burapha University, Thailand*
[2] *Faculty of Science, Burapha University, Thailand*

Abstract

The objectives of this research were; 1) to modify the ratio population mean estimator that uses two auxiliary variables and the study variable having outliers, 2) to compare the efficiency of the modified ratio population mean estimator with Gupta and Shabbir's (2007) estimator using the minimum Mean Square Error (*MSE*) and the Mean Percent Relative error (*MPRE*) as criterions under 12 simulations, and 3) to estimate the monthly average evaporation, from May to December 2013 in Sakon Nakhon province, using the modified ratio estimator. Monthly average climatic data, consisting of pan evaporation, air temperature, and relative humidity from Sakon Nakhon meteorological station, were used to estimate evaporation in each month. In this study, monthly evaporation estimation is considered to be acceptable if the mean percent relative error (*MPRE*) is less than 10 %.

The results were as follows:

1. The modified ratio estimator, $\overline{y}_M = \left[\overline{y} + b_1^* \left(\overline{X} - \overline{x}\right) + b_2^* \left(\overline{Z} - \overline{z}\right)\right]\left[\frac{\overline{X} + \beta_{1(x)}}{\overline{x} + \beta_{1(x)}}\right]\left[\frac{\overline{z} + \beta_{1(z)}}{\overline{Z} + \beta_{1(z)}}\right]$, was more efficient than Gupta and Shabbir's (2007) estimator, $\overline{y}_{m(SD)}$.

2. The modified ratio estimator was acceptable for the estimation of monthly average pan evaporations in Sakon Nakhon province since the mean percent relative error (*MPRE*) was 6.71 %.

Keywords: Ratio estimator, Least trimmed square, Auxiliary variable, Evaporation

*Corresponding author. E-mail: nor.chayen@gmail.com

ความนำ

การระเหยน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงเคลื่อนที่ของน้ำจากสถานะของเหลวไปเป็นไอ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในวัฏจักรน้ำ (Hydrologic Cycle) ในระบบน้ำบรรยากาศ ที่ประกอบด้วย ฝน การดักค้าง การระเหยและการคายน้ำ ทั้งหมดล้วนมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องซึ่งกันและกัน ทำให้การระเหยน้ำไม่สามารถวัดได้โดยตรง ส่งผลให้การคาดคะเนการระเหยน้ำที่พื้นดินให้ได้ค่าที่ถูกต้องทำได้ยาก ขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม ในระเบียบวิธีอุทกวิทยาจึงต้องตัดทอนความซับซ้อนออกบ้าง เพื่อให้สามารถคำนวณได้และให้ได้คำตอบที่ไม่ห่างจากความจริงเกินกว่าจะยอมรับได้ (วิชัย ศรีบุญลือ, 2552) ค่าการระเหยน้ำมีความสำคัญใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการหาปริมาณการระเหยน้ำในอ่างเก็บน้ำ การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration) หรือการใช้น้ำของพืชอ้างอิงในแต่ละพื้นที่ จังหวัดสกลนครเป็นจังหวัดที่มีอ่างเก็บน้ำชลประทานเป็นโครงการชลประทานขนาดใหญ่ 1 แห่ง ขนาดกลาง 41 แห่ง และขนาดเล็ก 192 แห่ง (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2555) ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีโครงการชลประทานมากกว่าหลายจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้น การศึกษาการประมาณค่าการระเหยน้ำในจังหวัดสกลนคร จะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อการเกษตรกรรม

สำหรับการระเหยน้ำในพื้นที่ใกล้เคียงอื่น ๆ มีนักวิจัยหลายคนได้พยากรณ์การระเหยน้ำหรือการคายน้ำ (Saengprasan, Chadcham, & Jermjitpornchai, 2014; Dabral, Jhajharia, Mishra, Hangshing, & Doley, 2014; Kim, Shiri, Kisi, & Singh, 2013; Shirsath & Singh, 2010) ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณสองกลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ 1) พยากรณ์การระเหยน้ำโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างการระเหยน้ำกับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ และ 2) พยากรณ์การระเหยน้ำโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างการระเหยน้ำในปัจจุบันกับ ในอดีต ด้วยการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบ Box-Jenkins แต่จากการศึกษาของ Saengprasan, Chadcham, and Jermjitpornchai (2014) พบว่า การพยากรณ์การระเหยน้ำรายเดือนในจังหวัดสกลนครด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณมีความแม่นยำกว่าการพยากรณ์ด้วยตัวแบบ Box-Jenkins อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการระเหยน้ำมีลักษณะของฤดูกาลร่วมด้วย โดยเฉพาะในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายนที่มีการระเหยน้ำสูงสุดในรอบปี ถือได้ว่าเป็นค่าสูงผิดปกติในรอบปี สามารถปรับปรุงวิธีการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแกร่ง (Yarmohammadi & Mahmoudvand, 2010) เพื่อให้การประมาณค่าเฉลี่ยประชากรมีความแม่นยำสูงขึ้น

ส่วนใหญ่การศึกษาเชิงสำรวจมีจุดมุ่งหมายเพื่อประมาณค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ศึกษา (Study Variable) ซึ่งไม่ทราบค่า วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรโดยใช้ตัวแปรช่วย (Auxiliary Variables: X) วิธีการหนึ่ง คือ การใช้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน (Ratio Estimator) ซึ่งนักสถิติและนักวิชาการหลายคนได้พัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากร ให้มีความแม่นยำมากขึ้น ดังการศึกษาของ Abu-Dayyeh**,** Ahmed, Ahmed, and Muttlak (2003); Kadilar and Cingi (2004, 2005); Perri (2005); Gupta and Shabbir (2007); Kadilar, Candan and Cingi (2007); ภทรวรรณ แสงนวกิจ (2553) และการศึกษาของ Yan and Tian (2010) พบว่า การประมาณค่าเฉลี่ยของประชากรด้วยตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่ มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงเมื่อเทียบกับตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนดั้งเดิม (Classical Ratio Estimator) และจากการศึกษาของ Saengprasan, Chadcham, and Jermjitpornchai (2014) เกี่ยวกับประสิทธิภาพของการพยากรณ์การระเหยน้ำในจังหวัดสกลนครด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ แสดงให้เห็นว่า หลักการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ สามารถใช้ประมาณค่าการระเหยน้ำได้แม่นยำ อีกทั้ง ยังไม่ปรากฏการพัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ใช้การวิเคราะห์การถดถอยแกร่งร่วมกับสัมประสิทธิ์ความเบ้ กรณีที่มีตัวแปรช่วยสองตัว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาตัวประมาณ

ค่าแบบอัตราส่วนขึ้นใหม่ สำหรับกรณีที่มีตัวแปรช่วยสองตัว โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเบ้ (Coefficient of Skewness) และหลักการวิเคราะห์การถดถอยแกร่งที่มีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองตัดขอบน้อยสุด (Least Trimmed Squares: LTS) มาพัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน $\overline{y}_{m(SD)}$ ที่ Gupta and Shabbir (2007) ได้นำเสนอไว้ เพื่อให้ได้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ ที่สามารถประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดสกลนคร โดยใช้ตัวแปรช่วยสองตัว นอกจากนี้ยังสามารถนำตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ กรณีใช้ตัวแปรช่วยสองตัวนี้ ไปใช้ประมาณค่าเฉลี่ยประชากรของชุดข้อมูลอื่น ๆ ที่มีลักษณะไม่สมมาตรหรือที่มีค่าผิดปกติปะปนอยู่ด้วยได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ โดยใช้ตัวแปรช่วยสองตัวในกรณีตัวแปรที่ศึกษามีค่าผิดปกติ

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่กับตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน $\overline{y}_{m(SD)}$ ของ Gupta and Shabbir (2007) ภายใต้สถานการณ์ 12 สถานการณ์

3. เพื่อประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดสกลนคร โดยใช้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่

กรอบแนวคิดการวิจัย

การพัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากร กรณีใช้ตัวแปรช่วยสองตัว ที่ Gupta and Shabbir (2007) ได้นำเสนอไว้ในรูปแบบ Ratio-Cum-Product Type คือ

$$\overline{y}_{m(SD)} = \overline{y}\left[\frac{\overline{X}+C_x}{\overline{x}+C_x}\right]\left[\frac{\overline{z}+C_z}{\overline{Z}+C_z}\right] \qquad (1.1)$$

ตามสมการ (1.1) ไม่ได้คำนึงถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ (Outliers) ร่วมอยู่ด้วย ถ้าข้อมูลใดมีค่าผิดปกติอยู่ผลการประมาณค่าเฉลี่ยอาจบิดเบือนได้ ดังนั้นนักวิจัยหลายคนได้พยายามพัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่มีความแกร่ง โดยอาศัยการวิเคราะห์การถดถอยแกร่ง (Robust Regression) ดังการศึกษาของ Kadilar, Candan and Cingi (2007) และภทรวรรณ แสงนวกิจ (2553) แต่วิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยนั้นมีหลายวิธี ซึ่ง Yarmohammadi and Mahmoudvand (2010) พบว่า ประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธี LTS ดีกว่าตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบ Huber-M ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะปรับเทอม $\overline{y}$ ในสมการ (1.1) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแกร่งที่ใช้ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองตัดขอบน้อยสุด (LTS) ร่วมกับการใช้สัมประสิทธิ์ความเบ้ของตัวแปรช่วย ซึ่งเป็นทิศทางการใช้สารสนเทศของตัวแปรช่วยแบบใหม่ (Yan & Tian, 2010) เพื่อให้ได้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่ ดังสมการ (1.2) ที่มีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยลง และมีความเหมาะสมมากขึ้นในการประมาณค่าเฉลี่ยของการระเหยน้ำ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีค่าผิดปกติด้านบวกร่วมด้วย ดังนี้

$$\overline{y}_M = \left[\overline{y} + b_1^* \left(\overline{X} - \overline{x}\right) + b_2^* \left(\overline{Z} - \overline{z}\right)\right]\left[\frac{\overline{X} + \beta_{1(x)}}{\overline{x} + \beta_{1(x)}}\right]\left[\frac{\overline{z} + \beta_{1(z)}}{\overline{Z} + \beta_{1(z)}}\right] \qquad (1.2)$$

เมื่อ $\beta_{1(x)}$, $\beta_{1(z)}$ คือ สัมประสิทธิ์ความเบ้ของตัวแปรช่วย X และ Z ตามลำดับ

b_1^*, b_2^* คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองตัดขอบน้อยสุดของตัวแปรช่วย X และ Z ตามลำดับ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจเพื่อประมาณค่าการระเหยน้ำเฉลี่ยรายเดือน โดยใช้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่ มีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่

ขั้นตอนนี้เป็นการพัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ เมื่อใช้ตัวแปรช่วยสองตัว และข้อมูลประชากรมีค่าผิดปกติ มีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน (Ratio Estimator) ต่าง ๆ ที่มีผู้นำเสนอไว้ก่อนหน้านี้ ตลอดจนการปรับสูตรตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน โดยใช้สารสนเทศของตัวแปรช่วย สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากร โดยใช้ตัวแปรช่วยสองตัวของ Gupta and Shabbir (2007) เป็นตัวประมาณค่าเริ่มต้น (Initial Estimator) เพื่อพัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่

2. ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องการวิเคราะห์การถดถอยแกร่ง (Robust Regression) ในด้านประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีต่าง ๆ

3. ศึกษาแนวคิดทางการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและทฤษฎีบทเทย์เลอร์ ที่ใช้หาค่าประมาณของฟังก์ชันที่หาอนุพันธ์ได้อย่างต่อเนื่อง

4. ใช้วิธีการกระจายเทอมโพลิโนเมียลของอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับหนึ่ง (ภทรวรรณ แสงนวกิจ, 2553; Abu-Dayyeh et al., 2003; Kadilar & Cingi, 2004; 2005; Kadilar, Candan, & Cingi, 2007; Gupta & Shabbir, 2007) เพื่อหาสมการ *MSE* ของตัวประมาณค่าที่ปรับใหม่

ขั้นตอนที่ 2 การจำลองข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่กับตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน $\overline{y}_{m(SD)}$

ผู้วิจัยศึกษาเบื้องต้น (Pilot Study) เกี่ยวกับลักษณะสถิติพื้นฐานและการแจกแจงทางสถิติของข้อมูลจริงก่อน ในที่นี้ ข้อมูลจริง คือ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยรายเดือนประกอบด้วยการระเหยน้ำ (มิลลิเมตร) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%) ตั้งแต่เดือนมกราคม 2550 ถึงเดือนเมษายน 2556 จำนวน 76 เดือน เก็บข้อมูลโดยสถานีอุตุนิยมวิทยาสกลนคร ซึ่งตัวแปรช่วยที่ผ่านการคัดเลือก ได้แก่ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ (Saengprasan, Chadcham, & Jermjitpornchai, 2014; Shirsath & Singh, 2010) ผลศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการทดสอบการแจกแจงของตัวแปรช่วยอุณหภูมิอากาศ (X) และ ความชื้นสัมพัทธ์ (Z) ปรากฏว่า ตัวแปรช่วยสองตัวไม่มีการแจกแจงแบบปกติ จึงต้องแปลงค่าข้อมูลอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยและความชื้น

สัมพัทธ์ก่อน จึงสามารถระบุข้อมูลอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่แปลงค่าแล้ว (X_t) และความชื้นสัมพัทธ์ที่แปลงค่าแล้ว (Z_t) เป็นการแจกแจงปกติได้ เมื่อทราบสมการแปลงค่าพร้อมทั้งค่าประมาณพารามิเตอร์ของการแจกแจงปกติแล้ว จึงจำลองข้อมูลโดยเทคนิคมอนติคาร์โลด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ ใน (1.2) กับตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ ใน (1.1) ดังนี้

1. ขั้นตอนการจำลองข้อมูลประชากร

การสร้างข้อมูลประชากรจำนวน 10,000 หน่วย เป็นดังนี้

1.1 การสร้างข้อมูลแต่ละตัวของตัวแปร *X*

กำหนดให้ $X_t = 1.2251 + 0.9295A\sinh\left(\frac{X - 28.8112}{0.9622}\right)$ (1.3)

จะได้ว่า $X_t \sim N\left(0.03141, 0.9168\right)$ จากนั้นสุ่มตัวแปร $X_t \sim N\left(0.03141, 0.9168\right)$ ก่อน และแทนค่า X_t ที่สุ่มได้ใน (1.3) เพื่อแก้สมการหาค่าตัวแปร *X*

1.2 การสร้างข้อมูลแต่ละตัวของตัวแปร *Z*

กำหนดให้ $Z_t = -0.2517 + 0.7113\ln\left(\frac{Z - 54.7732}{86.2413 - Z}\right)$ (1.4)

จะได้ว่า $Z_t \sim N\left(0.0148, 0.9821\right)$ จากนั้นสุ่มตัวแปร $Z_t \sim N\left(0.0148, 0.9821\right)$ ก่อน และแทนค่า Z_t ที่สุ่มได้ใน (1.4) เพื่อแก้สมการหาค่าตัวแปร *Z*

1.3 สร้างตัวแปร *Y* หรือการระเหยน้ำที่มีความสัมพันธ์กับ *X* และ *Z* ในรูป $Y_i = 3.877 + .199X_i - .067Z_i + \varepsilon_i$ โดยที่ $\varepsilon_i \sim N(0,1)$

1.4 การคัดเลือกค่าข้อมูลตัวแปร *Y*, *X* และ *Z* ที่ได้จากข้อ 1.1 ถึงข้อ 1.3 หรืออันดับ (*Y, X, Z*) ที่มีความคล้ายคลึงกับลักษณะสถิติพื้นฐานของข้อมูลจริง โดยอาศัยค่าพิสัยของข้อมูลจริงและระดับความสัมพันธ์รายคู่ ρ_{YX} ρ_{YZ} และ ρ_{XZ} เป็นเงื่อนไขการคัดเลือกค่าข้อมูล (*Y, X, Z*) ดังนี้ $19 < X < 31$, $54 < Z < 86$, $Y > 3$, $\rho_{YX} > 0.35$, $\rho_{YZ} < -0.4$, $\rho_{XZ} < 0.3$ และ $\left|\rho_{XZ}\right| < \min\left(\left|\rho_{YX}\right|, \left|\rho_{YZ}\right|\right)$ ทั้งนี้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันรายคู่เหล่านี้ต้องทดสอบความมีนัยสำคัญ หากผลการทดสอบความสัมพันธ์รายคู่ ρ_{YX}, ρ_{YZ} และ ρ_{XZ} ไม่มีนัยสำคัญหรือไม่เป็นตามทุก ๆ เงื่อนไขที่กำหนด จะสุ่มข้อมูล (*Y, X, Z*) จากข้อ 1.1 ถึงข้อ 1.3 ใหม่ จนกระทั่งได้ชุดข้อมูลประชากร (*Y, X, Z*) ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับลักษณะข้อมูลจริง

1.5 บันทึกข้อมูลประชากร (*Y, X, Z*) จำนวน 10,000 ค่าที่ผ่านการคัดเลือกในข้อ 1.4

2. ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า

เมื่อสร้างข้อมูลประชากรแล้ว ทดสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ กับตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ ภายใต้ 12 สถานการณ์และสุ่มข้อมูลตัวอย่างด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มเชิงเดียว มีขั้นตอนดังนี้

2.1 ตรวจสอบค่าผิดปกติ เพื่อคัดแยกข้อมูลประชากรออกเป็นสองกลุ่มย่อย คือ 1) กลุ่มข้อมูลที่มีค่าปกติ (Non Outliers) และ 2) กลุ่มข้อมูลที่เป็นค่าผิดปกติ (Outliers) ทั้งนี้ข้อมูลการระเหยน้ำใดมีค่ามากกว่า $Q_3 + 1.5(IQR)$ ถือว่าเป็นข้อมูลผิดปกติด้านบวก

2.2 กำหนดเงื่อนไขย่อยของแต่ละสถานการณ์การจำลอง ได้แก่

1) ขนาดตัวอย่างสุ่ม 3 เงื่อนไข คือ 20 40 และ 100 หน่วยตัวอย่าง

2) ร้อยละของค่าผิดปกติ 4 เงื่อนไข คือ ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20

2.3 กำหนดรอบการทำซ้ำ รอบที่ *i* เมื่อ *i* = 1, 2, 3, ..., 1,000

2.4 สุ่มตัวอย่างตัวอย่างขนาด *n* ตามเงื่อนไขร้อยละของค่าผิดปกติ ได้สถานการณ์ทั้งหมดที่ศึกษาเท่ากับ 12 สถานการณ์

2.5 จำลองข้อมูลในแต่ละสถานการณ์ ในข้อ 2.4 ทำซ้ำจำนวน 1,000 ครั้ง

2.6 คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าของตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ กับตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ จากค่าทั้งหมด 1,000 ตัว ในแต่ละสถานการณ์ที่ได้จากข้อ 2.5 จากนั้นคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ($MSE\left(\hat{\theta}\right) = E\left(\hat{\theta} - \theta\right)^2$) และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Mean Percent Relative Error: $MPRE = \left(1/n\right)\sum_{i=i}^{n} PRE_i$) ของตัวประมาณค่าทั้งสองตัว

2.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณ $\overline{y}_M$ กับ $\overline{y}_{m(SD)}$ ในด้านความเที่ยงตรง (Precision) ด้วยเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย *(MSE)* ต่ำสุด และด้านความแม่นยำ (Accuracy) ด้วยเกณฑ์ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ *(MPRE)* ต่ำสุด

ขั้นตอนที่ 3 การประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดสกลนคร โดยใช้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่

การประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดสกลนคร โดยใช้ตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ และใช้ตัวแปรช่วยสองตัว สำหรับขั้นตอนนี้จะประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดสกลนคร ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงธันวาคม 2556 จำนวน 8 เดือน ซึ่งใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันในแต่ละเดือนไปประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือน อาศัยแนวทางการศึกษาของ Irmak and Haman (2003) และการศึกษาของ Dabral et al. (2014) กำหนดค่าพารามิเตอร์การระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละเดือนด้วยค่าเฉลี่ยเฉพาะเดือนนั้น จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายเดือนย้อนหลัง 6 ปี เริ่มจากพฤษภาคม 2550 ถึงเดือนธันวาคม 2555 และกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ คือ ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (*MPRE*) ของค่าประมาณการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนทั้ง 8 เดือน มีค่าไม่เกิน 10%

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยค่าสูงสุด (Min.) ค่าต่ำสุด (Max.) ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ความเบ้ (Skewness) ความโด่ง (Kurtosis) สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) และการทดสอบค่าที (*t-test*)

ผลการวิจัย

1. ผลการเสนอตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่

การพัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ เมื่อใช้ตัวแปรช่วยสองตัวนี้ ได้พัฒนามาจากตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของ Gupta and Shabbir (2007) ดังสมการ (1.1) ตามกรอบแนวคิดการวิจัย โดยอาศัยการวิเคราะห์การถดถอยแกร่งที่ใช้ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยวิธีกำลังสองตัดขอบน้อยสุด (LTS) ร่วมกับการใช้สัมประสิทธิ์ความเบ้ของตัวแปรช่วย X และ Z ทำให้ได้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ ดังนี้

$$\overline{y}_M = \left[\overline{y} + b_1^* \left(\overline{X} - \overline{x}\right) + b_2^* \left(\overline{Z} - \overline{z}\right)\right]\left[\frac{\overline{X} + \beta_{1(x)}}{\overline{x} + \beta_{1(x)}}\right]\left[\frac{\overline{z} + \beta_{1(z)}}{\overline{Z} + \beta_{1(z)}}\right] \quad (1.5)$$

เมื่อ $\beta_{1(x)}, \beta_{1(z)}$ คือ สัมประสิทธิ์ความเบ้ของตัวแปรช่วย X และตัวแปรช่วย Z ตามลำดับ

b_1^*, b_2^* คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองตัดขอบน้อยสุดของตัวแปรช่วย X และตัวแปรช่วย Z ตามลำดับ

$\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยประชากรของตัวแปรช่วย X

$\overline{Z}$ คือ ค่าเฉลี่ยประชากรของตัวแปรช่วย Z

$\overline{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยตัวอย่างของตัวแปรช่วย X

$\overline{z}$ คือ ค่าเฉลี่ยตัวอย่างของตัวแปรช่วย Z

จากนั้นใช้วิธีการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ดีกรีอันดับหนึ่ง หาสมการ *MSE* ของตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ ดังนี้

$$MSE\left(\overline{y}_M\right) \cong \frac{1-f}{n}\left[S_y^2 + \left(B_1^* + R_1\right)^2 S_x^2 + \left(B_2^* - R_2\right)^2 S_z^2 - 2\left(B_1^* + R_1\right)S_{yx} - 2\left(B_2^* - R_2\right)S_{yz} + 2\left(B_1^* + R_1\right)\left(B_2^* - R_2\right)S_{xz}\right] \quad (1.6)$$

เมื่อ $f = \frac{n}{N}$, $R_1 = \frac{\overline{Y}}{\overline{X} + \beta_{1(x)}}$ และ $R_2 = \frac{\overline{Y}}{\overline{Z} + \beta_{1(z)}}$ ตามลำดับ

2. ผลการจำลองข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่กับตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน $\overline{y}_{m(SD)}$

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ ($\overline{y}_M$) กับตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน ($\overline{y}_{m(SD)}$) ของ Gupta and Shabbir (2007) นั้น ขอนำเสนอผลการศึกษาลักษณะสถิติพื้นฐานของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องก่อน จากนั้นจึงนำเสนอผลการแสดงเชิงตัวเลข

ด้วยวิธีการจำลองข้อมูลโดยเทคนิคมอนติคาร์โล เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรระหว่างตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ กับตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ ภายใต้สถานการณ์ 12 สถานการณ์

2.1 ผลการศึกษาลักษณะสถิติพื้นฐานของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ในการวิจัยนี้ ประกอบด้วย การระเหยน้ำแบบถาด (*Y*) อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (*X*) และความชื้นสัมพัทธ์ (*Z*) มีค่าสถิติพื้นฐาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถิติพื้นฐานของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยรายเดือน จำนวน 76 เดือน

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยรายเดือน (หน่วยวัด)	ลักษณะข้อมูลเบื้องต้น					
	Min.	Max.	Mean	SD	Skewness	Kurtosis
1. การระเหยน้ำแบบถาด: Y (มิลลิเมตร)	3.17	6.05	4.23	0.68	0.86	0.11
2. อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย: X (^{o}C)	20.22	30.38	26.38	2.52	-0.96	0.04
3. ความชื้นสัมพัทธ์: Z (%)	55.62	85.67	72.54	7.94	-0.06	-1.15
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันรายคู่ : ρ_{YX} = 0.48 ρ_{YZ} = -0.55, ρ_{XZ} = 0.32						

จากตารางที่ 1 แสดงว่า การระเหยน้ำแบบถาดมีค่าตั้งแต่ 3.17 ถึง 6.05 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย 4.23 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.68 มิลลิเมตร มีความเบ้เท่ากับ 0.86 ซึ่งเป็นลักษณะเบ้ขวาเล็กน้อย มีความโด่งเท่ากับ 0.11 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีค่าตั้งแต่ 20.22 ถึง 30.38 ^{o}C มีค่าเฉลี่ย 26.38 ^{o}C ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.52 ^{o}C ส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีค่าตั้งแต่ 55.62% ถึง 85.67% มีค่าเฉลี่ย 72.54% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 7.94% ด้านความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรช่วยสองตัวกับการระเหยน้ำแบบถาด ชี้ให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับการระเหยน้ำรายเดือน (ρ_{YZ}) เท่ากับ -0.55 และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยกับการระเหยน้ำรายเดือน (ρ_{YX}) เท่ากับ 0.48 ถือว่าตัวแปรช่วยเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับการระเหยน้ำในระดับปานกลาง ถึงแม้ว่าตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์กับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีความสัมพันธ์ ρ_{XZ} เท่ากับ 0.32 แต่ก็มีค่าไม่เกิน 0.7 และมีค่าน้อยกว่า ρ_{YZ} และ ρ_{YX} จึงเป็นไปตามเกณฑ์การป้องกันการเกิดปัญหาตัวแปรช่วยมีความสัมพันธ์กันเอง หรือที่เรียกว่าปัญหา Collinearity (Hair et al., 2010)

2.2 ผลการจำลองข้อมูล

เมื่อสร้างข้อมูลประชากรที่มีความคล้ายคลึงกับลักษณะของข้อมูลจริง จำนวน 10,000 หน่วยแล้ว จึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ ($\overline{y}_M$) กับตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน $\overline{y}_{m(SD)}$ ภายใต้ 12 สถานการณ์ เมื่อกำหนดขนาดตัวอย่างสุ่ม (*n*) เท่ากับ 20 40 และ 100 หน่วยตัวอย่าง และร้อยละของจำนวนค่าผิดปกติ เท่ากับ ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และ ร้อยละ 20 ตามลำดับ ด้วยเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุด และเกณฑ์ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ต่ำสุด ผลดังตารางที่ 2

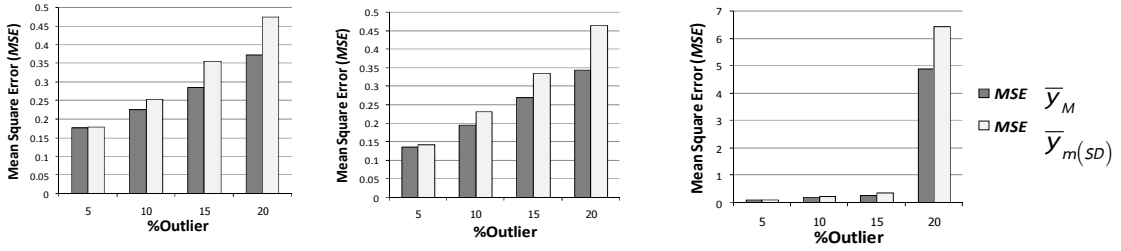
ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย *MSE* และ *MPRE* ของตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ กับตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$

ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละของค่าผิดปกติ	ตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$			ตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$		
		ค่าเฉลี่ย $\overline{y}_{m(SD)}$	*MSE*	*MPRE*	ค่าเฉลี่ย $\overline{y}_M$	*MSE*	*MPRE*
n = 20	5	4.1727	0.1787	3.4268	4.1406	**0.1761**	**3.3273**
	10	4.2841	0.2533	5.1652	4.2295	**0.2252**	**4.3968**
	15	4.4058	0.3559	7.9325	4.3039	**0.2856**	**5.9308**
	20	4.5324	0.4736	10.9950	4.3856	**0.3719**	**7.8994**
n = 40	5	4.1719	0.1415	2.7857	4.1513	**0.1348**	**2.6476**
	10	4.2896	0.2311	5.0678	4.2422	**0.1946**	**4.0577**
	15	4.4018	0.3354	7.7974	4.3236	**0.2683**	**5.9610**
	20	4.5349	0.4639	11.0553	4.3986	**0.3428**	**7.7899**
n = 100	5	4.1668	0.1077	2.2097	4.1500	**0.0951**	**1.8958**
	10	4.2900	0.2168	5.0585	4.2484	**0.1788**	**4.0511**
	15	4.4124	0.3353	8.0555	4.3446	**0.2704**	**6.3948**
	20	4.5346	6.4461	11.0496	4.4211	**4.8869**	**8.2703**

หมายเหตุ: ตัวหนา หมายถึง ค่า *MSE* หรือค่า *MPRE* ที่มีค่าน้อยที่สุดในแนวแถว

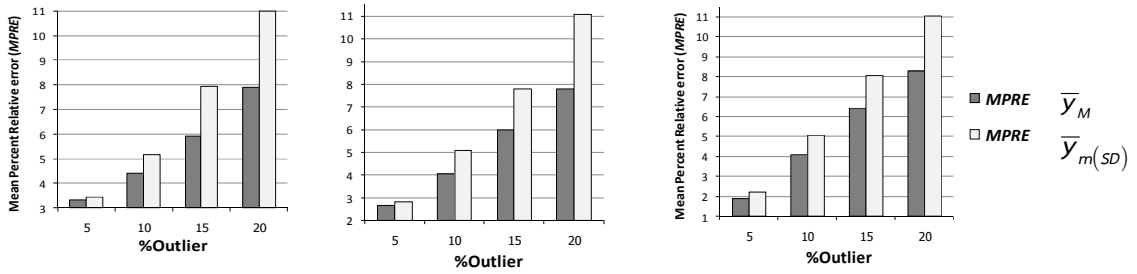
จากตารางที่ 2 ผลการจำลองทั้งหมด 12 สถานการณ์ แสดงว่า ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (*MSE*) และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (*MPRE*) ของตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ มีค่าน้อยกว่าตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ ในทุกสถานการณ์

สรุปสถานการณ์ทั้งหมดที่ค่า *MSE* และค่า *MPRE* ของตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ น้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ก) n = 20 ข) n = 40 ค) n = 100

ภาพที่ 1 สถานการณ์ที่ตัวประมาณ $\overline{y}_M$ มีค่า *MSE* น้อยกว่าตัวประมาณ $\overline{y}_{m(SD)}$



ก) n = 20 ข) n = 40 ค) n = 100

ภาพที่ 2 สถานการณ์ที่ตัวประมาณ $\overline{y}_M$ มีค่า *MPRE* น้อยกว่าตัวประมาณ $\overline{y}_{m(SD)}$

3. ผลการประมาณการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนด้วยตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$

ผลการประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนในจังหวัดสกลนคร ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคม 2556 โดยใช้ตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ พิจารณาความแม่นยำของการประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนด้วยค่า *MPRE* ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความแม่นยำของค่าประมาณการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือน พ.ค. ถึง ธ.ค. 2556

เดือน	ค่าพารามิเตอร์ $\overline{Y}_i$	ค่าประมาณ $\overline{y}_{M_i}$	ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (*PRE*)
พฤษภาคม	4.6991	4.6853	0.2937
มิถุนายน	4.0097	3.6147	9.8511
กรกฎาคม	3.8168	3.7657	1.3388
สิงหาคม	3.3365	3.3169	0.5874
กันยายน	3.5866	3.3716	5.9945
ตุลาคม	3.8089	4.1744	9.5959
พฤศจิกายน	3.9688	3.5493	10.5699
ธันวาคม	3.5847	4.1398	15.4853
ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (*MPRE*)		=	6.7146

จากตารางที่ 3 แสดงว่า ค่าประมาณการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนด้วยตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ มีค่าใกล้เคียงกับค่าพารามิเตอร์มากที่สุดใน 3 อันดับแรก ได้แก่ เดือนพฤษภาคม สิงหาคม และกรกฎาคม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในภาพรวม จะเห็นว่า การประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนด้วยตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เท่ากับ 6.7146% (ไม่เกิน 10%) ถือว่ามีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

อภิปรายผลการวิจัย

การประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันนั้น ในบางวันค่าการระเหยน้ำแบบถาดที่วัดได้ อาจจะมีค่าสูงมากกว่าวันอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นค่าผิดปกติในชุดข้อมูลรายเดือน การประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตอาจไม่เหมาะสม หากข้อมูลนั้นมีค่าผิดปกติปะปนอยู่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ ($\overline{y}_M$) ขึ้นจากตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน $\overline{y}_{m(SD)}$ ของ Gupta and Shabbir (2007) โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยแกร่งที่ประมาณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองตัดขอบน้อยสุดและสัมประสิทธิ์ความเบ้ของตัวแปรช่วย เพื่อให้ได้ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ ที่มีความเหมาะสมในการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรเมื่อข้อมูลมีค่าผิดปกติปะปนอยู่

ผลการจำลองข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมาณค่าเฉลี่ยประชากร เมื่อใช้ตัวแปรช่วยสองตัว ภายใต้ 12 สถานการณ์ ข้อค้นพบที่ได้ คือ ไม่ว่าจะสุ่มตัวอย่างขนาดเท่าใดก็ตาม ร้อยละของค่าผิดปกติที่เพิ่มขึ้น จากร้อยละ 5 เพิ่มเป็นร้อยละ 10 ร้อยละ 15 และร้อยละ 20 ตามลำดับ จะพบว่า ค่า *MSE* และค่า *MPRE* ของทั้งตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ และตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษา

ของภทรวรรณ แสงนวกิจ (2553) ดังนั้น สรุปได้ว่า ร้อยละของค่าผิดปกติที่ปะปนในชุดข้อมูล ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า ทำให้ความเที่ยงตรง (Precision) และความแม่นยำ (Accuracy) ของตัวประมาณค่ามีค่าลดลง

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าในด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำของตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ กับตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ ในสถานการณ์จำลอง 12 สถานการณ์ ได้ข้อค้นพบว่า ค่า *MSE* และค่า *MPRE* ของตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ มีค่าน้อยกว่าตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ ในทุก ๆ สถานการณ์ นั่นคือ ตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ มีประสิทธิภาพทั้งในด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำดีกว่าตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ ในทุกสถานการณ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการใช้สถิติแกร่งร่วมในตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน ดังผลการศึกษาของ Yarmohammadi and Mahmoudvand (2010), Kadilar, Candan and Cingi (2007) และภทรวรรณ แสงนวกิจ (2553) จึงกล่าวได้ว่า ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ ($\overline{y}_M$) ซึ่งพัฒนาจากตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ ของ Gupta and Shabbir (2007) โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยแกร่งที่ประมาณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองตัดขอบน้อยสุดและใช้สัมประสิทธิ์ความเบ้ของตัวแปร สามารถประมาณค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีค่าผิดปกติปะปนอยู่ได้แม่นยำและเที่ยงตรงมากขึ้น จึงทำให้ตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ สามารถประมาณค่าการระเหยน้ำแบบถาดโดยเฉลี่ยได้ดีกว่าตัวประมาณค่าแบบ $\overline{y}_{m(SD)}$

จึงสรุปได้ว่า การประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนด้วยตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ มีความเหมาะสมมากกว่าตัวประมาณค่า $\overline{y}_{m(SD)}$ เมื่อประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนด้วยตัวประมาณค่า $\overline{y}_M$ จะได้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ไม่เกิน 10% ถือว่า ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ ($\overline{y}_M$) มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ มีความเหมาะสมที่ใช้ประมาณค่าการระเหยน้ำโดยเฉลี่ยรายเดือนได้

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1. ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนที่ปรับใหม่นี้ สามารถใช้ประมาณค่าเฉลี่ยประชากรที่มีค่าผิดปกติปะปนอยู่ ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์ของตัวแปรช่วยตัวที่หนึ่งต้องมีทิศทางเดียวกัน ($\rho_{YX} > 0$) และความสัมพันธ์ของตัวแปรช่วยตัวที่สองต้องมีทิศทางผกผัน ($\rho_{YZ} < 0$) กัน

2. ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่นี้ สามารถประมาณค่าเฉลี่ยประชากรข้อมูลอื่น ๆ ที่อาจจะมีค่าผิดปกติปะปนอยู่ได้ ยกตัวอย่าง เช่น การประมาณค่าปริมาณขยะทั้งหมดในเขตพื้นที่ที่ศึกษา จากปริมาณขยะทั้งหมดในปีที่ผ่านมาและจำนวนครัวเรือนทั้งหมดในเขตพื้นที่ที่ศึกษาในปัจจุบัน ซึ่งมีประโยชน์ต่อการวางแผนจัดสรรงบประมาณ ตลอดจนวางแผนบริหารจัดการการกำจัดขยะ เพื่อลดมลพิษที่เกิดจากขยะ

ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป

1. ตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ กรณีที่ใช้ตัวแปรช่วยสองตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษานี้ มีปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวประมาณค่า คือ ระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรช่วยกับตัวแปรที่ศึกษา ซึ่งในการวิจัยนี้ ตัวแปรช่วยมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับตัวแปรที่ศึกษา จึงอาจเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่ลดลง เมื่อกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไป ในส่วนของการจำลองข้อมูล ควรศึกษากรณีที่ตัวแปรช่วยมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาในหลาย ๆ ระดับ เช่น ระดับปานกลางหรือระดับสูงมาก ($0.5 < \rho < 0.9$)

2. ในการประมาณค่าการระเหยน้ำรายเดือนด้วยตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยประชากรที่ปรับใหม่นี้ ใช้ตัวแปรช่วย คือ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ ถึงแม้ว่าตัวแปรช่วยสองตัวนี้จะมีความสัมพันธ์กับการระเหยน้ำมากกว่าข้อมูลอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ แต่ก็มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลางเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไป อาจจะเป็นการศึกษาในพื้นที่อื่น ควรจะพิจารณาเพิ่มตัวแปรอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ เพื่อใช้คัดเลือกตัวแปรช่วยที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาในระดับมาก เช่น อุณหภูมิสูงสุดในแต่ละวัน ความเร็วลม

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2555). *รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมปี 2554 ภาคที่ 9 ลุ่มน้ำโขง เลย อุดรธานี หนองคาย บึงกาฬ สกลนคร นครพนม*. อุดรธานี: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9.

ภทรวรรณ แสงนวกิจ. (2553). การประมาณค่าเฉลี่ยด้วยตัวประมาณค่าแบบอัตราส่วน เมื่อข้อมูลมีค่าผิดปกติ. ใน *การประชุมวิชาการสถิติและสถิติประยุกต์ ครั้งที่ 11 ประจำปี 2553*. เชียงใหม่: ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิชัย ศรีบุญลือ. (2552). *อุทกวิทยา*. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Abu-Dayyeh**,** W. A., Ahmed, M. S., Ahmed, R. A., & Muttlak, H. A. (2003). Some estimators of a finite population mean using auxiliary information. *Applied Mathematics and Computation*, *139*, 287–298.

Dabral P. P., Jhajharia D., Mishra P., Hangshing L., & Doley, B. J. (2014). Timie series modeling of pan evaporation: A case study in the northeast India. *Global NEST journal*, *16*(2), 280-292.

Gupta, S., & Shabbir, J. (2007). On the use of transformed auxiliary variables in estimating population mean by using two auxiliary variables. *Journal of Statistical Planning and Inference*, *137*, 1606–1611.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate Data Analysis* (7th ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Irmak, S., & Haman, D. Z. (2003). Evaluation of five methods for estimating class a pan evaporation in a humid climate. *Hort Technology Journal, 13*(3), 500-508.

Kadilar, C., & Cingi, H. (2004). Ratio estimators in simple random sampling. *Applied Mathematics and Computation*, *151*(3), 893–902.

Kadilar, C., & Cingi, H. (2005). A new estimators using two auxiliary variables, *Applied Mathematics and Computation*, *162*, 901–908.

Kadilar, C., Candan, M., & Cingi, H. (2007). Ratio estimators using robust regression. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, *36*(2), 181–188.

Kim, S., Shiri, J., Kisi, O., & Singh, V. P. (2013). Estimating daily pan evaporation using different data-driven methods and lag-time patterns. *Water Resources Management*, *27*(7), 2267-86.

Perri, P. F. (2005). Combining two auxiliary variables in ratio-cum-product type estimator. In *Proceeding of Italian Statistical Society, Intermediate meeting on Statistics and Environment*, *Messina, 21-23 September, 2005* (pp.193-196). Italy: Italian Statistical Society.

Saengprasan, C., Chadcham, S., & Jermjitpornchai, S. (2014). On the comparison of efficiency between Multiple Regression and Box-Jenkins Methods for evaporation forecasting. In *Burapha University International Conference 2014 (BUU2014)*, *July 3-4, 2014, Pattaya Chon Buri.* Thailand: Burapha University.

Shirsath, P. B., & Singh, A. K. (2010). A comparative study of daily pan evaporation estimation using ANN, regression and climate based models. *Water Resources Management*, *24*, 1571–81.

Yan, Z., & Tian, B. (2010). Ratio method to the mean estimation using coefficient of skewness of auxiliary variables. *In International Conference on Information Computer Application (ICICA 2010) Information Computing and Applications Part II*, October 15-18, 2010, Tangshan, China.

Yarmohammadi, M., & Mahmoudvand, R. (2010). The effect of outliers on robust and resistant coefficient of determination in the linear regression models. *International Journal of Academic Research*, *2*(3), 133–138.