

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมในการตรวจพบ การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการสำหรับการแจกแจงปกติ Efficiency Comparison of Control Charts in Detection of Process Mean Shift for Normal Distribution

พิริยะ ไหมสมบุญ, จณิสตา หงษ์คำเมือง* และจุฑาภรณ์ สินสมบุญทอง

ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Piriya Maisombun, Janista Hongkummeaung* and Juthaphorn Sinsomboonthong

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

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการสำหรับการแจกแจงปกติเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (ARL_1) ของแผนภูมิควบคุม 3 ชนิด ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง (แผนภูมิควบคุม EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังตอบสนองขึ้นต้นอย่างรวดเร็ว (แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น (แผนภูมิควบคุม DEWMA) โดยจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลในแต่ละสถานการณ์ทำซ้ำจำนวน 10,000 ครั้ง ภายใต้ปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 3, 5, 10, 15, 20, 50 ขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (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 และพิจารณาจากค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (ARL_1) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม ผลการวิจัยพบว่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักของแผนภูมิควบคุมที่มีค่า 0.1 ($\lambda = 0.1$) เป็นค่าที่เหมาะสมซึ่งทำให้แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด สามารถตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการได้เร็วที่สุด โดยแผนภูมิควบคุม DEWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีที่สุดในทุกสถานการณ์ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าถ้าค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเป้าหมายเท่ากับ 2 หรือ 5 เท่า ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\delta = 2$ หรือ $\delta = 5$) แล้ว แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการได้ไม่แตกต่างกันในทุกขนาดตัวอย่าง

คำสำคัญ : แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง; แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังตอบสนองขึ้นต้นอย่างรวดเร็ว; แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น; ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ; ความยาววิ่งเฉลี่ย

Abstract

The objective of this research is to compare the efficiency in detection of process mean shift for normal distribution of three control charts; exponentially weighted moving average control chart (EWMA), exponentially weighted moving average control chart with fast initial response (FIR- EWMA) and double exponentially weighted moving average control (DEWMA). Data were simulated with Monte Carlo technique for 10,000 iterations in each situation under three studied factors that are sample size ($n = 3, 5, 10, 15, 20, 50$), size of process mean shift ($\delta = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 5$) and the weighted parameter of three control chart ($\lambda = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$). The out-of-control average run length (ARL_1) is a criterion for efficiency comparison of control charts. The results of this research show all three control charts are able to detect the quickest abnormality of process mean shift as $\lambda = 0.1$. The DEWMA control chart is likely to be the best control chart in detection of process mean shift for all situations. In addition, all three control charts tend to be no difference of efficiency in detection of process abnormality when the process mean change from the target in term of 2 or 5 times of the process standard deviation ($\delta = 2, \delta = 5$) for all sample size.

Keywords: EWMA control chart; FIR-EWMA control chart; DEWMA control chart; process mean; average run length

1. บทนำ

การควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมมีความสำคัญมาก โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้กระบวนการผลิตมีมาตรฐาน และผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเมื่อถึงมือผู้บริโภค ซึ่งทำให้เกิดความน่าเชื่อถือ และผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากในกระบวนการผลิตย่อมมีความผันแปรของคุณภาพสินค้าเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา แสดงว่ากระบวนการผลิตไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสินค้าและกระบวนการผลิตได้ ดังนั้นการควบคุมคุณภาพจึงถูกนำมาใช้ควบคุมความผันแปรของคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อควบคุมการผลิตให้อยู่ภายใต้การควบคุม กระบวนการผลิตมีมาตรฐานและมีคุณภาพ แผนภูมิควบคุม (control chart) จึงเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่จะช่วยในการวิเคราะห์และตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการผลิต ช่วยให้

มองเห็นสภาพความเป็นจริงและเข้าใจได้ง่าย ซึ่งทฤษฎีของการสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Shewhart และแผนภูมิควบคุมที่พัฒนาโดยใช้หลักการของ Shewhart จะเรียกว่าเป็นแผนภูมิควบคุม Shewhart [1] อย่างไรก็ตาม แผนภูมิควบคุม Shewhart มีประสิทธิภาพในการตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการได้ช้ากว่าแผนภูมิควบคุมอื่น ๆ เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเป้าหมายเพียงเล็กน้อย ดังปรากฏ ในผลงานวิจัยของ Champ และ Rigdon [2], พินดา [3], กิตยาการ [4] และ นัชรินาภรณ์ [5] เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบอื่นที่มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม Shewhart เช่น ในปี ค.ศ. 1959 Roberts [6] ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง (exponentially weighted moving average control chart, EWMA)

โดยหลักการ คือ มีการนำเอาข้อมูลตลอดช่วงระยะเวลาของการเก็บรวบรวมข้อมูลมาใช้เพื่อประกอบการตัดสินใจ ซึ่งพบว่าแผนภูมิควบคุม EWMA มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม Shewhart เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการเพียงเล็กน้อย [1,7] และเป็นแผนภูมิควบคุมที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ต่อมาในปี ค.ศ. 1992 Shamma และ Shamma [8] ได้พัฒนาแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น (double exponentially weighted moving average control chart, DEWMA) ภายใต้ข้อสมมุติที่ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ และในปี ค.ศ. 2013 Alkahtani [9] ได้นำแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม DEWMA มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ผลการวิจัยพบว่าในกรณีที่ข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงปกติ แผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพดี เมื่อพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักมีขนาดใหญ่ แต่เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติ แผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพดีเมื่อพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0.1 และมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการขนาดเล็ก นอกจากนี้ ปี ค.ศ. 1999 Steiner [10] เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังตอบสนองขึ้นต้นอย่างรวดเร็ว (exponentially weighted moving average control chart with fast initial response, FIR-EWMA) โดยพัฒนามาจากแผนภูมิควบคุม EWMA และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุม EWMA ผลวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพในการควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีกว่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบถ่วงน้ำหนักทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้

กำลังตอบสนองขึ้นต้นอย่างรวดเร็ว และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น ภายใต้ข้อสมมุติที่กระบวนการมีการแจกแจงปกติและค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเป้าหมายด้วยขนาดที่แตกต่างกันโดยใช้ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย เมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (out-of-control average run lengths, ARL_1) เป็นเกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม นั่นคือ ARL_1 ควรมีค่าน้อยเมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม ซึ่งผลจากการวิจัยจะเป็นแนวทางในการเลือกใช้แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่มีประสิทธิภาพในสถานการณ์ต่างๆได้อย่างเหมาะสมต่อไป

2. วิธีการวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการสำหรับการแจกแจงปกติ โดยเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมคุณภาพ 3 ชนิด ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังตอบสนองขึ้นต้นอย่างรวดเร็ว และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองชั้น โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 กำหนดขนาดตัวอย่าง (n) ทั้งหมด 6 ขนาด คือ 3, 5, 10, 15, 20 และ 50 กำหนดค่าพารามิเตอร์ (μ_0) เท่ากับ 5 และความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 4

2.2 ใช้โปรแกรม SAS 9.4 จำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล โดยในแต่ละสถานการณ์ทดลองซ้ำ 10,000 ครั้ง

2.3 จำลองข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในกรณีที่กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม ดังนี้

$x_i = \mu_0 + \sigma z_i$ เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots$ โดย x_i คือ ค่าของตัวแปรสุ่ม เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ณ เวลาที่ i ; μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม; σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม; z_i คือ ค่าตัวแปรสุ่ม ณ เวลาที่ i ที่มีการแจกแจงปกติมาตรฐาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1

2.4 กำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (δ) ทั้งหมด 7 ขนาด ได้แก่ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2 และ 5

2.5 จำลองข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในกรณีที่มีค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไป ดังนี้

$y_i = \mu_1 + \sigma z_i = \mu_0 + (\delta + z_i)\sigma$ เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots$ โดย y_i คือ ค่าของตัวแปรสุ่ม เมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม ณ เวลาที่ i ; μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม; μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงไป โดยที่ $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$; σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม; z_i คือ ค่าตัวแปรสุ่ม ณ เวลาที่ i ที่มีการแจกแจงปกติมาตรฐาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1

2.6 กำหนดค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (λ) ของแผนภูมิควบคุม ทั้งหมด 5 ระดับ คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5

2.7 การหาขีดจำกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุม EWMA แผนภูมิควบคุม DEWMA และแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ได้ ดังนี้

2.7.1 แผนภูมิควบคุม EWMA

สร้างขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม EWMA [6] ได้ดังนี้ ขีดจำกัดควบคุมบน คือ

$$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}}$$

เส้นกลาง คือ $CL = \mu_0$
ขีดจำกัดควบคุมล่าง คือ $LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}}$
เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ค่า L ได้ที่ส่งผลให้ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเท่ากับ 370 โดยประมาณ จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการคำนวณขีดจำกัดควบคุม

2.7.2 แผนภูมิควบคุม DEWMA

สร้างขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม DEWMA [8] ได้ดังนี้ ขีดจำกัดควบคุมบน คือ

$$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{n(2-\lambda^2)}}$$

$$LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{n(2-\lambda^2)}}$$

เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ค่า L ได้ที่ส่งผลให้ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย เท่ากับ 370 โดยประมาณ จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการคำนวณขีดจำกัดควบคุม

2.7.3 แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA

สร้างขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA [10] ได้ดังนี้ ขีดจำกัดควบคุมบน

$$UCL = \mu_0 + L\sigma \left\{ \left(1 - (1-f)^{1+a(t-1)} \right) \sqrt{\frac{\lambda[1-(1-\lambda)^{2t}]}{(2-\lambda)n}} \right\}$$

เส้นกลาง คือ $CL = \mu_0$ ขีดจำกัดควบคุมล่าง คือ

$$LCL = \mu_0 - L\sigma \left\{ \left(1 - (1-f)^{1+a(t-1)} \right) \sqrt{\frac{\lambda[1-(1-\lambda)^{2t}]}{(2-\lambda)n}} \right\}$$

โดย f คือ ค่าคงตัวในการปรับ
 $0 < f \leq 1$ และ $a = \frac{(-2 / \log(1-f) - 1)}{19}$ ในที่นี้

ให้ $f = 0.5$ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ขีดจำกัดควบคุมแคบสำหรับการเริ่มต้นตรวจสอบความ

ผิดปรกติของกระบวนการได้ชัดเจนที่สุด จะได้ $a = 0.3$ [10] และเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ค่า L ได้ที่ส่งผลให้ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเท่ากับ 370 โดยประมาณ จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการคำนวณขีดจำกัดควบคุม

2.8 คำนวณค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม ดังนี้

2.8.1 ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม EWMA

และ FIR-EWMA คำนวณได้ ดังนี้ $w_t = \lambda y_t + (1-\lambda)w_{t-1}$ เมื่อ $t = 1, 2, \dots, m$

2.8.2 ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม DEWMA

คำนวณได้ ดังนี้ $v_t = \lambda w_t + (1-\lambda)v_{t-1}$ เมื่อ $t = 1, 2, \dots, m$ โดย y_t คือ ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ณ เวลา t ; w_t คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก ณ เวลา t โดยมีค่าเริ่มต้น $w_0 = \mu_0$; v_t คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักสองชั้น ณ เวลา t โดยมีค่าเริ่มต้น $v_0 = \mu_0$; m คือ จำนวนรอบของการทำซ้ำ ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10,000 รอบ

2.9 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ คือความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_1) โดยกำหนดให้ β คือ ความน่าจะเป็นที่แผนภูมิควบคุมไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต ทั้งที่ในความเป็นจริงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตได้มีการเปลี่ยนแปลง และความน่าจะเป็นที่กระบวนการผลิตสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ $1-\beta$ เมื่อพิจารณาว่ากระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง แล้วตัวอย่างจำนวน $r-1$ ชุด ซึ่งแผนภูมิควบคุมไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการจนกระทั่งชุดตัวอย่างที่ r แผนภูมิควบคุมจึงสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงได้ จะได้ว่า R เป็นตัวแปรสุ่มแทนจำนวนชุดตัวอย่างที่ตรวจสอบกระทั่งแผนภูมิควบคุมตรวจพบการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรกโดย

R จะมีการแจกแจงเรขาคณิต [1] ซึ่งฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นคือ $f(r) = \beta^{r-1}(1-\beta)$ โดย $r = 1, 2, 3, \dots$ และ $0 < \beta < 1$ ซึ่งจำนวนครั้งโดยเฉลี่ยที่ตรวจสอบจนกระทั่งแผนภูมิควบคุมตรวจพบการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรกเมื่อกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง คือ $ARL_1 = E(R) = \sum_{r=1}^{\infty} rf(r) = \sum_{r=1}^{\infty} r\beta^{r-1}(1-\beta) = \frac{1}{1-\beta}$ ซึ่งสามารถประมาณค่า $1-\beta$ เมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมได้โดยนับจำนวนค่าสถิติที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุมแล้วนำมาหารด้วยจำนวนรอบ 10,000 รอบ ดังนั้นค่าประมาณของ ARL_1 เท่ากับ $\frac{1}{1-\beta}$

3. ผลการวิจัย

3.1 จากตารางที่ 1, 2 และ 5 กรณี $\lambda=0.1$, 0.2, 0.5 พบว่าเมื่อ $\delta=0.2$ แผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุด ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง n ส่วนแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการใกล้เคียงกัน เมื่อ $n = 5, 10, 15, 20, 50$ แต่เมื่อ $n = 3$ แผนภูมิควบคุม EWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA

3.2 จากตารางที่ 1 และ 5 กรณี $\lambda = 0.1, 0.5$ พบว่าเมื่อ $\delta = 0.6$ และ $n = 3, 5, 10, 15$ แผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุด ส่วนแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการใกล้เคียงกัน และ

แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่แตกต่างกัน เมื่อ $n = 20, 50$

3.3 จากตารางที่ 1 ถึง 5 กรณี $\lambda = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ พบว่า

3.3.1 เมื่อ $\delta = 0.4$ และ $n = 3, 5, 10, 15, 20$ แผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุด ส่วนแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการใกล้เคียงกัน และแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่แตกต่างกัน เมื่อ $n = 50$

3.3.2 เมื่อ $\delta = 0.8, 1$ และ $n = 3, 5$ แผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุด ส่วนแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการใกล้เคียงกัน และแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่แตกต่างกัน เมื่อ $n = 10, 15, 20, 50$

3.3.3 เมื่อ $\delta = 2, 5$ แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่แตกต่างกัน ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง n

3.4 จากตารางที่ 2, 3 และ 4 กรณี $\lambda = 0.2, 0.3, 0.4$ พบว่าเมื่อ $\delta = 0.6$ และ $n = 3, 5, 10$ แผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุด ส่วนแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการใกล้เคียงกัน และแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่แตกต่างกัน เมื่อ $n = 15, 20, 50$

3.5 จากตารางที่ 3 และ 4 กรณี $\lambda = 0.3, 0.4$ พบว่าเมื่อ $\delta = 0.2$ แผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุด ส่วนแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการใกล้เคียงกัน ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง n

นอกจากนี้ ในทุกระดับของ λ พบว่าถ้า n เพิ่มขึ้น แล้วค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีที่ $\delta \leq 2$ แต่เมื่อ $\delta = 5$ พบว่าค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมมีแนวโน้มคงที่ กล่าวคือ ARL_1 เท่ากับ 1 หรือแผนภูมิควบคุมทุกชนิดสามารถตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการได้ในการสุ่มตรวจตัวอย่างแรกเมื่อกระบวนการเริ่มออกนอกการควบคุม ในกรณีที่ขนาดตัวอย่าง n มีค่าน้อย ($n = 3, 5$) และ $\delta \leq 0.4$ พบว่าถ้า λ มีค่าเพิ่มขึ้น แล้วค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่เมื่อ n มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น $n = 10, 15, 20, 50$ และ $\delta \leq 0.4$ พบว่า

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

δ	n	ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม		
		EWMA	FIR-EWMA	DEWMA
0.2	3	79.37	82.64	13.62
	5	58.48	57.80	5.61
	10	23.70	23.75	1.99
	15	12.12	12.06	1.56
	20	11.68	11.64	1.22
	50	3.84	3.83	1.00
0.4	3	18.83	19.49	1.97
	5	11.11	11.16	1.17
	10	4.05	4.09	1.00
	15	2.48	2.48	1.00
	20	2.24	2.23	1.00
	50	1.42	1.42	1.00
0.6	3	6.67	6.86	1.06
	5	3.89	3.89	1.00
	10	1.91	1.92	1.00
	15	1.51	1.51	1.00
	20	1.44	1.44	1.00
	50	1.20	1.20	1.00
0.8	3	3.36	3.41	1.00
	5	2.21	2.21	1.00
	10	1.46	1.46	1.00
	15	1.28	1.28	1.00
	20	1.25	1.25	1.00
	50	1.07	1.07	1.00
1	3	2.21	2.24	1.00
	5	1.67	1.67	1.00
	10	1.30	1.30	1.00
	15	1.19	1.19	1.00
	20	1.16	1.16	1.00
	50	1.01	1.01	1.00
2	3	1.30	1.30	1.00
	5	1.20	1.20	1.00
	10	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00
5	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 2 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม
EWMA FIR-EWMA และ DEWMA
กรณีที่ $\lambda = 0.2$

δ	n	ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม		
		EWMA	FIR-EWMA	DEWMA
0.2	3	99.01	104.17	25.51
	5	61.73	61.35	15.75
	10	25.38	25.91	4.93
	15	13.04	12.99	3.19
	20	12.05	12.02	2.35
	50	3.85	3.85	1.10
0.4	3	21.60	22.32	4.07
	5	13.05	13.05	2.20
	10	4.26	4.30	1.12
	15	2.51	2.51	1.02
	20	2.16	2.16	1.00
	50	1.36	1.36	1.00
0.6	3	7.51	7.63	1.53
	5	4.17	4.16	1.10
	10	1.87	1.88	1.00
	15	1.45	1.45	1.00
	20	1.37	1.37	1.00
	50	1.14	1.14	1.00
0.8	3	3.55	3.58	1.07
	5	2.22	2.22	1.00
	10	1.40	1.41	1.00
	15	1.23	1.23	1.00
	20	1.19	1.19	1.00
	50	1.03	1.03	1.00
1	3	2.24	2.26	1.00
	5	1.63	1.63	1.00
	10	1.24	1.25	1.00
	15	1.13	1.13	1.00
	20	1.09	1.09	1.00
	50	1.00	1.00	1.00
2	3	1.21	1.21	1.00
	5	1.10	1.10	1.00
	10	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00
5	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 3 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม
EWMA FIR-EWMA และ DEWMA
กรณีที่ $\lambda = 0.3$

δ	n	ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม		
		EWMA	FIR-EWMA	DEWMA
0.2	3	128.20	128.20	36.10
	5	73.50	73.00	29.20
	10	33.60	33.30	9.30
	15	17.20	17.10	5.20
	20	13.80	13.70	3.70
	50	3.80	3.80	1.40
0.4	3	25.51	25.91	6.95
	5	15.31	15.31	3.91
	10	4.89	4.89	1.48
	15	2.80	2.80	1.12
	20	2.18	2.18	1.03
	50	1.30	1.30	1.00
0.6	3	8.94	9.06	2.32
	5	4.62	4.61	1.44
	10	1.95	1.95	1.02
	15	1.45	1.45	1.00
	20	1.32	1.32	1.00
	50	1.08	1.08	1.00
0.8	3	3.95	4.00	1.30
	5	2.32	2.32	1.04
	10	1.39	1.39	1.00
	15	1.20	1.20	1.00
	20	1.14	1.14	1.00
	50	1.01	1.01	1.00
1	3	2.40	2.40	1.10
	5	1.60	1.60	1.00
	10	1.20	1.20	1.00
	15	1.10	1.10	1.00
	20	1.10	1.10	1.00
	50	1.00	1.00	1.00
2	3	1.20	1.20	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00
5	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 4 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม
EWMA FIR-EWMA และ DEWMA
กรณีที่ $\lambda = 0.4$

δ	n	ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม		
		EWMA	FIR-EWMA	DEWMA
0.2	3	144.90	144.90	59.20
	5	100.00	99.00	37.90
	10	45.20	44.80	14.20
	15	21.10	21.00	7.60
	20	15.80	15.80	5.90
	50	4.50	4.50	1.90
0.4	3	32.57	32.79	11.19
	5	18.12	18.12	6.05
	10	6.17	6.17	2.05
	15	3.13	3.13	1.32
	20	2.39	2.39	1.16
	50	1.27	1.27	1.00
0.6	3	11.11	11.27	3.53
	5	5.42	5.41	1.94
	10	2.16	2.16	1.08
	15	1.47	1.47	1.01
	20	1.31	1.31	1.00
	50	1.06	1.06	1.00
0.8	3	4.82	4.84	1.73
	5	2.58	2.58	1.16
	10	1.40	1.40	1.00
	15	1.17	1.17	1.00
	20	1.12	1.12	1.00
	50	1.00	1.00	1.00
1	3	2.70	2.70	1.20
	5	1.70	1.70	1.00
	10	1.20	1.20	1.00
	15	1.10	1.10	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00
2	3	1.10	1.10	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00
5	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 5 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม EWMA FIR-EWMA และ DEWMA กรณีที่ $\lambda = 0.5$

δ	n	ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม		
		EWMA	FIR-EWMA	DEWMA
0.2	3	151.50	158.70	76.90
	5	111.10	111.10	48.80
	10	63.70	62.90	21.10
	15	27.90	27.80	9.80
	20	18.90	18.90	7.70
	50	5.50	5.50	2.40
0.4	3	40.98	42.02	15.63
	5	21.69	21.69	8.56
	10	8.12	8.12	2.84
	15	3.90	3.90	1.60
	20	2.73	2.73	1.34
	50	1.29	1.29	1.00
0.6	3	14.08	14.33	4.95
	5	6.71	6.71	2.59
	10	2.55	2.55	1.23
	15	1.58	1.58	1.03
	20	1.33	1.33	1.01
	50	1.04	1.04	1.00
0.8	3	5.97	6.09	2.29
	5	3.02	3.02	1.39
	10	1.47	1.47	1.02
	15	1.17	1.17	1.00
	20	1.10	1.10	1.00
	50	1.00	1.00	1.00
1	3	3.20	3.20	1.40
	5	1.80	1.80	1.10
	10	1.20	1.20	1.00
	15	1.10	1.10	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00
2	3	1.10	1.10	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00
5	3	1.00	1.00	1.00
	5	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00
	20	1.00	1.00	1.00
	50	1.00	1.00	1.00

ถ้า λ มีค่าเพิ่มขึ้น แล้วค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับกรณีที่ $\delta \geq 0.6$ พบว่าค่า λ ค่อนข้างไม่มีผลหรือมีผลกระทบน้อยต่อค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง n ดังนั้นสรุปได้ว่า $\lambda = 0.1$ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทุกแผนภูมิควบคุมโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ n มีค่าน้อย ($n = 3, 5$) สำหรับทุกระดับของ δ

4. วิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม DEWMA มีประสิทธิภาพดี เมื่อพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (λ) มีค่าเท่ากับ 0.1 และขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (δ) มีขนาดเล็ก (โดยประมาณคือ δ ไม่เกิน 1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alkahtani [9] ถ้าขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น ค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีแนวโน้มลดลงทุกระดับของขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khoo and Sim [11] นอกจากนี้ถ้าขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นแล้ว ค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีแนวโน้มลดลงทุกขนาดตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตยากร [4]

5. สรุป

ถ้าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (λ) มีค่าเพิ่มขึ้นแล้วค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขนาดตัวอย่างเล็ก ดังนั้นในงานวิจัยนี้พบว่าค่า λ ที่เหมาะสมสำหรับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักทั้ง 3 ชนิด คือ $\lambda = 0.1$ เนื่องจากจะทำให้แผนภูมิควบคุมสามารถตรวจพบความผิดปกติของ

กระบวนการได้เร็วกว่ากรณีใช้ λ เป็นค่าอื่น และพบว่าแผนภูมิควบคุม DEWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีกว่า แผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ในกรณีที่ $\delta = 0.2$ และทุกขนาดตัวอย่าง n หรือ $\delta = 0.4$ และ $n \leq 20$ หรือ $\delta = 0.6$ และ $n \leq 15$ หรือ $\delta = 0.8, 1$ และ

$n \leq 5$ สำหรับสถานการณ์อื่นดังกล่าวข้างต้น พบว่าทั้ง 3 แผนภูมิ มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเป้าหมายมากขึ้น พบว่าแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แผนภูมิ มีแนวโน้มที่ให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน จึงสามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมใดก็ได้ ดังผลสรุปในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับสถานการณ์ต่าง ๆ เมื่อ $\lambda = 0.1$

δ	n					
	3	5	10	15	20	50
0.2	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA
0.4	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	ALL
0.6	DEWMA	DEWMA	DEWMA	DEWMA	ALL	ALL
0.8	DEWMA	DEWMA	ALL	ALL	ALL	ALL
1	DEWMA	DEWMA	ALL	ALL	ALL	ALL
2	ALL	ALL	ALL	ALL	ALL	ALL
5	ALL	ALL	ALL	ALL	ALL	ALL

ALL คือ แผนภูมิควบคุม DEWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA และแผนภูมิควบคุม EW

6. ข้อเสนอแนะ

สามารถใช้ข้อมูลคุณภาพที่มีการแจกแจงแบบอื่นๆมาทดสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด ได้ โดยการนำข้อมูลไปแปลงค่าก่อนแล้วจึงนำข้อมูลนั้นมาทดสอบประสิทธิภาพ นอกจากนี้ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมชนิดอื่น ๆ ต่อไป ได้แก่ แผนภูมิควบคุม RUNSUM [2] หรือแผนภูมิควบคุม DCUSUM [12] เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยครั้งนี้

8. รายการอ้างอิง

- [1] Montgomery, D.C., 2009, Statistical Quality Control: A Modern Introduction, 6th Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [2] Champ, C.W. and Rigdon, S.E., 1997, An analysis of RUNSUM control chart, J. Qual. Technol. 29: 407-417.
- [3] พนิดา เกตุชาติ, 2554, การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผนภูมิควบคุมชีวฮาร์ท $\bar{x}$ และแผนภูมิควบคุมไม่อิงพารามิเตอร์ EWMA ที่ใช้เครื่องหมาย, ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- [4] กิตยากร อิศรางกูร ณ อยุธยา, 2544, การเปรียบเทียบ

- เทียบความแปรปรวนระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย
ถ่วงน้ำหนักเอกซ์โพเนนเชียลซีวฮาร์ทและซินเท
ติกในกรณีข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ,
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- [5] นัชรินาภรณ์ กองทรัพย์, 2548, การเปรียบเทียบ
ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม เมื่อข้อมูลมี
การแจกแจงไม่เป็นปกติ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [6] Robert, S.W., 1959, Control chart tests
based on geometric moving averages,
Technometrics 42(1): 97-102.
- [7] นิยม เจริญสุขโสภณ, 2554, การเปรียบเทียบ
แผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการ
เปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [8] Shamma, S.E. and Shamma, A.K., 1992,
Development and evaluation of control
charts using double exponentially
weighted moving averages, Int. J. Qual.
Reliability Manage. 9(6): 18-25.
- [9] Alkahtani, S.S., 2013, Robustness of
DEWMA versus EWMA control charts to
non-normal processes, J. Modern Appl.
Stat. Methods 12(1): 148-163.
- [10] Steiner, S.H., 1999, EWMA control chart
with time-varying control limit and fast
initial response, J. Qual. Technol. 31(1):
75-86.
- [11] Khoo, M. and Sim, S., 2006, A robust
exponentially weighted moving average
control chart for the process mean, J.
Modern Appl. Stat. Methods 2: 464-474.
- [12] Zhao, Q., Tsung, F. and Wang, Z., 2005,
Dual CUSUM control schemes for
detecting a range of mean shifts, IIE
Transact. 37: 1047-1057.