

ประสิทธิภาพของแผนภูมิค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังที่ขยายใหม่ทั้งแบบอิงและไม่อิงพารามิเตอร์สำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย

Performance of both parametric and non-parametric new extended exponential moving average charts for tracking mean shifts

จุฑาทิธร จันทรภาพ* อัญมณี แก้วเพ็ญกรอ ธนกฤต มณีรัตน์ เสาวณิต สุขภารังษิ
ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
(*s6404052610186@email.kmutnb.ac.th)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพสำหรับตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการระหว่างแผนภูมิควบคุมชีวฮาร์ต (Shewhart chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง (Exponentially Weighted Moving Average: EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังที่ขยาย (Extended Exponentially Weighted Moving Average: EEWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังที่ขยายแบบใหม่ (New Extended Exponentially Weighted Moving Average: NEEWMA) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังที่ขยายแบบใหม่ของทูกีย์ (New Extended Exponentially Weighted Moving Average-Tukey: NEEWMA-Tukey) กรณีข้อมูลมีการแจกแจงปกติ การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง การแจกแจงแกมมา และการแจกแจงลาปลาซเพื่อใช้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในค่าเฉลี่ยของกระบวนการ โดยผลการจำลองแบบมอนติคาร์โลเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการตรวจจับจากค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง (out of control Average Run Length: ARL₁) พบว่า แผนภูมิควบคุม NEEWMA และ NEEWMA-Tukey มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงดีกว่าแผนภูมิควบคุมอื่น ๆ เมื่อกระบวนการมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง การแจกแจงแกมมา และการแจกแจงลาปลาซ สำหรับการแจกแจงปกติ แผนภูมิ NEEWMA สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กได้ดีที่สุด เมื่อกำหนดให้ ARL₀ = 370 และเมื่อค่า ARL₀ มากขึ้นประสิทธิภาพของแผนภูมิ NEEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ทุกขนาดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ได้เสนอกรณีศึกษาจากข้อมูลจริงเกี่ยวกับการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ (UTI) ในโรงพยาบาล และความแข็งแรงของกระบอกหน้าต่างของเครื่องบิน (MPa) เพื่อประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริง ผลลัพธ์จากข้อมูลจริงช่วยยืนยันว่าแผนภูมิ NEEWMA เป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมอื่น

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพ, การตรวจจับการเปลี่ยนแปลง, ค่าเฉลี่ย, แผนภูมิควบคุมที่ผันแปรตามเวลา

Abstract

The Objective of this research was to compare the performance of detecting process mean shifts using Shewhart Control Charts, EWMA (Exponentially Weighted Moving Average) Control Charts, EEWMA (Extended Exponentially Weighted Moving Average) Control Charts, NEEWMA (New Extended Exponentially Weighted Moving Average) Control Charts, and NEEWMA-Tukey Control Charts. The analysis is conducted with data following normal distribution, Exponential distribution, gamma distribution, and Laplace distribution, in order to detect subtle shifts in the process mean. The simulation results compare the performance of the NEEWMA chart with the SHEWHART EWMA and EEWMA control charts when the performance is analyzed using the average run length when there is a change (out of control Average Run Length: ARL₁). The results indicate NEEWMA and NEEWMA-Tukey control charts performed better than other control charts in detecting changes when the process had exponential, gamma, and Laplace distributions. For normal distribution, NEEWMA chart can detect small changes well when ARL₀ = 370, and when ARL₀ value is larger, NEEWMA chart performance can detect all sizes

of changes. This research presents a real-world case study of hospital-based urinary tract infections (UTI) and aircraft window glass strength (MPa). For application in real situations, the results of the study confirm that NEEWMA chart is a chart that is more effective in detecting changes than other control charts.

keyword: Performance, Change Detection, Mean, Time varying Control Chart

1. บทนำ

การควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) มีบทบาทสำคัญในภาคอุตสาหกรรมและการผลิต โดยช่วยรักษาเสถียรภาพของกระบวนการและลดความผันผวนที่เกิดขึ้น หากกระบวนการเกิดความแปรปรวนจากแหล่งที่มาธรรมชาติ กระบวนการนั้นถือว่าอยู่ในสถานะควบคุม (in-control: IC) แต่หากเกิดจากสาเหตุที่กำหนดได้ กระบวนการจะถือว่าอยู่ในสถานะไม่ควบคุม (out-of-control: OOC) ในการตรวจสอบสถานะของกระบวนการนั้น แผนภูมิควบคุม (control charts) เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยแผนภูมิมาตรฐานหรือแผนภูมิ Shewhart เสนอโดย Shewhart (1924) เป็นหนึ่งในแผนภูมิควบคุมแบบดั้งเดิมที่ใช้กันมาก แต่มีข้อจำกัดในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของค่าเฉลี่ยกระบวนการ ต่อมา Roberts (1959) ได้เสนอแผนภูมิ EWMA เป็นการให้น้ำหนักกับข้อมูลในอดีต โดยการกำหนดตัวถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง ทำให้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กในกระบวนการได้ดีกว่าแผนภูมิ Shewhart อย่างไรก็ตาม แผนภูมิ EWMA ยังคงมีข้อจำกัดบางประการ ต่อมา Steiner (1999) ได้พัฒนาแผนภูมิ EEWMA เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจจับค่าเฉลี่ยขนาดเล็กมากของกระบวนการ ทั้งนี้จากแนวคิดของการพัฒนาแผนภูมิ EWMA และ EEWMA ได้มีการพัฒนาแผนภูมิ NEEWMA เสนอโดย Noor และคณะ (2023) ซึ่งเพิ่มองค์ประกอบของค่าน้ำหนักทั้งบวกและลบสำหรับข้อมูลในอดีต ส่งผลให้ความแปรปรวนของสถิติลดลง และสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเล็ก ๆ ของกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในงานวิจัยนี้มีการพัฒนาแผนภูมิ NEEWMA-Tukey โดยนำข้อดีของ Tukey มาใช้เพื่อปรับให้เป็นแผนภูมิควบคุมแบบไม่อิงพารามิเตอร์ และสามารถในการปรับปรุงขีดจำกัดการควบคุม (Control Limits) ทำให้สามารถตรวจจับความผิดปกติของกระบวนการได้แม่นยำยิ่งขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาประสิทธิภาพในการตรวจจับของแผนภูมิ NEEWMA และ NEEWMA-Tukey พร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิแบบดั้งเดิม อย่าง แผนภูมิ Shewhart EWMA และ EEWMA โดยใช้ค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) เป็นตัววัดประสิทธิภาพ โดยประมาณค่าจากการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิในสถานการณ์จริง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยให้สามารถเลือกใช้แผนภูมิที่เหมาะสมกับลักษณะของกระบวนการในอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าของตัวแปรสุ่มที่เป็นค่าแบบต่อเนื่อง โดยที่ค่าของตัวแปรสุ่มมีแนวโน้มที่จะมีค่าอยู่ใกล้ ๆ กับค่า ๆ หนึ่ง (เรียกว่าค่ามัธยิม) กราฟแสดงค่าฟังก์ชันความหนาแน่น (probability density function: pdf) จะเป็นรูปคล้ายระฆังคว่ำ หรือเรียกว่าฟังก์ชันเกาส์เซียน

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

เมื่อ x แทน ตัวแปรสุ่มพารามิเตอร์

μ แทน ค่ามัธยิม

σ^2 แทน ค่าความแปรปรวน

2.2 การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (Exponential Distribution)

เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับระยะเวลาจนกว่าเหตุการณ์เฉพาะบางอย่างจะเกิดขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่เหตุการณ์ต่างๆ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและเป็นอิสระในอัตราเฉลี่ยคงที่ ตัวแปรสุ่มแบบเลขชี้กำลังอาจเป็นค่าที่เล็กกว่าหรือตัวแปรที่ใหญ่กว่า

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}} ; x > 0 \text{ โดยที่ } \beta > 0$$

เมื่อ x แทน เวลาที่รอคอยจนกระทั่งเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ

β แทน เวลาเฉลี่ยที่รอคอยจนกระทั่งเกิดเหตุการณ์

2.3 การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribution)

เป็นการกระจายแบบ ระยะเวลาการรอคอย โดยสมมติว่าเหตุการณ์ต่างๆ เกิดขึ้นโดยอิสระและสุ่ม โดยมีระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างเหตุการณ์เท่ากับ β ระยะเวลาการรอคอยจนกระทั่งเหตุการณ์ α เกิดขึ้นเป็นตัวแปรสุ่มแกมมา (α, β)

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} ; x > 0, \alpha > 0, \beta > 0$$

เมื่อ α แทน พารามิเตอร์รูปร่าง

β แทน พารามิเตอร์อัตรา

2.4 การแจกแจงลาปลาซ (Laplace Distribution)

เป็นการแจกแจงของความแตกต่างของตัวแปรสุ่มอิสระสองตัวที่มี การแจกแจงเลขชี้กำลังเหมือนกัน มักใช้ในการสร้างแบบจำลองปรากฏการณ์ที่มีหางหนักหรือเมื่อข้อมูลมีจุดสูงสุดที่สูงกว่าการแจกแจงแบบปกติ การกระจายตัวนี้เป็นผลจากการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง 2 แบบ คือ แบบบวก

และแบบลบ บางครั้งเรียกว่าการแจกแจงแบบเลขชี้กำลังสองชั้น

$$(x|\mu, b) = \frac{1}{2b} \exp\left(-\frac{|x-\mu|}{b}\right) : b > 0$$

เมื่อ μ แทน พารามิเตอร์ตำแหน่ง
 b แทน พารามิเตอร์มาตราส่วน

2.5 แผนภูมิควบคุม (Control Charts)

แผนภูมิควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีแผนภูมิควบคุม Shewhart แผนภูมิควบคุม EWMA แผนภูมิควบคุม EEWMA แผนภูมิควบคุม NEEWMA และ แผนภูมิควบคุม NEEWMA-Tukey ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการของแผนภูมิควบคุม Shewhart EWMA EEWMA NEEWMA และ NEEWMA-Tukey ได้ดังนี้

2.5.1 แผนภูมิควบคุม Shewhart

เป็นหนึ่งในแผนภูมิควบคุมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการตรวจสอบคุณภาพของกระบวนการทางสถิติ โดยใช้ข้อมูลจากกระบวนการผลิตหรือการดำเนินงานเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติ

ขีดจำกัดการควบคุมของแผนภูมิควบคุม Shewhart มีดังนี้

$$UCL/LCL = \mu \pm K\sigma$$

เมื่อ μ แทน ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ
 K แทน ค่าคงที่ที่กำหนดเพื่อควบคุมขอบเขตของ
 UCL และ LCL
 σ แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

2.5.2 แผนภูมิควบคุม EWMA

เป็นแผนภูมิที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลในอดีตและปัจจุบันที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมชีวฮาร์ท โดยมีค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม EWMA ดังสมการที่ (1)

$$Z_i = \alpha_1 T_i + (1 - \alpha_1) Z_{i-1}, i = 1, 2, \dots \quad (1)$$

เมื่อ T_i แทน ค่าของตัวแปรที่ถูกวัดในเวลาที i
 α_1 แทน ค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งมีช่วง $0 < \alpha_1 \leq 1$
 Z_{i-1} แทน ค่าของตัวแปรที่คำนวณได้จากสมการ EWMA ในช่วงเวลาก่อนหน้า
 ขีดจำกัดการควบคุมของแผนภูมิควบคุม EWMA มีดังนี้

$$UCL/LCL = \mu \pm K\sigma \sqrt{\frac{\alpha}{2 - \alpha} [1 - (1 - \alpha)^{2i}]}$$

เมื่อ μ แทน ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ
 K แทน ค่าคงที่ที่กำหนดเพื่อควบคุมขอบเขตของ
 UCL และ LCL
 σ แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ
 α แทน ค่าถ่วงน้ำหนัก

2.5.3 แผนภูมิควบคุม EEWMA

เป็นแผนภูมิที่พัฒนาเพิ่มเติมจาก EWMA โดยมีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ หรือให้ความสำคัญกับข้อมูลในอดีตมากขึ้น มีลักษณะคล้ายกับ EWMA แต่มีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักหรือเพิ่มพารามิเตอร์เพิ่มเติมดังสมการที่ (2)

$$Z_i = \alpha_1 T_i - \alpha_2 T_{i-1} + (1 - \alpha_1 + \alpha_2) Z_{i-1}, i = 1, 2, \dots \quad (2)$$

เมื่อ T_i แทน ค่าของตัวแปรที่ถูกวัดในเวลาที i
 α_1, α_2 แทน ค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งมีช่วง $0 < \alpha_1 \leq 1$,
 $0 \leq \alpha_2 < \alpha_1$

Z_{i-1} แทน ค่าของตัวแปรที่คำนวณได้จากสมการ EEWMA ในช่วงเวลาก่อนหน้า
 ขีดจำกัดการควบคุมของแผนภูมิควบคุม EEWMA มีดังนี้

$$UCL/LCL = \mu \pm K\sigma \sqrt{\text{var}(Z_i)}$$

เมื่อ μ แทน ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ
 K แทน ค่าคงที่ที่กำหนดของขีดจำกัดการควบคุม
 $\text{var}(Z_i)$ แทน ความแปรปรวนของค่า Z_i

2.5.4 แผนภูมิควบคุม NEEWMA

เป็นแผนภูมิที่พัฒนาเพิ่มเติมจาก EWMA โดยใช้แนวคิดของการทำให้ข้อมูลอยู่ในรูปที่ถูกปรับมาตรฐาน (Normalized) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ โดยเฉพาะในกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายที่ไม่เป็นปกติ หรือมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไปดังสมการที่ (3)

$$Z_i = \alpha_1 T_i - \alpha_2 T_{i-1} - \alpha_3 T_{i-2} + (1 - \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) Z_{i-1}, i = 1, 2, \dots \quad (3)$$

เมื่อ T_i แทน ค่าของตัวแปรที่ถูกวัดในเวลาที i
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ แทน ค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งมีช่วง
 $0 < \alpha_1 \leq 1, 0 \leq \alpha_2 < \alpha_1, 0 \leq \alpha_3 < \alpha_2$
 Z_{i-1} แทน ค่าของตัวแปรที่คำนวณได้จากสมการ NEEWMA ในช่วงเวลาก่อนหน้า

ขีดจำกัดการควบคุมของแผนภูมิควบคุม NEEWMA มี ดังนี้

$$UCL/LCL = \mu \pm K\sigma \sqrt{\text{var}(Z_i)}$$

เมื่อ μ แทน ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ
 K แทน ค่าคงที่ที่กำหนดของขีดจำกัดการควบคุม
 $\text{var}(Z_i)$ แทน ความแปรปรวนของค่า Z_i

2.5.5 แผนภูมิควบคุม NEEWMA-Tukey

เป็นแผนภูมิที่พัฒนาต่อจาก NEEWMA (Normalized EWMA) โดยใช้แนวคิดของ Tukey's transformation เพื่อช่วยปรับปรุงการตรวจจับความผิดปกติของกระบวนการที่มีการกระจายของข้อมูลไม่เป็นปกติ หรือมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไปดังสมการที่ (4)

$$Z_i = \alpha_1 T'_i - \alpha_2 T'_{i-1} - \alpha_3 T'_{i-2} + (1 - \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) Z_{i-1}, i = 1, 2, \dots \quad (4)$$

เมื่อ T_i แทน ค่าของตัวแปรที่ถูกวัดในเวลา i
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ แทน ค่าถ่วงน้ำหนัก
 Z_{i-1} แทน ค่าของตัวแปรที่คำนวณได้จากสมการ
 NEEWMA ในช่วงเวลาก่อนหน้า
 ชีตจำกัดการควบคุมของแผนภูมิควบคุม NEEWMA มี
 ดังนี้

$$UCL = Q_3 + K(IQR)\sqrt{\text{var}(Z_i)}$$

$$LCL = Q_1 - K(IQR)\sqrt{\text{var}(Z_i)}$$

เมื่อ Q_1 แทน ควอไทล์ที่ 1 ของข้อมูล
 Q_3 แทน ควอไทล์ที่ 3 ของข้อมูล
 IQR แทน ผลต่างระหว่างควอไทล์ที่ 1 และ ควอ
 ไทล์ที่ 3
 K แทน ค่าคงที่ที่กำหนดของชีตจำกัดการควบคุม
 $\text{var}(Z_i)$ แทน ความแปรปรวนของค่า Z_i

2.6 เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพ

เกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม
 SHEWHART EWMA EEWMA NEEWMA และ NEEWMA-
 Tukey คือ ค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length: ARL)
 และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวรัน (Standard
 Deviation of Length: SDRL)

2.6.1 ค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length: ARL)

ค่าความยาวรันเฉลี่ย (ARL) คือจำนวนค่าสังเกตที่ตกนอก
 ชีตจำกัดควบคุมก่อนที่จะกระบวนกรจะส่งสัญญาณการออก
 นอกชีตจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรก สามารถแบ่งออกเป็น 2
 กรณี คือ

1) ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการผลิตอยู่ภายใต้
 ควบคุม (in-control) สามารถเขียนสัญลักษณ์แทน ด้วย ARL_0

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha_0}$$

เมื่อ α_0 แทน ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาด
 ประเภทที่ 1 หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่พบว่า
 กระบวนการออกนอก ชีตจำกัดควบคุม เมื่อ
 กระบวนการไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของ ค่าเฉลี่ยใน
 กระบวนการ

2) ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการผลิตไม่อยู่ภายใต้
 ควบคุม (out-of-control) สามารถเขียนสัญลักษณ์ แทนด้วย
 ARL_1

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \alpha_1}$$

เมื่อ α_1 แทน ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภ
 ที่ 2 หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่พบว่ากระบวนการอยู่ภายใต้
 การควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย
 ในกระบวนการ

โดยงานวิจัยนี้ประมาณค่า ARL จากวิธีการจำลองแบบ
 มอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) ดังนั้นเกณฑ์ที่ใช้ใน
 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม คือ ค่า
 ARL

$$ARL = \frac{\sum_{i=1}^M RL_i}{M}$$

เมื่อ RL_i แทน จำนวนครั้งการสุ่มตัวอย่างก่อนที่จะพบว่า
 กระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม
 M แทน จำนวนรอบในการทำซ้ำและส่วนเบี่ยงเบน
 มาตรฐานของความยาวรัน (Standard Deviation of Length:
 SDRL)

$$SDRL = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (RL_i - ARL)^2}{M - 1}}$$

เมื่อ RL_i แทน จำนวนครั้งการสุ่มตัวอย่างก่อนที่จะพบว่า
 กระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม
 M แทน จำนวนรอบในการทำซ้ำ

3. ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพสำหรับตรวจจับ
 ค่าเฉลี่ยของกระบวนการระหว่างแผนภูมิควบคุม Shewhart
 EWMA EEWMA NEEWMA และ NEEWMA-Tukey ในการ
 ตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการเกณฑ์ที่ใช้ในการวัด
 ประสิทธิภาพ คือ ค่า ARL_1 ซึ่งหาได้จากวิธีการจำลองแบบ
 มอนติคาร์โล เมื่อกำหนดค่าต่างๆ ได้แก่

1) กำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยกระบวนการ (δ)
 เท่ากับ 0.00, 0.01, 0.02, 0.05, 0.08, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6,
 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.5, 2.0

2) กำหนดข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติ (Normal (0,1))
 การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (Exponential (1)) การแจกแจง
 แกมมา (Gamma (2,4)) และ การแจกแจงลาปลาซ (Laplace
 (1,1)) เนื่องจากการแจกแจงที่เลือกมานิยมใช้ในอุตสาหกรรม
 เช่น การแจกแจงปกติมักเกิดกับค่าเฉลี่ยของลักษณะคุณภาพ
 ของผลิตภัณฑ์นั้น เช่น น้ำหนักเฉลี่ย ปริมาณเฉลี่ย หรือการ
 แจกแจงที่มีลักษณะเบ้ขวาของการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง
 มักนิยมวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากอายุการใช้งานเฉลี่ยเป็น
 ต้น

3) กำหนดค่า $ARL_0 = 370$

4) กำหนดขนาดตัวอย่างย่อย (n) เท่ากับ 5

5) กำหนดค่าพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ $\alpha_1 = 0.2$, $\alpha_2 = 0.1$,
 $\alpha_3 = 0.05$

6) จำนวนรอบของการจำลองซ้ำ (M) เท่ากับ 10,000 รอบ
 โดยการแจกแจงที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้มี 4 การแจก
 แจก โดยแสดงข้อมูลตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 : ผลการจำลอง ARL และ SDRL กำหนดค่า $ARL_0 = 370$ และค่าคงที่ปรับราบเรียบ $\alpha_1 = 0.2, \alpha_2 = 0.1$ และ $\alpha_3 = 0.05$ ภายใต้การแจกแจงปกติ $n = 5$

Shift (δ)		SHEWHART	EWMA	EEWMA	NEEWMA	NEEWMA TUKEY
		$\alpha_1 = 1$	$\alpha_1 = 0.2$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$ $\alpha_3 = 0.05$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$ $\alpha_3 = 0.05$
		$L_1 = 2.785$	$L_2 = 11.138$	$L_3 = 1.1712$	$L_4 = 1.1856$	$L_5 = -0.9693$
0.00	ARL	370.3	370.77	370.25	370.23	370.3
	SDRL	370.3	411.14	369.21	371.16	370.84
0.01	ARL	348.23	342.71	304.87	298.92	311.5
	SDRL	348.23	380.24	306.12	299.21	306.26
0.02	ARL	324.52	315.26	251.70	242.39	262.32
	SDRL	324.52	349.55	261.85	238.49	256.15
0.05	ARL	192.07	244.66	148.75	140.02	162.61
	SDRL	266.42	283.01	142.19	129.4	155.7
0.08	ARL	102.2	194.72	94.59	88.84	109.18
	SDRL	217.25	227.72	86.12	78.47	100.54
0.10	ARL	68.78	165.49	72.09	57.28	85.92
	SDRL	58.6	197.00	64.74	192.07	76.11
0.20	ARL	32.94	72.93	26.85	27.45	35.68
	SDRL	102.2	95.19	20.61	19.5	26.75
0.30	ARL	19.8	33.77	14.13	15.29	19.97
	SDRL	57.28	48.14	9.48	9.86	13.38
0.40	ARL	12.39	15.48	9.09	9.90	13.11
	SDRL	32.94	24.24	5.53	6.14	8.29
0.50	ARL	7.89	7.91	6.43	6.90	9.34
	SDRL	19.8	12.71	3.67	4.34	5.85
0.60	ARL	5.21	4.39	4.79	5.00	6.92
	SDRL	12.39	6.84	2.67	3.28	4.35
0.70	ARL	3.52	2.79	3.74	3.78	5.29
	SDRL	7.89	3.69	2.08	2.53	3.44
0.80	ARL	2.44	2.01	2.98	2.88	4.16
	SDRL	5.21	2.18	1.69	2.02	2.73
0.90	ARL	0.42	1.61	2.41	2.23	3.28
	SDRL	3.52	1.37	1.44	1.65	2.26
1.00	ARL	0.05	1.37	1.97	1.76	2.63
	SDRL	2.44	0.95	1.24	1.38	1.89
1.50	ARL	0.00	1.02	0.71	0.54	0.97
	SDRL	0.42	0.16	0.69	0.63	0.87
2.00	ARL	0.00	1.00	0.19	0.12	0.35
	SDRL	0.05	0.02	0.39	0.33	0.52

ตารางที่ 2 : ผลการจำลอง ARL และ SDRL กำหนดค่า $ARL_0 = 370$ และค่าคงที่ปรับราบเรียบ $\alpha_1 = 0.2, \alpha_2 = 0.1$ และ $\alpha_3 = 0.05$ ภายใต้การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง $n = 5$

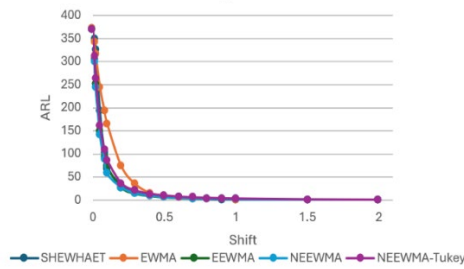
Shift (δ)		SHEWHART	EWMA	EEWMA	NEEWMA	NEEWMA TUKEY
		$\alpha_1 = 1$	$\alpha_1 = 0.2$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$ $\alpha_3 = 0.05$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$ $\alpha_3 = 0.05$
		$L_1 = 3.783$	$L_2 = 9.21$	$L_3 = 1.4295$	$L_4 = 1.559$	$L_5 = -0.5153$
0.00	ARL	370.38	370.16	370.84	370.25	370.65
	SDRL	368.54	372.14	391.98	488.62	642.36
0.01	ARL	333.57	327.95	305.93	291.49	305.73
	SDRL	329.86	333.45	321.88	396.89	535.54
0.02	ARL	304.74	296.17	252.65	229.42	252.67
	SDRL	300.76	301.20	270.72	312.4	454.47
0.05	ARL	231.58	220.59	147.43	119.81	147.28
	SDRL	235.33	229.58	156.74	168.75	274.91
0.08	ARL	179.98	167.67	93.79	70.23	86.95
	SDRL	184.89	174.13	99.81	102.67	175.87
0.10	ARL	153.87	142.27	72.48	50.91	63.14
	SDRL	157.88	148.52	77.69	75.30	132.60
0.20	ARL	76.06	64.97	25.96	15.87	16.81
	SDRL	76.64	68.29	26.59	22.40	37.80
0.30	ARL	42.23	33.89	13.31	7.72	7.37
	SDRL	42.64	36.50	12.68	9.58	15.12
0.40	ARL	25.61	19.93	8.41	4.90	4.27
	SDRL	25.99	22.19	7.73	5.76	7.74
0.50	ARL	16.76	12.67	5.88	3.42	2.95
	SDRL	17.50	14.03	5.38	3.94	4.74
0.60	ARL	11.69	8.69	4.36	2.57	2.23
	SDRL	12.19	9.62	4.04	2.85	3.37
0.70	ARL	8.49	6.37	3.41	2.04	1.81
	SDRL	8.93	6.86	3.18	2.26	2.69
0.80	ARL	6.45	4.88	2.75	1.65	1.50
	SDRL	6.86	5.23	2.63	1.84	2.20
0.90	ARL	5.06	3.89	2.26	1.38	1.27
	SDRL	5.58	4.12	2.23	1.57	1.79
1.00	ARL	4.03	3.22	1.87	1.18	1.08
	SDRL	4.49	3.33	1.94	1.36	1.55
1.50	ARL	1.65	1.71	0.94	0.60	0.61
	SDRL	2.09	1.39	1.15	0.84	0.94
2.00	ARL	0.87	1.24	0.54	0.36	0.39
	SDRL	1.25	0.85	0.81	0.60	0.70

ตารางที่ 3 : ผลการจำลอง ARL และ SDRL กำหนดค่า $ARL_0 = 370$ และค่าคงที่ปรับราบเรียบ $\alpha_1 = 0.2, \alpha_2 = 0.1$ และ $\alpha_3 = 0.05$ ภายใต้การแจกแจงลาปลาซ $n = 5$

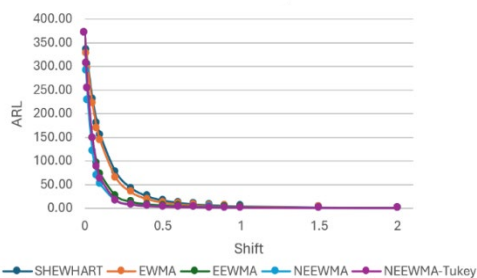
Shift (δ)		SHEWHART	EWMA	EEWMA	NEEWMA	NEEWMA TUKEY
		$\alpha_1 = 1$	$\alpha_1 = 0.2$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$ $\alpha_3 = 0.05$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$ $\alpha_3 = 0.05$
		$L_1 = 3.056$	$L_2 = 7.506$	$L_3 = 1.2278$	$L_4 = 1.302$	$L_5 = -0.688$
0.00	ARL	370.84	370.22	370.66	370.12	370.92
	SDRL	372.39	379.79	376.67	457.98	370.92
0.01	ARL	358.67	354.27	325.95	317.59	323.64
	SDRL	360.29	364.68	334.14	398.47	323.64
0.02	ARL	346.01	340.46	287.71	273.19	285.11
	SDRL	348.13	351.16	295.78	346.77	285.11
0.05	ARL	309.99	300.04	200.12	176.66	195.55
	SDRL	311.17	308.92	204.72	230.29	195.55
0.08	ARL	280.56	263.87	143.57	119.74	135.45
	SDRL	283.52	273.08	146.35	157.11	135.45
0.10	ARL	262.12	241.38	116.49	91.91	107.57
	SDRL	266.31	252.95	117.77	120.56	107.57
0.20	ARL	184.97	156.53	46.68	31.89	38.50
	SDRL	186.83	161.93	44.99	40.71	38.50
0.30	ARL	131.97	102.04	23.86	15.24	18.18
	SDRL	134.06	107.32	21.10	18.15	18.18
0.40	ARL	93.81	65.21	14.49	8.96	10.41
	SDRL	93.87	70.21	11.89	9.79	10.41
0.50	ARL	66.25	43.30	9.81	5.97	6.73
	SDRL	67.39	47.82	7.43	6.02	6.73
0.60	ARL	47.51	28.14	7.09	4.27	4.72
	SDRL	48.23	31.86	5.15	4.13	4.72
0.70	ARL	34.54	18.81	5.43	3.19	3.45
	SDRL	35.41	21.95	3.78	3.01	3.45
0.80	ARL	25.3	12.74	4.29	2.46	2.60
	SDRL	25.64	15.34	2.94	2.26	2.60
0.90	ARL	18.26	8.69	3.47	1.94	1.99
	SDRL	18.61	10.69	2.37	1.76	1.99
1.00	ARL	13.69	6.06	2.86	1.57	1.57
	SDRL	14.22	7.62	1.95	1.42	1.57
1.50	ARL	3.28	1.61	1.17	0.61	0.61
	SDRL	3.75	1.36	0.99	0.68	0.61
2.00	ARL	0.83	1.08	0.46	0.22	0.19
	SDRL	1.21	0.34	0.62	0.43	0.19

ตารางที่ 4 : ผลการจำลอง ARL และ SDRL กำหนดค่า $ARL_0 = 370$ และค่าคงที่ปรับราบเรียบ $\alpha_1 = 0.2, \alpha_2 = 0.1$ และ $\alpha_3 = 0.05$ ภายใต้การแจกแจงแกมมา $n = 5$

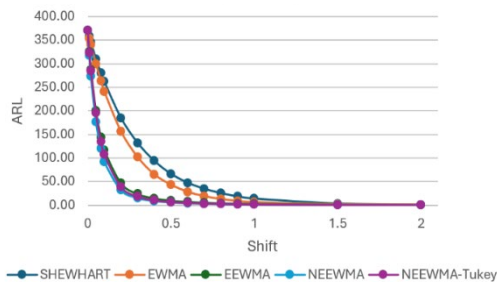
Shift (δ)		SHEWHART	EWMA	EEWMA	NEEWMA	NEEWMA TUKEY
		$\alpha_1 = 1$	$\alpha_1 = 0.2$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$ $\alpha_3 = 0.05$	$\alpha_1 = 0.2$ $\alpha_2 = 0.1$ $\alpha_3 = 0.05$
		$L_1 = 3.489$	$L_2 = 8.509$	$L_3 = 1.361$	$L_4 = 1.546$	$L_5 = -6.027$
0.00	ARL	370.51	370.16	370.04	370.16	370.62
	SDRL	365.05	374.14	396.56	631.55	769.49
0.01	ARL	358.77	356.64	343.37	338.32	339.53
	SDRL	355.16	361.15	368.54	585.08	721.96
0.02	ARL	346.92	344.49	320.38	304.47	311.26
	SDRL	341.62	347.17	345.82	532.33	669.45
0.05	ARL	317.77	310.98	258.82	137.87	243.91
	SDRL	315.23	313.28	280.02	412.14	532.05
0.08	ARL	289.58	277.87	210.41	58.32	189.38
	SDRL	287.92	277.91	231.98	315.97	432.22
0.10	ARL	272.25	259.26	185.04	28.80	161.63
	SDRL	271.52	260.13	203.29	267.22	382.94
0.20	ARL	203.88	186.09	98.95	15.93	76.33
	SDRL	201.16	189.98	110.64	124.57	193.89
0.30	ARL	156.04	135.51	60.20	10.04	38.74
	SDRL	156.77	141.17	68.24	63.25	106.60
0.40	ARL	119.03	101.55	38.75	6.98	21.64
	SDRL	117.58	107.41	43.87	34.99	62.14
0.50	ARL	93.18	77.67	26.97	5.25	12.90
	SDRL	93.84	82.68	29.99	20.85	36.60
0.60	ARL	74.70	60.44	19.68	4.15	8.55
	SDRL	75.95	64.39	21.86	13.13	23.65
0.70	ARL	60.42	47.54	14.85	3.44	5.95
	SDRL	61.61	51.20	16.45	9.46	15.86
0.80	ARL	49.21	37.71	11.84	2.90	4.51
	SDRL	50.43	40.84	12.75	6.86	10.93
0.90	ARL	40.41	30.69	9.66	1.59	3.65
	SDRL	41.3	33.70	10.35	5.26	8.21
1.00	ARL	33.74	24.99	8.012	1.04	2.97
	SDRL	34.75	27.60	8.38	4.20	6.37
1.50	ARL	15.24	10.71	3.93	0.74	1.58
	SDRL	15.62	12.12	3.96	1.94	2.49
2.00	ARL	8.10	5.59	2.38	0.54	1.05
	SDRL	8.64	6.15	2.45	1.25	1.49



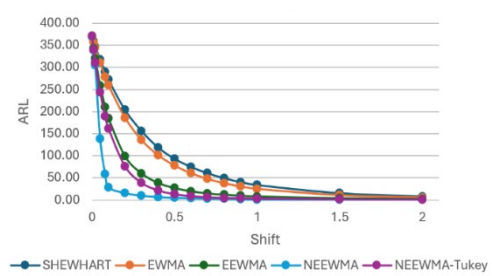
ภาพที่ 1: การเปรียบเทียบค่า ARL ของแผนภูมิ Shewhart EWMA EEWMA NEEWMA และ NEEWMA-Tukey เมื่อกำหนดค่า $ARL_0 = 370$ ภายใต้การแจกแจงปกติ



ภาพที่ 2: การเปรียบเทียบค่า ARL ของแผนภูมิ Shewhart EWMA EEWMA NEEWMA และ NEEWMA-Tukey เมื่อกำหนดค่า $ARL_0 = 370$ ภายใต้การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง



ภาพที่ 3: การเปรียบเทียบค่า ARL ของแผนภูมิ Shewhart EWMA EEWMA NEEWMA และ NEEWMA-Tukey เมื่อกำหนด $ARL_0 = 370$ ภายใต้การแจกแจงลาปลาซ



ภาพที่ 4: การเปรียบเทียบค่า ARL ของแผนภูมิ Shewhart EWMA EEWMA NEEWMA และ NEEWMA-Tukey เมื่อกำหนดค่า $ARL_0 = 370$ ภายใต้การแจกแจงแกมมา

4. การประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริง

ในการศึกษานี้ เราได้เปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม Shewhart EWMA EEWMA NEEWMA และ NEEWMA-Tukey

4.1 การประยุกต์ตัวอย่างข้อมูล 1 ภายใต้การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง

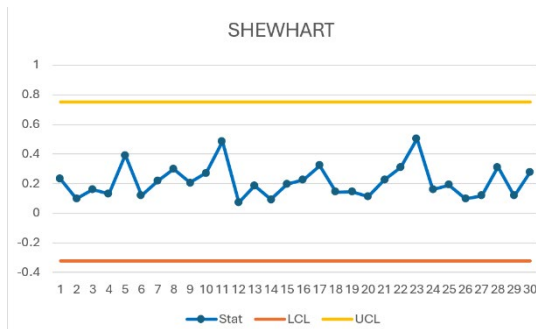
การติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ (Urinary Tract Infection: UTI) จากโรงพยาบาลขนาดใหญ่ จาก Santiago และ Smith โรงพยาบาลต้องการติดตามความถี่ของผู้ป่วยที่ติดเชื้อ (UTI) ระหว่างพักรักษาตัว และถูกปล่อยตัวออกจากโรงพยาบาลเพื่อให้สามารถระบุการเพิ่มขึ้นของอัตราการติดเชื้อได้อย่างรวดเร็ว หรือในทางตรงกันข้าม เพื่อตรวจสอบว่าการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงานหรือวัสดุทางการแพทย์ในอนาคต ช่วยลดจำนวนการติดเชื้อได้หรือไม่ เนื่องจากสาเหตุของการติดเชื้ออาจแตกต่างกันตามเพศผู้ป่วยชาย และหญิงจึงถูกบันทึกข้อมูลแยกกัน และตัวอย่างนี้จะเน้นเฉพาะผู้ป่วยชายเท่านั้น

4.2 การประยุกต์ตัวอย่างข้อมูล 2 ภายใต้การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง

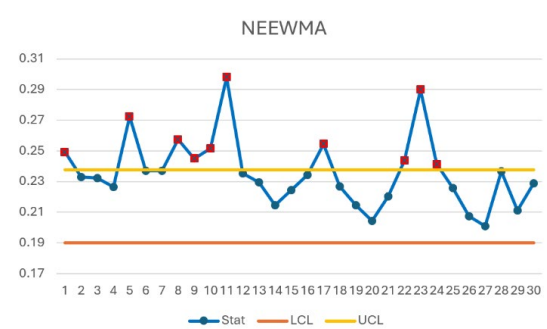
ความแข็งแรงของกระจกของหน้าต่างเครื่องบิน จาก Fuller และคณะ (1994)

ตารางที่ 4 : ผลการจำลองเวลาการตรวจพบผู้ป่วย UTI (เป็นวัน) โดย Santiago และ Smith

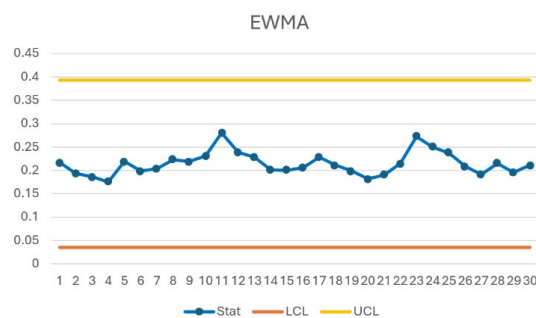
กลุ่มที่	เวลาการตรวจพบผู้ป่วย UTI (เป็นวัน)				
	S1	S2	S3	S4	S5
1	0.5701	0.1201	0.2708	0.0743	0.1146
2	0.0451	0.1528	0.0035	0.1354	0.1458
3	0.1201	0.0868	0.1389	0.0486	0.4035
4	0.1493	0.0278	0.1264	0.0333	0.3264
5	0.1840	0.0868	0.6493	0.7083	0.3368
6	0.1493	0.1563	0.0382	0.0139	0.2465
7	0.2465	0.0382	0.0451	0.2951	0.4681
8	0.0174	0.1194	0.2222	1.0889	0.0521
9	0.2951	0.0521	0.1250	0.5347	0.0278
10	0.2500	0.1514	0.0347	0.4007	0.5257
11	0.915	0.4000	0.5278	0.5564	0.0176
12	0.0303	0.0357	0.0639	0.0683	0.1592
13	0.0163	0.0809	0.4184	0.3958	0.0169
14	0.2104	0.0145	0.1838	0.0142	0.0476
15	0.026	0.2783	0.2573	0.3699	0.0518
16	0.5142	0.0427	0.158	0.2087	0.2083
17	0.3030	0.9034	0.1943	0.0949	0.1125
18	0.0669	0.1250	0.0623	0.1921	0.2700
19	0.1106	0.0022	0.0428	0.4600	0.1184
20	0.0832	0.0541	0.0731	0.335	0.0176
21	0.0225	0.1265	0.1966	0.4685	0.3074
22	0.1593	0.6465	0.3514	0.3528	0.0455
23	0.4802	0.3542	0.4003	0.7534	0.5325
24	0.2111	0.4592	0.0009	0.1198	0.0063
25	0.1286	0.1514	0.1186	0.1700	0.3708
26	0.0294	0.0891	0.0643	0.0527	0.2593
27	0.2699	0.1256	0.0736	0.0397	0.0694
28	0.0771	0.9431	0.2200	0.0344	0.2857
29	0.1024	0.0982	0.0343	0.2309	0.1116
30	0.4053	0.0498	0.4142	0.0128	0.5023



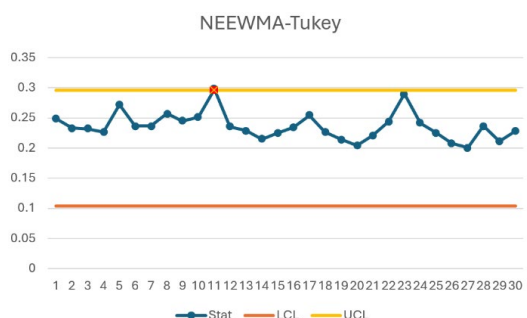
ภาพที่ 5: ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม Shewhart ของการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ (UTI)



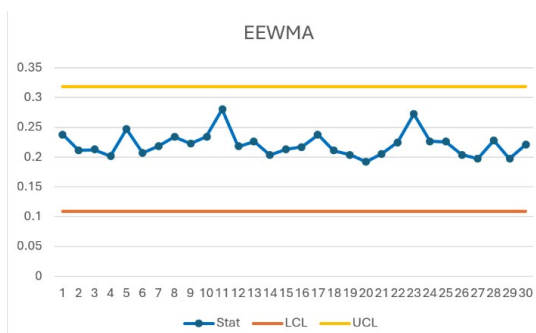
ภาพที่ 8: ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม NEEWMA ของการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ (UTI)



ภาพที่ 6: ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EWMA ของการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ (UTI)



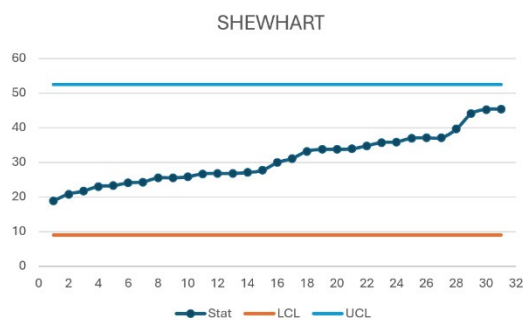
ภาพที่ 9: ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม NEEWMA-Tukey ของการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ (UTI)



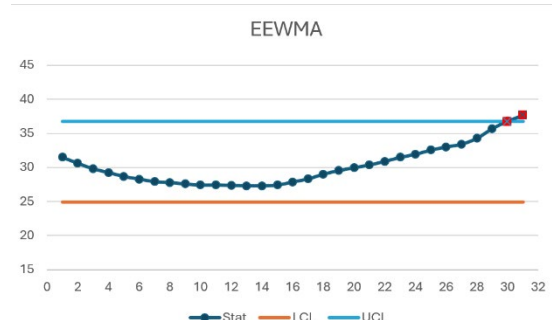
ภาพที่ 7: ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EEWMA ของการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ (UTI)

ตารางที่ 5 : ข้อมูลเกี่ยวกับความแข็งแรงของกระจกหน้าต่างของเครื่องบิน ซึ่งถูกรายงาน โดย Fuller และคณะ (1994)

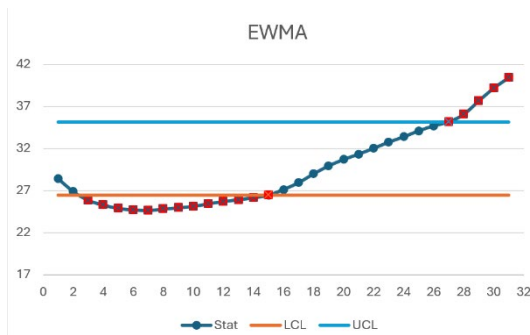
ความแข็งแรงของกระจกหน้าต่างของเครื่องบิน (MPa)					
18.83	20.8	21.657	23.03	23.23	24.05
24.321	25.5	25.52	25.8	26.69	26.77
26.78	27.05	27.67	29.9	31.11	33.2
33.73	33.76	33.89	34.76	35.75	35.91
36.98	37.08	37.09	39.58	44.045	45.29
45.381					



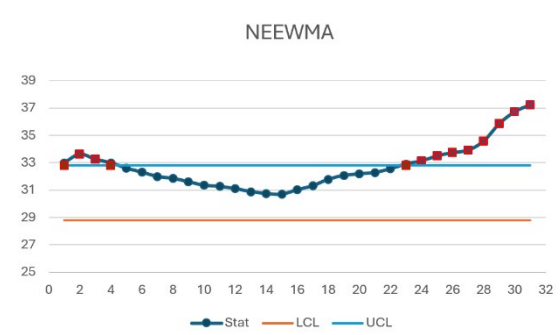
ภาพที่ 10: ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม Shewhart ของความแข็งแรงของกระจกหน้าต่างเครื่องบิน (MPa)



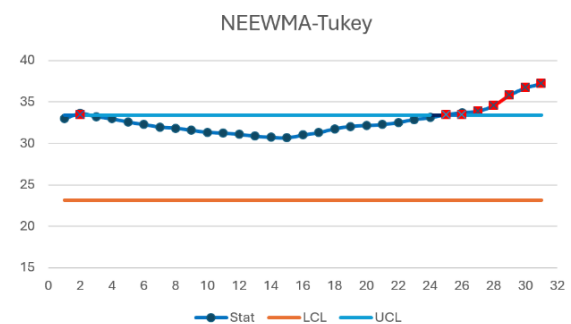
ภาพที่ 12: ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EEWMA ของความแข็งแรงของกระจกหน้าต่างเครื่องบิน (MPa)



ภาพที่ 11: ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EWMA ของความแข็งแรงของกระจกหน้าต่างเครื่องบิน (MPa)



ภาพที่ 13: ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม NEEWMA ของความแข็งแรงของกระจกหน้าต่างเครื่องบิน (MPa)



ภาพที่ 14: ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม NEEWMA-Tukey ของความแข็งแรงของกระจกหน้าต่างเครื่องบิน (MPa)

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพสำหรับตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการระหว่างแผนภูมิควบคุม Shewhart EWMA EEWMA NEEWMA และเสนอแผนภูมิควบคุมแบบไม่อิงพารามิเตอร์ NEEWMA-Tukey สำหรับการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการเกณฑ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพ คือ ค่า ARL_1 ซึ่งหาได้จากวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล เมื่อกำหนดค่าเป้าหมาย (ARL_0) เป็น 370 พบว่าแผนภูมิควบคุม NEEWMA และ NEEWMA-Tukey มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงดีกว่าแผนภูมิควบคุมอื่นๆ เมื่อกระบวนการมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง การแจกแจงแกมมาและการแจกแจงลาปลาซ สำหรับกระบวนการที่มีการแจกแจงปกติ แผนภูมิ NEEWMA สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กได้ดี เมื่อ δ น้อยกว่า 0.1 เมื่อค่า δ เพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุม SHEWHART EWMA EEWMA และ NEEWMA-Tukey จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อค่า ARL_0 มากขึ้นประสิทธิภาพของแผนภูมิ NEEWMA สามารถตรวจจับได้ทุกขนาดการเปลี่ยนแปลงจากการใช้แผนภูมิควบคุมที่เสนอกับข้อมูลการติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ (UTI) และความแข็งแรงของกระจกหน้าต่างเครื่องบิน (MPa) พบว่าแผนภูมิควบคุม NEEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับที่ดีที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลือจากศาสตราจารย์ ดร. เสาวนิต สุขภารังษี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่กรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนการตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างดีมาตลอด จนกระทั่ง โครงการพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือทุกท่านที่ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่คณะผู้วิจัยให้ได้ความรู้ ประสบการณ์ทางด้านสถิติอันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Javed H, Ismail M, Saeed N. New extended exponentially weighted moving average control chart for monitoring process mean. Heliyon10 2024,e34424
- [2] Fuller EJ, Frieman S, Quinn J. Fracture mechanics approach to the design of glass aircraft windows: A case study. SPIE Proceedings. 1994:419–430
- [3] Santiago, E., & Smith, J. 2013. Control charts based on the exponential distribution: Adapting runs rules for the t-chart. Quality Engineering, 25(2), 85–96.
- [4] Shanker R, Fesshaye H, Selvaraj S. On modeling of lifetimes data using exponential and lindley

distributions. Biom Biostat Int J. 2015;2(5):140–147. DOI: 10.15406/bbij.2015.02.00042

- [5] Suganya Phantu, Saowanit Sukparungsee. A Mixed Double Exponentially Weighted Moving Average - Tukey's Control Chart for Monitoring of Parameter Change. Thailand Statistician, 2020; 18(4): 392–402
- [6] Khan N, Aslamb M, Jun CH . A EWMA Control Chart for Exponential Distributed Quality Based on Moving Average Statistics. Qual. Reliab. Engng. Int. 2016, 32 1179–119