

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ
สำหรับการเฝ้าสังเกตจำนวนรอยตำหนิในกระบวนการผลิต
Efficiency Comparison of Quality Control Charts for
Monitoring the Number of Defects in Production Process

กนกกร เจริญสรรพกิจ*, จุฑาภรณ์ สิ้นสมบุญทอง

และธิดาพร ศุภภากร

ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Kanokkorn Charoensappakit*, Juthaphorn Sinsomboonthong

and Thidaporn Supapakorn

Department of Statistics, Faculty of Science, Kasetsart University,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมปัวซอง [Poisson cumulative sum (PCUSUM) control chart] แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยก้าวหน้าปัวซอง [Poisson progressive mean (PPM) control chart] แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบทั่วไปปัวซอง [Poisson generally weighted moving average (PGWMA) control chart] และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบทั่วไปสองครั้งปัวซอง [Poisson double generally weighted moving average (PDGWMA) control chart] สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปัวซอง โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้มาจากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล จำนวน 840 สถานการณ์ และมีการทำซ้ำ 10,000 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์ กำหนดให้จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0) เท่ากับ 4 และ 12 และกำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ (δ) เท่ากับ 0.02, 0.04, 0.06, 0.10, 0.14, 0.18, 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 1.80 ซึ่งเกณฑ์การเปรียบเทียบประสิทธิภาพจะพิจารณาจากค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (ARL_1) ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม PPM มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพดีที่สุดในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการเกือบทุกสถานการณ์ ยกเว้นในกรณีที่ $\mu_0 = 12$ และ $\delta = 0.02$ นอกจากนี้เมื่อจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่า

เป้าหมายมาก แผนภูมิควบคุม PPM แผนภูมิควบคุม PGWMA และแผนภูมิควบคุม PDGWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ : แผนภูมิควบคุม; การแจกแจงปัวซอง; แผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ; ความยาววิ่งเฉลี่ย

Abstract

The objective of this research was to compare the efficiencies of four control charts –the Poisson cumulative sum (PCUSUM), progressive mean (PPM), Poisson generally weighted moving average (PGWMA) and the Poisson double generally weighted moving average (PDGWMA)– when the data were Poisson distributed. A simulation study was conducted 840 situations using Monte Carlo techniques with 10,000 repetitions for each situation. The studied factors consist of the average numbers of defects (μ_0) for in-control process which were 4 and 12, and the process mean shifts (δ) which were 0.02, 0.04, 0.06, 0.10, 0.14, 0.18, 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 and 1.80. In addition, the criterion for efficiency comparison was out-of-control average run length (ARL_1). The results showed that PPM control chart tended to have the best efficiency for detection the number of defects mean shifts of process for almost all situations, except the case of $\mu_0 = 12$ and $\delta = 0.02$. In addition, PPM, PGWMA and PDGWMA control charts tended to have no different efficiencies for large number of defects mean shift from the target.

Keywords: control chart; Poisson distribution; control chart for the number of defects; average run length

1. บทนำ

การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในทางอุตสาหกรรมให้ได้มาตรฐาน เป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ผลิต เพื่อลดกระบวนการเกิดของเสีย และให้ผู้บริโภคเกิดความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งเครื่องมือที่นำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพอย่างแพร่หลาย คือ แผนภูมิควบคุม โดยแผนภูมิควบคุมแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมสำหรับตัวแปร เป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตเมื่อข้อมูลของกระบวนการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง และแผนภูมิควบคุมสำหรับคุณลักษณะ เป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตเมื่อข้อมูลของกระบวนการ

ผลิตเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาแผนภูมิควบคุมสำหรับคุณลักษณะที่ข้อมูลของกระบวนการผลิตมีการแจกแจงปัวซอง ซึ่งแผนภูมิควบคุมถูกคิดค้นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1924 โดย Shewhart แต่แผนภูมิควบคุม Shewhart จะตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการได้ดีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการมาก ซึ่งในการควบคุมคุณภาพที่ดีนั้นแผนภูมิควบคุมควรจะตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ไวเมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เพื่อลดการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต จึงมีผู้พัฒนาแผนภูมิควบคุมมาอย่างแพร่หลายเพื่อให้แผนภูมิ

ควบคุมมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น เช่น ในปี ค.ศ. 1985 Lucas [1] ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุม PCUSUM โดยพัฒนามาจากแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (CUSUM) ต่อมาในปี ค.ศ. 1997 White และคณะ [2] ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุม PCUSUM เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม PCUSUM มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ ในปี ค.ศ. 2007 Sheu และ Chiu [3] ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุม PGWMA พร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองครั้งปัวซอง [Poisson double exponentially weighted moving average (PDEWMA) control chart] ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม PGWMA มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ และในกรณีที่การเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าสูงกว่าจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม แผนภูมิควบคุม PGWMA จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม PDEWMA ส่วนในกรณีที่การเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ในการควบคุม แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม PGWMA ต่อมาในปี ค.ศ. 2015 Shin และ Chiu [4] ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุม PDGWMA และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังปัวซอง [Poisson exponentially weighted moving average (PEWMA) control chart] แผนภูมิควบคุม PDEWMA และแผนภูมิควบคุม PGWMA ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม PDGWMA มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม PDEWMA และดีกว่าแผนภูมิควบคุม

PGWMA ถ้าการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าต่ำกว่าจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าสูงกว่าจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมเล็กน้อย พบว่าแผนภูมิควบคุม PGWMA จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม PDGWMA และในปีเดียวกันนั้น Nakmai [5] ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุม PCUSUM แผนภูมิควบคุม PEWMA แผนภูมิควบคุม PDEWMA และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สองครั้งปัวซอง [Poisson double moving average (PDMA) control chart] ผลการวิจัยพบว่ากรณี $0.01 \leq \delta \leq 0.10$ แผนภูมิควบคุม PCUSUM มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมา คือ แผนภูมิควบคุม PDEWMA และแผนภูมิควบคุม PEWMA ซึ่งมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน และในกรณี $0.30 \leq \delta \leq 0.90$ แผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2017 Abbasi [6] ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุม PPM โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม PPM กับแผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ แผนภูมิควบคุม PCUSUM ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม PPM มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุมอื่น ๆ ที่จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0) เท่ากับ 1, 4 และ 8 และขนาดการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ (δ) เท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม PCUSUM แผนภูมิควบคุม PPM แผนภูมิควบคุม PGWMA และแผนภูมิควบคุม PDGWMA เพื่อศึกษาว่าแผนภูมิควบคุมใดมีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวน

รอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีที่สุดในสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อเป็นองค์ความรู้ให้กับผู้สนใจทั่วไปที่จะสามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมให้เหมาะสมกับสถานการณ์ต่าง ๆ

2. วิธีการวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับจำนวนรอยตำหนิตั้ง 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุม PCUSUM แผนภูมิควบคุม PPM แผนภูมิควบคุม PGWMA และแผนภูมิควบคุม PDGWMA มีวิธีการวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 กำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงปัวซอง

2.1.1 กำหนดค่าจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0) เท่ากับ 4 และ 12

2.1.2 กำหนดค่าจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุม คือ $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ โดยกำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ (δ) เท่ากับ 0.02, 0.04, 0.06, 0.10, 0.14, 0.18, 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 1.80

2.1.3 กำหนดขนาดตัวอย่างในแต่ละกลุ่มย่อย (n) เท่ากับ 1

2.1.4 กำหนดค่าฟังก์ชัน $f(j)$ ของแผนภูมิควบคุม PPM โดยที่ $f(j) = j^\eta$ เมื่อ η เท่ากับ 0.10, 0.30, 0.50 และ 0.70 ซึ่งในงานวิจัยของ Abbasi [6] ใช้ค่า $\eta = 0.70$

2.1.5 กำหนดค่าพารามิเตอร์ q และค่าพารามิเตอร์ในการปรับ θ ของแผนภูมิควบคุม PGWMA และแผนภูมิควบคุม PDGWMA คือ q เท่ากับ 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90 และ θ เท่ากับ 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90 และ 1 โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ sheu และ Lin [7]

2.2 จำลองข้อมูลสถานการณ์ต่าง ๆ ด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ซึ่งในแต่ละสถานการณ์ทำซ้ำ 10,000 ครั้ง และงานวิจัยนี้กำหนดค่า ARL_0 เท่ากับ 370 เนื่องจาก $ARL_0 = \frac{1}{\hat{\alpha}}$ เพราะฉะนั้น $\hat{\alpha} = 0.0027$ ซึ่งหมายความว่าความน่าจะเป็นที่แผนภูมิควบคุมตรวจไม่พบความผิดปกติของกระบวนการจะมีค่าเพียงแค่ 0.0027 เท่านั้น และจำนวนรอบที่เหมาะสมซึ่งน้อยที่สุด ที่ทำให้ $\hat{\alpha} = 0.0027$ คือ 10,000 รอบ โดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 3.5.1

2.3 นำข้อมูลที่ได้จากการจำลองข้อ 2.1 มาสร้างแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แผนภูมิดังนี้

2.3.1 แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมปัวซอง (PCUSUM)

ตัวสถิติของแผนภูมิควบคุม คือ $S_t^+ = \max\{0, X_t - k + S_{t-1}^+\}$ เมื่อกำหนดให้ $S_0^+ = 0$; X_t คือ จำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นของกลุ่มย่อยที่ t โดย $t = 1, 2, 3, \dots, j$, k คือ ค่าอ้างอิง (reference value) โดย $k = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\ln(\mu_1) - \ln(\mu_0)}$

เมื่อ μ_0 คือ จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และ μ_1 คือ จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม และขีดจำกัดการตัดสินใจของแผนภูมิ PCUSUM คือ ค่า h เมื่อ h คือ ค่าคงที่ที่ทำให้ ARL_0 เท่ากับ 370 โดยประมาณ

2.3.2 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยก้าวหน้าปัวซอง (PPM)

ตัวสถิติของแผนภูมิควบคุม PPM คือ $PM_j = \frac{\sum_{t=1}^j X_t}{j}$ เมื่อ X_t คือ จำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้น ณ เวลา t โดย $t = 1, 2, 3, \dots, j$ และ

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม PPM คือ

$$UCL = \mu_0 + L_1 \frac{1}{f(j)} \sqrt{\frac{\mu_0}{j}}, \quad CL = \mu_0,$$

$$LCL = \mu_0 - L_1 \frac{1}{f(j)} \sqrt{\frac{\mu_0}{j}}$$

เมื่อ μ_0 คือ จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม, $f(j) = j^\eta$ เมื่อ $\eta \in \mathbb{R}$ และ L_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างของขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม PPM

2.3.3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบทั่วไปปัวซอง (PGWMA)

ตัวสถิติของแผนภูมิควบคุม PGWMA คือ $Y_t = \sum_{j=1}^t (q^{(j-1)^\theta} - q^{j^\theta}) X_{t-j+1} + q^{t^\theta} \mu_0$ เมื่อกำหนดให้ $Y_0 = \mu_0$, μ_0 คือ จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม, X_t คือ จำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นของกลุ่มย่อยที่ t โดย $t = 1, 2, 3, \dots, q$ คือ ค่าพารามิเตอร์ โดยที่ $0 \leq q < 1$, θ คือ ค่าพารามิเตอร์ในการปรับ โดยที่ $\theta > 0$ และขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม PGWMA คือ $UCL_t = \mu_0 + L_2 \sqrt{Q_t \mu_0}$, $CL_t = \mu_0$, $LCL_t = \max \{0, \mu_0 - L_2 \sqrt{Q_t \mu_0}\}$ เมื่อ L_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างของขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม PGWMA และ $Q_t = \sum_{j=1}^t (q^{(j-1)^\theta} - q^{j^\theta})^2$ โดย $t = 1, 2, 3, \dots$

2.3.4 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบทั่วไปสองครั้งปัวซอง (PDGWMA)

ตัวสถิติของแผนภูมิควบคุม PDGWMA คือ $Z_t = \sum_{j=1}^t w_j X_{t-j+1} + \left(1 - \sum_{j=1}^t w_j\right) \mu_0$ เมื่อกำหนดให้ $Z_0 = \mu_0$, μ_0 คือ จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม; X_t คือ

จำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นของกลุ่มย่อยที่ t , w_j คือ $\sum_{i=1}^j p_i p_{j-i+1}$ เมื่อ p_j คือ ค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักของกลุ่มย่อยที่ j โดย $j = 1, 2, 3, \dots, t$ ซึ่ง $p_i = q^{(i-1)^\theta} - q^{i^\theta}$ และ $p_{j-i+1} = q^{(j-i)^\theta} - q^{(j-i+1)^\theta}$ และขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม PDGWMA คือ $UCL = \mu_0 + L_3 \sqrt{Var(Z_t)}$, $CL = \mu_0$, $LCL = \max \{0, \mu_0 - L_3 \sqrt{Var(Z_t)}\}$, L_3 คือ สัมประสิทธิ์ความกว้างของขีดจำกัดควบคุม PDGWMA และ $Var(Z_t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\sum_{j=1}^t w_j^2 \sigma^2 \right)$

จะเลือกค่า L_1, L_2 และ L_3 โดยจำลองข้อมูลภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ ถ้าค่า L_1, L_2 และ L_3 คือ ค่าคงที่ที่ทำให้ ARL_0 เท่ากับ 370 โดยประมาณ

2.4 ทาผลรวมค่าสถิติของแผนภูมิควบคุมที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุม

2.4.1 กรณีจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ทำซ้ำในข้อ 2.1 ถึง ข้อ 2.3 จำนวน 10,000 รอบ แล้วนับจำนวนค่าสถิติของแผนภูมิควบคุมที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุมทั้งหมด

2.4.2 กรณีจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุม ทำซ้ำในข้อ 2.1 ถึง ข้อ 2.3 จำนวน 10,000 รอบ แล้วนับจำนวนค่าสถิติของแผนภูมิควบคุมที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุมทั้งหมด

2.5 คำนวนค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) ดังนี้

2.5.1 การหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (ARL_0) นำค่าที่ได้จากข้อที่ 2.4.1 มาหารด้วย 10,000 รอบ จะได้ค่าประมาณความน่าจะเป็นที่ข้อมูลออกนอกขีดจำกัดควบคุม ($\hat{\alpha}$) เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม สามารถประมาณค่า ARL_0 ได้จาก $\frac{1}{\hat{\alpha}}$

2.5.2 การหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุม (ARL_1) นำค่าที่ได้จากข้อที่ 2.4.2 มาหารด้วย 10,000 รอบจะได้ค่าประมาณความน่าจะเป็นที่แผนภูมิควบคุมตรวจพบว่ากระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม $(1-\beta)$ เพื่อนำมาหาค่าประมาณความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุมจาก $\frac{1}{(1-\beta)}$ โดยแผนภูมิควบคุมใดที่ให้ค่า ARL_1 น้อยที่สุดจะถือว่าแผนภูมิควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุด

3. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุม PCUSUM แผนภูมิควบคุม PPM แผนภูมิควบคุม PGWMA และแผนภูมิควบคุม PDGWMA โดยจำลองข้อมูลจากสถานการณ์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 840 สถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_1) ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ

ตารางที่ 1 กรณีที่จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0) เท่ากับ 4 พบว่าแผนภูมิควบคุม PPM จะมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุดเมื่อ η มีค่าน้อย ($\eta = 0.10$) ในเกือบทุกระดับของ δ ยกเว้นในกรณีที่ $\delta = 0.02$ แผนภูมิควบคุม PPM จะมีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุดเมื่อ η มีค่ามาก ($\eta = 0.70$) และพบว่า ที่ $\delta = 0.02$ เมื่อค่า η เพิ่มขึ้นแผนภูมิควบคุม PPM จะมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวน

รอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีขึ้น เมื่อ $0.04 \leq \delta \leq 0.20$ และค่า η เพิ่มขึ้นแผนภูมิควบคุม PPM จะมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการลดลง เมื่อ $0.40 \leq \delta \leq 1.00$ ค่า $\eta = 0.10$ และ $\eta = 0.30$ ของแผนภูมิควบคุม PPM จะมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการไม่แตกต่างกัน และเมื่อ $1.40 \leq \delta \leq 1.80$ ที่ค่า $\eta = 0.10, 0.30$ และ 0.50 แผนภูมิควบคุม PPM จะมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการไม่แตกต่างกัน

Table 1 ARL_1 of PPM control chart when $\mu_0 = 4$

δ	η			
	0.10	0.30	0.50	0.70
0.02	2.32	2.29	2.27	2.25*
0.04	1.22*	1.31	1.39	1.45
0.06	1.11*	1.13	1.16	1.24
0.10	1.04*	1.06	1.11	1.12
0.14	1.02*	1.05	1.07	1.11
0.18	1.01*	1.03	1.05	1.07
0.20	1.00*	1.03	1.05	1.06
0.40	1.00*	1.00*	1.02	1.03
0.60	1.00*	1.00*	1.02	1.03
1.00	1.00*	1.00*	1.01	1.02
1.40	1.00*	1.00*	1.00*	1.01
1.80	1.00*	1.00*	1.00*	1.01

Let * denotes the lowest ARL_1 values of PPM control chart (considering by row)

Table 2 ARL_1 of PGWMA control chart when $\mu_0 = 4$

δ	q	θ					
		0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
0.02	0.50	312.50	333.33	303.03	303.03	303.03	285.71
	0.60	294.12	303.03	312.50	277.78	312.50	312.50
	0.70	333.33	263.16	294.12	303.03	294.12	285.71
	0.80	303.03	294.12	285.71	312.50	322.58	322.58
	0.90	222.22*	250.00	232.56	270.27	250.00	263.16
	0.90	222.22*	250.00	232.56	270.27	250.00	263.16
0.04	0.50	303.03	312.50	294.12	285.71	294.12	263.16
	0.60	285.71	294.12	303.03	250.00	277.78	270.27
	0.70	270.27	250.00	270.27	250.00	243.90	256.41
	0.80	250.00	243.90	238.09	238.09	263.16	285.71
	0.90	158.73	149.25*	178.75	232.56	212.77	227.27
	0.90	158.73	149.25*	178.75	232.56	212.77	227.27
0.06	0.50	263.16	270.27	263.16	270.27	256.41	238.09
	0.60	243.90	256.41	285.71	222.22	243.90	232.56
	0.70	232.56	222.22	222.22	196.08	200.00	222.22
	0.80	188.68	192.31	181.82	196.08	222.22	243.90
	0.90	96.15*	103.09	119.05	161.29	169.49	204.08
	0.90	96.15*	103.09	119.05	161.29	169.49	204.08
0.10	0.50	232.56	232.56	232.56	227.27	212.77	175.44
	0.60	227.27	217.39	232.56	200.00	204.08	185.19
	0.70	204.08	185.19	175.44	156.25	151.52	156.25
	0.80	135.14	129.87	119.05	125.00	142.86	158.73
	0.90	52.63*	58.82	69.44	93.46	119.05	129.87
	0.90	52.63*	58.82	69.44	93.46	119.05	129.87
0.14	0.50	188.68	188.68	188.68	185.19	172.41	144.93
	0.60	169.49	172.41	181.82	140.85	149.25	138.89
	0.70	140.85	135.14	128.21	119.05	113.64	120.48
	0.80	92.59	81.97	79.37	83.33	105.26	117.65
	0.90	29.49*	34.72	46.51	59.17	76.34	86.96
	0.90	29.49*	34.72	46.51	59.17	76.34	86.96
0.18	0.50	142.86	142.86	144.93	140.85	129.87	114.94
	0.60	133.33	138.89	142.86	113.64	114.94	109.89
	0.70	109.89	101.01	96.15	91.74	88.49	98.04
	0.80	63.69	60.98	61.35	65.36	79.37	87.72
	0.90	16.95*	21.51	30.30	39.68	54.35	62.50
	0.90	16.95*	21.51	30.30	39.68	54.35	62.50
0.20	0.50	129.87	126.58	123.45	119.05	109.89	100.00
	0.60	107.53	116.28	116.28	97.09	104.17	100.00
	0.70	92.59	84.03	75.76	76.34	76.92	84.03
	0.80	49.75	49.02	51.55	53.48	68.49	75.19
	0.90	12.80*	16.05	22.99	31.85	42.02	50.00
	0.90	12.80*	16.05	22.99	31.85	42.02	50.00

Table 2 (continued)

δ	q	θ					
		0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
0.40	0.50	55.25	54.05	53.19	50.00	49.75	47.62
	0.60	40.65	41.32	43.29	38.17	38.91	39.22
	0.70	27.86	27.55	27.70	27.86	29.24	31.75
	0.80	11.66	12.59	13.37	15.92	20.04	23.47
	0.90	2.00*	2.61	3.61	5.34	7.51	9.76
0.60	0.50	24.63	25.19	25.06	25.25	24.39	23.42
	0.60	17.48	18.38	20.24	18.55	18.90	18.88
	0.70	10.52	10.79	11.04	11.55	12.30	13.18
	0.80	3.80	4.24	4.65	5.46	6.93	8.28
	0.90	1.08*	1.21	1.44	1.88	2.47	3.17
1.00	0.50	7.62	7.81	7.89	7.93	7.87	7.69
	0.60	4.78	5.00	5.42	5.15	5.46	5.59
	0.70	2.65	2.78	2.92	3.09	3.31	3.59
	0.80	1.26	1.36	1.48	1.67	1.95	2.25
	0.90	1.00*	1.00*	1.00*	1.03	1.08	1.19
1.40	0.50	3.31	3.41	3.49	3.53	3.53	3.51
	0.60	2.13	2.23	2.42	2.38	2.49	2.58
	0.70	1.36	1.41	1.49	1.55	1.63	1.75
	0.80	1.01	1.03	1.05	1.09	1.16	1.25
	0.90	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.01
1.80	0.50	1.92	1.98	2.02	2.04	2.06	2.07
	0.60	1.37	1.42	1.49	1.49	1.55	1.59
	0.70	1.06	1.08	1.11	1.14	1.18	1.23
	0.80	1.00*	1.00*	1.00*	1.01	1.02	1.05
	0.90	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

Let * denotes the lowest ARL_1 values of PGWMA control chart (considering for different values of δ)

ตารางที่ 2 กรณีที่จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0) เท่ากับ 4 พบว่าแผนภูมิควบคุม PGWMA ส่วนใหญ่มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุดเมื่อพารามิเตอร์ $q = 0.90$ และ $\theta = 0.50$ ยกเว้นในกรณีที่ $\delta = 0.04$ แผนภูมิควบคุม PGWMA จะมี

ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุดเมื่อ $q = 0.90$, $\theta = 0.60$ และยังพบว่าเมื่อ $\delta = 1.00$ แผนภูมิควบคุม PGWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุดเมื่อ $q = 0.90$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.70 เมื่อ $\delta = 1.40$ แผนภูมิควบคุม PGWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุดเมื่อ $q = 0.90$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.90 และเมื่อ $\delta = 1.80$ แผนภูมิควบคุม PGWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุดเมื่อ $q = 0.80$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.70 และเมื่อ $q = 0.90$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00

ตารางที่ 3 กรณีที่จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0) เท่ากับ 4 พบว่าแผนภูมิควบคุม PDGWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุดเมื่อ $q = 0.90$ และ $\theta = 0.50$ ในทุกสถานการณ์ และพบว่าเมื่อ $\delta = 0.40$ แผนภูมิควบคุม PDGWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อ $q = 0.90$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.60 เมื่อ $\delta = 0.60$ แผนภูมิควบคุม PDGWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อ $q = 0.90$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.70 เมื่อ $\delta = 1.00$ แผนภูมิควบคุม PDGWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่ $q = 0.70$ และ $\theta = 0.50$, $q = 0.80$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.70 และ $q = 0.90$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.90 เมื่อ $\delta = 1.40$ แผนภูมิควบคุม PDGWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อ $q = 0.70$ และ θ มีค่าตั้งแต่

0.50 ถึง 0.70 $q = 0.80$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.90 และ $q = 0.90$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00 เมื่อ $\delta = 1.80$ แผนภูมิควบคุม PDGWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อ $q = 0.60$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.60 $q = 0.70$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.80 $q = 0.80, 0.90$ และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 1.00

ตารางที่ 2 และ 3 พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการเพียงเล็กน้อย ค่าพารามิเตอร์ (q, θ) ของแผนภูมิควบคุม PGWMA และแผนภูมิควบคุม PDGWMA จะไม่สามารถบอกแนวโน้มของค่า ARL_1 แต่เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการมาก ($1.00 \leq \delta \leq 1.40$) พบว่าเมื่อ q มีค่าคงที่ และ θ มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม PGWMA ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มให้ค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อ θ มีค่าคงที่ และ q มีค่าเพิ่มขึ้น จะพบว่าค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม PGWMA จะมีแนวโน้มลดลง เมื่อ $\delta = 1.80$ พบว่าที่ $q = 0.90$ ทุกค่า θ แผนภูมิควบคุม PGWMA และแผนภูมิควบคุม PDGWMA จะมีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการไม่แตกต่างกัน

กรณีที่จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0) เท่ากับ 12 พบว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิทั้ง 4 ชนิด มีแนวโน้มไปในการทำงานองเดียวกับกรณีที่จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0) เท่ากับ 4 เกือบทุกสถานการณ์ กล่าวคือ เมื่อจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0) เท่ากับ 12 แผนภูมิควบคุม PPM มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุดเมื่อ $\eta = 0.10$ ในทุก

สถานการณ์ แผนภูมิควบคุม PGWMA และแผนภูมิควบคุม PDGWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดี เมื่อค่าพารามิเตอร์ $q = 0.90$ และ $\theta = 0.50$ ยกเว้นในกรณีที่ $\delta = 0.02$ ค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุม PGWMA คือ $q = 0.80$ และ $\theta = 0.50$ และค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุม PDGWMA คือ $q = 0.90$ และ $\theta = 0.70$

Table 3 ARL_1 of PDGWMA control chart when $\mu_0 = 4$

δ	q	θ					
		0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
0.02	0.50	294.12	322.58	303.03	312.50	285.71	270.27
	0.60	322.58	270.27	263.16	322.58	333.33	303.03
	0.70	285.71	270.27	263.16	263.16	270.27	243.90
	0.80	263.16	263.16	294.12	263.16	243.90	238.09
	0.90	156.25*	166.67	166.67	294.12	303.03	250.00
0.04	0.50	256.41	277.78	256.41	270.27	270.27	250.00
	0.60	238.09	238.09	243.90	294.12	312.50	285.71
	0.70	227.27	243.90	217.39	222.22	250.00	232.56
	0.80	161.29	217.39	270.27	243.90	222.22	208.33
	0.90	50.76*	112.36	108.69	166.67	217.39	200.00
0.06	0.50	208.33	243.90	222.22	222.22	222.22	204.08
	0.60	172.41	204.08	217.39	277.78	322.58	263.16
	0.70	158.73	166.67	192.31	196.08	250.00	227.27
	0.80	107.53	123.46	188.68	166.67	166.67	178.57
	0.90	18.48*	55.56	78.74	113.64	123.46	153.85
0.10	0.50	151.52	172.41	153.85	158.73	166.67	153.85
	0.60	104.17	129.87	138.89	166.67	192.31	185.19
	0.70	78.74	117.65	126.58	144.93	169.49	153.85
	0.80	56.18	86.21	116.28	120.48	129.87	129.87
	0.90	4.87*	21.51	50.00	86.96	102.04	101.01
0.14	0.50	100.00	123.46	119.05	123.46	125.00	112.36
	0.60	70.92	86.21	100.00	119.05	136.99	135.14
	0.70	50.76	70.92	84.75	103.09	128.21	126.58
	0.80	25.25	49.02	78.13	81.30	86.21	93.46
	0.90	1.98*	7.39	24.39	44.84	65.36	76.34

Table 3 (continued)

δ	q	θ					
		0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
0.18	0.50	79.37	97.09	88.49	92.59	97.09	90.09
	0.60	53.76	66.67	78.13	91.74	96.15	103.09
	0.70	32.36	49.50	59.52	74.07	97.09	98.04
	0.80	12.61	27.17	50.51	52.63	59.17	71.94
	0.90	1.24*	3.58	11.09	27.39	38.46	51.81
0.20	0.50	62.12	82.64	75.76	79.37	81.30	77.52
	0.60	44.25	52.63	63.29	76.92	82.64	86.96
	0.70	26.11	37.74	48.54	60.24	80.65	82.64
	0.80	8.94	20.00	35.59	39.84	48.54	60.61
	0.90	1.09*	2.55	7.06	19.96	28.65	38.31
0.40	0.50	20.37	25.25	26.11	27.78	28.82	29.67
	0.60	9.58	13.32	17.15	22.22	26.25	28.49
	0.70	3.79	6.23	8.88	12.29	18.18	22.22
	0.80	1.34	2.31	4.19	5.74	7.78	10.82
	0.90	1.00*	1.00*	1.20	1.89	3.10	4.56
0.60	0.50	7.36	9.26	10.14	11.19	11.97	12.44
	0.60	3.28	4.35	5.59	7.58	9.12	10.34
	0.70	1.47	2.11	2.86	3.94	5.59	6.87
	0.80	1.00*	1.22	1.49	1.99	2.60	3.49
	0.90	1.00*	1.00*	1.00*	1.06	1.26	1.63
1.00	0.50	2.07	2.47	2.74	3.05	3.32	3.55
	0.60	1.20	1.41	1.66	2.03	2.41	2.72
	0.70	1.00*	1.04	1.14	1.32	1.59	1.87
	0.80	1.00*	1.00*	1.00*	1.03	1.09	1.24
	0.90	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.01
1.40	0.50	1.19	1.32	1.42	1.53	1.65	1.77
	0.60	1.01	1.04	1.09	1.19	1.29	1.40
	0.70	1.00*	1.00*	1.00*	1.02	1.07	1.14
	0.80	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.01
	0.90	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.80	0.50	1.03	1.06	1.09	1.14	1.19	1.25
	0.60	1.00*	1.00*	1.01	1.03	1.06	1.09
	0.70	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.01	1.02
	0.80	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	0.90	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

Let * denotes the lowest ARL_1 values of PGWMA control chart (considering for different values of δ)

ผลการวิจัยในตารางที่ 1, 2 และ 3 จึงเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละสถานการณ์ของแต่ละแผนภูมิควบคุม ดังนี้ กรณีที่ 1 จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0) เท่ากับ 4 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละแผนภูมิควบคุมได้ดังนี้

(1) แผนภูมิควบคุม PPM เลือกใช้ค่า $\eta = 0.10$ ยกเว้นในกรณีที่ $\delta = 0.02$ ใช้ $\eta = 0.70$

(2) แผนภูมิควบคุม PGWMA เลือกใช้ค่า $q = 0.90$ และ $\theta = 0.50$ ยกเว้นในกรณีที่ $\delta = 0.04$ ใช้ค่า $q = 0.90$ และ $\theta = 0.60$

(3) แผนภูมิควบคุม PDGWMA เลือกใช้ค่า $q = 0.90$ และ $\theta = 0.50$

นอกจากนี้ในกรณีที่จำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0) เท่ากับ 12 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละแผนภูมิควบคุมได้ดังนี้

(1) แผนภูมิควบคุม PPM เลือกใช้ค่า $\eta = 0.10$

(2) แผนภูมิควบคุม PGWMA เลือกใช้ค่า $q = 0.90$ และ $\theta = 0.50$ ยกเว้นในกรณีที่ $\delta = 0.02$ ใช้ค่า $q = 0.80$ และ $\theta = 0.50$

(3) แผนภูมิควบคุม PDGWMA เลือกใช้ค่า $q = 0.90$ และ $\theta = 0.50$ ยกเว้นในกรณีที่ $\delta = 0.02$ ใช้ค่า $q = 0.90$ และ $\theta = 0.70$

ซึ่งแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด ที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในสถานการณ์ต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นนี้ ได้นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกัน ดังผลปรากฏในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 พบว่าแผนภูมิควบคุม PCUSUM มีค่า ARL_1 สูงที่สุดในทุกสถานการณ์ นั่นคือ แผนภูมิควบคุม PCUSUM มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ -

Table 4 ARL_{1s} of PCUSUM, PPM, PGWMA and PDGWMA control charts when different values of δ and $\mu_0 = 4, 12$

μ_0	δ	control charts			
		PCUSUM	PPM	PGWMA	PDGWMA
4	0.02	296.26	2.25*	222.22	156.25
	0.04	229.26	1.22*	149.25	50.76
	0.06	190.61	1.11*	96.15	18.48
	0.10	96.88	1.04*	52.63	4.87
	0.14	74.34	1.02*	29.49	1.98
	0.18	50.96	1.01*	16.95	1.24
	0.20	47.18	1.00*	12.80	1.09
	0.40	29.94	1.00*	2.00	1.00*
	0.60	19.23	1.00*	1.08	1.00*
	1.00	9.12	1.00*	1.00*	1.00*
12	1.40	5.82	1.00*	1.00*	1.00*
	1.80	4.07	1.00*	1.00*	1.00*
	0.02	290.18	312.50	285.71	263.16*
	0.04	234.75	1.36*	208.33	38.76
	0.06	190.56	1.09*	114.94	17.00
	0.10	93.02	1.05*	54.64	3.53
	0.14	68.94	1.04*	28.41	1.76
	0.18	57.68	1.02*	16.10	1.09
	0.20	44.66	1.02*	12.48	1.04
	0.40	29.73	1.00*	1.83	1.00*
0.60	19.26	1.00*	1.06	1.00*	
1.00	8.72	1.00*	1.00*	1.00*	
1.40	5.53	1.00*	1.00*	1.00*	
1.80	3.87	1.00*	1.00*	1.00*	

Let * denotes control chart has the best efficiency for detection the number of defects for each situation

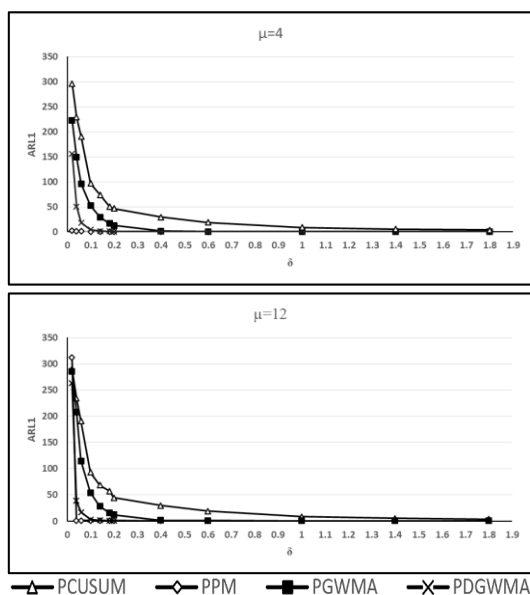


Figure 1 $ARL_{1,s}$ of PCUSUM, PPM, PGWMA and PDGWMA control charts when different values of δ and $\mu_0 = 4, 12$

Table 5 The best efficiency of control charts for each situation when $ARL_0 = 370$

δ	μ_0	
	4	12
0.02	PPM	PDGWMA
0.04-0.20	PPM	PPM
0.40-0.60	PPM, PDGWMA	PPM, PDGWMA
1.00-1.80	PPM, PGWMA, PDGWMA	PPM, PGWMA, PDGWMA

การต่ำที่สุด และแผนภูมิควบคุม PPM มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยดีที่สุด ในเกือบทุกระดับของ δ ยกเว้นในสถานการณ์ที่ $\mu_0 = 12$ และ $\delta = 0.02$ ได้ว่าแผนภูมิควบคุม PDGWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยดี

ที่สุด นอกจากนี้เมื่อ $0.40 \leq \delta \leq 1.80$ แผนภูมิควบคุม PPM และแผนภูมิควบคุม PDGWMA จะมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพดีไม่แตกต่างกัน และเมื่อ $1.00 \leq \delta \leq 1.80$ แผนภูมิควบคุม PPM แผนภูมิควบคุม PGWMA และแผนภูมิควบคุม PDGWMA จะมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพดีไม่แตกต่างกัน และรูปที่ 1 พบว่าเมื่อ δ เพิ่มขึ้น ค่า $ARL_{1,s}$ ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีแนวโน้มลดลง

4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม โดยค่าจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ (μ_0) เท่ากับ 4 และ 12 แผนภูมิควบคุม PCUSUM จะมีค่า $ARL_{1,s}$ สูงที่สุดในทุกสถานการณ์ในกรณี $\delta = 0.02$ และ $\mu_0 = 4$ พบว่าแผนภูมิควบคุม PPM มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุด แต่เมื่อ $\mu_0 = 12$ แผนภูมิควบคุม PDGWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุด กรณี $0.04 \leq \delta \leq 0.20$ แผนภูมิควบคุม PPM มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุด กรณี $0.40 \leq \delta \leq 1.80$ แผนภูมิควบคุม PPM และแผนภูมิควบคุม PDGWMA จะมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการไม่แตกต่างกัน และกรณี $1.00 \leq \delta \leq 1.80$ แผนภูมิควบคุม PPM แผนภูมิควบคุม PGWMA และแผนภูมิควบคุม PDGWMA จะมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยส่วนใหญ่ค่า

พารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุม PPM ที่เหมาะสมที่สุดคือ $\eta = 0.10$ เกือบทุกสถานการณ์ และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแผนภูมิควบคุม PGWMA และ แผนภูมิควบคุม PDGWMA คือ $q = 0.90$ และ $\theta = 0.50$ ในเกือบทุกสถานการณ์

4.2 อภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยพบว่าเมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ (δ) เพิ่มขึ้นแล้วค่า ARL_1 ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ White และคณะ [2] นอกจากนี้เมื่อพารามิเตอร์ q มีค่ามาก ($0.70 \leq q \leq 0.90$) และ θ มีค่าตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.70 แผนภูมิควบคุม PDGWMA จะมีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอยตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shin และ Chiu [4]

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเฉพาะกรณีที่ $ARL_0 = 370$ ผู้ที่สนใจศึกษาเพิ่มเติมอาจศึกษาที่ ARL_0 มีค่าต่าง ๆ

5.2 ผู้ที่สนใจศึกษาเพิ่มเติมอาจใช้ค่าพารามิเตอร์ (η, q, θ) ของแผนภูมิควบคุมเป็นค่าอื่น ๆ

5.3 ผู้ที่สนใจศึกษาเพิ่มเติมอาจเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุมอื่น ๆ อีก เช่น แผนภูมิควบคุม ISRT Poisson EWMA โดย Sukparungsee และ Mititelu [8]

6. รายการอ้างอิง

- [1] Lucas, J.M., 1985, Counted data CUSUM's, Technometrics 27: 129-144.
- [2] White, C.H., Keats, J.B. and Stanley J., 1997, Poisson CUSUM vs c-chart for defect data, Qual. Eng. 9: 673-679.
- [3] Sheu, S.H. and Chiu, W.C., 2007, Poisson GWMA control chart, Commun. Stat. Simul. Comp. 36: 1099-1114.
- [4] Shin, L.L. and Chiu, W.C., 2015, On the steady-state performance of the poisson double GWMA control chart, Qual. Technol. Quant. Manage. 12: 195-208.
- [5] Nakmai, M., 2015, Efficiency Comparison of Control Charts for Number of Defects, Kasetsart University, Bangkok, 135 p.
- [6] Abbasi, S. A, 2017, Poisson progressive mean control chart, Qual. Reliabil. Eng. Int. 33: 1855-1859.
- [7] Sheu, S. H. and Lin, T. C., 2003, The generally weighted moving average control chart for detecting small shifts in the process mean, Qual. Eng. 16: 209-231.
- [8] Sukparungsee, S. and Mititelu, G., 2016, A modified poisson exponentially weighted moving average chart based on improved square root transformation, Thail. Stat. 14: 197-202.