

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพ ในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ Efficiency Comparison of Quality Control Charts to Detect the Mean Shift in Process

สัณชัย ทองสุขใส*, จุฑาภรณ์ ลินสมบุญทอง และธิดาพร ศุภภากร

ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Sunchai Tongsuksai*, Juthaphorn Sinsomboonthong and Thidaporn Supapakorn

Department of Statistics, Faculty of Science, Kasetsart University,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ 4 แผนภูมิ คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยแบบปรับน้ำหนักตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทวูม (CS) และแผนภูมิควบคุมความแปรปรวนค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA) เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ โดยกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ ขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\delta\sigma$) มีค่าตั้งแต่ 0.2σ , 0.4σ , 0.6σ , 0.8σ , 1.0σ , 1.2σ , 1.6σ , 2.0σ , 5.0σ ขนาดตัวอย่าง (n) ในแต่ละกลุ่มย่อยเท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30 และจำนวนชุดตัวอย่าง (I) เท่ากับ 40 ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แผนภูมิ คือ ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_1) โดยจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลทำซ้ำ 1,000 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์ ผลการศึกษาพบว่ากรณี $\delta\sigma$ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ($\delta = 0.2$) ในระดับของขนาดตัวอย่าง $n = 2, 3, 4$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี อย่างไรก็ตาม ในกรณี $\delta\sigma$ มีการเปลี่ยนแปลงมาก ($\delta > 1.6$) และขนาดตัวอย่างมากกว่า 4 แผนภูมิควบคุม REWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA และแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน นอกจากนี้พบว่าแผนภูมิควบคุม CS มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยของกระบวนการต่ำที่สุดในทุกสถานการณ์ที่ศึกษา

คำสำคัญ : การแจกแจงแบบปกติ; ความยาววิ่งเฉลี่ย; แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง; การเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

Abstract

The objective of this research is to compare the efficiencies of four control charts—the run sum (RUNSUM) control chart, the exponential weighted moving average control chart with fast initial response (FIR-EWMA), the combined Shewhart-CUSUM (CS) control chart and the robust exponentially weighted moving average (REWMA) control chart—when the data are normally distributed. The studied factors consist of the mean shifts ($\delta\sigma$) at 0.2σ , 0.4σ , 0.6σ , 0.8σ , 1.0σ , 1.2σ , 1.6σ , 2.0σ , 5.0σ , sample sizes (n) which are 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30 and subgroup size (l) at 40. Furthermore, the criterion used to examine efficiency is in term of an average run length (ARL_1). A simulation study is conducted by Monte Carlo technique with 1,000 repetitions. It is found that, FIR-EWMA control chart has the best efficiency for a small shift in the mean ($\delta = 0.2$) and sample sizes (n) = 2, 3, 4. However, the efficiencies of three control charts—FIR-EWMA control chart, REWMA control chart and RUNSUM control chart—seem to have no difference for $n > 4$ and large shift in the mean ($\delta > 1.6$). Moreover, the CS control chart has a poor performance in detecting mean shift among the four control charts for all situations of the study.

Keywords: normal distribution; average run length; RUNSUM; mean shift

1. บทนำ

การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรมถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้กระบวนการผลิตมีมาตรฐาน และผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเมื่อถึงมือผู้บริโภค ซึ่งทำให้เกิดความน่าเชื่อถือและผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ โดยตัวแปรที่สนใจพิจารณาควบคุมคุณภาพแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวแปรแบบต่อเนื่องซึ่งสามารถวัดบนสเกลตัวเลขได้ และแผนภูมิควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมกับข้อมูลประเภทนี้ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ -chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมอย่างง่ายในการควบคุมคุณภาพ และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนัก (exponential weighted moving average control chart, EWMA) เป็นต้น ตัวแปรอีกประเภทหนึ่งคือตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่สามารถวัดเป็น

หน่วยตัวเลขที่ต่อเนื่องได้ และแผนภูมิควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมกับข้อมูลประเภทนี้ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np-chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิต่อหน่วย (u-chart) และแผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ (c-chart) เป็นต้น

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาข้อมูลเชิงคุณภาพที่เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่อง โดยข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งมีผู้คิดค้น แผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับข้อมูลประเภทนี้หลากหลายแผนภูมิ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการผลิต และสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้อย่างรวดเร็ว เช่น ปี ค.ศ. 1982 Lucas [1] เสนอแผนภูมิควบคุม combined Shewhart - CUSUM control chart (CS) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุม Shewhart [2] และผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิ

ควบคุม CS มีประสิทธิภาพดีกว่าสำหรับการควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ถัดมา ปี ค.ศ. 1997 Champ และ Rigdon [3] เสนอแผนภูมิควบคุม run sum Control chart (RUNSUM) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุม Shewhart with run rule [4] ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพดีกว่าเหมาะสำหรับใช้ในการควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการ นอกจากนี้ ปี ค.ศ. 1999 Steiner [5] เสนอแผนภูมิควบคุม exponential weighted moving average control chart with fast initial response (FIR-EWMA) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิ EWMA [6] ผลวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพดีกว่าในการควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการ หลังจากนั้น ปี ค.ศ. 2006 Khoo และ Sim [7] เสนอแผนภูมิควบคุม robust exponentially weighted moving average control chart (REWMA) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุม standard EWMA [8] ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม REWMA มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม standard EWMA ในการควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจนำแผนภูมิควบคุมคุณภาพ 4 ชนิด ได้แก่ แผนภูมิควบคุม RUNSUM แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม CS แผนภูมิควบคุม REWMA มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกัน เพราะว่าแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด สามารถตรวจจับค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปมีขนาดเล็ก ภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับการใช้งานและเกิดประสิทธิภาพมากที่สุดในแต่ละสถานการณ์

2. วิธีการวิจัย

2.1 การวิจัยนี้กำหนดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ย (μ_0) เท่ากับ 50 และความแปรปรวนเท่ากับ 1 ในกรณีข้อมูลยังไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ย โดยขนาดตัวอย่าง (n) ที่พิจารณาในแต่ละกลุ่มย่อยเท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30 และจำนวนชุดตัวอย่าง (I) เท่ากับ 40 สำหรับกรณีข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยซึ่งกำหนดให้เป็น $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ โดยขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\delta\sigma$) เท่ากับ $0.2\sigma, 0.4\sigma, 0.6\sigma, 0.8\sigma, 1.0\sigma, 1.2\sigma, 1.6\sigma, 2.0\sigma, 5.0\sigma$ และกำหนดค่า λ สำหรับแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA และแผนภูมิควบคุม REWMA เท่ากับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 แล้วจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo) ทำซ้ำ 1,000 ครั้ง โดยการใช้โปรแกรม R version 3.0.1

2.2 นำข้อมูลที่ได้จากการจำลองในข้อ 2.1 มาสร้างแผนภูมิควบคุม 4 แผนภูมิ ดังต่อไปนี้

2.2.1 แผนภูมิควบคุม RUNSUM ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม RUNSUM [3,9] เป็นดังนี้

$$\mu_0 \pm \frac{1\sigma}{\sqrt{n}}, \mu_0 \pm \frac{2\sigma}{\sqrt{n}}, \mu_0 \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

ซึ่งตัวสถิติของแผนภูมิคือ $\bar{x}$ โดย $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ และหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย

(ARL_0) โดย $ARL_0 = \frac{1}{\alpha}$ เมื่อ α คือความน่าจะเป็นของ

ความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของแผนภูมิ RUNSUM เพื่อเป็นเกณฑ์สำหรับการสร้างแผนภูมิควบคุมอื่น ๆ

2.2.2 แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA [5] เป็นดังนี้

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

$$CL = \mu_0$$

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

โดย L คือสัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม ซึ่งจะเลือกค่า L โดยจำลองข้อมูลตามตัวแบบภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_0) ของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA เท่ากับ ARL_0 ของแผนภูมิ RUNSUM แล้วเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย เมื่อกำหนดให้ $f = 0.9$ และ $a = \frac{-2/(\log_{10}(f)-1)}{19}$

ตัวสถิติของแผนภูมิ คือ $W_i = \lambda \bar{x}_i + (1-\lambda)W_{i-1}$ เมื่อ W_i คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของทุกค่าเฉลี่ยตัวอย่าง $\bar{x}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกลุ่มที่ i โดย $i = 1, 2, 3, \dots, l$ และ λ คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ โดยที่ $0 < \lambda \leq 1$ และกำหนดค่าเริ่มต้น $W_0 = \mu_0$

2.2.3 แผนภูมิควบคุม CS ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CS [1] สร้างได้ดังนี้ ให้ $H = 5\sigma$ และ $SCL = 3$ โดย SCL คือขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และ H คือความยาวของช่วงควบคุม จากนั้นคำนวณค่าของ Z_i และ k โดย $Z_i = \frac{\bar{x}_i - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}$ และ $k = \frac{\delta\sigma}{2}$ ตามลำดับ ซึ่งค่าสถิติของแผนภูมิ CS คือ $S_{H_i} = \max\{0, (Z_i - k) + S_{H(i-1)}\}$ และ $S_{L_i} = \max\{0, (-Z_i - k) + S_{L(i-1)}\}$ เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, l$ โดยค่าเริ่มต้นของ $S_{H_0} = S_{L_0} = h/2$ ซึ่ง h คือค่าอ้างอิงของแผนภูมิ และหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_0) ของแผนภูมิ CS เท่ากับ ARL_0 ของแผนภูมิ RUNSUM แล้วเลือกค่า H นั้นมาใช้ในการวิจัย

2.2.4 แผนภูมิควบคุม REWMA ขอบเขตของแผนภูมิควบคุม REWMA [7] เป็นดังนี้ $UCL = \mu_0 + G_1 \overline{IQR}$, $CL = \mu_0$, $LCL = \mu_0 - G_1 \overline{IQR}$

และ $\overline{IQR} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l IQR_i$ เมื่อ $IQR_i = Q_{3i} - Q_{1i}$ โดย Q_{3i} และ Q_{1i} คือ ค่าควอไทล์ที่ 3 และ ค่าควอไทล์ที่ 1 ของกลุ่มย่อยที่ i ตามลำดับ เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, l$ ซึ่ง l คือจำนวนชุดตัวอย่าง

ตัวสถิติของแผนภูมิ คือ $W_i = \lambda \bar{x}_i + (1-\lambda)W_{i-1}$ เมื่อ W_i คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของทุกค่าเฉลี่ยตัวอย่าง $\bar{x}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกลุ่มที่ i และ λ คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ โดยที่ $0 < \lambda \leq 1$ กำหนดค่าเริ่มต้น $W_0 = \mu_0$ และหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_0) ของแผนภูมิ REWMA เท่ากับ ARL_0 ของแผนภูมิ RUNSUM แล้วเลือกค่า G_1 นั้นมาใช้ในการวิจัย

2.3 สร้างชุดข้อมูลกรณีค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ และนำข้อมูลนี้ไปวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดที่สร้างมาได้จากข้อ 2.2

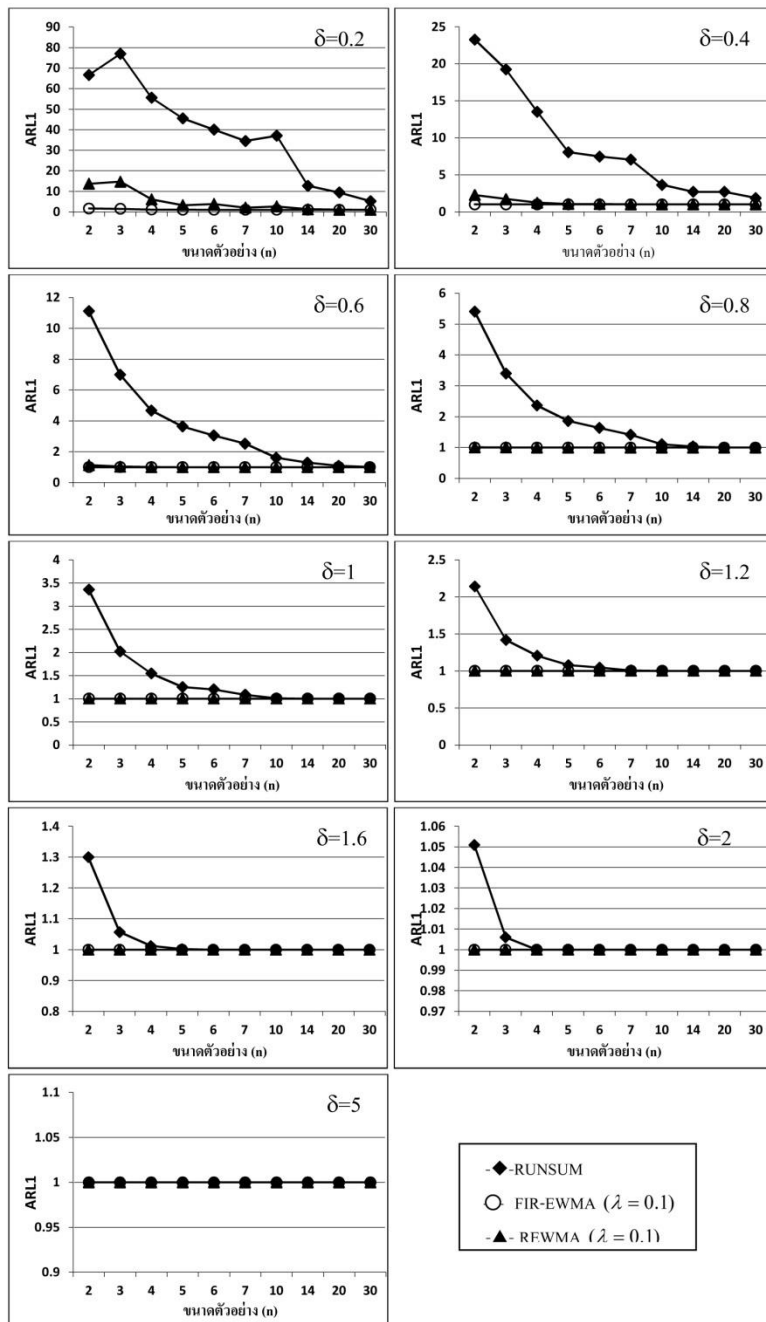
2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แผนภูมิ เมื่อตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ โดยใช้ค่า ARL_1 โดย $ARL_1 = \frac{1}{1-\beta}$ เมื่อ β คือความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2 ซึ่งถ้าแผนภูมิใดมีค่า ARL_1 ต่ำที่สุดจะเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีที่สุด

3. ผลการวิจัย

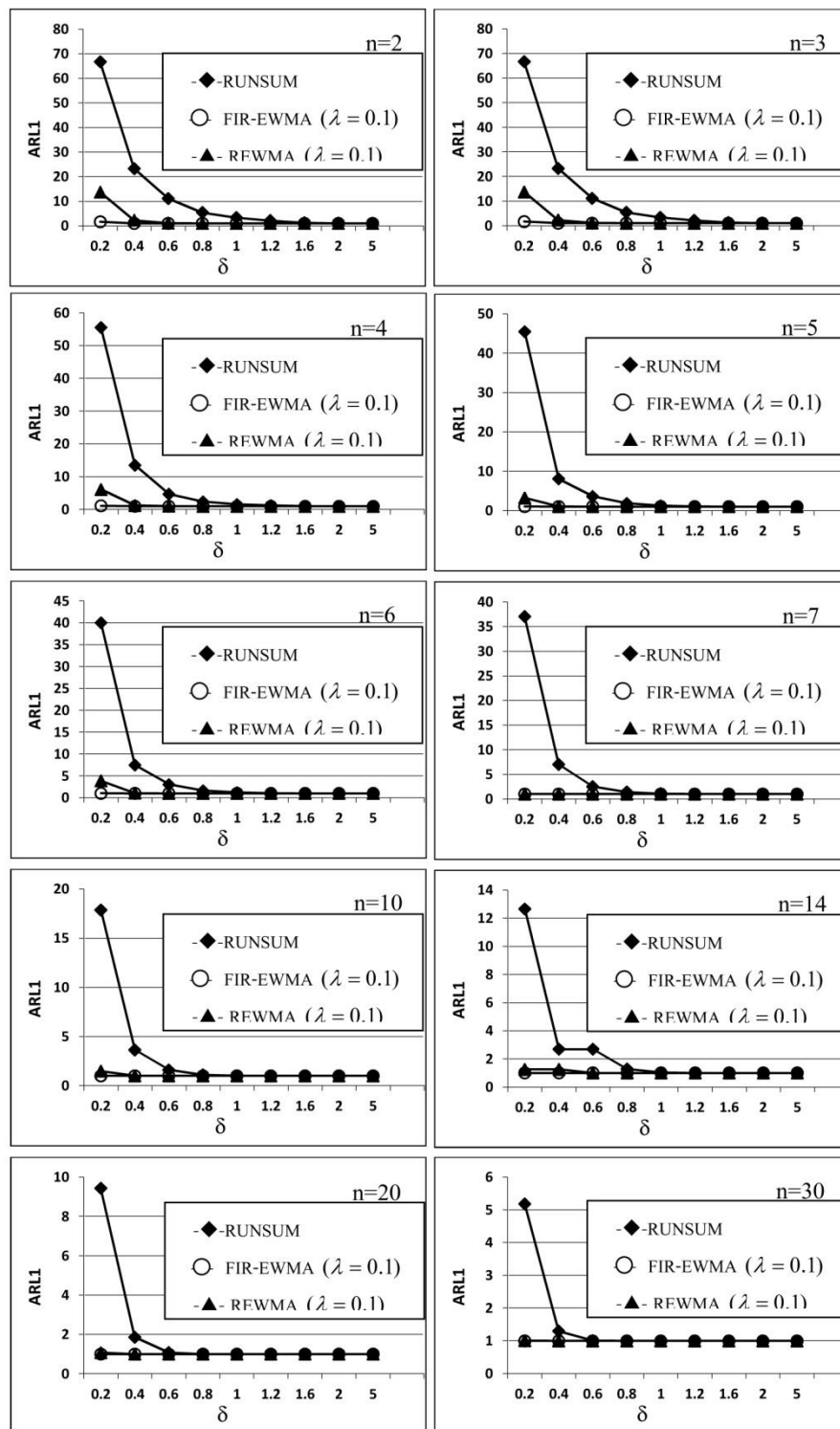
งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุม RUNSUM แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม CS และแผนภูมิควบคุม REWMA โดยอาศัยข้อมูลจากการจำลองในสถานการณ์ที่แตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_1) ในกรณีที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เนื่องจาก

แผนภูมิควบคุม CS มีค่า ARL_1 สูงมากในทุกสถานการณ์ ดังนั้นผลการวิจัยจึงสรุปได้ว่าแผนภูมิควบคุม CS มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในทุกสถานการณ์ที่

ศึกษาและผลจากการเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมอีก 3 ชนิด ปรากฏดังรูปที่ 1-2



รูปที่ 1 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม REWMA และแผนภูมิควบคุม RUNSUM กรณีที่ $l=40$ เมื่อ n เปลี่ยนแปลงไป และ δ มีขนาดต่างกัน



รูปที่ 2 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม REWMA และแผนภูมิควบคุม RUNSUM กรณีที่ $l = 40$ เมื่อ δ เปลี่ยนแปลงไป และ n มีขนาดต่างกัน

จากรูปที่ 1 เมื่อ $l = 40$ และขนาดตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไป สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\lambda=0.1$) มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อค่า $\delta = 0.2$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6$) และ $\delta = 0.4$ ($n = 2, 3$)

(2) แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\lambda=0.1$) และแผนภูมิควบคุม REWMA ($\lambda=0.1$) มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากเมื่อระดับค่า $\delta = 0.2$ ($n = 7, 10, 14, 20, 30$), $\delta = 0.4$ ($n = 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30$), $\delta = 0.6$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14$), $\delta = 0.8$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10$), $\delta = 1$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7$), $\delta = 1.2$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6$), $\delta = 1.6$ ($n = 2, 3, 4$) และ $\delta = 2$ ($n = 2, 3$)

(3) แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 คือ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\lambda=0.1$) แผนภูมิควบคุม REWMA ($\lambda=0.1$) และแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก เมื่อระดับค่า $\delta = 0.6$ ($n = 20, 30$), $\delta = 0.8$ ($n = 14, 20, 30$), $\delta = 1$ ($n = 10, 14, 20, 30$), $\delta = 1.2$ ($n = 7, 10, 14, 20, 30$), $\delta = 1.6$ ($n = 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30$), $\delta = 2$ ($n = 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30$) และ $\delta = 5$ ทุกขนาดของตัวอย่าง

(4) เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น กรณี δ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย พบว่าแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA และแผนภูมิควบคุม REWMA มีค่า ARL_1 ค่อนข้างคงที่ ส่วนแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีค่า ARL_1 ลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ในกรณี δ มีการเปลี่ยนแปลงมาก แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม REWMA และแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก

จากรูปที่ 2 เมื่อ $l = 40$ และค่า δ เปลี่ยนแปลงไป สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\lambda=0.1$) มีประสิทธิภาพในการตรวจพบขนาดการเปลี่ยนแปลง

ค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการมากที่สุด เมื่อ $n = 2, 3, 4, 5, 6$ ($\delta = 0.2$)

(2) แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\lambda=0.1$) และแผนภูมิควบคุม REWMA ($\lambda=0.1$) มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากเมื่อ $n = 2$ ($\delta = 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2$), $n = 3, 4$ ($\delta = 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$), $n = 5, 6, 7$ ($\delta = 0.4, 0.6, 0.8$), $n = 10, 14$ ($\delta = 0.2, 0.4, 0.6$), $n = 20$ ($\delta = 0.2, 0.4, 0.6$) และ $n = 30$ ($\delta = 0.2, 0.4$)

(3) แผนภูมิควบคุมทั้งสามมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก คือ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\lambda=0.1$) แผนภูมิควบคุม REWMA ($\lambda=0.1$) และแผนภูมิควบคุม RUNSUM เมื่อ $n = 2$ ($\delta = 1.6, 2, 5$), $n = 3, 4$ ($\delta = 1.2, 1.6, 2, 5$), $n = 5, 6, 7$ ($\delta = 1, 1.2, 1.6, 2, 5$), $n = 10, 14$ ($\delta = 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 5$), $n = 20$ ($\delta = 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 5$) และ $n = 30$ ($\delta = 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 5$)

(4) เมื่อ δ เพิ่มขึ้นในทุกระดับขนาดตัวอย่าง พบว่าแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA และแผนภูมิควบคุม REWMA มีค่า ARL_1 ค่อนข้างคงที่ ส่วนแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีค่า ARL_1 ลดลงเมื่อ δ เพิ่มขึ้น

4. วิจารณ์

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA) แผนภูมิการรวมระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยกับแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (CS) และแผนภูมิควบคุมความแปรปรวนค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA) พบว่าแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลง

แปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เมื่อค่า $f = 0.9$ และ λ มีค่าน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Steiner [5] สำหรับแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการไปจากเป้าหมายมาก แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการไปจากเป้าหมายน้อยแล้วแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพด้อยกว่าแผนภูมิชนิดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Champ และ Rigdon [3] นอกจากนี้พบว่าแผนภูมิควบคุม CS จะมีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี เมื่อกำหนดให้ $h/2$ เป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lucas [1] และแผนภูมิควบคุม REWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่อ λ มีค่าน้อยซึ่งสอดคล้องกับรายงาน

การวิจัยของ Khoo และ Sim [7]

5. สรุป

ผลการศึกษาพบว่ากรณี $\delta\sigma$ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ($\delta = 0.2$) ในระดับของขนาดตัวอย่าง $n = 2, 3, 4$, แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี อย่างไรก็ตาม ในกรณี $\delta\sigma$ มีการเปลี่ยนแปลงมาก ($\delta > 1.6$) และขนาดตัวอย่างมากกว่า 4 แผนภูมิควบคุม REWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA และแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน นอกจากนี้พบว่าแผนภูมิควบคุม CS มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยของกระบวนการต่ำที่สุดในทุกสถานการณ์ที่ทำการศึกษารั้งนี้ โดยแผนภูมิควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับสถานการณ์ต่าง ๆ กรณี $l = 40$

ขนาดตัวอย่าง	δ								
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	5.0
2	FIR	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FRR
3	FIR	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FRR	FRR
4	FIR	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FRR	FRR
5	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FRR	FRR	FRR
6	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FRR	FRR	FRR
7	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FRR	FRR	FRR	FRR
10	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FRR	FRR	FRR	FRR	FRR
14	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FRR	FRR	FRR	FRR	FRR
20	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FRR	FRR	FRR	FRR	FRR
30	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FRR	FRR	FRR	FRR	FRR	FRR	FRR

หมายเหตุ : FIR คือ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\lambda = 0.1$), FIR-REWMA คือ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\lambda = 0.1$) และแผนภูมิควบคุม REWMA ($\lambda = 0.1$), FRR คือ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\lambda = 0.1$) แผนภูมิควบคุม REWMA ($\lambda = 0.1$) และแผนภูมิควบคุม RUNSUM

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ศึกษาข้อมูลคุณภาพที่มีการแจกแจงแบบอื่น ๆ เช่น การแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล

6.2 เลือกใช้แผนภูมิควบคุมอื่น ๆ ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เช่น แผนภูมิควบคุม cusum chart for preliminary โดย Koning และ Ronald [10] หรือแผนภูมิควบคุม DCUSUM โดย Zhao และคณะ [11]

7. รายการอ้างอิง

- [1] Lucas, J.M., 1982, Combined Shewhart-CUSUM quality control schemes, J. Qual. Technol. 2: 51-58.
- [2] Shewhart, W.A., 1924, Economic Control of Quality Product, van Nostrand Reinhold, Princeton.
- [3] Champ, C.W. and Rigdon, S.E., 1997, An analysis of RUNSUM control chart, J. Qual. Technol. 29: 407-417.
- [4] Champ, C.W. and Woodall, W.H., 1987, Exact results for shewhart control charts with supplementary runs rules, Technometrics 29: 393-399.
- [5] Steiner, S.H., 1999, EWMA control charts with time-varying control limits and fast initial response, J. Qual. Technol. 1: 75-86.
- [6] Roberts, S.W., 1959, Control-charts-tests based on geometric moving averages, Technometrics 1: 239-250.
- [7] Khoo, M. and Sim, S., 2006, A robust exponentially weighted moving average control chart for the process mean, J. Mod. Appl. Stat. Met. 2: 464-474.
- [8] Ng, C.H. and Case, K.E., 1989, Development and evaluation of control charts using exponentially weighted moving averages, J. Qual. Technol. 21: 242-250.
- [9] Reynolds, J.H., 1971, The run sum control chart procedure, J. Qual. Technol. 3: 23-27.
- [10] Koning, A.J. and Ronald, J.M.M., 2000, Cusum charts for preliminary analysis of individual observations, J. Qual. Technol. 32: 122-132.
- [11] Zhao, Q., Tsung, F. and Wang, Z., 2005, Dual CUSUM control schemes for detecting a range of mean shifts, IIE Transactions 37: 1047-1057.