Research Article

Received: February 22, 2018; Accepted: March 13, 2018

การเปรียบเทียบความแกร่งของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังประเภทต่าง ๆ สำหรับการแจกแจงแกมมา

Robustness Comparison for the Different Types of Exponentially Weighted Moving Average Control Charts for Gamma Distribution

พิชญาภรณ์ จริตงาม*, รัฐิยาภรณ์ จารุภาค, ศักดิ์พล รุ่งเรืองฤทธิชัย

และจุฑาภรณ์ สินสมบูรณ์ทอง

ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Pichayaporn Jaritngam*, Rattiyaporn Jarupak, Sakpol Rungroungrittichai

and Juthaphorn Sinsomboonthong

Department of Statistics, Faculty of Science, Kasetsart University, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแกร่งในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง 3 ชนิด ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง (EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังที่ใช้เครื่องหมาย (EWMA Sign) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น (DEWMA) เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา มีพารามิเตอร์รูปร่าง (α) เท่ากับ 10.2, 10.6, 11, 11.4, 11.8, 13, 16, 20 และพารามิเตอร์สเกล (β) เท่ากับ 1 ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ขนาดตัวอย่าง (n) ในแต่ละกลุ่มย่อย เท่ากับ 3, 5, 7, 10 และ 20 กำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ $(\delta\sigma)$ เท่ากับ 0.1σ, 0.3σ, 0.5σ, 0.7σ, 0.9σ, 1.5σ, 3σ, 5σ โดยมีการจำลองข้อมูลซ้ำในแต่ละสถานการณ์ 10,000 ครั้ง ด้วยโปรแกรม SAS 9.4 เพื่อเปรียบเทียบความแกร่งในด้านความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแต่ละแผนภูมิควบคุมซึ่งผลจากการวิจัย พบว่าแผนภูมิควบคุม DEWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม EWMA Sign ในทุกสถานการณ์ นอกจากนี้เมื่อ $\delta \geq 3$ ในทุกขนาดตัวอย่าง n จะพบว่าทั้ง 3 แผนภูมิมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น พบว่าแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แผนภูมิ มีแนวโน้มในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการใกล้เคียงกัน จึงสามารถเลือกใช้แผนภูมิใดก็ได้

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** pichayaporn.j@ku.th **doi:** 10.14456/tstj.2019.16

คำสำคัญ : แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง; แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังที่ใช้เครื่องหมาย; แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น; การแจกแจงแกมมา

Abstract

The objective of this research is to compare the robustness for process mean shift detection of three control charts – exponentially weighted moving average control chart (EWMA), exponentially weighted moving average sign control chart (EWMA Sign) and double exponentially weighted moving average control chart (DEWMA) – when data are gamma distributed with a shape parameter (α) of 10.2, 10.6, 11, 11.4, 11.8, 13, 16, 20 and a scale parameter (β) of 1. We focused on the following two studied factors for our study. The first one is a sample size for each subgroup (n) which is equal to 3, 5, 7, 10 and 20. The second is the size of process mean shift $(\delta\sigma)$ which is equal to 0.1σ, 0.3σ, 0.5σ, 0.7σ, 0.9σ, 1.5σ, 3σ, 5σ. In addition, a data simulation is conducted with 10,000 repetitions for each situation by SAS 9.4 programming to compare the robustness in term of the out-of-control average run length for each control chart. The results of this study are as follows: The efficiency for process mean shift detection of DEWMA control chart tends to be better than those of EWMA and EWMA Sign control charts for all situations. Furthermore, the efficiency of three control charts tend to have slightly difference for $\delta \geq 3$ and all sample size n. That is, when the amounts of process mean shift are large, all three control charts tend to have no difference efficiency for mean shift detection of process. Therefore, all three control charts can be used for this situation.

Keywords: exponentially weighted moving average control chart; exponentially weighted moving average sign control chart; double exponentially weighted moving average control chart; gamma distribution

1. บทนำ

การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (SQC, statistical quality control) เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยในการตรวจสอบคุณภาพสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพตรงตามเป้าหมาย และความต้องการของผู้ผลิตและผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาคุณภาพสินค้า รวมทั้งเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพ กล่าวคือ ในกระบวนการผลิตสินค้านั้นต้องอาศัยวิธีการเชิงสถิติมาช่วยในการควบคุมคุณภาพ เนื่องจากในกระบวนการผลิตย่อมมีความผันแปรของคุณภาพสินค้าเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ซึ่งอาจแสดงว่ากระบวนการผลิตไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุม (out-of-control process) และจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสินค้าและกระบวนการผลิตได้ ดังนั้นการควบคุมคุณภาพจึงถูกนำมาใช้ควบคุมความ

ผันแปรของคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อควบคุมการผลิตให้อยู่ภายใต้การควบคุม (in-control process) ทำให้กระบวนการผลิตมีมาตรฐานและมีคุณภาพ [1]

แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่จะช่วยในการตรวจสอบความผิดปกติและควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต โดยความสามารถของแผนภูมิควบคุมขึ้นอยู่กับความไว (sensitivity) ในการตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการ ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ ปี ค.ศ.1997 Champ และ Rigdon [2] เสนอแผนภูมิควบคุม RUNSUM โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุมชิวฮาร์ท ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพดีกว่าเหมาะสำหรับใช้ในการควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ในปี พ.ศ. 2544 กิตยาการ [3] ศึกษาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง (EWMA) แผนภูมิควบคุมชิวฮาร์ท และแผนภูมิควบคุมซินเทติก กรณีข้อมูลไม่เป็นการแจกแจงปรกติ โดยใช้ 2 การแจกแจง คือ การแจกแจงที (t-distribution) ที่กำหนดให้ค่าองศาเสรี (df) เท่ากับ 4, 6, 8, 15, 20, 30 และการแจกแจงแกมมา (gamma distribution) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์รูปร่าง (α) เท่ากับ 0.5, 1, 2, 3, 4 และกำหนดให้พารามิเตอร์สเกล (β) คงที่เท่ากับ 1 แล้วพิจารณาค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมเป็นเกณฑ์ตัดสินใจถึงประสิทธิภาพของแต่ละแผนภูมิควบคุม ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม EWMA มีประสิทธิภาพสูงสุด และที่การแจกแจงแกมมาแผนภูมิควบคุม EWMA ที่มีค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $\lambda = 0.05$ และ $L = 2.492$ ให้ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมน้อยที่สุด และในปีเดียวกัน พนิดา [4] ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยกับแผนภูมิควบคุมไม่อิงพารามิเตอร์ EWMA ที่ใช้เครื่องหมาย ซึ่งได้ข้อสรุปที่เหมือนกันจากทั้งสองลักษณะข้อมูล คือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ ในขณะที่แผนภูมิควบคุมไม่อิงพารามิเตอร์ EWMA ที่ใช้เครื่องหมายสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการเพียงเล็กน้อย และหากตัวอย่างมีขนาดปานกลางหรือขนาดใหญ่ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุมไม่อิงพารามิเตอร์ EWMA ที่ใช้เครื่องหมาย เนื่องจากมีความไว (sensitivity) มากกว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ซึ่งสามารถตรวจจับได้รวดเร็วเมื่อขนาดตัวอย่างเล็ก ในปี ค.ศ. 2006 Khoo และ Sim [5] เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังที่แกร่ง (REWMA) และแผนภูมิควบคุม EWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปรกติ ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม REWMA มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA และในปี ค.ศ.2013 Alkahtani [6] ศึกษาแผน ภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น (DEWMA) มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกัน ผลการวิจัยพบว่าในกรณีที่ข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงปรกติ แผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA ต่อมาในปี พ.ศ. 2560 พิริยะ และคณะ [7] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EWMA แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังตอบสนองขั้นต้นอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA) และแผนภูมิควบคุม DEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปรกติ โดยจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลใน แต่ละสถานการณ์ทำซ้ำจำนวน 10,000 ครั้ง ภายใต้ปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 3, 5, 10, 15, 20, 50 ขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (δ) เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 5

และพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด (λ) เท่ากับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 โดยพิจารณาจากค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวน การออกนอกการควบคุมเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ผลการวิจัยพบว่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักของแผนภูมิควบคุมที่มีค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (λ) เท่ากับ 0.1 เป็นค่าที่เหมาะสม ซึ่งทำให้แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด สามารถตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการได้เร็วที่สุด โดยแผนภูมิควบคุม DEWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีที่สุดในทุกสถานการณ์

งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษาทั้งกรณีข้อมูลมีการแจกแจงปรกติ และการแจกแจงไม่เป็นปรกติ อย่างไรก็ตาม ในสภาพความเป็นจริงของกระบวนการผลิต พบว่าข้อมูลคุณภาพอาจไม่ได้มีการแจกแจงปรกติเสมอไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาในกรณีที่ข้อมูลคุณภาพมีการแจกแจงแกมมา เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างของการแจกแจงได้หลายแบบโดยขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์รูปร่าง (α) ในขณะที่กำหนดให้พารามิเตอร์สเกล (β) คงที่เท่ากับ 1 โดยสนใจเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพ 3 ชนิด ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง (EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังที่ใช้เครื่องหมาย (EWMA Sign) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น (DEWMA) โดยแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 นี้ สร้างขึ้นมาภายใต้ข้อสมมติเบื้องต้นว่าข้อมูลคุณภาพที่มีการแจกแจงปรกติ อย่างไรก็ตามจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือต้องการศึกษาว่าแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 นี้จะยังคงมีประสิทธิภาพดีอยู่หรือไม่ ถ้ามีการนำแผนภูมิดังกล่าวไปใช้โดยไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นกล่าว คือ นำแผนภูมิดังกล่าวนี้ไปใช้กับข้อมูลคุณภาพที่มีการแจกแจงแกมมา และในงานวิจัยนี้ได้เลือกค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (out-of-control average run lengths, ARL_1) เป็นเกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม

2. วิธีการวิจัย

การศึกษาเปรียบเทียบความแกร่งของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังประเภทต่าง ๆ เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมาด้วยพารามิเตอร์ α = 10.2, 10.6, 11, 11.4, 11.8, 13, 16, 20 และ $\beta = 1$ โดยเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม 3 แผนภูมิ คือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง (EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังที่ใช้เครื่องหมาย (EWMA Sign) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น (DEWMA) โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 สร้างแผนภูมิควบคุมภายใต้กระบวนการอยู่ภายในการควบคุมและข้อมูลมีการแจกแจงปรกติ

2.1.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ (μ_0) เท่ากับ 10 และความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 4 สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปรกติ กำหนดขนาดตัวอย่าง (n) ทั้งหมด 5 ขนาด คือ 3, 5, 7, 10 และ 20

2.1.2 จำลองข้อมูล X_i เพื่อสร้างแผนภูมิควบคุมกรณีที่กระบวนการอยู่ภายในการควบคุม โดยใช้โปรแกรม SAS 9.4 และในแต่ละสถานการณ์ทดลองซ้ำ 10,000 ครั้ง ดังนี้ $X_i = \mu_0 + \sigma Z_i$ เมื่อ i = 1, 2, 3, ..., n โดย X_i คือ ค่าตัวแปรที่ i เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม; μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่อยู่ภายใต้การควบคุม; σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ; Z คือ ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปรกติมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1

2.1.3 กำหนดค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (λ) ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังทั้ง 3 แผนภูมิ ทั้งหมด 5 ระดับ คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5

2.1.4 การหาขีดจำกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุม EWMA แผนภูมิควบคุม EWMA Sign และแผนภูมิควบคุม DEWMA ได้ ดังนี้

(1) แผนภูมิควบคุม EWMA สร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม EWMA [8] ได้ดังนี้ ขอบเขตควบคุมบน คือ $UCL = \mu_0 + L_1\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)\mathrm{n}}}$ ขอบเขตควบคุมกลาง คือ $CL = \mu_0$ และขอบเขตควบคุมล่าง คือ $UCL = \mu_0 - L_1\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)\mathrm{n}}}$ โดยคำนวณขีดจำกัดควบคุมด้วยการพิจารณาค่า L_1 กล่าวคือ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมค่า L_1 ใดที่ส่งผลให้ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ภายในการควบคุม (ARL_0) เท่ากับ 370 โดยประมาณจะเลือกค่า L_1 นั้นมาใช้ในการคำนวณ

(2) แผนภูมิควบคุม EWMA Sign สร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม EWMA Sign [9] ดังนี้ ขอบเขตควบคุมบน คือ $UCL_{EWMA_M} = \frac{n}{2} + L_2\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}\left(\frac{1}{4n}\right)}$ ขอบเขตควบคุมกลาง คือ $CL_{EWMA_M} = \frac{n}{2}$ และขอบเขตควบคุมล่าง คือ $LCL_{EWMA_M} = \frac{n}{2} - L_2\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}\left(\frac{1}{4n}\right)}$ โดยคำนวณขีดจำกัดควบคุมด้วยการพิจารณาค่า L_2 กล่าวคือ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมค่า L_2 ใดที่ส่งผลให้ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ภายในการควบคุม (ARL_0) เท่ากับ 370 โดยประมาณจะเลือกค่า L_2 นั้นมาใช้ในการคำนวณ

(3) แผนภูมิควบคุม DEWMA สร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม DEWMA [10] ดังนี้ ขอบเขตควบคุมบน คือ $UCL = \mu_0 + L_3\sigma\sqrt{\frac{\lambda\left(2-2\lambda+\lambda^2\right)}{\mathrm{n}(2-\lambda)^3}}$ ขอบเขตควบคุมกลาง คือ $CL = \mu_0$ และขอบเขตควบคุมล่าง คือ $LCL = \mu_0 - L_3\sigma\sqrt{\frac{\lambda\left(2-2\lambda+\lambda^2\right)}{\mathrm{n}(2-\lambda)^3}}$ โดยคำนวณขีดจำกัดควบคุมด้วยการพิจารณาค่า L_3 กล่าวคือ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมค่า L_3 ใดที่ส่งผลให้ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ภายในการควบคุม (ARL_0) เท่ากับ 370 โดยประมาณจะเลือกค่า L_3 นั้นมาใช้ในการคำนวณ

2.1.5 คำนวณค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม ดังนี้

(1) ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม EWMA คำนวณได้ ดังนี้ $w_t = \lambda\overline{x}_t + (1-\lambda)w_{t-1}$ เมื่อ t = 1, 2, ..., 10,000 โดย $w_0 = \mu_0$

(2) ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม EWMA Sign คำนวณได้ ดังนี้ $EWMA_{M_t} = \lambda M_t + (1-\lambda)EWMA_{M_{t-1}}$ เมื่อ t = 1, 2 , ..., 10,000 โดย $EWMA_{M_0} = 0$

(3) ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม DEWMA คำนวณได้ ดังนี้ $w_t = \lambda\overline{x}_t + (1-\lambda)w_{t-1}$ เมื่อ t = 1, 2 , ..., 10,000 โดย $w_0 = \mu_0$; $v_t = \lambda w_t + (1-\lambda)v_{t-1}$ เมื่อ t =1 , 2 , ..., 10,000 โดย $v_0 = \mu_0$

2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมภายใต้กระบวนการออกนอกการควบคุมและข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา

2.2.1 จำลองข้อมูล Y_i ให้มีการแจกแจงแกมมาด้วยพารามิเตอร์รูปร่าง (α) = 10.2, 10.6, 11, 11.4, 11.8, 13, 16, 20 และพารามิเตอร์สเกล $\beta = 1$ เมื่อ i = 1, 2, ..., n ดังนี้ ให้ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่ออกนอกการควบคุม โดย $E(\mathrm{Y}_i) = \mu_1 = \alpha\beta$ กล่าวคือ ถ้ากำหนดให้ $\beta = 1,\ \sigma^2 = 4,$ $\mu_0 = 10,$ δ = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.5, 3, 5 จะ

ได้ $\alpha = \mu_1$ โดย $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma = 10 + 0.1(2) = 10.2 = \alpha$;

$\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma = 10 + 0.3(2) = 10.6 = \alpha$;

$\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma = 10 + 0.5(2) = 11 = \alpha$;

$\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma = 10 + 0.7(2) = 11.4 = \alpha$;

$\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma = 10 + 0.9(2) = 11.8 = \alpha$;

$\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma = 10 + 1.5(2) = 13 = \alpha$;

$\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma = 10 + 3(2) = 16 = \alpha$;

$\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma = 10 + 5(2) = 20 = \alpha$

2.2.2 นำข้อมูล Y_i ที่สร้างจากข้อ 2.2.1 ไปคำนวณค่าสถิติของแต่ละแผนภูมิควบคุมและพล็อตค่าลงในแผนภูมิควบคุมที่สร้างได้ในข้อ 2.1.4 เพื่อคำนวณหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (ARL_1) ต่อไป

2.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

เมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ คือ ความยาววิ่งเฉลี่ย เมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (ARL_1) ซึ่งเป็นค่าวัดความสามารถของแผนภูมิควบคุมในการตรวจจับความผิดปกติของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ดีควรมีค่า ARL_1 น้อยเมื่อกระบวนการผลิตอยู่นอกการควบคุม กำหนดให้ b คือ ความน่าจะเป็นที่แผนภูมิควบคุมไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตได้ในแต่ละครั้งทั้งที่ในความเป็นจริงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตได้มีการเปลี่ยนแปลงไปแล้ว และความน่าจะเป็นที่กระบวนการผลิตสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการในแต่ละครั้งเท่ากับ $1-b$ สมมติว่าพิจารณากระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการไปแล้วแต่แผนภูมิควบคุมไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการในตัวอย่างจำนวน $r-1$ ชุด จนกระทั่งชุดตัวอย่างที่ r แผนภูมิควบคุมจึงสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ในกรณีดังกล่าวนี้ จะได้ว่า R เป็นตัวแปรสุ่มแทนจำนวนชุดตัวอย่างที่ตรวจสอบกระทั่งแผนภูมิควบคุมตรวจพบการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรก โดย R จะมีการแจกแจงเรขาคณิตด้วยพารามิเตอร์ $1-b$ ซึ่งฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็น คือ $f(r) = b^{r-1}(1-b)$ โดย $r = 1, 2, 3, \ldots$ และ $0 < b < 1$ ซึ่งจำนวนครั้งโดยเฉลี่ยที่ตรวจสอบจนกระทั่งแผนภูมิควบคุมตรวจพบการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรกเมื่อกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง คือ $ARL_1 = E(R) = \sum_{r=1}^{\infty} rf(r)$ $= \sum_{r=1}^{\infty} rb^{r-1}(1-b) = \frac{1}{1-b}$ ซึ่งสามารถประมาณค่า $1-b$ เมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมได้โดยนับจำนวนค่าสถิติที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุมแล้วนำมาหารด้วยจำนวน 10,000 รอบ ดังนั้นค่าประมาณของ ARL_1 เท่ากับ $\frac{1}{1-b}$

3. ผลการวิจัย

ในที่นี้ เมื่อกำหนดให้ δ = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.5, 3, 5 จะได้ว่าพารามิเตอร์รูปร่าง (α) สำหรับการแจกแจงแกมมาเท่ากับ 10.2, 10.6, 11, 11.4, 11.8, 13, 16, 20 ตามลำดับ ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม EWMA, EWMA Sign และ DEWMA กรณี λ = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 แสดงในตารางที่ 1 ถึง 5 พบว่าในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง (n) เมื่อ λ = 0.1 ทุกแผนภูมิควบคุมให้ค่า ARL_1 ต่ำที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ δ มีค่าน้อยๆ จะเห็นผลค่อนข้างชัดเจน แต่เมื่อ δ มีค่ามากขึ้นไม่ว่าจะใช้ λ เท่าใดก็ตามทั้ง 3 แผนภูมิควบคุม มีแนวโน้มให้ค่า ARL_1 ไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ ARL_1 มีค่าเท่ากับ 1 โดยประมาณ ซึ่งแผนภูมิควบคุม DEWMA และแผนภูมิควบคุม EWMA

ตารางที่ 1 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม EWMA, EWMA Sign และ DEWMA กรณีที่ $\lambda = 0.1$

n	δ	ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม		
		EWMA	DEWMA	EWMA Sign
3	0.1	11.43	12.17	136.99
	0.3	3.15	2.08	92.59
	0.5	1.49	1.11	16.53
	0.7	1.10	1.00	4.99
	0.9	1.01	1.00	2.24
	1.5	1.00	1.00	1.03
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
5	0.1	9.64	9.13	196.08
	0.3	2.10	1.46	117.65
	0.5	1.16	1.02	12.47
	0.7	1.01	1.00	2.91
	0.9	1.00	1.00	1.42
	1.5	1.00	1.00	1.00
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
7	0.1	8.36	6.50	196.08
	0.3	1.65	1.19	75.76
	0.5	1.06	1.00	7.29
	0.7	1.00	1.00	1.90
	0.9	1.00	1.00	1.14
	1.5	1.00	1.00	1.00
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
10	0.1	7.45	4.34	156.25
	0.3	1.36	1.05	49.02
	0.5	1.01	1.00	4.25
	0.7	1.00	1.00	1.00
	0.9	1.00	1.00	1.03
	1.5	1.00	1.00	1.00
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
20	0.1	4.21	2.25	123.46
	0.3	1.06	1.00	29.85
	0.5	1.00	1.00	1.85
	0.7	1.00	1.00	1.03
	0.9	1.00	1.00	1.00
	1.5	1.00	1.00	1.00
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 2 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม EWMA, EWMA Sign และ DEWMA กรณีที่ $\lambda = 0.2$

n	δ	ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม		
		EWMA	DEWMA	EWMA Sign
3	0.1	12.99	11.26	217.39
	0.3	5.47	3.32	161.29
	0.5	2.60	1.53	47.85
	0.7	1.58	1.11	17.01
	0.9	1.20	1.02	7.13
	1.5	1.00	1.00	1.63
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
5	0.1	11.55	11.25	147.06
	0.3	3.79	2.34	140.85
	0.5	1.74	1.21	26.67
	0.7	1.20	1.02	7.56
	0.9	1.04	1.00	3.08
	1.5	1.00	1.00	1.09
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
7	0.1	9.92	8.19	181.82
	0.3	2.72	1.69	120.48
	0.5	1.37	1.07	17.73
	0.7	1.06	1.00	4.73
	0.9	1.01	1.00	2.02
	1.5	1.00	1.00	1.02
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
10	0.1	9.64	7.01	192.31
	0.3	2.14	1.38	97.09
	0.5	1.16	1.01	12.17
	0.7	1.00	1.00	1.01
	0.9	1.00	1.00	1.50
	1.5	1.00	1.00	1.00
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
20	0.1	7.55	4.62	196.08
	0.3	1.44	1.08	60.98
	0.5	1.02	1.00	4.87
	0.7	1.00	1.00	1.49
	0.9	1.00	1.00	1.04
	1.5	1.00	1.00	1.00
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 3 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม EWMA, EWMA Sign และ DEWMA กรณีที่ $\lambda = 0.3$

n	δ	ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม		
		EWMA	DEWMA	EWMA Sign
3	0.1	13.00	15.50	208.33
	0.3	6.75	5.55	192.31
	0.5	3.54	2.46	66.23
	0.7	2.15	1.47	28.65
	0.9	1.52	1.14	12.39
	1.5	1.03	1.00	2.76
	3	1.00	1.00	1.03
	5	1.00	1.00	1.00
5	0.1	12.80	16.08	256.41
	0.3	5.34	4.16	270.27
	0.5	2.45	1.71	71.43
	0.7	1.52	1.17	20.20
	0.9	1.18	1.03	7.64
	1.5	1.00	1.00	1.61
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
7	0.1	12.71	14.22	270.27
	0.3	4.26	2.90	238.10
	0.5	1.94	1.34	42.74
	0.7	1.27	1.05	12.47
	0.9	1.07	1.00	4.46
	1.5	1.00	1.00	1.22
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
10	0.1	13.25	10.41	243.90
	0.3	3.42	1.97	153.85
	0.5	1.55	1.10	26.18
	0.7	1.02	1.00	1.17
	0.9	1.01	1.00	2.67
	1.5	1.00	1.00	1.05
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
20	0.1	9.75	5.55	344.83
	0.3	1.97	1.23	144.93
	0.5	1.11	1.01	12.05
	0.7	1.00	1.00	2.82
	0.9	1.00	1.00	1.37
	1.5	1.00	1.00	1.00
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 4 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม EWMA, EWMA Sign และ DEWMA กรณีที่ $\lambda = 0.4$

n	δ	ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม		
		EWMA	DEWMA	EWMA Sign
3	0.1	13.35	16.10	270.27
	0.3	7.97	6.99	285.71
	0.5	4.54	3.37	114.94
	0.7	2.79	1.92	51.19
	0.9	1.93	1.36	22.08
	1.5	1.12	1.01	4.83
	3	1.00	1.00	1.21
	5	1.00	1.00	1.01
5	0.1	13.76	18.08	312.50
	0.3	6.27	5.66	294.12
	0.5	3.23	2.34	105.26
	0.7	1.93	1.41	37.31
	0.9	1.40	1.11	14.53
	1.5	1.02	1.00	2.63
	3	1.00	1.00	1.02
	5	1.00	1.00	1.00
7	0.1	13.42	15.43	344.83
	0.3	5.39	4.05	250.00
	0.5	2.52	1.72	71.43
	0.7	1.56	1.17	21.28
	0.9	1.19	1.03	8.14
	1.5	1.00	1.00	1.68
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
10	0.1	14.56	11.86	250.00
	0.3	4.47	2.66	172.41
	0.5	1.98	1.29	41.32
	0.7	1.11	1.00	1.54
	0.9	1.06	1.00	4.63
	1.5	1.00	1.00	1.22
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
20	0.1	11.35	6.90	500.00
	0.3	2.57	1.51	196.98
	0.5	1.27	1.03	21.32
	0.7	1.03	1.00	4.98
	0.9	1.00	1.00	2.00
	1.5	1.00	1.00	1.01
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 5 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม EWMA, EWMA Sign และ DEWMA กรณีที่ $\lambda = 0.5$

n	δ	ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม		
		EWMA	DEWMA	EWMA Sign
3	0.1	13.99	17.12	588.24
	0.3	8.94	8.20	588.24
	0.5	5.26	4.30	263.16
	0.7	3.41	2.50	123.46
	0.9	2.37	1.70	57.14
	1.5	1.25	1.06	10.11
	3	1.00	1.00	1.57
	5	1.00	1.00	1.03
5	0.1	14.39	20.00	344.83
	0.3	7.30	7.32	370.37
	0.5	4.04	3.13	156.25
	0.7	2.41	1.79	64.10
	0.9	1.68	1.28	27.10
	1.5	1.06	1.00	4.55
	3	1.00	1.00	1.12
	5	1.00	1.00	1.00
7	0.1	14.37	17.18	434.78
	0.3	6.57	5.32	263.16
	0.5	3.19	2.27	112.36
	0.7	1.90	1.39	34.72
	0.9	1.37	1.11	13.85
	1.5	1.01	1.00	2.53
	3	1.00	1.00	1.02
	5	1.00	1.00	1.00
10	0.1	15.11	12.94	285.71
	0.3	5.55	3.45	238.10
	0.5	2.47	1.58	59.88
	0.7	1.31	1.02	2.20
	0.9	1.17	1.02	7.51
	1.5	1.00	1.00	1.58
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
20	0.1	12.69	8.32	500.00
	0.3	3.24	1.91	263.16
	0.5	1.51	1.10	32.89
	0.7	1.10	1.01	8.28
	0.9	1.01	1.00	3.05
	1.5	1.00	1.00	1.06
	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00

ส่วนใหญ่มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการใกล้เคียงกันในทุกระดับของ λ, δ และ n ในขณะที่แผนภูมิควบคุม EWMA Sign ให้ค่า ARL_1 สูงกว่าอีก 2 แผนภูมิควบคุม มากและแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มให้ประสิทธิ ภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระ บวนการไม่แตกต่างกัน เมื่อ δ มีค่ามาก เช่น δ = 1.5, 3, 5 ในกรณีที่ λ = 0.1 และ $n < 10$ นอกจากนี้เมื่อ λ มีค่าเพิ่มมากขึ้นค่า ARL_1 ของทั้ง 3 แผนภูมิควบคุม จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อ n มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า ARL_1 ของทั้ง 3 แผนภูมิควบคุม มีแนวโน้มลดลง และถ้า δ มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ทั้ง 3 แผนภูมิควบคุม มีแนวโน้มให้ค่า ARL_1 เท่ากับ 1 โดยประมาณในทุกแผนภูมิควบคุมิโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะพบได้ในกรณี $n = 20$ ที่ δ = 3, 5 ในทุกระดับค่า λ ดังนั้นสรุปได้ว่า λ = 0.1 มีแนวโน้มเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทุกแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังที่ศึกษาในการวิจัยนี้

4. วิจารณ์

ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพดี เมื่อพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (λ) มีค่าเท่ากับ 0.1 และ ถ้าขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น ค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีแนวโน้มลดลงทุกระดับของขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พิริยะ และคณะ [7] และงานวิจัยของ Khoo และ Sim [5] นอกจากนี้ถ้าขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นแล้ว ค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีแนวโน้มลดลงทุกขนาดตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตยาการ

[3] และงานวิจัยของ ปาณิศา และคณะ [11] กล่าวคือ ในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยทั้ง 3 แผนภูมิ จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

5. สรุปผลการวิจัย

ตารางที่ 6 พบว่าเมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ δ = 0.3 ถึง 5 ส่วนใหญ่แผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพดีที่สุดหรือมี

ตารางที่ 6 แผนภูมิควบคุมที่มีความแกร่งที่สุดสำหรับสถานการณ์ต่าง ๆ เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบแกมมาด้วยพารามิเตอร์รูปร่าง (α) แตกต่างกันและพารามิเตอร์สเกล (β) เท่ากับ 1

λ	ขนาดตัวอย่าง (n)	δ							
		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.5	3	5
0.1	3	EWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL
	5	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL	ALL
	7	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	E-D	ALL	ALL	ALL
	10	DEWMA	DEWMA	DEWMA	ALL	E-D	ALL	ALL	ALL
	20	DEWMA	DEWMA	E-D	E-D	ALL	ALL	ALL	ALL
0.2	3	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL
	5	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL
	7	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL
	10	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	E-D	ALL	ALL	ALL
	20	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	E-D	ALL	ALL	ALL
0.3	3	EWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL
	5	EWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL
	7	EWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL
	10	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL
	20	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	E-D	ALL	ALL	ALL
0.4	3	EWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	E-D
	5	EWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL
	7	EWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL
	10	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL
	20	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	E-D	ALL	ALL
0.5	3	EWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	E-D
	5	EWMA	EWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL
	7	EWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL
	10	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL
	20	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	E-D	ALL	ALL

EWMA คือ แผนภูมิ EWMA; DEWMA คือ แผนภูมิ DEWMA; E-D คือ แผนภูมิ EWMA และแผนภูมิ DEWMA; ALL คือ แผนภูมิ EWMA แผนภูมิ EWMA Sign และแผนภูมิ DEWMA

ความแกร่งเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมาทุกพารามิเตอร์รูปร่างและพารามิเตอร์สเกลเท่ากับ 1 สำหรับทุกระดับของค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (λ) พบว่าถ้าขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น ค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีแนวโน้มลดลงทุกระดับของขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ อย่างไรก็ตามกรณีที่ $\lambda = 0.1$ ในทุกแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังที่ศึกษาในงานวิจัยนี้จะให้ค่า ARL_1 ต่ำที่สุดในทุกขนาดตัวอย่าง n และ δ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเห็นผลค่อนข้างชัดเจนเมื่อ n มีค่าน้อย

นอกจากนี้ เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นพบว่าแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 มีแนวโน้มตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการได้เร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน จึงสามารถเลือกใช้แผนภูมิชนิดใดก็ได้

6. ข้อเสนอแนะจากการทำวิจัย

6.1 สามารถใช้ข้อมูลคุณภาพที่มีการแจกแจงแบบอื่น ๆ มาทดสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด ได้ โดยการนำข้อมูลไปแปลงค่าก่อนแล้วจึงนำข้อมูลนั้นมาทดสอบประสิทธิภาพได้

6.2 ควรจะมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมชนิดอื่น ๆ ต่อไป เช่น แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังไม่อิงพารามิเตอร์ที่ใช้ลำดับที่เครื่องหมาย (nonparametric exponentially weighted moving average signed-rank control chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่นำเสนอโดย Graham และคณะ [12]

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยครั้งนี้

8. รายการอ้างอิง

[1] จุฑาภรณ์ สินสมบูรณ์ทอง, 2558, การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ, พิมพ์ครั้งที่ 2, จามจุรีโปรดักท์, กรุงเทพฯ.

[2] Champ, C.W. and Rigdon, S.E., 1997, An analysis of the RUNSUM control chart, J. Qual. Technol. 29: 407-417.

[3] กิตยาการ อิศรางกูร ณ อยุธยา, 2544, การเปรียบเทียบความแกร่งระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลชิวฮาร์ทและซินเทติกในกรณีข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

[4] พนิดา เกตุชาติ, 2554, การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผนภูมิควบคุมชิวฮาร์ท $\bar{x}$ และแผนภูมิควบคุมไม่อิงพารามิเตอร์ EWMA ที่ใช้เครื่องหมาย, ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

[5] Khoo, M.B.C. and Sim, S.Y., 2006, A robust exponentially weight moving average control chart for process mean, J. Mod. Appl. Stat. Methods 5: 464-474.

[6] Alkahtani, S.S., 2013, Robustness of DEWMA versus EWMA control to non-normal processes, J. Mod. Appl. Stat. Methods 12: 148-163.

[7] พิริยะ ไหมสมบุญ, จณิสตา หงส์คำเมือง และจุฑาภรณ์ สินสมบูรณ์ทอง, 2560, การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการสำหรับการแจกแจงปรกติ, ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 25(6): 907-917.

[8] Roberts, S.W., 1959, Control chart tests

based on geometric moving averages, Technometrics 42: 97-102.

[9] Yang, S.F., Lin, J.S. and Cheng, S.W., 2011, A new nonparametric EWMA Sign control chart, Expert Syst. Appl. 38: 6239-6243.

[10] Shamma, S.E. and Shamma, A.K., 1992, Development and evaluation of control charts using double exponentially weighted moving averages, Int. J. Qual. Reliab. Manage. 9(6): 18-25.

[11] ปาณิศา สอนสุภาพ, อาภาพร รุ่งเรืองชัยบาดาล, ศรัณย์ ปัทมะสังข์ และจุฑาภรณ์ สินสมบูรณ์ทอง, 2558, ความแกร่งของแผนภูมิควบคุมในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการสาหรับการแจกแจงแบบแกมมา, ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 23(5): 743-753.

[12] Graham, M.A., Chakraborti, S. and Human, S.W., 2011, A nonparametric exponentially weighted moving average sign-rank chart for monitoring location, Comp. Stat. Data Anal. 55: 2490-2503.