

# การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EWMA HWMA DHWMA และ HHWMA สำหรับตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

## The Performance Comparisons of EWMA, HWMA, DHWMA and HHWMA Control Charts for Monitoring Process Mean

กุลกันยา เดิมสูงเนิน ชาณินันท์ เจริญพาณิชย์\* ฉัตรญา หาญรบ ยูพากรณ์ อารีพงษ์  
ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

\*E-mail: s6304051620022@email.kmutnb.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพสำหรับตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการระหว่างแผนภูมิควบคุม EWMA (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) แผนภูมิควบคุม HWMA (Homogeneously Weighted Moving Average) แผนภูมิควบคุม DHWMA (Double Homogeneously Weighted Moving Average) และแผนภูมิควบคุม HHWMA (Hybrid Homogeneously Weighted Moving Average) กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง ประสิทธิภาพในการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการของแผนภูมิควบคุมวัดจากค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) กำหนดให้ค่าความยาวรันเฉลี่ย เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม ( $ARL_0$ ) เท่ากับ 370 การประมาณค่า ARL ได้จากวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล จำลองซ้ำ 10,000 รอบ และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10,000 ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม HHWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับกระบวนการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA HWMA และ DHWMA

**คำสำคัญ:** แผนภูมิควบคุม EWMA, แผนภูมิควบคุม HWMA, แผนภูมิควบคุม DHWMA, แผนภูมิควบคุม HHWMA, ค่าความยาวรันเฉลี่ย

### Abstract

The objective of this research was to compare the performance of the exponentially weighted moving average Control Charts (EWMA) Homogeneously Weighted Moving Average Control Charts (HWMA) Double Homogeneously Weighted Moving Average Control Charts (DHWMA) and Hybrid Homogeneously Weighted Moving Average Control Charts (HHWMA) for exponential distribution, measure by the Average Run Length (ARL). The in control Average Run Length ( $ARL_0$ ) is given to 370. In order to approximate ARL, the Monte Carlo simulation method is used with 10,000 replicating and sample sizes ( $n$ ) were 10,000 and the numerical results reveal that HHWMA control chart performs better than EWMA HWMA DHWMA control chart.

**Keywords:** EWMA Control Charts, HWMA Control Charts, DHWMA Control Charts, HHWMA Control Charts, Monte Carlo simulation, Average Run Length

### 1. บทนำ

การควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) เป็นกระบวนการทางสถิติที่สามารถตรวจติดตามการทำงานของกระบวนการผลิตที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งช่วยให้องค์กรสามารถลดความผันแปรของกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ โดยที่แผนภูมิควบคุมจะให้สัญญาณเมื่อกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุมเพื่อที่จะสามารถดำเนินการแก้ไขสิ่งที่เกิดขึ้น เพื่อจัดการสาเหตุที่ระบุได้อย่างทันที่ การควบคุมกระบวนการเชิง

สถิติสามารถใช้แก้ปัญหาด้านการควบคุมคุณภาพ การพัฒนาคุณภาพ และเป็นเครื่องมือที่แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตกำลังดำเนินไปในลักษณะใด มีความผันแปรเกิดขึ้นมากจนอยู่นอกการควบคุมหรือไม่ หากนำมาใช้ควบคุมการผลิตอย่างสม่ำเสมอจะเป็นการป้องกันปัญหาด้านคุณภาพได้อย่างดี ทั้งนี้วิธีการหรือเครื่องมือทางสถิติที่จะนำมาใช้เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตมี 6 เครื่องมือหลัก ได้แก่ แผนภูมิตรวจสอบฮิสโตแกรม แผนภาพพารेटโต แผนภาพก้างปลา หรือแผนภาพเหตุและผล แผนภาพการกระจาย และแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุม EWMA (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) เสนอโดย Roberts (1959) เป็นแผนภูมิประเภทที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ซึ่งผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม EWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเล็กน้อยถึงปานกลางได้ดี ต่อมาในปี ค.ศ. 2020 Abid et al. ได้เสนอแผนภูมิควบคุมใหม่โดยนำแนวคิดของแผนภูมิควบคุมใหม่ โดยนำแนวคิดของแผนภูมิควบคุม DEWMA (Double Exponentially Weighted Moving Average) มาใช้กับแผนภูมิควบคุม HWMA (Homogeneously Weighted Moving Average) ทำให้แผนภูมิควบคุมนี้มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กและปานกลางได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม HWMA และให้ข้อโดยพิจารณาค่าเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่นอกการควบคุม พบว่าแผนภูมิควบคุม DHWMA มีประสิทธิภาพการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีที่สุด ต่อมา Adeoti และ Koleoso ได้เสนอแผนภูมิควบคุม HHWMA (Hybrid Homogeneously Weighted Moving Average) โดยมีพบว่าแผนภูมิควบคุม HHWMA มีประสิทธิภาพมากกว่าและมีคุณสมบัติที่น่าสนใจมากเมื่อเทียบกับแผนภูมิ EWMA และ HWMA

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผนภูมิ EWMA (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) แผนภูมิควบคุม HWMA (Homogeneously Weighted Moving Average) แผนภูมิควบคุม DHWMA (Double Homogeneously Weighted Moving Average) และแผนภูมิควบคุม HHWMA (Hybrid Homogeneously Weighted Moving Average) เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลังสำหรับการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการ โดยการจำลองข้อมูลแบบมอนติคาร์โล โดยประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจะถูกวัดโดยค่าความยาวรันเฉลี่ย (ARL) และกำหนดค่าความยาวรันเฉลี่ย เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (ARL<sub>0</sub>) โดยมีค่าเท่ากับ 370 โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพ คือ ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม (ARL<sub>1</sub>)

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง

การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (Exponential Distribution) เป็นการแจกแจงที่เป็นแบบสุ่ม ในช่วงระยะเวลาที่รอคอยจนกว่าจะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจเกิดขึ้นเป็นครั้งแรก กำหนดให้  $X$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องที่มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลังที่มี  $\beta$  เป็นพารามิเตอร์ ซึ่งฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง ดังสมการที่ (1)

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

เมื่อ  $X$  แทน เวลาที่รอคอยจนกระทั่งเกิดเหตุการณ์ที่สนใจขึ้น  
 $\beta$  แทน เวลาเฉลี่ยที่รอคอยจนกระทั่งเกิดเหตุการณ์

### 2.2 แผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีแผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักด้วยเลขชี้กำลัง (EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเหมือนกัน (HWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเหมือนกันซ้ำสองครั้ง (DHWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบไฮบริดฮิวมา (HHWMA) ซึ่งในงานวิจัยได้ศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการของแผนภูมิควบคุม EWMA, HWMA, DHWMA และ HHWMA ดังนี้

#### 2.2.1 แผนภูมิควบคุม EWMA

เป็นแผนภูมิที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลในอดีตและปัจจุบันที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมชีวฮาร์ท โดยมีค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม EWMA ดังสมการที่ (2)

$$Z_t = \lambda X_t + (1-\lambda) Z_{t-1} ; t = 1, 2, \dots \quad (2)$$

เมื่อ  $Z_t$  แทน ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม EWMA ณ เวลาที่  $t$   
 $\lambda$  แทน ค่าพารามิเตอร์การปรับให้เรียบ

$X_t$  แทน ค่าสังเกต ณ เวลาที่  $t$

$Z_{t-1}$  แทน ค่าเริ่มต้นของค่าสถิติ EWMA

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม EWMA เป็นดังนี้

$$\text{ขีดจำกัดควบคุมบน} : UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)}$$

$$\text{ขีดจำกัดควบคุมล่าง} : LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)}$$

เมื่อ  $\mu_0$  แทน ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

$L_1$  แทน ความกว้างขีดจำกัดควบคุมสำหรับ EWMA

$\lambda$  แทน ค่าพารามิเตอร์การปรับให้เรียบ

$\sigma$  แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

#### 2.2.2 แผนภูมิควบคุม HWMA

เป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA โดยมีค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม HWMA ดังสมการที่ (3)

$$H_t = \lambda X_t + (1-\lambda) H_{t-1} ; t = 1, 2, \dots \quad (3)$$

เมื่อ  $H_t$  แทน ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม HWMA

$\lambda$  แทน ค่าพารามิเตอร์การปรับให้เรียบ

$X_t$  แทน ค่าสังเกต ณ เวลาที่  $t$

$H_{t-1}$  แทน ค่าเริ่มต้นของค่าสถิติ HWMA

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม HWMA เป็นดังนี้

$$\text{ขีดจำกัดควบคุมบน} : UCL = \mu_0 + L\sqrt{\text{Var}(H_t)}$$

$$\text{ขีดจำกัดควบคุมล่าง} : LCL = \mu_0 - L\sqrt{\text{Var}(H_t)}$$

เมื่อ  $\mu_0$  แทน ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

$L_2$  แทน ความกว้างขีดจำกัดควบคุมสำหรับ HWMA

$\lambda$  แทน ค่าพารามิเตอร์การปรับให้เรียบ

$\sigma$  แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

#### 2.2.3 แผนภูมิควบคุม DHWMA

เป็นแผนภูมิควบคุมที่นำแผนภูมิควบคุม DEWMA รวมกับแผนภูมิควบคุม HWMA โดยมีค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม DHWMA ดังสมการที่ (4)

$$DH_t = \lambda H_t + (1 - \lambda)DH_{t-1} ; t = 1, 2, \dots \quad (4)$$

$$H_t = \lambda X_t + (1 - \lambda)H_{t-1}$$

เมื่อ  $DH_t$  แทน ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม DHWMA

$\lambda$  แทน ค่าพารามิเตอร์การปรับให้เรียบ

$X_t$  แทน ค่าสังเกต ณ เวลาที่  $t$

$DH_{t-1}$  แทน ค่าเริ่มต้นของค่าสถิติ DHWMA

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม DHWMA เป็นดังนี้

$$\text{ขีดจำกัดควบคุมบน} : UCL = \mu_0 + L\sqrt{\text{Var}(DH_t)}$$

$$\text{ขีดจำกัดควบคุมล่าง} : LCL = \mu_0 - L\sqrt{\text{Var}(DH_t)}$$

เมื่อ  $\mu_0$  แทน ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

$L_3$  แทน ความกว้างขีดจำกัดควบคุมสำหรับ DHWMA

$\lambda$  แทน ค่าพารามิเตอร์การปรับให้เรียบ

$\sigma$  แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

#### 2.2.4 แผนภูมิควบคุม HHWMA

เป็นแผนภูมิควบคุมที่นำแผนภูมิควบคุม HWMA มาทำซ้ำสองครั้ง โดยมีค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม HHWMA ดังสมการที่ (5)

$$HH_t = \lambda_2 H_t + (1 - \lambda_2)HH_{t-1} ; t = 1, 2, \dots \quad (5)$$

$$H_t = \lambda_1 X_t + (1 - \lambda_1)H_{t-1}$$

เมื่อ  $HH_t$  แทน ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม HHWMA

$\lambda_1$  แทน ค่าพารามิเตอร์การปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม HWMA

$\lambda_2$  แทน ค่าพารามิเตอร์การปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม HHWMA

$X_t$  แทน ค่าสังเกต ณ เวลาที่  $t$

$HH_{t-1}$  แทน ค่าเริ่มต้นของค่าสถิติ HHWMA

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม HHWMA เป็นดังนี้

$$\text{ขีดจำกัดควบคุมบน} : UCL = \mu_0 + L\sqrt{\text{Var}(HH_t)}$$

$$\text{ขีดจำกัดควบคุมล่าง} : LCL = \mu_0 - L\sqrt{\text{Var}(HH_t)}$$

เมื่อ  $\mu_0$  แทน ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

$L_4$  แทน ความกว้างขีดจำกัดควบคุมสำหรับ HHWMA

$\lambda$  แทน ค่าพารามิเตอร์การปรับให้เรียบ

$\sigma$  แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

#### 2.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพ

เกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EWMA, HWMA, DHWMA และ HHWMA คือ ค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวรัน (Standard Deviation of Length: SDRL) มีรายละเอียดดังนี้

##### 2.3.1 ค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length: ARL)

ค่าความยาวรันเฉลี่ย (ARL) คือจำนวนค่าสังเกตที่ตกนอกขีดจำกัดควบคุมก่อนที่กระบวนการจะส่งสัญญาณการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรก สามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

1. ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการผลิตอยู่ภายใต้ควบคุม (In-Control Process) สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย  $ARL_0$  ดังสมการที่ (6)

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha_0} \quad (6)$$

เมื่อ  $\alpha_0$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่พบว่ากระบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุม เมื่อกระบวนการไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยในกระบวนการ

2. ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการผลิตไม่อยู่ภายใต้ควบคุม (Out-of-Control Process) สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย  $ARL_1$  ดังสมการที่ (7)

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \alpha_1} \quad (7)$$

เมื่อ  $\alpha_1$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2 หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่พบว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยในกระบวนการ

โดยงานวิจัยนี้ประมาณค่า ARL จากวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) ดังนั้นเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม คือ ค่า ARL ดังสมการที่ (8)

$$ARL = \frac{\sum_{i=1}^M RL_i}{M} \quad (8)$$

เมื่อ  $RL_i$  แทน จำนวนครั้งการสุ่มตัวอย่างก่อนที่จะพบว่ากระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม

$M$  แทน จำนวนรอบในการทำซ้ำ

และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวรัน (Standard Deviation of Length: SDRL) ดังสมการที่ (9)

$$SDRL = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (RL_i - ARL)^2}{M - 1}} \quad (9)$$

เมื่อ  $RL_i$  แทน จำนวนครั้งการสุ่มตัวอย่างก่อนที่จะพบว่ากระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม

$M$  แทน จำนวนรอบในการทำซ้ำ

### 3. ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EWMA, HWMA, DHWMA และ HHWMA ในการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เกณฑ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพคือ ค่า  $ARL_1$  ซึ่งหาได้จากวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โลเมื่อกำหนดค่าต่าง ๆ ได้แก่

- กำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยกระบวนการ ( $\delta$ ) เท่ากับ 0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10 และ 0.20
- กำหนดขนาดตัวอย่าง ( $n$ ) เท่ากับ 10,000
- กำหนดค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก ( $\lambda$ ) เท่ากับ 0.01, 0.05, 0.25 และ 0.5

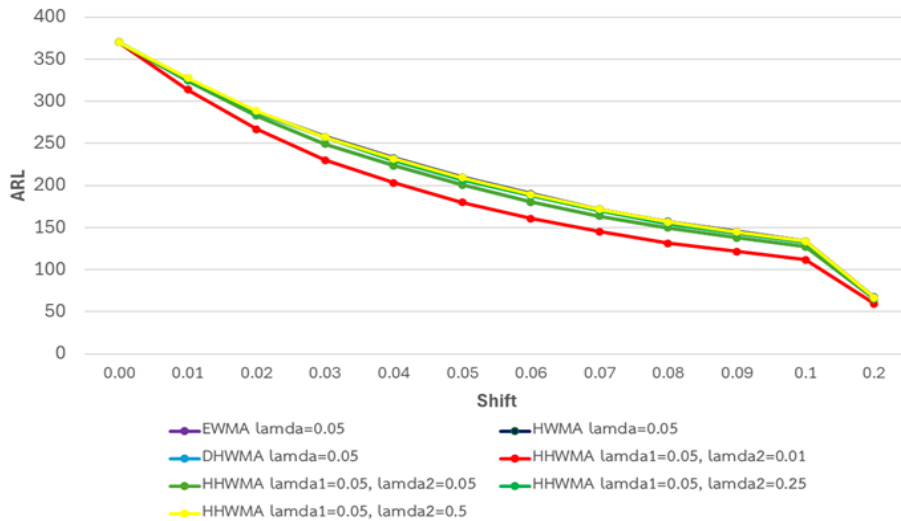
- กำหนดค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่นอกใต้การควบคุม (ARL<sub>0</sub>) มีเท่ากับ 370
- จำนวนรอบของการจำลองซ้ำ (M) เท่ากับ 10,000 รอบ

โดยการแจกแจงที่ใช้ในการศึกษางานวิจัย คือ การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง โดยแสดงข้อมูลตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1: การเปรียบเทียบค่า ARL ของแผนภูมิควบคุม EWMA HWMA DHWMA และ HHWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง กรณี  $\lambda_1 = 0.05, \lambda_2 \in \{0.01, 0.05, 0.25, 0.5\}$   $n = 10,000$  และ  $ARL_0 = 370$

Shift ( $\delta$ )		EWMA	HWMA	DHWMA	HHWMA			
		$\lambda_1 = 0.05$	$\lambda_1 = 0.05$	$\lambda_1 = 0.05$	$\lambda_1 = 0.05$			
		L=1.3830	L=1.3830	L=1.1638	$\lambda_2 = 0.01$	$\lambda_2 = 0.05$	$\lambda_2 = 0.25$	$\lambda_2 = 0.5$
0.00	ARL	370.2218	370.2218	370.1542	370.0863	370.1542	370.2627	370.1287
	SDRL	3.6309	3.6309	3.5373	3.8615	3.5373	3.6153	3.6331
0.01	ARL	326.9843	326.9843	324.4368	313.8507*	324.4368	325.4769	327.6597
	SDRL	3.2040	3.2040	3.1017	3.2114	3.1017	3.1432	3.1928
0.02	ARL	287.2627	287.2627	282.9218	266.6532*	282.9218	286.3517	288.4399
	SDRL	2.7912	2.7912	2.6852	2.7118	2.6852	2.7484	2.7958
0.03	ARL	257.7575	257.7575	249.4399	229.9650*	249.4399	257.2001	257.3057
	SDRL	2.4964	2.4964	2.3681	2.2877	2.3681	2.4628	2.4740
0.04	ARL	232.7371	232.7371	223.7078	203.2615*	223.7078	229.5570	231.9066
	SDRL	2.2427	2.2427	2.1126	1.9786	2.1126	2.2173	2.2216
0.05	ARL	209.7847	209.7847	200.7149	179.7339*	200.7149	206.8069	209.3300
	SDRL	2.01661	2.01661	1.8739	1.7355	1.8739	1.9883	2.0146
0.06	ARL	189.9850	189.9850	180.1772	160.7223*	180.1772	187.7634	189.2822
	SDRL	1.8284	1.8284	1.6758	1.5147	1.6758	1.7890	1.8288
0.07	ARL	171.7752	171.7752	163.4518	145.4097*	163.4518	169.8046	171.6726
	SDRL	1.6623	1.6623	1.4906	1.3362	1.4906	1.6050	1.6518
0.08	ARL	156.9247	156.9247	149.5923	131.5618*	149.5923	154.8204	156.4718
	SDRL	1.5161	1.5161	1.3521	1.1767	1.3521	1.4599	1.4881
0.09	ARL	145.1644	145.1644	137.7528	121.4618*	137.7528	143.0561	144.7760
	SDRL	1.3906	1.3906	1.2287	1.0755	1.2287	1.3395	1.3645
0.1	ARL	133.9476	133.9476	127.1376	111.8056*	127.1376	132.7177	133.9568
	SDRL	1.2674	1.2674	1.1171	0.9604	1.1171	1.2279	1.2485
0.2	ARL	67.1583	67.1583	65.0990	59.6812*	65.0990	66.7719	67.0936
	SDRL	0.5997	0.5997	0.5046	0.4198	0.5046	0.5740	0.5860
	EARL	212.4753	212.4753	206.2155	191.1828*	206.2155	210.8825	212.3353
	ESDRL	2.0539	2.0539	1.9206	1.8558	1.9206	2.0142	2.0416

\* ค่า ARL<sub>1</sub> ที่มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละขนาดการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 1: การเปรียบเทียบค่า ARL<sub>1</sub> ของแผนภูมิควบคุม EWMA HWMA DHWMA และ HHWMA

จากตารางที่ 1 พบว่าในการเปรียบเทียบค่าความยาวรันเฉลี่ย ARL<sub>1</sub> เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง กรณี  $\lambda_1 = 0.05, \lambda_2 \in \{0.01, 0.05, 0.25, 0.5\}$   $n = 10,000$  และ  $ARL_0 = 370$  ว่าค่า ARL<sub>1</sub> ที่ต่ำที่สุด ที่แผนภูมิควบคุม HHWMA ที่มี ( $\lambda_1 = 0.05, \lambda_2 = 0.01$ ) มีประสิทธิภาพในการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีกว่าแผนภูมิควบคุม

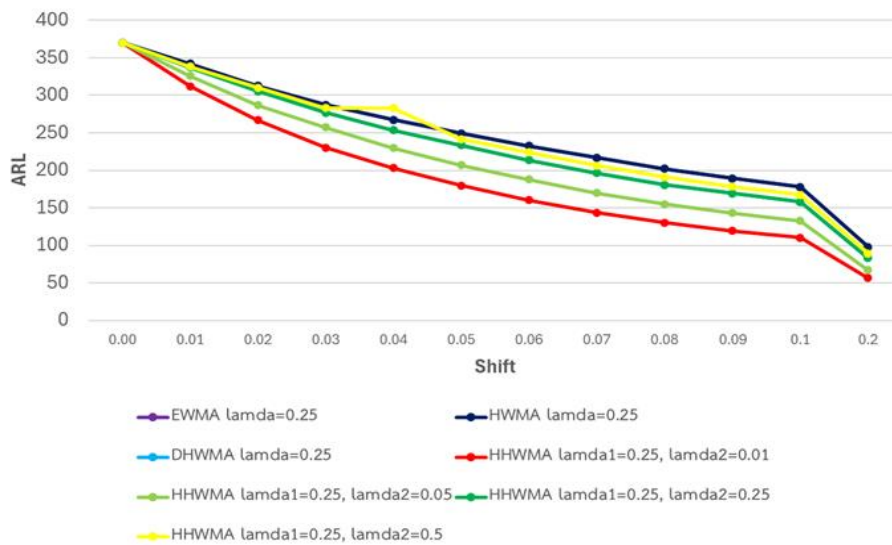
EWMA HWMA DHWMA ในทุกระดับการเปลี่ยนแปลง ( $\delta$ ) และจากภาพที่ 1 พบว่าในส่วนของ ARL<sub>1</sub> สำหรับระดับ การเปลี่ยนแปลง ( $\delta$ ) ที่มีขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ ดังนั้นแผนภูมิควบคุม HHWMA ที่มี ( $\lambda_1 = 0.05, \lambda_2 = 0.01$ ) (เส้นสีแดง) มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA HWMA และ DHWMA

ตารางที่ 2: การเปรียบเทียบค่า ARL ของแผนภูมิควบคุม EWMA HWMA DHWMA และ HHWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง กรณี  $\lambda_1 = 0.25, \lambda_2 \in \{0.01, 0.05, 0.25, 0.5\}$   $n = 10,000$  และ  $ARL_0 = 370$

Shift ( $\delta$ )		EWMA	HWMA	DHWMA	HHWMA			
		$\lambda_1 = 0.25$	$\lambda_1 = 0.25$	$\lambda_1 = 0.25$	$\lambda_1 = 0.25$			
		L=2.3958	L=2.3958	L=1.7322	$\lambda_2 = 0.01$	$\lambda_2 = 0.05$	$\lambda_2 = 0.25$	$\lambda_2 = 0.5$
0.00	ARL	370.0544	370.0544	370.0544	370.0367	370.2627	370.0544	370.1023
	SDRL	3.7062	3.7062	3.6123	3.8827	3.6153	3.6123	3.6744
0.01	ARL	341.9001	341.9001	337.4424	312.1095*	325.6847	337.4424	338.2802
	SDRL	3.3989	3.3989	3.2998	3.2585	3.1443	3.2998	3.3351
0.02	ARL	312.7339	312.7339	305.5003	266.9747*	286.7988	305.5003	310.2047
	SDRL	3.1061	3.1061	2.9746	2.7591	2.7503	2.9746	3.0527
0.03	ARL	287.1898	287.1898	276.8477	230.3965*	257.5761	276.8477	282.8075
	SDRL	2.8373	2.8373	2.7066	2.3310	2.4677	2.7066	2.7776
0.04	ARL	267.1964	267.1964	253.7214	203.2210*	229.8083	253.7214	282.8075
	SDRL	2.6545	2.6545	2.4781	2.0253	2.2181	2.4781	2.7776
0.05	ARL	249.2318	249.2318	233.7881	179.5620*	206.9397	233.7881	241.6257
	SDRL	2.4700	2.4700	2.2664	1.7650	1.9918	2.2665	2.3737
0.06	ARL	232.6824	232.6824	213.5718	160.1421*	187.8588	213.5718	224.1080
	SDRL	2.3072	2.3072	2.0682	1.5420	1.7894	2.0682	2.2009
0.07	ARL	216.6938	216.6938	196.3171	143.7639*	169.9026	196.3171	206.6490
	SDRL	2.1465	2.1465	1.9035	1.37086	1.6066	1.9035	2.0297
0.08	ARL	202.3626	202.3626	180.6958	130.1170*	154.9222	180.6958	191.3335
	SDRL	1.9950	1.9950	1.7654	1.2135	1.4604	1.7654	1.8833
0.09	ARL	189.2067	189.2067	169.4460	119.2636*	143.1485	169.4460	178.5512
	SDRL	1.8654	1.8654	1.6636	1.0946	1.3402	1.6636	1.7649

ตารางที่ 2: (ต่อ)

Shift ( $\delta$ )	EWMA	HWMA	DHWMA	HHWMA				
	$\lambda_1 = 0.25$	$\lambda_1 = 0.25$	$\lambda_1 = 0.25$	$\lambda_1 = 0.25$				
	L=2.3958	L=2.3958	L=1.7322	$\lambda_2 = 0.01$	$\lambda_2 = 0.05$	$\lambda_2 = 0.25$	$\lambda_2 = 0.5$	
0.1	ARL	177.9921	177.9921	158.0135	110.2311*	132.8079	158.0135	167.5786
	SDRL	1.7720	1.7720	1.5401	1.0007	1.2283	1.5401	1.6592
0.2	ARL	97.8662	97.8662	83.1346	56.3327*	66.8277	83.1346	89.4425
	SDRL	0.9604	0.9604	0.7999	0.4375	0.5746	0.7999	0.8732
	EARL	245.4259	245.4259	231.5444	190.1792*	211.0448	231.5444	240.2909
	ESDRL	2.4350	2.4350	2.2565	1.8901	2.0156	2.2566	2.3669



ภาพที่ 2: การเปรียบเทียบค่า ARL<sub>1</sub> ของแผนภูมิควบคุม EWMA HWMA DHWMA และ HHWMA

จากตารางที่ 2 พบว่าในการเปรียบเทียบค่าความยาวรันเฉลี่ย ARL<sub>1</sub> เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลังกรณี  $\lambda_1 = 0.25, \lambda_2 \in \{0.01, 0.05, 0.25, 0.5\}$   $n = 10,000$  และ  $ARL_0 = 370$  ว่าค่าที่ดีที่สุด ที่แผนภูมิควบคุม HHWMA ที่มี ( $\lambda_1 = 0.25, \lambda_2 = 0.01$ ) มีประสิทธิภาพในการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA HWMA DHWMA ในทุกระดับการเปลี่ยนแปลง ( $\delta$ ) และจากภาพที่ 2 พบว่าในส่วนของ ARL<sub>1</sub> สำหรับระดับการเปลี่ยนแปลง ( $\delta$ ) ที่มีขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ ดังนั้นแผนภูมิควบคุม HHWMA ที่มี ( $\lambda_1 = 0.25, \lambda_2 = 0.01$ ) (เส้นสีแดง) มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA HWMA และ DHWMA

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EWMA HWMA DHWMA และ HHWMA สำหรับตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการกรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง โดยกำหนดให้ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (ARL<sub>0</sub>) เท่ากับ 370 เกณฑ์ที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแผนภูมิ

ควบคุม คือ ความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม (ARL<sub>1</sub>) จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม พบว่าแผนภูมิควบคุม HHWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA HWMA และ DHWMA สำหรับทุกระดับขนาดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้สามารถนำแผนภูมิควบคุมในงานวิจัยครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้กับการแจกแจงอื่น เช่น การแจกแจงแบบแกมมา, การแจกแจงแบบลือกอนออลมัล เป็นต้น และสามารถศึกษาในกรณี ARL<sub>0</sub> ที่ค่าอื่น นอกเหนือจากที่ทำการวิจัย เช่น 250, 500 เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากศาสตราจารย์ ดร. ยุพาภรณ์ อารีพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานพิเศษที่กรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนการตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างคณาตลอด จนกระทั่งโครงการงานพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ

คณาจารย์ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือทุกท่านที่ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่คณะผู้วิจัยให้ได้ความรู้ ประสบการณ์ทางด้านสถิติอันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยจนสำเร็จ การศึกษา

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Roberts S.W. Control chart tests based on geometric moving averages. *Technometrics*. 1959; 1(3):239–250.
- [2] Abid M, Shabbir A, Nazir H. Z, Sherwani R.A.K., Riaz M. A double homogeneously weighted moving average controlchart for monitoring of the process mean. *Quality and Reliability. EngineeringInternational*. 2020; 36(5):1513-1527.
- [3] Chumpuworm O. and Paichit P. Efficiency Comparison of DHWMA, TEWMA, and DMEWMA Control Charts for Gamma Distribution. *The Journal of Applied Science*. 2022; 21(2):3-6.
- [4] Abbas N. Homogeneously weighted moving average control chart with an application in substrate manufacturing process. *Comput Ind Eng*.2018; 120:460
- [5] Adeoti OA, Koleoso SO. A hybrid homogeneously weighted moving average control chart for process monitoring. *Qual Reliab Eng Int*.2020; 36(6):2170-2186.
- [6] Malela-Majika J-C, Shongwe SC, Adeoti OA. A hybrid homogeneously weighted moving average control chart for process monitoring: Discussion. *Qual Reliab Eng Int*. 2021;1–9.