การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจุดตำหนิ

นางสาวอัจจนา จันทร์โกมุท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-3371-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON ON THE EFFICIENCY OF NONCONFORMING CONTROL CHARTS

Miss Achana Junkomut

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Statistics
Department of Statistics
Faculty of Commerce and Accountancy
Chulalongkorn University
Academic Year 2005

ISBN 974-14-3371-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจุดตำหนิ
โดย	นางสาวอัจจนา จันทร์โกมุท
สาขาวิชา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดนุชา คุณพนิชกิจ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล ดุรงค์วัฒนา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วัชราภรณ์ สุริยาภิวัฒน์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัจจนา จันทร์โกมุท : การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจุดตำหนิ
(A COMPARISON ON THE EFFICIENCY OF NONCONFORMING CONTROL CHARTS)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ร.อ.มานพ วราภักดิ์, 94 หน้า. ISBN 974-14-3371-9.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ ได้แก่ แผนภูมิซี แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ-โพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ-โพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง โดยวิธีการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมดังกล่าว โดยที่ค่า ARL ของแผนภูมิชนิดใดต่ำที่สุด แสดงว่าแผนภูมินั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดจุดตำหนิโดยเฉลี่ยที่ต้องการควบคุม (μ_0) คือ 1, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 15, 20, 25 และกำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิเพิ่มขึ้นเมื่อกระบวนการผิดปกติ 1%, 5%, 10%, 11%, 15%, 20%, 21%, 25%, 30%, 35%, 40% ค่า ARL ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ซึ่งทำการจำลองซ้ำ 1,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์ของการทดลอง

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1% - 10% เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1 - 25 แผนภูมิ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 11% - 20% เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8 - 25 แผนภูมิ PEWMA และ แผนภูมิ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 21% - 40% เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3 - 25 แผนภูมิ PEWMA และ แผนภูมิ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

แผนภูมิทั้ง 4 แบบจะมีค่า ARL น้อยลง เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ได้ค่าสอดคล้องกับค่า ARL กล่าวคือค่าความน่าจะเป็น จะมีค่าสูงขณะที่ ARL มีค่าต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....สถิติ.....
สาขาวิชา.....สถิติ.....
ปีการศึกษา....2548.....

ลายมือชื่อนิสิต.....อัจจนา จันทร์โกมุท.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4682518026 : MAJOR STATISTICS

KEY WORD : CONTROL CHART / NONCONFORMING / ARL

ACHANA JUNKOMUT : A COMPARISON ON THE EFFICIENCY OF NONCONFORMING CONTROL CHARTS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CAPT. MANOP VARAPHAKDI, M.S.94 pp. ISBN 974-14-3371-9.

The objective of this research is to compare the efficiency of the following four control charts: c Chart, Poisson Moving Average Control Chart (PMA), Poisson Exponentially Weighted Moving Average Control Chart (PEWMA) and Poisson Double Exponentially Weighted Moving Average Control Chart (PDEWMA). The efficiency of each chart is measured by its average run lengths (ARL). The chart having the smallest ARL is considered to be the best. In this study, the fixed average nonconforming points (μ_0) consists of 1, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 15, 20, 25 and shifts of the nonconforming points are 1%, 5%, 10%, 11%, 15%, 20%, 21%, 25%, 30%, 35% and 40%, respectively. The average run lengths are obtained by using the Monte Carlo simulation method and the simulation is repeated 1,000 times in each situation.

The results of this research can be concluded as follows:

The average nonconforming point is increased 1%-10% and the average nonconforming points 1 – 25, PDEWMA control chart is the best efficiency.

The average nonconforming point is increased 11%-20% and the average nonconforming points 8 – 25, PEWMA and PDEWMA control charts are the same efficiency.

The average nonconforming point is increased 21%-40% and the average nonconforming points 3 - 25, PEWMA and PDEWMA control charts are the same efficiency.

The four control charts give less ARL when the average nonconforming point is increased.

Under this research, the results of the probability of the out – control sample mean shift, are the same as the ARL. That is, the most probability of the out – control sample mean shift at the least ARL.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Statistics.....

Field of study..... Statistics.....

Academic year .....2005.....

Student's signature.....

Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความเอาใจใส่จาก รองศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยดีตลอดมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล ดุรงค์วัฒนา ในฐานะประธานสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ วัชราภรณ์ สุริยาภิวัฒน์ในฐานะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณคุณครู อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย นอกจากนี้ยังได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ช่วยส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสทางการศึกษาเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆนิสิตปริญญาโท สาขาสถิติทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 สมมติฐานการวิจัย..... 4

1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 4

1.5 เกณฑ์ในการตัดสินใจ..... 5

1.6 คำจำกัดความ..... 5

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6

บทที่ 2 ทฤษฎีและสถิติที่ใช้ในการวิจัย..... 7

2.1 การแจกแจงแบบปัวส์ซอง..... 7

2.2 แผนภูมิควบคุมซี 8

2.3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง..... 9

2.4 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล กับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง..... 11

2.5 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้ง กับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง..... 13

2.6 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย..... 15

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 16
3.1 การวางแผนการทดลอง..... 16
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 17
3.3 สร้างข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย..... 23

บทที่ 4 ผลการวิจัย..... 25
4.1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม..... 26
4.2 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม..... 50
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL..... 51
4.4 ผลการวิเคราะห์อำนาจการทดสอบ..... 66

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 77
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 77
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 79
รายการอ้างอิง..... 80
ภาคผนวก..... 81
ภาคผนวก ก..... 82
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 94

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

4.1 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิซี..... 27

4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ย$100\theta\%$..... 29

4.3 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1%-10%..... 30

4.4 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 11%-25%..... 31

4.5 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 30%-40%..... 32

4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PEWMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ย$100\theta\%$....34

4.7 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PEWMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1%..... 35

4.8 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PEWMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5%..... 38

4.9 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PEWMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10%-40%..... 41

4.10 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PDEWMA จำแนกตามจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ย$100\theta\%$..... 45

4.11 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PDEWMA จำแนกตามจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1%-40%..... 46

4.12 แสดงค่า ARLเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมของแผนภูมิซี จำแนกตามจุดตำหนิโดยเฉลี่ย..... 50

4.13 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 1$ และระดับการเปลี่ยนแปลง$100\theta\%$ของ μ_0 51

4.14 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 3$ และระดับการเปลี่ยนแปลง$100\theta\%$ของ μ_0 52

4.15 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 5$ และระดับการเปลี่ยนแปลง$100\theta\%$ของ μ_0 53

4.16 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 6$ และระดับการเปลี่ยนแปลง$100\theta\%$ของ μ_0 54

ตาราง หน้า

4.17 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 8$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 55
4.18 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 10$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 56
4.19 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 11$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 57
4.20 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 15$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 58
4.21 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 20$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 59
4.22 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 25$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 60
4.23 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 1$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 67
4.24 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 3$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 68
4.25 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 5$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 69
4.26 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 6$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 70
4.27 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 8$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 71
4.28 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 10$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 72
4.29 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 11$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 73
4.30 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 15$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 74
4.31 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 20$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 75
4.32 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 25$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 76

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

3.1 แผนผังแสดงวิธีการหาจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมเมื่อกระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม..... 22

3.2 แผนผังแสดงวิธีการหาความน่าจะเป็นที่จำนวนจุดตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมเมื่อกระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม..... 24

4.1 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1..... 61

4.2 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3..... 61

4.3 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5..... 62

4.4 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6..... 62

4.5 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8..... 63

4.6 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10..... 63

4.7 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 11..... 64

4.8 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 15..... 64

4.9 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 20..... 65

4.10 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25..... 65

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในวงการอุตสาหกรรมมีการแข่งขันทางธุรกิจเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีและมีคุณภาพ ดังนั้น กระบวนการผลิตและกระบวนการบริหารจึงต้องการคุณภาพของสินค้าและการบริการที่ได้มาตรฐาน

การใช้เทคนิคการควบคุมคุณภาพให้เหมาะสมเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์และการดำเนินงานได้มาตรฐาน เพื่อคงสภาพที่ดีของกระบวนการให้อยู่ในการควบคุม โดยผู้ที่ริเริ่มคิดค้นวิธีการควบคุมคุณภาพคือ ชิวฮาร์ท ในปี ค.ศ.1924 (W.A Shewhart 1924) ได้คิดค้นวิธีการตรวจวัดด้วยแผนภูมิควบคุมคุณภาพซึ่งแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆตามลักษณะของข้อมูลที่ใช้คือ แผนภูมิควบคุมตัวแปร (variable control chart) และแผนภูมิควบคุมคุณลักษณะ (attribute control chart) แผนภูมิควบคุมคุณลักษณะนั้นเป็นแผนภูมิที่นำมาใช้มาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์บางชนิดไม่สามารถทำการวัดค่าตัวแปรเพื่อเป็นเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพได้ ดังนั้นสำหรับการศึกษาครั้งนี้จึงสนใจแผนภูมิควบคุมด้วยคุณลักษณะ

แผนภูมิควบคุมตัวแปรที่รู้จักกันทั่วไป คือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย($\overline{\mathrm{X}}$ chart) แผนภูมิควบคุมส่วนเบี่ยงเบน (S chart) และแผนภูมิควบคุมพิสัย (R chart) ใช้ตรวจวัดลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สามารถวัดค่าได้ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดประเภทนี้จัดเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (quantitative data) เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนัก ปริมาตร ฯลฯ

แผนภูมิควบคุมคุณลักษณะที่รู้จักกันทั่วไป คือ แผนภูมิควบคุมสัดส่วน (p chart) เช่น สัดส่วนของเสีย แผนภูมิควบคุมจำนวน (np chart) เช่นจุดตำหนิหรือของไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยการแจกแจงทวินาม (binomial distribution) หรือแผนภูมิ c chart ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยการแจกแจงปัวส์ซอง (Poisson distribution) เพื่อใช้ตรวจสอบกระบวนการว่าอยู่ในการควบคุมโดยสอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดประเภทนี้จัดเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (qualitative data) เช่น ผลิตภัณฑ์มีลักษณะ เสีย ไม่เสีย หรือ ผ่าน ไม่ผ่าน

แผนภูมิควบคุมคุณภาพจุดตำหนิ ซึ่งอธิบายด้วยการแจกแจงปัวส์ซอง (Poisson distribution) มีลักษณะดังนี้

ให้ X_i แทนจุดตำหนิหรือจุดเสียที่เกิดขึ้นของหน่วยตัวอย่างที่ i

μ คือพารามิเตอร์แทนจุดตำหนิที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยต่อหน่วยตัวอย่าง

โดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นคือ

$$f(x:\mu) = P(X = x) = \frac{e^{-\mu}\mu^{x}}{x!}, \quad x = 0,1,2,... \qquad (1)$$

โดยที่ X มีค่าเฉลี่ย (average) $E(X) = \mu$

และ X มีความแปรปรวน (variance) $Var(X) = \mu$

แผนภูมิควบคุมจุดตำหนิที่นิยมใช้กันมากแผนภูมิหนึ่งคือ แผนภูมิซี (c chart) ด้วยขอบเขต $c \pm 3\sqrt{c}$ ซึ่งแผนภูมินี้จัดอยู่ในกลุ่มแผนภูมิควบคุม Shewhart เป็นการใช้คุณสมบัติการประมาณด้วยการแจกแจงปกติ สร้างขอบเขตควบคุม $\mu \pm 3\sigma$ โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยของกระบวนการ และ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ โดยขอบเขตดังกล่าวมีโอกาสที่จุดตกออกนอกขอบเขตควบคุมร้อยละ 0.27 เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

ต่อมาได้มีผู้คิดค้นและพัฒนาแผนภูมิควบคุมจุดตำหนิอีกมากมาย ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการ และมีความผิดพลาดของการตรวจสอบน้อย เช่น แผนภูมิ Poisson CUSUM (Cumulative Sum Control Chart) แผนภูมิ Poisson EWMA (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง (Poisson Moving Average Control Chart)

ในปี ค.ศ. 1998 Borror C.M. ได้เสนอ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Exponentially Weighted Moving Average Control Chart : Poisson EWMA) โดยทำการเปรียบเทียบกับแผนภูมิชิวฮาร์ตซี (Shewhart c Chart) พบว่า แผนภูมิ Poisson EWMA มีประสิทธิภาพมากกว่า แผนภูมิชิวฮาร์ตซี (Shewhart c Chart)

ในปี ค.ศ. 2002 Zhang L.and Chen G. ได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Double Exponentially Weighted Moving Average Control Chart : Poisson DEWMA) โดยทำการเปรียบเทียบกับแผนภูมิ Poisson EWMA พบว่าแผนภูมิ Poisson DEWMA มีประสิทธิภาพมากกว่าแผนภูมิ Poisson EWMA

ในปี ค.ศ. 2004 Michael B. C. Khoo ได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง (Poisson Moving Average Control Chart) เนื่องจากแผนภูมิซี (c chart) จะมีประสิทธิภาพ

ต่ำในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่มีขนาดเล็กและได้ทำการเปรียบเทียบกับแผนภูมิซี (c chart) พบว่า แผนภูมิควบคุม Poisson Moving Average จะสามารถตรวจสอบการอยู่นอกการควบคุมได้เร็วกว่า แผนภูมิ c และในขณะเดียวกันก็ยังรักษาจำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ที่ยาวซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุม

แผนภูมิควบคุมคุณภาพมีหลากหลายประเภทให้พิจารณาเลือกใช้ เพื่อให้เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์ ซึ่งความสามารถในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุมจุดตำหนิขึ้นอยู่กับจุดตำหนิโดยเฉลี่ย ($\mu = \mu_0$) และอัตราการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ย (μ_1) จึงกำหนดสถานการณ์ต่างๆ ขึ้นเพื่อตรวจสอบความสามารถในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุม และแผนภูมิที่น่าสนใจนำมาศึกษาในครั้งนี้ซึ่งยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพพร้อมกัน คือ

1. แผนภูมิซี (c Chart) : เป็นแผนภูมิพื้นฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุม
2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง (Poisson Moving Average Control Chart)
3. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Exponentially Weighted Moving Average Control Chart)
4. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Double Exponentially Weighted Moving Average Control Chart)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุมจุดตำหนิ โดยแผนภูมิควบคุมจุดตำหนิที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบ คือ
   (1) แผนภูมิซี (c Chart) : เป็นแผนภูมิพื้นฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบความสามารถในการตรวจพบกระบวนการออกนอกการควบคุม

(2) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง (Poisson Moving Average Control Chart) ใช้ชื่อย่อว่า แผนภูมิ PMA

(3) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) ใช้ชื่อย่อว่า แผนภูมิ PEWMA

(4) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Double Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) ใช้ชื่อย่อว่า แผนภูมิ PDEWMA

2. เพื่อหาข้อสรุปและสามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมจุดตำหนิได้เหมาะสมตามแต่ละสถานการณ์

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาด้วยสมมติฐานของการวิจัย ดังต่อไปนี้

แผนภูมิ PMA แผนภูมิ PEWMA และแผนภูมิ PDEWMA มีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงจุดตำหนิโดยเฉลี่ยได้เร็วกว่าแผนภูมิซี เมื่อมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ย (μ_1)

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาภายใต้ขอบเขต ดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลที่นำมาศึกษาได้จากการจำลองจากการแจกแจงปัวส์ซองดังสมการที่ (1) กรณีที่กระบวนการอยู่ในการควบคุมและกระบวนการไม่ในอยู่การควบคุม
2. กำหนดจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม μ_0 = 1, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 15, 20, 25
3. กำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิเพิ่มขึ้นเมื่อกระบวนการผิดปกติ

   1%, 5%, 10%, 11%, 15%, 20%, 21%, 25%, 30%, 35% และ 40%

   เพราะฉะนั้น $\theta = 0.01, 0.05, 0.10, \ldots, 0.40$

4. การวิจัยครั้งนี้ทำการจำลองข้อมูลตามสถานการณ์ต่างๆ และใช้เทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โล (monte carlo simulation technique) ในการหาค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิภายใต้สถานการณ์ต่างๆ ซึ่งจะทำการทดลองซ้ำ 1,000 ครั้ง

1.5 เกณฑ์ในการตัดสินใจ

1. ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length: ARL)

ค่าความยาวโดยเฉลี่ย **(Average Run Length: ARL)** คือจำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องการตรวจสอบจนกระทั่งพบการออกนอกการควบคุม เมื่อกระบวนการเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในจุดตำหนิ แผนภูมิควบคุมใดให้ค่า ARL ที่ต่ำที่สุดจะเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยค่า ARL สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$ARL = \frac{1}{k}\sum_{t=1}^{k} RL_t$$

โดยที่ k คือจำนวนครั้งของการทดลอง ในการวิจัยครั้งนี้กำหนด $k = 1{,}000$

RL_t คือจำนวนตัวอย่างที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งว่ากระบวนการออกนอกการควบคุมในการจำลองข้อมูลครั้งที่ t

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

คำจำกัดความในงานวิจัยครั้งนี้ คือ

1. ขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL) คือ ค่าสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการยังอยู่ในการควบคุม

2. ขอบเขตควบคุมบน (Lower Control Limit : LCL) คือ ค่าต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการยังอยู่ในการควบคุม

3. เส้นกลาง (Center Line : CL) คือ เส้นค่าเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม

4. จำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length : ARL) คือจำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบกระบวนการผิดปกติ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในงานวิจัยครั้งนี้ คือ

1. ทำให้ทราบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมแต่ละแบบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ
2. เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้แผนภูมิควบคุณภาพได้อย่างเหมาะสม และมีความสามารถในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุมสูงสุดในแต่ละสถานการณ์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้วยค่าสถิติของจุดตำหนิ (c)
3. เป็นแนวทางในการศึกษาและเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้วยค่าสถิติของจุดตำหนิ (c) อื่นๆ เพื่อพัฒนาแผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้วยค่าสถิติของจุดตำหนิ (c) ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและสถิติที่เกี่ยวข้อง

การควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมิควบคุมจุดตำหนิมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีสำหรับแผนภูมิควบคุมจุดตำหนิที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบในการวิจัยครั้งนี้คือ แผนภูมิซี แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ให้ $X_1, X_2, X_3, \ldots$ แทนค่าวัดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาต่อหนึ่งหน่วย การแบ่งกลุ่มควรให้มีสมาชิกในกลุ่มมีความเหมือนกันมากที่สุด เช่น ผลิตจากคาบเวลาเดียวกัน หรือจากเครื่องจักรตัวเดียวกัน

2.1 การแจกแจงปัวส์ซอง (Poisson Distribution)

จุดตำหนิมีการแจกแจงปัวส์ซองด้วยลักษณะดังนี้

ให้ X_i แทนจุดตำหนิหรือจุดเสียที่เกิดขึ้นของหน่วยตัวอย่างที่ i

μ คือพารามิเตอร์แทนจุดตำหนิหรือจุดเสียที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยต่อหน่วยตัวอย่าง โดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นคือ

$$f(x:\mu) = P(X = x) = \frac{e^{-\mu}\mu^{x}}{x!}, \quad x = 0,1,2,... \tag{2.1}$$

และ X_i มีค่าเฉลี่ย $[E(X)]$ และความแปรปรวน $[V(X)]$ ดังนี้

$$\begin{aligned} E(X) &= \sum_{x=0}^{\infty} x\frac{e^{-\mu}\mu^{x}}{x!} \\ &= e^{-\mu}\sum_{x=1}^{\infty}\frac{\lambda^{x}}{(x-1)!} \\ &= \mu e^{-\mu}\sum_{x=1}^{\infty}\frac{\mu^{x-1}}{(x-1)!} = \mu e^{-\mu}(e^{\mu}) = \mu \end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
E\left(X^2\right) &= \sum_{x=0}^{\infty} x^2 \frac{e^{-\mu}\mu^x}{x!} \\
&= e^{-\mu}\sum_{x=1}^{\infty} \frac{x\mu^x}{(x-1)!} \\
&= \mu e^{-\mu}\sum_{x=1}^{\infty} \frac{x\mu^{x-1}}{(x-1)!} \\
&= \mu e^{-\mu}\sum_{x=1}^{\infty} \frac{1}{(x-1)!}\left(\frac{d\mu^x}{d\mu}\right) \\
&= \mu e^{-\mu}\frac{d}{d\mu}\left[\sum_{x=1}^{\infty} \frac{\mu^x}{(x-1)!}\right] \\
&= \mu e^{-\mu}\frac{d}{d\mu}\left[\mu\sum_{x=1}^{\infty} \frac{\mu^{x-1}}{(x-1)!}\right] \\
&= \mu e^{-\mu}\frac{d}{d\mu}(\mu e^{\mu}) \\
&= \mu e^{-\mu}(\mu e^{\mu} + e^{\mu}) = \mu^2 + \mu
\end{aligned}
$$

เพราะฉะนั้น

$$V(X) = E(X^2) - [E(X)]^2 = \mu$$

2.2 **แผนภูมิซี** (c Chart)

แผนภูมิซี (c chart) เป็นแผนภูมิควบคุมจุดตำหนิที่นิยมใช้กันมากแผนภูมิหนึ่ง ด้วยขอบเขต $c \pm 3\sqrt{c}$ ซึ่งแผนภูมินี้จัดอยู่ในกลุ่มแผนภูมิควบคุม Shewhart เป็นการใช้คุณสมบัติการประมาณด้วยการแจกแจงปกติ สร้างขอบเขตควบคุม $\mu \pm 3\sigma$ โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยของกระบวนการ และ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ โดยขอบเขตดังกล่าวมีโอกาสที่จุดตกออกนอกขอบเขตควบคุมร้อยละ 0.27 เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

ตัวสถิติของแผนภูมิ คือ $X_i \quad i = 1,2,3,...$

โดยที่ X_i คือ จุดตำหนิที่เกิดขึ้นของหน่วยตัวอย่างที่ i

เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม $X_i \sim Poi(\mu_0)$

จะได้ว่า

$$E(X_i) = \mu_0$$
$$Var(X_i) = \mu_0$$

ขอบเขตควบคุมคือ

$$UCL = \mu_0 + 3\sqrt{\mu_0}$$

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - 3\sqrt{\mu_0}$$

ถ้า $LCL < 0$ ให้ $LCL = 0$

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้าค่า X_i ตกอยู่ในนอกขอบเขตการควบคุม จะถือว่ากระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม

2.3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง (Poisson Moving Average Control Chart)

ปี ค.ศ. 2004 Michael B. C. Khoo ได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง (Poisson Moving Average Control Chart) พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่มีขนาดเล็ก ซึ่งมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่มีขนาดเล็กได้อย่างรวดเร็ว

ตัวสถิติของแผนภูมิ คือ M_i ซึ่งมี 2 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1: $i \geq w$

$$M_i = \frac{X_i + X_{i-1} + X_{i-w+1}}{w} = \frac{\sum_{j=i-w+1}^{i} X_j}{w} \quad , \quad i \geq w$$

กรณีที่ 2: $i < w$

$$M_i = \frac{\sum_{j=1}^{i} X_j}{i}$$

โดยที่ j คือ หน่วยตัวอย่างที่ j

w คือ จำนวนหน่วยตัวอย่างย่อยที่นำมาหาค่าเฉลี่ย

M_i คือ ค่าเฉลี่ยของหน่วยตัวอย่างจำนวน i หน่วย

และ M_i มีค่าเฉลี่ย $[E(X)]$ และความแปรปรวน $[V(X)]$ ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$
\begin{aligned}
E(M_i) &= E\left(\frac{1}{w}\sum_{j=i-w+1}^{i} X_j\right) \\
&= \frac{1}{w}E\left(\sum_{j=i-w+1}^{i} X_j\right) \\
&= \frac{1}{w}\sum_{j=i-w+1}^{i} E(X_j) \\
&= \frac{1}{w}(w\mu) \\
&= \mu \\
Var(M_i) &= Var\left(\frac{1}{w}\sum_{j=i-w+1}^{i} X_j\right) \\
&= \frac{1}{w^2}Var\left(\sum_{j=i-w+1}^{i} X_j\right) \\
&= \frac{1}{w^2}\sum_{j=i-w+1}^{i} Var(X_j) \\
&= \frac{1}{w^2}(w\mu) \\
&= \frac{\mu}{w}
\end{aligned}
$$

ขอบเขตควบคุมคือ

กรณีที่ 1: $i \geq w$

$$UCL = \mu_0 + L\sqrt{\frac{\mu_0}{w}}$$

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - L\sqrt{\frac{\mu_0}{w}}$$

กรณีที่ 2: $i < w$

$$UCL = \mu_0 + L\sqrt{\frac{\mu_0}{i}}$$

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - L\sqrt{\frac{\mu_0}{i}}$$

โดยที่ L แทนสัมประสิทธิ์ความกว้างของเขตควบคุม ซึ่งจะเลือกค่า L โดยการจำลองข้อมูลภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า L ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

$$w = 2, 3, 4, 5, 6$$

ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิ (w, L) ที่นำมาเปรียบเทียบ คือ $(2, L), (3, L), (4, L), (5, L), (6, L)$

ทั้งนี้ในแต่ละชุดของพารามิเตอร์จะหาค่า L โดยการจำลองข้อมูลภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า L ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย

จากนั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการในสถานการณ์ต่างๆ จะเลือกพารามิเตอร์ (w, L) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ซึ่งก็หมายความว่าพารามิเตอร์ (w, L) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดจะมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุมได้ดีที่สุด

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้าค่า M_i ตกอยู่ในนอกขอบเขตการควบคุม จะถือว่ากระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม

2.4 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Exponentially Weighted Moving Average Control Chart)

ปี ค.ศ. 1998 Borror C.M. ได้เสนอ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Exponentially Weighted Moving Average Control Chart)

ตัวสถิติของแผนภูมิ คือ

$$Y_t = \lambda X_t + (1-\lambda) Y_{t-1} \quad , t \geq 1$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าของตัวสถิติ PEWMA

X_t คือ จุดตำหนิที่เกิดขึ้นของหน่วยตัวอย่าง ณ เวลาที่ t

λ เป็นค่าคงที่ของพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ $0 < \lambda \leq 1$

Y_0 เป็นค่าเริ่มต้น ในที่นี้ให้เท่ากับจุดตำหนิที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยต่อหน่วยตัวอย่าง เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0)

เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม $Y_t \sim Poi(\mu_0)$

และ $Y_0 = \mu_0$ จะได้ว่า

$$E(Y_t) = \mu_0$$

$$Var(Y_t) = \mu_o\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2t}\right]$$

ขอบเขตควบคุม คือ

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

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - L\sqrt{\mu_o\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2t}\right]}$$

จากขอบเขตควบคุมข้างต้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่ขึ้นกับเวลา เมื่อ t มีค่ามากๆ และกระบวนการยังอยู่ในขอบเขตควบคุมจะได้

$$Var(Y_t) \approx \frac{\lambda\mu_o}{2-\lambda}$$

ขอบเขตควบคุม คือ

$$UCL = \mu_0 + L\sqrt{\frac{\lambda\mu_0}{2-\lambda}}$$

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - L\sqrt{\frac{\lambda\mu_0}{2-\lambda}}$$

โดยที่ L แทนสัมประสิทธิ์ความกว้างของเขตควบคุม ซึ่งจะเลือกค่า L โดยการจำลองข้อมูลภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า L ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

λ = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9

ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิ (λ, L) ที่นำมาเปรียบเทียบ คือ $(0.1, L)$, $(0.2, L), (0.3, L), (0.4, L), (0.5, L), (0.6, L), (0.7, L), (0.8, L), (0.9, L)$,

ทั้งนี้ในแต่ละชุดของพารามิเตอร์จะหาค่า L โดยการจำลองข้อมูลภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า L ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย

จากนั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการในสถานการณ์ต่างๆ จะเลือกพารามิเตอร์ (λ, L) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ซึ่งก็หมายความว่าพารามิเตอร์ (λ, L) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดจะมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุมได้ดีที่สุด

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้าค่า Y_t ตกอยู่ในนอกขอบเขตการควบคุม จะถือว่ากระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม

2.5 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Double Exponentially Weighted Moving Average Control Chart)

ปี ค.ศ. 2002 Zhang L.and Chen G. ได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Double Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว

ตัวสถิติของแผนภูมิ คือ

$$Z_t = \lambda Y_t + (1-\lambda) Z_{t-1} \quad , t \geq 1$$

และ $$Y_t = \lambda X_t + (1-\lambda) Y_{t-1} \quad , t \geq 1$$

โดยที่ Z_t คือ ค่าของตัวสถิต PDEWMA

Y_t คือ ค่าของตัวสถิต PEWMA

λ เป็นค่าคงที่ของพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ $0 < \lambda \leq 1$

Z_0 เป็นค่าเริ่มต้น ในที่นี้ให้เท่ากับจุดตำหนิที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยต่อหน่วยตัวอย่าง เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (μ_0)

เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม $Z_t \sim Poi(\mu_0)$
และ $Z_0 = \mu_0$ จะได้ว่า

$$E(Z_t) = \mu_0$$

$$Var(Z_t) = \mu_o \lambda^4 \frac{\left[1+(1-\lambda)^2 - (t+1)^2(1-\lambda)^{2t} + (2t^2+2t-1)(1-\lambda)^{2t+2} - t^2(1-\lambda)^{2t+4}\right]}{\left[1-(1-\lambda)^2\right]^3}$$

ขอบเขตควบคุมคือ

$$UCL = \mu_0 + K\sqrt{Var(Z_t)}$$
$$CL = \mu_0$$
$$LCL = \mu_0 - K\sqrt{Var(Z_t)}$$

โดยที่ K แทนสัมประสิทธิ์ความกว้างของเขตควบคุม ซึ่งจะเลือกค่า K โดยการจำลองข้อมูลภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า K ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม จะเลือกค่า K นั้นมาใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

λ = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9

ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิ (λ, K) ที่นำมาเปรียบเทียบ คือ $(0.1, K)$, $(0.2, K), (0.3, K), (0.4, K), (0.5, K), (0.6, K), (0.7, K), (0.8, K), (0.9, K)$

ทั้งนี้ในแต่ละชุดของพารามิเตอร์จะหาค่า K โดยการจำลองข้อมูลภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า K ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม จะเลือกค่า K นั้นมาใช้ในการวิจัย

จากนั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการในสถานการณ์ต่างๆ จะเลือกพารามิเตอร์ (λ, K) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ซึ่งก็หมายความว่าพารามิเตอร์ (λ, K) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดจะมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุมได้ดีที่สุด

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้าค่า Z_t ตกอยู่ในนอกขอบเขตการควบคุม จะถือว่ากระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม

2.6 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length: ARL)

ค่าความยาวโดยเฉลี่ย (ARL) คือจำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องการตรวจสอบจนกระทั่งพบการออกนอกการควบคุมในที่นี้จะหาค่า ARL เฉพาะกรณีที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของเสียเพิ่มขึ้น $(\theta > 0)$ โดยค่า ARL สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$ARL = \frac{1}{k}\sum_{t=1}^{k} RL_t$$

โดยที่ k คือ จำนวนครั้งของการทดลอง ในแต่ละสถานการณ์เพื่อหาความยาววิ่ง

RL_t คือ จำนวนตัวอย่างที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งว่ากระบวนการออกนอกการควบคุมในการจำลองข้อมูลครั้งที่ t

ในการวิจัยครั้งนี้ได้จำกัดค่า RL_t ในแต่ละครั้งของการทดลองด้วยค่าสูงสุดที่ 1,000 เพื่อป้องกันกรณีเกิดการเวียนไม่มีที่สิ้นสุดในการทดลองและ 1,000 เป็นขนาดตัวอย่างที่มากในการตรวจสอบแต่ละครั้งของการทดลองที่จะสรุปผลได้ ดังนั้นในกรณีที่การทดลองให้ค่า $RL_t = 1{,}000$ แต่ผลการทดสอบยังไม่พบว่ากระบวนการออกนอกการควบคุมจะกำหนดค่า RL_t ในรอบนั้นเท่ากับ 1,000

เกณฑ์การตัดสินใจ

เมื่อกระบวนการผิดปกติ ระดับการเปลี่ยนแปลงจุดตำหนิเพิ่มขึ้น คือ กระบวนการมีจุดตำหนิเพิ่มขึ้นจากจุดตำหนิมาตรฐานที่ต้องการควบคุม ถ้าแผนภูมิควบคุมใดให้ค่า ARL ต่ำที่สุด แสดงว่าแผนภูมิควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการผิดปกติได้ดีที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจุดตำหนิทั้ง 4 แบบ คือ แผนภูมิซี แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง เพื่อเลือกแผนภูมิจุดตำหนิที่สามารถแจ้งเตือนเมื่อกระบวนการผิดปกติได้เร็วที่สุดตามแต่ละสถานการณ์ โดยการตัดสินจากค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ถ้าแผนภูมิควบคุมชนิดใดให้ค่า ARL น้อยที่สุดแสดงว่าแผนภูมินั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล เพื่อหาผลสรุปในการเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ ที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งวิธีดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวางแผนการทดลอง

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้กำหนดสถานการณ์ต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบดังนี้

1. จุดตำหนิ แทนด้วยตัวแปรสุ่ม X จุดตำหนิที่ได้จะมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง โดยตัวอย่างแต่ละชิ้นแทนด้วยตัวแปรสุ่ม X_i มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

2. กำหนดจุดตำหนิโดยเฉลี่ยที่ต้องการควบคุม μ_0 คือ 1, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 15, 20, 25

3. กำหนดอัตราเพิ่มขึ้นของจุดตำหนิเท่ากับ $100\theta\%$ ของ μ_0 ได้ของเสียที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม $\mu_1 = (1+\theta)\mu_0$ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้กำหนด θ = 0.01, 0.05, 0.10, 0.11, 0.15, 0.20, 0.21, 0.25, 0.30, 0.35 และ 0.40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยมีขั้นตอนการศึกษาทดลอง 3 ขั้นตอน คือ การหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมและไม่อยู่ในการควบคุม และอำนาจการทดสอบ ดังนี้

<u>ขั้นตอนแรก</u> การหาค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมของแผนภูมิซี

การหาความน่าจะเป็นที่จะเกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนการอยู่ในการควบคุม แต่ความจริงกระบวนการยังคงอยู่ในการควบคุมแทนด้วย α

นั่นคือ $\alpha = P(X > UCL) + P(X < LCL)$

ดังนั้น $ARL_0 = \frac{1}{\alpha}$

<u>ขั้นตอนที่สอง</u> การหาค่า ARL เมื่อกระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม มีขั้นตอนดังนี้

1. จำลองเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วง $U(0,1)$
2. จำลองข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบ $Poi(\mu_1)$
3. คำนวณค่าสถิติของแต่ละแผนภูมิ
4. คำนวณหาขอบเขตควบคุมจากพารามิเตอร์ที่กำหนด โดยการกำหนดขอบเขตของแต่ละแผนภูมิควบคุม มีดังนี้

(1) แผนภูมิซี (c Chart)

ขีดจำกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิซี เป็นดังนี้

$UCL = \mu_0 + 3\sqrt{\mu_0}$

$LCL = \mu_0 - 3\sqrt{\mu_0}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(2) แผนภูมิควบคุม PMA

ขีดจำกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิ PMA เป็นดังนี้

กรณีที่ 1: $i \geq w$

$$UCL = \mu_0 + L\sqrt{\frac{\mu_0}{w}}$$

$$LCL = \mu_0 - L\sqrt{\frac{\mu_0}{w}}$$

กรณีที่ 2: $i < w$

$$UCL = \mu_0 + L\sqrt{\frac{\mu_0}{i}}$$

$$LCL = \mu_0 - L\sqrt{\frac{\mu_0}{i}}$$

เมื่อ พารามิเตอร์ w เป็นค่าคงที่ กำหนด $w = 2, 3, 4, 5, 6$

โดยค่าพารามิเตอร์ มีวิธีการหาดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.3

(3) แผนภูมิควบคุม PEWMA

ขีดจำกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิ PEWMA เป็นดังนี้

$$UCL = \mu_0 + L\sqrt{Var(Y_t)}$$

$$LCL = \mu_0 - L\sqrt{Var(Y_t)}$$

เมื่อ $Var(Y_t) = \mu_o\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2t}\right]$

พารามิเตอร์ λ เป็นค่าคงที่ กำหนด $\lambda = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$

โดยค่าพารามิเตอร์ มีวิธีการหาดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(4) แผนภูมิควบคุม PDEWMA

ขีดจำกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิ PDEWMA เป็นดังนี้

$$UCL = \mu_0 + K\sqrt{Var(z_t)}$$

$$LCL = \mu_0 - K\sqrt{Var(z_t)}$$

เมื่อ $Var(Z_t) = \mu_o\lambda^4 \dfrac{\left[1+(1-\lambda)^2-(t+1)^2(1-\lambda)^{2t}+(2t^2+2t-1)(1-\lambda)^{2t+2}-t^2(1-\lambda)^{2t+4}\right]}{\left[1-(1-\lambda)^2\right]^3}$

พารามิเตอร์ λ เป็นค่าคงที่ กำหนด $\lambda = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$ โดยค่าพารามิเตอร์ มีวิธีการหาดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.5

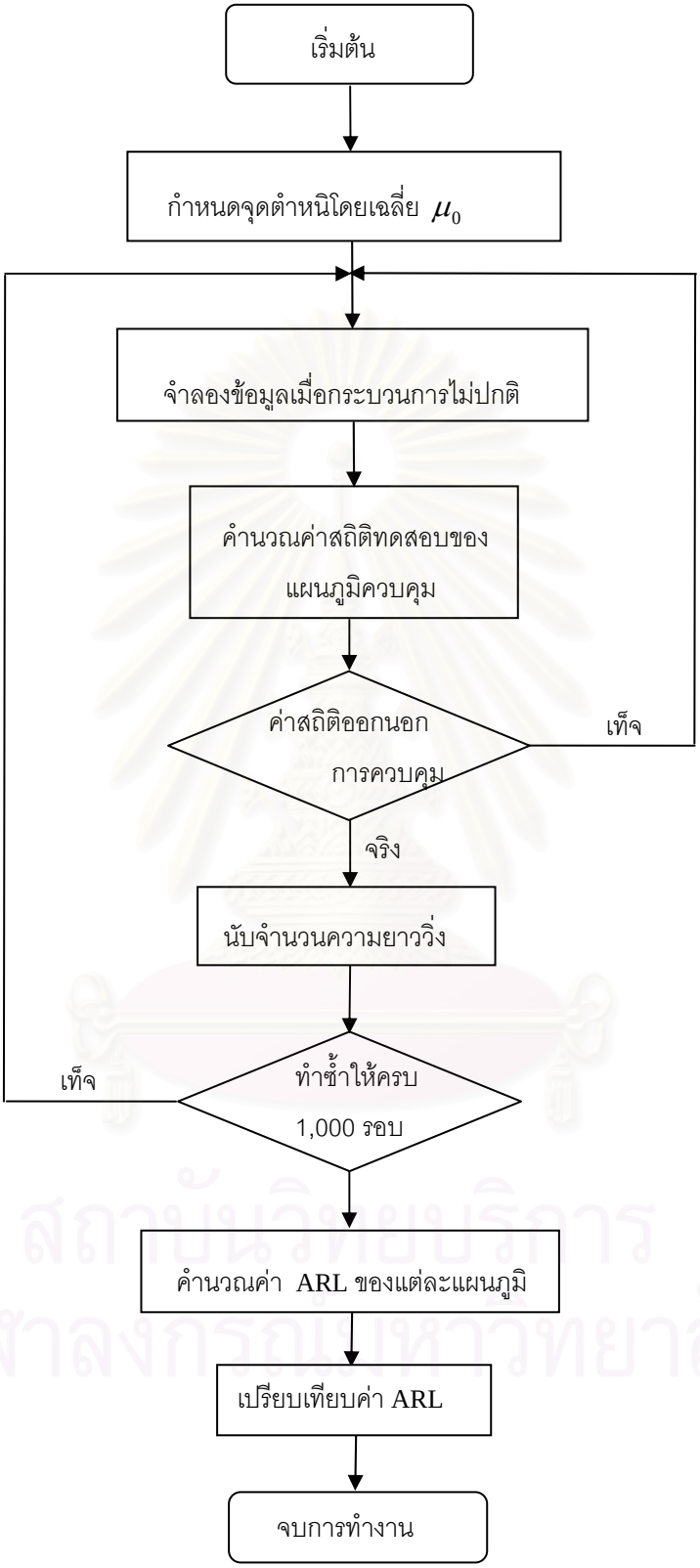
5. นำค่าสถิติมาเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุม ทำการเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุม ถ้าค่าสถิติมีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือน้อยกว่าขอบเขตควบคุมล่างให้กลับไปทำข้อที่ 6 ต่อ แต่ถ้าค่าสถิติที่นำมาเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุมมีค่าน้อยกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือมากกว่าขอบเขตควบคุมล่าง ให้เปรียบเทียบตัวสถิติตัวต่อไปจนกว่าจะมีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือน้อยกว่าขอบเขตควบคุมล่าง

6. ทำขั้นที่ 2-4 ซ้ำ 1,000 รอบแล้วหาจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย

7. เปลี่ยนค่า θ แล้วทำขั้นที่ 2-4 ให้ครบทุกค่าที่เปลี่ยนแปลงไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) แสดงเป็นแผนผังได้ดังนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงวิธีการหาจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม

ขั้นตอนที่สอง การหาอำนาจการทดสอบ (power of test) มีขั้นตอนดังนี้

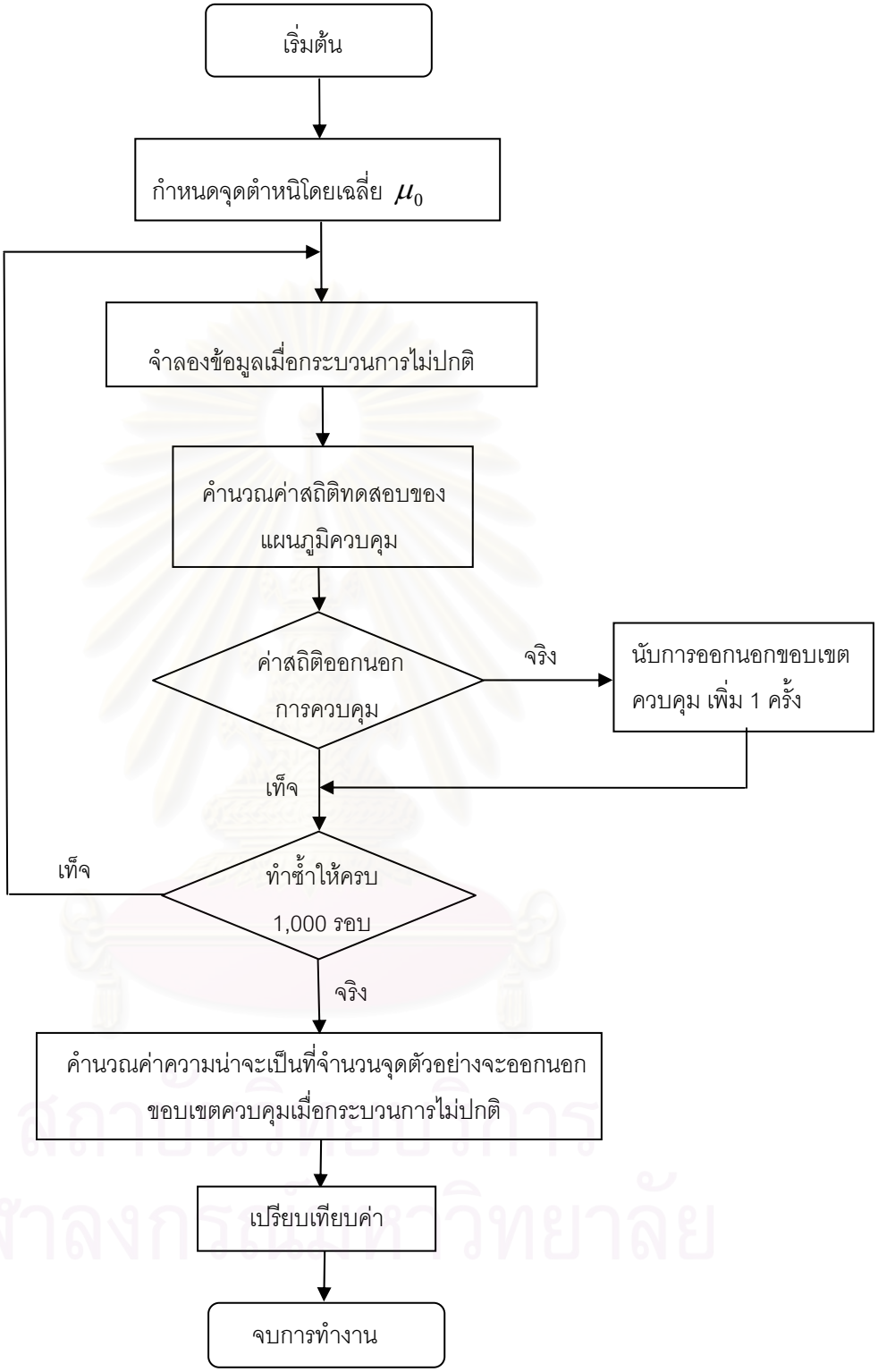
การหาอำนาจการทดสอบ เพื่อตรวจสอบดูว่า แผนภูมิควบคุมใดให้ประสิทธิภาพดีที่สุด และตรงกับผลที่ได้จากการหาความยาววิ่งโดยเฉลี่ยหรือไม่ โดยจะนำขอบเขตควบคุมที่ได้จากข้อ (3) มาใช้ในตัวสถิติทดสอบแต่ละตัวในแต่ละสถานการณ์เพื่อหาค่าอำนาจการทดสอบ โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. จำลองเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วง U(0,1)
2. จำลองข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบ $Poi(\mu_1)$
3. คำนวณค่าสถิติของแต่ละแผนภูมิ
4. คำนวณหาขอบเขตควบคุมจากพารามิเตอร์ที่กำหนด โดยการกำหนดขอบเขตของแต่ละแผนภูมิควบคุม เหมือนกับขั้นตอนการหาค่า ARL เมื่อกระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม
5. นำค่าสถิติเปรียบเทียบกับขอบเขต ทำการเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุมเช่นเดียวกับการหาความยาววิ่ง ซึ่งจะทำซ้ำ 50,000 ค่าสังเกต
6. หาความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมของแต่ละสถานการณ์ โดยคำนวณจากผลรวมของจำนวนครั้งของจำนวนตัวอย่างที่ออกนอกขอบเขตควบคุมทั้งหมดหารด้วยจำนวนค่าสังเกตที่ทดลอง
7. เปลี่ยนค่า θ แล้วทำขั้นที่ 2-4 ให้ครบทุกค่าที่เปลี่ยนแปลงไป

การหาค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติแต่ละตัวกระทำภายใต้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับการหาขอบเขตควบคุม เมื่อได้ค่าอำนาจการทดสอบของแต่ละระดับที่เปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิ จะนำมาเปรียบเทียบกัน โดยพิจารณาว่าแผนภูมิควบคุมใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด แผนภูมิควบคุมนั้นจะต้องมีค่าอำนาจการทดสอบมากกว่าแผนภูมิควบคุมอื่นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการหาอำนาจการทดสอบ (power of test) แสดงเป็นแผนผังได้ดังนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 3.3 แผนผังแสดงวิธีการหาความน่าจะเป็นที่จำนวนจุดตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมเมื่อกระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม

3.3 สร้างข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยต้องใช้เทคนิคมอนติคาร์โลในการจำลองข้อมูลดังนั้นจึงต้องเริ่มตั้งแต่การสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นเอกรูป $\mathrm{U}(0,1)$ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปัวส์ซองต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

การสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงเอกรูปในช่วง $[0,1]$[1]

วิธีการคณิตศาสตร์ในการจำลองเลขสุ่ม(เทียม)มีหลายวิธีการ สำหรับวิธีการที่ได้รับความนิยมใช้กันมากวิธีหนึ่งในปัจจุบัน คือ วิธีสมภาค(Congruential Method) ซึ่งมีสูตรหรือตัวแบบหนึ่งที่ใช้กันมาก คือ

$$X_i = (c + aX_{i-1}) \bmod m \quad i = 1,2,...$$

โดยที่ค่า c, a และ m เป็นค่าคงที่จำนวนเต็มค่าไม่เป็นลบ และความหมายของตัวแบบคือ X_i เป็นเศษเหลือที่เป็นจำนวนเต็มที่ได้จากการหาร $(c + aX_{i-1})$ ด้วย m นั่นคือ $X_i = c + aX_{i-1} - mk_i$ ซึ่ง $k_i = \lfloor (c + aX_{i-1})/m \rfloor$ (หมายถึง จำนวนเต็มใหญ่ที่สุดที่น้อยกว่าหรือเท่ากับผลหาร $(c + aX_{i-1})/m$) ดังนั้นค่าเป็นไปได้ของ X_i คือ $0,1,...,m-1$ และก่อนที่จะได้ค่าของ $X_1, X_2, ...$ ต้องกำหนดค่าของ c, a, m และ X_0 เราเรียก X_0 ว่า ซีด(seed) หรือค่าเริ่มต้น (starting value) จาก X_i ที่ได้จากการคำนวณนำมาหาค่า R_i ซึ่ง

$$R_i = \frac{X_i}{m} \quad , i = 1,2,...$$

จะได้ว่า R_i มีค่าอยู่ในช่วง $[0,1)$ เรียก $R_1, R_2, ...$ ว่าเลขสุ่มเทียม หรือ เลขสุ่มคล้าย(pseudo random numbers)

---

[1]มานพ วราภักดิ์, การจำลองเบื้องต้น (กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547), หน้า 43

ตัวแบบจำลองสมภาคแบบผลคูณที่ใช้กันมากตัวแบบหนึ่ง ซึ่งได้ผ่านการตรวจสอบคุณสมบัติแล้ว คือ กำหนด $m = 2^{31} - 1 = 2147483647$, $a = 7^5 = 16807$ และ X_0 เป็นจำนวนเต็มบวกที่เป็นเลขคี่ไม่เกิน m

การสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปัวส์ซอง[2]

การสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปัวส์ซอง ใช้คุณสมบัติที่ว่า ถ้าจุดตำหนิที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วย X มีการแจกแจงแบบปัวส์ซองด้วยค่าเฉลี่ย μ $\left(X \sim Poi(\mu)\right)$ ดังนั้นช่วงระยะเวลาห่างระหว่างการเกิดจุดตำหนิจะเป็นอิสระกันและต่างมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง $Ex(\mu)$ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ เพราะฉะนั้น ถ้าให้

Y_1 แทน ระยะเวลาจนกว่าจะเกิดเหตุการณ์ครั้งแรก

Y_t แทน ระยะเวลาห่างระหว่างเกิดเหตุการณ์ครั้งที่ $i-1$ และครั้งที่ i $\left(i = 2,3,...\right)$

ได้ว่า สำหรับเหตุการณ์เกิดขึ้น X ครั้งต่อ 1 หน่วยเวลา ได้ว่า

$$Y_1 + Y_2 + ... + Y_x \le 1 < Y_1 + Y_2 + ... + Y_x + Y_{x+1}$$

เนื่องจาก $Y_i = -\frac{1}{\lambda}\ln R_i \sim Ex(\lambda), R_i \sim U(0,1)$ ได้ว่า

$$-\frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{x}\ln R_i \le 1 < -\frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{x+1}\ln R_i$$

หรือ $$\ln(\prod_{i=1}^{x} R_i) \ge -\lambda > \ln(\prod_{i=1}^{x+1} R_i)$$

$$\prod_{i=1}^{x+1} R_i \le e^{-\lambda} < \prod_{i=1}^{x} R_i \ , X = 0,1,2,...$$

---

[2]มานพ วราภักดิ์, การจำลองเบื้องต้น (กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547), หน้า 43

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจวัดกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิ ซึ่งแผนภูมิควบคุมคุณภาพทั้ง 4 แบบคือ แผนภูมิซี แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง โดยวิธีการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมดังกล่าว โดยที่ค่า ARL ของแผนภูมิชนิดใดน้อยที่สุด แสดงว่าแผนภูมินั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุม

การวิจัยครั้งนี้จึงนำเสนอผลการวิจัย จำแนกเป็น 4 ส่วน ส่วนแรกคือตารางแสดงขอบเขตการควบคุมของแต่ละตัวสถิติทดสอบในสถานการณ์ต่างๆ ที่ศึกษา ส่วนที่ 2 คือตารางแสดงค่า ARL ของแผนภูมิซีเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ส่วนที่ 3 คือตารางแสดงค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิเมื่อกระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม และส่วนที่ 4 คือตารางแสดงค่าอำนาจการทดสอบ (power of test) โดยกำหนดสัญลักษณ์ต่อไปนี้ใช้แทนความหมายต่างๆ คือ

μ_0	หมายถึง จุดตำหนิโดยเฉลี่ยที่ต้องการควบคุม
$\mu_1 = (1+\theta)\mu_0$	หมายถึง จุดตำหนิโดยเฉลี่ยเมื่อกระบวนการผิดปกติ
θ	หมายถึง ระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิ
w	หมายถึง จำนวนหน่วยตัวอย่างย่อยที่นำมาหาค่าเฉลี่ย
λ	หมายถึง ค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA
ARL	หมายถึง จำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องการตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการผิดปกติ
ARL_0	หมายถึง ค่า ARL เริ่มต้นของแผนภูมิซี เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม
UCL	หมายถึง ขอบเขตควบคุมบน
LCL	หมายถึง ขอบเขตควบคุมล่าง
C	หมายถึง วิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิซี
PMA	หมายถึง วิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง

PEWMA หมายถึง วิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

PDEWMA หมายถึง วิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

โดยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

θ คือระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ย$100\theta\%$

เมื่อ θ = 0.01, 0.05, 0.10, 0.11, 0.15, 0.20, 0.21, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40

w = 2, 3, 4, 5, 6

λ = 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90

4.1 ขอบเขตของแผนภูมิควบคุม

ขอบเขตของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบคือ แผนภูมิซี (c) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง (PMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (PEWMA) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (PDEWMA) ถูกสร้างขึ้นในกรณีที่กระบวนการอยู่ในการควบคุมตามสถานการณ์ต่างๆ และในกรณีที่ทราบค่าจุดตำหนิโดยเฉลี่ยที่ต้องการควบคุม (μ_0)โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

4.1.1 แผนภูมิควบคุมซี

ในการวิจัยครั้งนี้พบว่าขอบเขตของแผนภูมิซีขึ้นอยู่กับจุดตำหนิโดยเฉลี่ย นั่นคือเมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น จะทำให้ระยะห่างระหว่างเส้นควบคุมบนกับเส้นควบคุมล่างมากขึ้นไปด้วย โดยสามารถสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมในสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

$$UCL = \mu_0 + 3\sqrt{\mu_0}$$

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - 3\sqrt{\mu_0}$$

ถ้า $LCL < 0$ ให้ $LCL = 0$

ตารางที่ 4.1 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิซี (c)

μ_0	c	
	UCL	LCL
1	4.000	0.000
3	8.196	0.000
5	11.708	0.000
6	13.348	2.388
8	16.485	4.305
10	19.487	6.244
11	20.950	1.050
15	26.619	11.141
20	33.416	16.074
25	40.000	21.026

4.1.2 แผนภูมิ PMA

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการคัดเลือกพารามิเตอร์ (w, L) ที่ทำให้ได้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ (w, L) ที่ทำให้ได้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม สามารถสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมในสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

กรณีที่ 1: $i \geq w$

$$UCL = \mu_0 + L\sqrt{\frac{\mu_0}{w}}$$

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - L\sqrt{\frac{\mu_0}{w}}$$

กรณีที่ 2: $i < w$

$$UCL = \mu_0 + L\sqrt{\frac{\mu_0}{i}}$$

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - L\sqrt{\frac{\mu_0}{i}}$$

ทั้งนี้เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ จะเลือกพารามิเตอร์ (w, L)ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำสุดในแต่ละสถานการณ์มาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

จึงสามารถอธิบายได้ว่า ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม PMA จะขึ้นกับจุดตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ นั่นคือจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากัน ขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ (w, L) ที่ใช้ในการคำนวณหาขอบเขตควบคุมจะเลือกพารามิเตอร์ (w, L) ที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดในแต่ละสถานการณ์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ (w, L)นี้ จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ ดังนั้นเมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากัน ขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่แน่นอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ย$100\theta\%$

μ_0 / θ	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	w	L	w	L	w	L	w	L	w	L	w	L	w	L	w	L	w	L	w	L
0.01	4	2.99	4	2.88	4	2.68	4	2.85	3	2.85	3	2.92	4	2.70	4	2.83	6	2.81	6	2.93
0.05	4	2.99	4	2.88	4	2.68	4	2.85	3	2.85	3	2.92	4	2.70	4	2.83	6	2.81	6	2.93
0.10	4	2.99	4	2.88	4	2.68	4	2.85	3	2.85	3	2.92	4	2.70	4	2.83	6	2.81	6	2.93
0.11	4	2.99	4	2.88	4	2.68	6	2.73	6	2.73	6	2.73	6	2.70	6	2.75	6	2.81	6	2.93
0.15	4	2.99	4	2.88	4	2.68	6	2.73	6	2.73	6	2.73	6	2.70	6	2.75	6	2.81	6	2.93
0.20	4	2.99	4	2.88	4	2.68	6	2.73	6	2.73	6	2.73	6	2.70	6	2.75	6	2.81	6	2.93
0.21	4	2.99	4	2.88	4	2.68	6	2.73	6	2.73	6	2.73	6	2.70	6	2.75	6	2.81	6	2.93
0.25	4	2.99	4	2.88	4	2.68	6	2.73	6	2.73	6	2.73	6	2.70	6	2.75	6	2.81	6	2.93
0.30	6	2.85	6	2.73	6	2.68	6	2.73	6	2.73	6	2.73	6	2.70	6	2.75	6	2.81	6	2.93
0.35	6	2.85	6	2.73	6	2.68	6	2.73	6	2.73	6	2.73	6	2.70	6	2.75	6	2.81	6	2.93
0.40	6	2.85	6	2.73	6	2.68	6	2.73	6	2.73	6	2.73	6	2.70	6	2.75	6	2.81	6	2.93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1%-10%

μ_0 / i	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL
1	3.990	0.000	7.988	0.000	10.993	0.000	12.981	0.000	16.061	0.000	19.23	0.766	19.96	2.045	25.961	4.039	32.567	7.433	39.650	10.350
2	3.114	0.000	6.527	0.000	9.237	0.763	10.936	1.064	13.700	2.300	16.53	3.471	17.33	4.668	22.750	7.250	28.886	11.114	35.359	14.641
3	2.726	0.000	5.880	0.120	8.460	1.540	10.031	1.969	12.654	3.346	15.33	4.669	16.17	5.83	21.328	8.672	27.255	12.745	33.458	16.542
4	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	9.491	2.509	12.654	3.346	15.33	4.669	15.48	6.523	20.480	9.520	26.283	13.717	32.325	17.675
5	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	9.491	2.509	12.654	3.346	15.33	4.669	15.48	6.523	20.480	9.520	25.620	14.380	31.552	18.448
6	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	9.491	2.509	12.654	3.346	15.33	4.669	15.48	6.523	20.480	9.520	25.130	14.870	30.981	19.019
7	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	9.491	2.509	12.654	3.346	15.33	4.669	15.48	6.523	20.480	9.520	25.130	14.870	30.981	19.019
8	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	9.491	2.509	12.654	3.346	15.33	4.669	15.48	6.523	20.480	9.520	25.130	14.870	30.981	19.019
9	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	9.491	2.509	12.654	3.346	15.33	4.669	15.48	6.523	20.480	9.520	25.130	14.870	30.981	19.019
10	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	9.491	2.509	12.654	3.346	15.33	4.669	15.48	6.523	20.480	9.520	25.130	14.870	30.981	19.019

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 11%-25%

μ_0 / i	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL
1	3.990	0.000	7.988	0.000	10.993	0.000	12.687	0.000	15.722	0.278	18.63	1.367	19.955	2.045	25.65	4.349	32.567	7.433	39.650	10.350
2	3.114	0.000	6.527	0.000	9.237	0.763	10.728	1.272	13.460	2.540	16.1	3.896	17.332	4.668	22.53	7.469	28.886	11.114	35.359	14.641
3	2.726	0.000	5.880	0.120	8.460	1.540	9.861	2.139	12.458	3.542	14.98	5.016	16.170	5.830	21.15	8.851	27.255	12.745	33.458	16.542
4	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	9.344	2.656	11.861	4.139	14.32	5.683	15.477	6.523	20.33	9.675	26.283	13.717	32.325	17.675
5	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	8.991	3.009	11.453	4.547	13.86	6.139	15.005	6.995	19.76	10.24	25.620	14.380	31.552	18.448
6	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	8.730	3.270	11.152	4.848	13.52	6.476	14.656	7.344	19.35	10.65	25.130	14.870	30.981	19.019
7	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	8.730	3.270	11.152	4.848	13.52	6.476	14.656	7.344	19.35	10.65	25.130	14.870	30.981	19.019
8	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	8.730	3.270	11.152	4.848	13.52	6.476	14.656	7.344	19.35	10.65	25.130	14.870	30.981	19.019
9	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	8.730	3.270	11.152	4.848	13.52	6.476	14.656	7.344	19.35	10.65	25.130	14.870	30.981	19.019
10	2.495	0.000	5.494	0.506	7.996	2.004	8.730	3.270	11.152	4.848	13.52	6.476	14.656	7.344	19.35	10.65	25.130	14.870	30.981	19.019

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 30%-40%

μ_0 / i	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL
1	3.850	0.000	7.728	0.000	10.993	0.000	12.687	0.000	15.722	0.278	18.63	1.367	19.955	2.045	25.65	4.349	32.567	7.433	39.650	10.350
2	3.015	0.000	6.344	0.000	9.237	0.763	10.728	1.272	13.460	2.540	16.1	3.896	17.332	4.668	22.53	7.469	28.886	11.114	35.359	14.641
3	2.645	0.000	5.730	0.270	8.460	1.540	9.861	2.139	12.458	3.542	14.98	5.016	16.170	5.830	21.15	8.851	27.255	12.745	33.458	16.542
4	2.425	0.000	5.364	0.636	7.996	2.004	9.344	2.656	11.861	4.139	14.32	5.683	15.477	6.523	20.33	9.675	26.283	13.717	32.325	17.675
5	2.275	0.000	5.115	0.885	7.680	2.320	8.991	3.009	11.453	4.547	13.86	6.139	15.005	6.995	19.76	10.24	25.620	14.380	31.552	18.448
6	2.164	0.000	4.930	1.070	7.446	2.554	8.730	3.270	11.152	4.848	13.52	6.476	14.656	7.344	19.35	10.65	25.130	14.870	30.981	19.019
7	2.164	0.000	4.930	1.070	7.446	2.554	8.730	3.270	11.152	4.848	13.52	6.476	14.656	7.344	19.35	10.65	25.130	14.870	30.981	19.019
8	2.164	0.000	4.930	1.070	7.446	2.554	8.730	3.270	11.152	4.848	13.52	6.476	14.656	7.344	19.35	10.65	25.130	14.870	30.981	19.019
9	2.164	0.000	4.930	1.070	7.446	2.554	8.730	3.270	11.152	4.848	13.52	6.476	14.656	7.344	19.35	10.65	25.130	14.870	30.981	19.019
10	2.164	0.000	4.930	1.070	7.446	2.554	8.730	3.270	11.152	4.848	13.52	6.476	14.656	7.344	19.35	10.65	25.130	14.870	30.981	19.019

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 แผนภูมิ PEWMA

ในการวิจัยครั้งได้ทำการคัดเลือกพารามิเตอร์ (λ, L) ที่ทำให้ได้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ (λ, L) ที่ทำให้ได้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม สามารถสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมในสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

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

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - L\sqrt{\mu_o\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\left[1-(1-\lambda)^{2t}\right]}$$

ทั้งนี้เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ จะเลือกพารามิเตอร์ (λ, L) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำสุดในแต่ละสถานการณ์มาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

จึงสามารถอธิบายได้ว่า ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม PEWMA จะขึ้นกับจุดตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ นั่นคือจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากัน ขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ (λ, L) ที่ใช้ในการคำนวณหาขอบเขตควบคุมจะเลือกพารามิเตอร์ (λ, L) ที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดในแต่ละสถานการณ์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ (λ, L) นี้ จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ ดังนั้นเมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากันขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่แน่นอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PEWMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ย $100\theta\%$

μ_0 / θ	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L	λ	L
0.01	0.50	3.31	0.40	2.94	0.60	2.84	0.50	2.94	0.40	2.89	0.60	2.95	0.70	2.84	0.20	2.78	0.60	2.97	0.10	2.74
0.05	0.30	3.08	0.10	2.57	0.50	2.81	0.10	2.59	0.10	2.59	0.10	2.61	0.10	2.48	0.10	2.62	0.10	2.66	0.10	2.74
0.10	0.10	2.62	0.10	2.57	0.10	2.45	0.10	2.59	0.10	2.59	0.10	2.61	0.10	2.48	0.10	2.62	0.10	2.66	0.10	2.74
0.11	0.10	2.62	0.10	2.57	0.10	2.45	0.10	2.59	0.10	2.59	0.10	2.61	0.10	2.48	0.10	2.62	0.10	2.66	0.10	2.74
0.15	0.10	2.62	0.10	2.57	0.10	2.45	0.10	2.59	0.10	2.59	0.10	2.61	0.10	2.48	0.10	2.62	0.10	2.66	0.10	2.74
0.20	0.10	2.62	0.10	2.57	0.10	2.45	0.10	2.59	0.10	2.59	0.10	2.61	0.10	2.48	0.10	2.62	0.10	2.66	0.10	2.74
0.21	0.10	2.62	0.10	2.57	0.10	2.45	0.10	2.59	0.10	2.59	0.10	2.61	0.10	2.48	0.10	2.62	0.10	2.66	0.10	2.74
0.25	0.10	2.62	0.10	2.57	0.10	2.45	0.10	2.59	0.10	2.59	0.10	2.61	0.10	2.48	0.10	2.62	0.10	2.66	0.10	2.74
0.30	0.10	2.62	0.10	2.57	0.10	2.45	0.10	2.59	0.10	2.59	0.10	2.61	0.10	2.48	0.10	2.62	0.10	2.66	0.10	2.74
0.35	0.10	2.62	0.10	2.57	0.10	2.45	0.10	2.59	0.10	2.59	0.10	2.61	0.10	2.48	0.10	2.62	0.10	2.66	0.10	2.74
0.40	0.10	2.62	0.10	2.57	0.10	2.45	0.10	2.59	0.10	2.59	0.10	2.61	0.10	2.48	0.10	2.62	0.10	2.66	0.10	2.74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PEWMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1%

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
1	0.000	2.655	0.963	5.037	1.190	8.810	2.399	9.601	4.730	11.270	4.403	15.597	4.407	17.593	12.847	17.153	12.031	27.969	23.630	26.370
2	0.000	2.850	0.625	5.375	0.896	9.104	1.974	10.026	4.187	11.813	3.972	16.028	4.116	17.884	12.242	17.758	11.417	28.583	23.157	26.843
3	0.000	2.896	0.514	5.486	0.851	9.149	1.875	10.125	4.009	11.991	3.905	16.095	4.091	17.909	11.917	18.083	11.323	28.677	22.849	27.151
4	0.000	2.907	0.475	5.525	0.844	9.156	1.850	10.150	3.947	12.053	3.895	16.105	4.088	17.912	11.726	18.274	11.308	28.692	22.628	27.372
5	0.000	2.910	0.462	5.538	0.843	9.157	1.844	10.156	3.925	12.075	3.893	16.107	4.088	17.912	11.609	18.391	11.305	28.695	22.463	27.537
6	0.000	2.911	0.457	5.543	0.843	9.157	1.843	10.157	3.917	12.083	3.893	16.107	4.088	17.912	11.537	18.463	11.305	28.695	22.338	27.662
7	0.000	2.911	0.455	5.545	0.843	9.157	1.842	10.158	3.915	12.085	3.893	16.107	4.088	17.912	11.491	18.509	11.305	28.695	22.240	27.760
8	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.462	18.538	11.305	28.695	22.163	27.837
9	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.444	18.556	11.305	28.695	22.102	27.898
10	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.432	18.568	11.305	28.695	22.054	27.946
11	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.424	18.576	11.305	28.695	22.016	27.984
12	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.420	18.580	11.305	28.695	21.985	28.015
13	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.416	18.584	11.305	28.695	21.960	28.040
14	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.415	18.585	11.305	28.695	21.940	28.060
15	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.413	18.587	11.305	28.695	21.924	28.076
16	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.412	18.588	11.305	28.695	21.911	28.089
17	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.412	18.588	11.305	28.695	21.901	28.099

ตารางที่ 4.7(ต่อ)

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
18	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.412	18.588	11.305	28.695	21.893	28.107
19	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.886	28.114
20	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.880	28.120
21	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.876	28.124
22	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.872	28.128
23	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.869	28.131
24	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.867	28.133
25	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.865	28.135
26	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.864	28.136
27	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.862	28.138
28	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.861	28.139
29	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.860	28.140
30	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.860	28.140
31	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.859	28.141
32	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.859	28.141
33	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.859	28.141
34	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.858	28.142

ตารางที่ 4.7(ต่อ)

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
35	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.858	28.142
36	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.858	28.142
37	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.858	28.142
38	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.858	28.142
39	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143
40	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143
41	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143
42	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143
43	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143
44	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143
45	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143
46	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143
47	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143
48	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143
49	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143
50	0.000	2.911	0.454	5.546	0.843	9.157	1.842	10.158	3.913	12.087	3.893	16.107	4.088	17.912	11.411	18.589	11.305	28.695	21.857	28.143

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PEWMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5%

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
1	0.076	1.924	2.555	3.445	1.858	8.142	5.366	6.634	7.267	8.733	9.175	10.825	10.177	11.823	13.985	16.015	18.810	21.190	23.630	26.370
2	0.000	2.128	2.401	3.599	1.488	8.512	5.146	6.854	7.014	8.986	8.890	11.110	9.893	12.107	13.635	16.365	18.400	21.600	23.157	26.843
3	0.000	2.215	2.301	3.699	1.401	8.599	5.004	6.996	6.850	9.150	8.704	11.296	9.708	12.292	13.406	16.594	18.132	21.868	22.849	27.151
4	0.000	2.256	2.229	3.771	1.379	8.621	4.902	7.098	6.732	9.268	8.571	11.429	9.576	12.424	13.243	16.757	17.940	22.060	22.628	27.372
5	0.000	2.275	2.176	3.824	1.374	8.626	4.825	7.175	6.644	9.356	8.472	11.528	9.477	12.523	13.121	16.879	17.797	22.203	22.463	27.537
6	0.000	2.285	2.135	3.865	1.373	8.627	4.767	7.233	6.576	9.424	8.396	11.604	9.402	12.598	13.028	16.972	17.688	22.312	22.338	27.662
7	0.000	2.289	2.103	3.897	1.372	8.628	4.722	7.278	6.524	9.476	8.337	11.663	9.343	12.657	12.956	17.044	17.603	22.397	22.240	27.760
8	0.000	2.292	2.078	3.922	1.372	8.628	4.686	7.314	6.483	9.517	8.291	11.709	9.297	12.703	12.899	17.101	17.537	22.463	22.163	27.837
9	0.000	2.293	2.059	3.941	1.372	8.628	4.658	7.342	6.451	9.549	8.254	11.746	9.260	12.740	12.854	17.146	17.484	22.516	22.102	27.898
10	0.000	2.293	2.043	3.957	1.372	8.628	4.636	7.364	6.425	9.575	8.225	11.775	9.231	12.769	12.818	17.182	17.442	22.558	22.054	27.946
11	0.000	2.294	2.030	3.970	1.372	8.628	4.618	7.382	6.404	9.596	8.202	11.798	9.208	12.792	12.790	17.210	17.409	22.591	22.016	27.984
12	0.000	2.294	2.020	3.980	1.372	8.628	4.604	7.396	6.388	9.612	8.184	11.816	9.190	12.810	12.767	17.233	17.382	22.618	21.985	28.015
13	0.000	2.294	2.012	3.988	1.372	8.628	4.592	7.408	6.375	9.625	8.169	11.831	9.175	12.825	12.749	17.251	17.361	22.639	21.960	28.040
14	0.000	2.294	2.006	3.994	1.372	8.628	4.583	7.417	6.364	9.636	8.157	11.843	9.163	12.837	12.734	17.266	17.343	22.657	21.940	28.060
15	0.000	2.294	2.001	3.999	1.372	8.628	4.576	7.424	6.355	9.645	8.147	11.853	9.153	12.847	12.722	17.278	17.329	22.671	21.924	28.076
16	0.000	2.294	1.996	4.004	1.372	8.628	4.570	7.430	6.348	9.652	8.139	11.861	9.146	12.854	12.712	17.288	17.318	22.682	21.911	28.089
17	0.000	2.294	1.993	4.007	1.372	8.628	4.565	7.435	6.343	9.657	8.133	11.867	9.139	12.861	12.705	17.295	17.309	22.691	21.901	28.099

ตารางที่ 4.8(ต่อ)

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
18	0.000	2.294	1.990	4.010	1.372	8.628	4.561	7.439	6.338	9.662	8.128	11.872	9.134	12.866	12.698	17.302	17.302	22.698	21.893	28.107
19	0.000	2.294	1.988	4.012	1.372	8.628	4.558	7.442	6.335	9.665	8.124	11.876	9.130	12.870	12.693	17.307	17.296	22.704	21.886	28.114
20	0.000	2.294	1.986	4.014	1.372	8.628	4.555	7.445	6.332	9.668	8.121	11.879	9.127	12.873	12.689	17.311	17.291	22.709	21.880	28.120
21	0.000	2.294	1.985	4.015	1.372	8.628	4.553	7.447	6.329	9.671	8.118	11.882	9.124	12.876	12.686	17.314	17.287	22.713	21.876	28.124
22	0.000	2.294	1.984	4.016	1.372	8.628	4.552	7.448	6.328	9.672	8.116	11.884	9.122	12.878	12.683	17.317	17.284	22.716	21.872	28.128
23	0.000	2.294	1.983	4.017	1.372	8.628	4.550	7.450	6.326	9.674	8.114	11.886	9.120	12.880	12.681	17.319	17.282	22.718	21.869	28.131
24	0.000	2.294	1.982	4.018	1.372	8.628	4.549	7.451	6.325	9.675	8.113	11.887	9.119	12.881	12.679	17.321	17.280	22.720	21.867	28.133
25	0.000	2.294	1.981	4.019	1.372	8.628	4.548	7.452	6.324	9.676	8.111	11.889	9.118	12.882	12.678	17.322	17.278	22.722	21.865	28.135
26	0.000	2.294	1.981	4.019	1.372	8.628	4.548	7.452	6.323	9.677	8.110	11.890	9.117	12.883	12.677	17.323	17.277	22.723	21.864	28.136
27	0.000	2.294	1.981	4.019	1.372	8.628	4.547	7.453	6.322	9.678	8.110	11.890	9.116	12.884	12.676	17.324	17.276	22.724	21.862	28.138
28	0.000	2.294	1.980	4.020	1.372	8.628	4.547	7.453	6.322	9.678	8.109	11.891	9.116	12.884	12.675	17.325	17.275	22.725	21.861	28.139
29	0.000	2.294	1.980	4.020	1.372	8.628	4.546	7.454	6.321	9.679	8.109	11.891	9.115	12.885	12.675	17.325	17.274	22.726	21.860	28.140
30	0.000	2.294	1.980	4.020	1.372	8.628	4.546	7.454	6.321	9.679	8.108	11.892	9.115	12.885	12.674	17.326	17.273	22.727	21.860	28.140
31	0.000	2.294	1.980	4.020	1.372	8.628	4.546	7.454	6.321	9.679	8.108	11.892	9.114	12.886	12.674	17.326	17.273	22.727	21.859	28.141
32	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.320	9.680	8.108	11.892	9.114	12.886	12.673	17.327	17.273	22.727	21.859	28.141
33	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.114	12.886	12.673	17.327	17.272	22.728	21.859	28.141
34	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.114	12.886	12.673	17.327	17.272	22.728	21.858	28.142

ตารางที่ 4.8(ต่อ)

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
35	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.114	12.886	12.673	17.327	17.272	22.728	21.858	28.142
36	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.673	17.327	17.272	22.728	21.858	28.142
37	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.673	17.327	17.271	22.729	21.858	28.142
38	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.858	28.142
39	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
40	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
41	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
42	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
43	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
44	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
45	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
46	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
47	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
48	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
49	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
50	0.000	2.294	1.979	4.021	1.372	8.628	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PEWMA จำแนกตามจำนวนจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10%-40%

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
1	0.738	1.262	2.555	3.445	4.452	5.548	5.366	6.634	7.267	8.733	9.175	10.825	10.177	11.823	13.985	16.015	18.810	21.190	23.630	26.370
2	0.648	1.352	2.401	3.599	4.263	5.737	5.146	6.854	7.014	8.986	8.890	11.110	9.893	12.107	13.635	16.365	18.400	21.600	23.157	26.843
3	0.589	1.411	2.301	3.699	4.140	5.860	5.004	6.996	6.850	9.150	8.704	11.296	9.708	12.292	13.406	16.594	18.132	21.868	22.849	27.151
4	0.546	1.454	2.229	3.771	4.052	5.948	4.902	7.098	6.732	9.268	8.571	11.429	9.576	12.424	13.243	16.757	17.940	22.060	22.628	27.372
5	0.515	1.485	2.176	3.824	3.986	6.014	4.825	7.175	6.644	9.356	8.472	11.528	9.477	12.523	13.121	16.879	17.797	22.203	22.463	27.537
6	0.491	1.509	2.135	3.865	3.935	6.065	4.767	7.233	6.576	9.424	8.396	11.604	9.402	12.598	13.028	16.972	17.688	22.312	22.338	27.662
7	0.472	1.528	2.103	3.897	3.896	6.104	4.722	7.278	6.524	9.476	8.337	11.663	9.343	12.657	12.956	17.044	17.603	22.397	22.240	27.760
8	0.457	1.543	2.078	3.922	3.866	6.134	4.686	7.314	6.483	9.517	8.291	11.709	9.297	12.703	12.899	17.101	17.537	22.463	22.163	27.837
9	0.446	1.554	2.059	3.941	3.841	6.159	4.658	7.342	6.451	9.549	8.254	11.746	9.260	12.740	12.854	17.146	17.484	22.516	22.102	27.898
10	0.437	1.563	2.043	3.957	3.822	6.178	4.636	7.364	6.425	9.575	8.225	11.775	9.231	12.769	12.818	17.182	17.442	22.558	22.054	27.946
11	0.429	1.571	2.030	3.970	3.807	6.193	4.618	7.382	6.404	9.596	8.202	11.798	9.208	12.792	12.790	17.210	17.409	22.591	22.016	27.984
12	0.423	1.577	2.020	3.980	3.794	6.206	4.604	7.396	6.388	9.612	8.184	11.816	9.190	12.810	12.767	17.233	17.382	22.618	21.985	28.015
13	0.419	1.581	2.012	3.988	3.784	6.216	4.592	7.408	6.375	9.625	8.169	11.831	9.175	12.825	12.749	17.251	17.361	22.639	21.960	28.040
14	0.415	1.585	2.006	3.994	3.777	6.223	4.583	7.417	6.364	9.636	8.157	11.843	9.163	12.837	12.734	17.266	17.343	22.657	21.940	28.060
15	0.412	1.588	2.001	3.999	3.770	6.230	4.576	7.424	6.355	9.645	8.147	11.853	9.153	12.847	12.722	17.278	17.329	22.671	21.924	28.076
16	0.409	1.591	1.996	4.004	3.765	6.235	4.570	7.430	6.348	9.652	8.139	11.861	9.146	12.854	12.712	17.288	17.318	22.682	21.911	28.089
17	0.407	1.593	1.993	4.007	3.761	6.239	4.565	7.435	6.343	9.657	8.133	11.867	9.139	12.861	12.705	17.295	17.309	22.691	21.901	28.099

ตารางที่ 4.9(ต่อ)

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
18	0.406	1.594	1.990	4.010	3.757	6.243	4.561	7.439	6.338	9.662	8.128	11.872	9.134	12.866	12.698	17.302	17.302	22.698	21.893	28.107
19	0.404	1.596	1.988	4.012	3.755	6.245	4.558	7.442	6.335	9.665	8.124	11.876	9.130	12.870	12.693	17.307	17.296	22.704	21.886	28.114
20	0.403	1.597	1.986	4.014	3.752	6.248	4.555	7.445	6.332	9.668	8.121	11.879	9.127	12.873	12.689	17.311	17.291	22.709	21.880	28.120
21	0.403	1.597	1.985	4.015	3.751	6.249	4.553	7.447	6.329	9.671	8.118	11.882	9.124	12.876	12.686	17.314	17.287	22.713	21.876	28.124
22	0.402	1.598	1.984	4.016	3.749	6.251	4.552	7.448	6.328	9.672	8.116	11.884	9.122	12.878	12.683	17.317	17.284	22.716	21.872	28.128
23	0.401	1.599	1.983	4.017	3.748	6.252	4.550	7.450	6.326	9.674	8.114	11.886	9.120	12.880	12.681	17.319	17.282	22.718	21.869	28.131
24	0.401	1.599	1.982	4.018	3.747	6.253	4.549	7.451	6.325	9.675	8.113	11.887	9.119	12.881	12.679	17.321	17.280	22.720	21.867	28.133
25	0.400	1.600	1.981	4.019	3.746	6.254	4.548	7.452	6.324	9.676	8.111	11.889	9.118	12.882	12.678	17.322	17.278	22.722	21.865	28.135
26	0.400	1.600	1.981	4.019	3.746	6.254	4.548	7.452	6.323	9.677	8.110	11.890	9.117	12.883	12.677	17.323	17.277	22.723	21.864	28.136
27	0.400	1.600	1.981	4.019	3.745	6.255	4.547	7.453	6.322	9.678	8.110	11.890	9.116	12.884	12.676	17.324	17.276	22.724	21.862	28.138
28	0.400	1.600	1.980	4.020	3.745	6.255	4.547	7.453	6.322	9.678	8.109	11.891	9.116	12.884	12.675	17.325	17.275	22.725	21.861	28.139
29	0.400	1.600	1.980	4.020	3.745	6.255	4.546	7.454	6.321	9.679	8.109	11.891	9.115	12.885	12.675	17.325	17.274	22.726	21.860	28.140
30	0.399	1.601	1.980	4.020	3.744	6.256	4.546	7.454	6.321	9.679	8.108	11.892	9.115	12.885	12.674	17.326	17.273	22.727	21.860	28.140
31	0.399	1.601	1.980	4.020	3.744	6.256	4.546	7.454	6.321	9.679	8.108	11.892	9.114	12.886	12.674	17.326	17.273	22.727	21.859	28.141
32	0.399	1.601	1.979	4.021	3.744	6.256	4.545	7.455	6.320	9.680	8.108	11.892	9.114	12.886	12.673	17.327	17.273	22.727	21.859	28.141
33	0.399	1.601	1.979	4.021	3.744	6.256	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.114	12.886	12.673	17.327	17.272	22.728	21.859	28.141
34	0.399	1.601	1.979	4.021	3.744	6.256	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.114	12.886	12.673	17.327	17.272	22.728	21.858	28.142

ตารางที่ 4.9(ต่อ)

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
35	0.399	1.601	1.979	4.021	3.744	6.256	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.114	12.886	12.673	17.327	17.272	22.728	21.858	28.142
36	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.673	17.327	17.272	22.728	21.858	28.142
37	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.673	17.327	17.271	22.729	21.858	28.142
38	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.858	28.142
39	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
40	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
41	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
42	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.320	9.680	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
43	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
44	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
45	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
46	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
47	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
48	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
49	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143
50	0.399	1.601	1.979	4.021	3.743	6.257	4.545	7.455	6.319	9.681	8.107	11.893	9.113	12.887	12.672	17.328	17.271	22.729	21.857	28.143

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 แผนภูมิ PDEWMA

ในการวิจัยครั้งได้ทำการคัดเลือกพารามิเตอร์ (λ, K) ที่ทำให้ได้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ (λ, K) ที่ทำให้ได้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เท่ากับค่า ARL ของแผนภูมิซี (c Chart) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม สามารถสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมในสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

$$UCL = \mu_0 + K\sqrt{Var(Z_t)}$$
$$CL = \mu_0$$
$$LCL = \mu_0 - K\sqrt{Var(Z_t)}$$

$$Var(Z_t) = \mu_o \lambda^4 \frac{\left[1+(1-\lambda)^2 - (t+1)^2(1-\lambda)^{2t} + (2t^2+2t-1)(1-\lambda)^{2t+2} - t^2(1-\lambda)^{2t+4}\right]}{\left[1-(1-\lambda)^2\right]^3}$$

ทั้งนี้เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ จะเลือกพารามิเตอร์ (λ, K) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำสุดในแต่ละสถานการณ์มาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

จึงสามารถอธิบายได้ว่า ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม PDEWMA จะขึ้นกับจุดตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ นั่นคือจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากัน ขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ (λ, K) ที่ใช้ในการคำนวณหาขอบเขตควบคุมจะเลือกพารามิเตอร์ (λ, K) ที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดในแต่ละสถานการณ์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ (λ, K) นี้ จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยของกระบวนการ ดังนั้นเมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากันขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่แน่นอน

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PDEWMA จำแนกตามจุดตำหนิโดยเฉลี่ยและระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ย$100\theta\%$

μ_0 / θ	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	λ	K	λ	K	λ	K	λ	K	λ	K	λ	K	λ	K	λ	K	λ	K	λ	K
0.01	0.10	2.11	0.10	2.09	0.10	1.95	0.10	2.10	0.10	2.11	0.10	2.11	0.10	1.99	0.10	2.14	0.10	2.19	0.10	2.27
0.05	0.10	2.11	0.10	2.09	0.10	1.95	0.10	2.10	0.10	2.11	0.10	2.11	0.10	1.99	0.10	2.14	0.10	2.19	0.10	2.27
0.10	0.10	2.11	0.10	2.09	0.10	1.95	0.10	2.10	0.10	2.11	0.10	2.11	0.10	1.99	0.10	2.14	0.10	2.19	0.10	2.27
0.11	0.10	2.11	0.10	2.09	0.10	1.95	0.10	2.10	0.10	2.11	0.10	2.11	0.10	1.99	0.10	2.14	0.10	2.19	0.10	2.27
0.15	0.10	2.11	0.10	2.09	0.10	1.95	0.10	2.10	0.10	2.11	0.10	2.11	0.10	1.99	0.10	2.14	0.10	2.19	0.10	2.27
0.20	0.10	2.11	0.10	2.09	0.10	1.95	0.10	2.10	0.10	2.11	0.10	2.11	0.10	1.99	0.10	2.14	0.10	2.19	0.10	2.27
0.21	0.10	2.11	0.10	2.09	0.10	1.95	0.10	2.10	0.10	2.11	0.10	2.11	0.10	1.99	0.10	2.14	0.10	2.19	0.10	2.27
0.25	0.10	2.11	0.10	2.09	0.10	1.95	0.10	2.10	0.10	2.11	0.10	2.11	0.10	1.99	0.10	2.14	0.10	2.19	0.10	2.27
0.30	0.10	2.11	0.10	2.09	0.10	1.95	0.10	2.10	0.10	2.11	0.10	2.11	0.10	1.99	0.10	2.14	0.10	2.19	0.10	2.27
0.35	0.10	2.11	0.10	2.09	0.10	1.95	0.10	2.10	0.10	2.11	0.10	2.11	0.10	1.99	0.10	2.14	0.10	2.19	0.10	2.27
0.40	0.10	2.11	0.10	2.09	0.10	1.95	0.10	2.10	0.10	2.11	0.10	2.11	0.10	1.99	0.10	2.14	0.10	2.19	0.10	2.27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ PDEWMA จำแนกตามจุดตำหนิโดยเฉลี่ย และระดับการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1%-40%

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
1	0.979	1.021	2.964	3.036	4.956	5.044	5.949	6.051	7.941	8.059	9.933	10.067	10.934	11.066	14.917	15.083	19.902	20.098	24.886	25.114
2	0.957	1.043	2.925	3.075	4.910	5.090	5.894	6.106	7.878	8.122	9.863	10.137	10.864	11.136	14.829	15.171	19.798	20.202	24.766	25.234
3	0.933	1.067	2.885	3.115	4.861	5.139	5.836	6.164	7.811	8.189	9.787	10.213	10.790	11.210	14.736	15.264	19.688	20.312	24.638	25.362
4	0.909	1.091	2.844	3.156	4.812	5.188	5.778	6.222	7.744	8.256	9.712	10.288	10.715	11.285	14.642	15.358	19.577	20.423	24.510	25.490
5	0.886	1.114	2.804	3.196	4.764	5.236	5.721	6.279	7.678	8.322	9.638	10.362	10.642	11.358	14.551	15.449	19.469	20.531	24.384	25.616
6	0.863	1.137	2.766	3.234	4.718	5.282	5.667	6.333	7.615	8.385	9.568	10.432	10.572	11.428	14.463	15.537	19.366	20.634	24.265	25.735
7	0.842	1.158	2.730	3.270	4.674	5.326	5.616	6.384	7.556	8.444	9.502	10.498	10.507	11.493	14.381	15.619	19.268	20.732	24.152	25.848
8	0.823	1.177	2.696	3.304	4.634	5.366	5.568	6.432	7.501	8.499	9.440	10.560	10.446	11.554	14.304	15.696	19.178	20.822	24.047	25.953
9	0.805	1.195	2.665	3.335	4.597	5.403	5.524	6.476	7.451	8.549	9.383	10.617	10.390	11.610	14.234	15.766	19.095	20.905	23.951	26.049
10	0.789	1.211	2.637	3.363	4.563	5.437	5.484	6.516	7.405	8.595	9.331	10.669	10.338	11.662	14.169	15.831	19.018	20.982	23.862	26.138
11	0.774	1.226	2.612	3.388	4.532	5.468	5.448	6.552	7.363	8.637	9.284	10.716	10.292	11.708	14.111	15.889	18.949	21.051	23.782	26.218
12	0.760	1.240	2.588	3.412	4.504	5.496	5.415	6.585	7.324	8.676	9.241	10.759	10.249	11.751	14.057	15.943	18.886	21.114	23.709	26.291
13	0.748	1.252	2.567	3.433	4.479	5.521	5.385	6.615	7.290	8.710	9.203	10.797	10.211	11.789	14.009	15.991	18.829	21.171	23.644	26.356
14	0.737	1.263	2.549	3.451	4.456	5.544	5.359	6.641	7.259	8.741	9.168	10.832	10.177	11.823	13.966	16.034	18.779	21.221	23.585	26.415
15	0.727	1.273	2.532	3.468	4.436	5.564	5.335	6.665	7.232	8.768	9.137	10.863	10.146	11.854	13.928	16.072	18.733	21.267	23.532	26.468
16	0.718	1.282	2.517	3.483	4.418	5.582	5.313	6.687	7.207	8.793	9.109	10.891	10.119	11.881	13.894	16.106	18.693	21.307	23.485	26.515
17	0.711	1.289	2.504	3.496	4.402	5.598	5.295	6.705	7.185	8.815	9.085	10.915	10.095	11.905	13.863	16.137	18.657	21.343	23.444	26.556

ตารางที่ 4.11(ต่อ)

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
18	0.704	1.296	2.492	3.508	4.388	5.612	5.278	6.722	7.166	8.834	9.063	10.937	10.073	11.927	13.837	16.163	18.625	21.375	23.407	26.593
19	0.698	1.302	2.481	3.519	4.375	5.625	5.263	6.737	7.149	8.851	9.044	10.956	10.055	11.945	13.813	16.187	18.597	21.403	23.374	26.626
20	0.692	1.308	2.472	3.528	4.364	5.636	5.250	6.750	7.134	8.866	9.027	10.973	10.038	11.962	13.792	16.208	18.572	21.428	23.346	26.654
21	0.688	1.312	2.464	3.536	4.355	5.645	5.239	6.761	7.121	8.879	9.013	10.987	10.023	11.977	13.773	16.227	18.551	21.449	23.320	26.680
22	0.684	1.316	2.457	3.543	4.346	5.654	5.229	6.771	7.109	8.891	9.000	11.000	10.010	11.990	13.757	16.243	18.532	21.468	23.298	26.702
23	0.680	1.320	2.451	3.549	4.339	5.661	5.220	6.780	7.099	8.901	8.988	11.012	9.999	12.001	13.743	16.257	18.515	21.485	23.279	26.721
24	0.677	1.323	2.446	3.554	4.332	5.668	5.212	6.788	7.091	8.909	8.978	11.022	9.989	12.011	13.731	16.269	18.500	21.500	23.262	26.738
25	0.674	1.326	2.441	3.559	4.327	5.673	5.206	6.794	7.083	8.917	8.970	11.030	9.981	12.019	13.720	16.280	18.488	21.512	23.247	26.753
26	0.672	1.328	2.437	3.563	4.322	5.678	5.200	6.800	7.076	8.924	8.962	11.038	9.973	12.027	13.711	16.289	18.477	21.523	23.235	26.765
27	0.670	1.330	2.433	3.567	4.318	5.682	5.195	6.805	7.070	8.930	8.956	11.044	9.967	12.033	13.703	16.297	18.467	21.533	23.224	26.776
28	0.668	1.332	2.430	3.570	4.314	5.686	5.191	6.809	7.065	8.935	8.950	11.050	9.961	12.039	13.696	16.304	18.459	21.541	23.214	26.786
29	0.666	1.334	2.428	3.572	4.311	5.689	5.187	6.813	7.061	8.939	8.945	11.055	9.957	12.043	13.690	16.310	18.452	21.548	23.206	26.794
30	0.665	1.335	2.425	3.575	4.308	5.692	5.184	6.816	7.057	8.943	8.941	11.059	9.952	12.048	13.685	16.315	18.446	21.554	23.199	26.801
31	0.664	1.336	2.423	3.577	4.306	5.694	5.181	6.819	7.054	8.946	8.937	11.063	9.949	12.051	13.680	16.320	18.440	21.560	23.192	26.808
32	0.663	1.337	2.422	3.578	4.304	5.696	5.178	6.822	7.051	8.949	8.934	11.066	9.946	12.054	13.676	16.324	18.436	21.564	23.187	26.813
33	0.662	1.338	2.420	3.580	4.302	5.698	5.176	6.824	7.049	8.951	8.932	11.068	9.943	12.057	13.673	16.327	18.432	21.568	23.183	26.817
34	0.661	1.339	2.419	3.581	4.300	5.700	5.175	6.825	7.047	8.953	8.929	11.071	9.941	12.059	13.670	16.330	18.428	21.572	23.179	26.821

ตารางที่ 4.11(ต่อ)

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
35	0.661	1.339	2.418	3.582	4.299	5.701	5.173	6.827	7.045	8.955	8.927	11.073	9.939	12.061	13.668	16.332	18.425	21.575	23.175	26.825
36	0.660	1.340	2.417	3.583	4.298	5.702	5.172	6.828	7.044	8.956	8.926	11.074	9.937	12.063	13.665	16.335	18.423	21.577	23.172	26.828
37	0.660	1.340	2.416	3.584	4.297	5.703	5.171	6.829	7.042	8.958	8.924	11.076	9.936	12.064	13.664	16.336	18.421	21.579	23.170	26.830
38	0.659	1.341	2.416	3.584	4.296	5.704	5.170	6.830	7.041	8.959	8.923	11.077	9.935	12.065	13.662	16.338	18.419	21.581	23.168	26.832
39	0.659	1.341	2.415	3.585	4.295	5.705	5.169	6.831	7.040	8.960	8.922	11.078	9.934	12.066	13.661	16.339	18.418	21.582	23.166	26.834
40	0.659	1.341	2.415	3.585	4.295	5.705	5.168	6.832	7.039	8.961	8.921	11.079	9.933	12.067	13.660	16.340	18.416	21.584	23.165	26.835
41	0.659	1.341	2.414	3.586	4.294	5.706	5.168	6.832	7.039	8.961	8.920	11.080	9.932	12.068	13.659	16.341	18.415	21.585	23.163	26.837
42	0.658	1.342	2.414	3.586	4.294	5.706	5.167	6.833	7.038	8.962	8.920	11.080	9.931	12.069	13.658	16.342	18.414	21.586	23.162	26.838
43	0.658	1.342	2.414	3.586	4.294	5.706	5.167	6.833	7.038	8.962	8.919	11.081	9.931	12.069	13.657	16.343	18.413	21.587	23.161	26.839
44	0.658	1.342	2.413	3.587	4.293	5.707	5.166	6.834	7.037	8.963	8.919	11.081	9.930	12.070	13.657	16.343	18.413	21.587	23.160	26.840
45	0.658	1.342	2.413	3.587	4.293	5.707	5.166	6.834	7.037	8.963	8.918	11.082	9.930	12.070	13.656	16.344	18.412	21.588	23.160	26.840
46	0.658	1.342	2.413	3.587	4.293	5.707	5.166	6.834	7.037	8.963	8.918	11.082	9.930	12.070	13.656	16.344	18.412	21.588	23.159	26.841
47	0.658	1.342	2.413	3.587	4.293	5.707	5.166	6.834	7.036	8.964	8.918	11.082	9.929	12.071	13.655	16.345	18.411	21.589	23.159	26.841
48	0.658	1.342	2.413	3.587	4.292	5.708	5.165	6.835	7.036	8.964	8.917	11.083	9.929	12.071	13.655	16.345	18.411	21.589	23.158	26.842
49	0.658	1.342	2.413	3.587	4.292	5.708	5.165	6.835	7.036	8.964	8.917	11.083	9.929	12.071	13.655	16.345	18.411	21.589	23.158	26.842
50	0.658	1.342	2.412	3.588	4.292	5.708	5.165	6.835	7.036	8.964	8.917	11.083	9.929	12.071	13.655	16.345	18.410	21.590	23.158	26.842
51	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.165	6.835	7.036	8.964	8.917	11.083	9.929	12.071	13.655	16.345	18.410	21.590	23.157	26.843

ตารางที่ 4.11(ต่อ)

μ_0 / t	1		3		5		6		8		10		11		15		20		25	
	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
52	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.165	6.835	7.036	8.964	8.917	11.083	9.928	12.072	13.654	16.346	18.410	21.590	23.157	26.843
53	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.165	6.835	7.036	8.964	8.917	11.083	9.928	12.072	13.654	16.346	18.410	21.590	23.157	26.843
54	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.165	6.835	7.036	8.964	8.917	11.083	9.928	12.072	13.654	16.346	18.410	21.590	23.157	26.843
55	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.165	6.835	7.035	8.965	8.916	11.084	9.928	12.072	13.654	16.346	18.410	21.590	23.157	26.843
56	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.165	6.835	7.035	8.965	8.916	11.084	9.928	12.072	13.654	16.346	18.409	21.591	23.157	26.843
57	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.165	6.835	7.035	8.965	8.916	11.084	9.928	12.072	13.654	16.346	18.409	21.591	23.157	26.843
58	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.165	6.835	7.035	8.965	8.916	11.084	9.928	12.072	13.654	16.346	18.409	21.591	23.157	26.843
59	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.165	6.835	7.035	8.965	8.916	11.084	9.928	12.072	13.654	16.346	18.409	21.591	23.157	26.843
60	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.165	6.835	7.035	8.965	8.916	11.084	9.928	12.072	13.654	16.346	18.409	21.591	23.156	26.844
61	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.164	6.836	7.035	8.965	8.916	11.084	9.928	12.072	13.654	16.346	18.409	21.591	23.156	26.844
62	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.164	6.836	7.035	8.965	8.916	11.084	9.928	12.072	13.654	16.346	18.409	21.591	23.156	26.844
63	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.164	6.836	7.035	8.965	8.916	11.084	9.928	12.072	13.654	16.346	18.409	21.591	23.156	26.844
64	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.164	6.836	7.035	8.965	8.916	11.084	9.928	12.072	13.654	16.346	18.409	21.591	23.156	26.844
65	0.657	1.343	2.412	3.588	4.292	5.708	5.164	6.836	7.035	8.965	8.916	11.084	9.928	12.072	13.654	16.346	18.409	21.591	23.156	26.844

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิซี เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมแสดงในตารางที่ 4.12 โดยจำแนกตามจุดตำหนิโดยเฉลี่ย สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.12 แสดงค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมของแผนภูมิซี จำแนกตามจุดตำหนิโดยเฉลี่ย

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย (μ_0)	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL
1	273.911
3	262.951
5	189.424
6	275.597
8	268.960
10	289.491
11	205.667
15	283.873
20	369.633
25	443.051

จากตารางที่ 4.12 สามารถอธิบายได้ดังนี้

เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL เพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่แน่นอน เนื่องจากขอบเขตควบคุมจะเปลี่ยนไปตามจุดตำหนิโดยเฉลี่ย

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL

ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม แสดงในตารางที่ 4.13 – 4.22 และภาพที่ 4.1 – 4.8 โดยจำแนกตามจุดตำหนิโดยเฉลี่ยและระดับการเปลี่ยนแปลงที่ระดับต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ แผนภูมิที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ แผนภูมิที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด แสดงว่าแผนภูมินั้นๆ สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยได้เร็วที่สุด

ตารางที่ 4.13 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 1$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0

$\theta = 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35$ และ 0.40

θ	ARL			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	260.755	233.588	243.787	188.185*
0.05	233.474	146.368	175.517	1.000*
0.10	196.700	116.182	135.101	1.000*
0.11	193.651	114.987	110.236	1.000*
0.15	158.436	80.37	79.388	1.000*
0.20	111.111	74.604	47.616	1.000*
0.21	108.677	72.085	45.876	1.000*
0.25	106.325	53.722	24.617	1.000*
0.30	93.281	40.585	9.877	1.000*
0.35	84.539	38.706	8.763	1.000*
0.40	69.662	31.572	6.491	1.000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.13 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 1 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.40

ตารางที่ 4.14 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 3$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0

$\theta = 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35$ และ 0.40

θ	ARL			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	249.624	186.590	229.527	158.524*
0.05	196.983	143.435	145.951	1.000*
0.10	137.199	100.654	67.477	1.000*
0.11	133.976	93.235	51.557	1.000*
0.15	109.597	68.529	23.827	1.000*
0.20	78.272	52.986	4.168	1.000*
0.21	75.139	42.537	3.443	1.000*
0.25	72.850	31.691	1.379	1.000*
0.30	51.732	26.120	1.000*	1.000*
0.35	40.701	19.177	1.000*	1.000*
0.40	36.456	15.322	1.000*	1.000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.14 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 3 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.25 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.30-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 5$ และระดับการเปลี่ยนแปลง$100\theta\%$ของ μ_0

$\theta = 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35$ และ 0.40

θ	ARL			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	156.089	115.724	148.024	93.535*
0.05	120.716	89.530	80.195	1.000*
0.10	82.566	66.669	24.150	1.000*
0.11	72.958	57.214	17.556	1.000*
0.15	64.704	34.621	5.931	1.000*
0.20	49.087	25.731	1.108	1.000*
0.21	47.460	23.179	1.104	1.000*
0.25	40.817	19.987	1.000*	1.000*
0.30	31.068	15.479	1.000*	1.000*
0.35	24.740	11.889	1.000*	1.000*
0.40	19.544	9.869	1.000*	1.000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.15 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 5 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.21 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.25-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.16 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 6$ และระดับการเปลี่ยนแปลง$100\theta\%$ของ μ_0 และ $\theta = 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35$ และ 0.40

θ	ARL			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	253.562	182.089	221.786	105.061*
0.05	192.935	134.579	121.407	1.000*
0.10	119.663	78.684	27.030	1.000*
0.11	102.415	66.986	22.402	1.000*
0.15	90.254	63.985	5.919	1.000*
0.20	71.167	31.477	1.010*	1.000*
0.21	57.147	29.433	1.005*	1.000*
0.25	49.874	20.478	1.000*	1.000*
0.30	33.14	14.016	1.000*	1.000*
0.35	26.389	11.563	1.000*	1.000*
0.40	21.036	9.424	1.000*	1.000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.16 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 6 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.15 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.20-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 8$ และระดับการเปลี่ยนแปลง$100\theta\%$ของ μ_0 และ $\theta = 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35$ และ 0.40

θ	ARL			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	243.406	179.12	217.843	70.791*
0.05	185.042	134.214	108.369	1.000*
0.10	111.880	68.157	18.892	1.000*
0.11	93.460	60.215	13.706	1.000*
0.15	76.375	39.134	2.012	1.000*
0.20	52.209	23.814	1.000*	1.000*
0.21	48.367	23.600	1.000*	1.000*
0.25	34.438	14.792	1.000*	1.000*
0.30	25.624	11.19	1.000*	1.000*
0.35	20.747	8.956	1.000*	1.000*
0.40	16.084	6.675	1.000*	1.000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.17 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 8 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.15 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.20-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 10$ และระดับการเปลี่ยนแปลง$100\theta\%$ของ μ_0 และ $\theta = 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35$ และ 0.40

θ	ARL			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	240.984	129.167	213.786	35.091*
0.05	184.631	127.693	62.492	1.000*
0.10	104.818	68.157	11.941	1.000*
0.11	96.682	54.595	10.965	1.000*
0.15	63.204	35.940	1.088	1.000*
0.20	49.218	23.600	1.000*	1.000*
0.21	42.77	19.477	1.000*	1.000*
0.25	31.871	14.792	1.000*	1.000*
0.30	22.799	11.190	1.000*	1.000*
0.35	16.484	7.009	1.000*	1.000*
0.40	12.414	6.675	1.000*	1.000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.18 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 10 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.15 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.20-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 11$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 และ $\theta = 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35$ และ 0.40

θ	ARL			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	191.946	171.748	174.140	14.326*
0.05	122.217	98.631	85.893	1.000*
0.10	84.018	60.510	7.968	1.000*
0.11	62.434	32.325	4.205	1.000*
0.15	51.183	28.223	1.000*	1.000*
0.20	34.737	15.765	1.000*	1.000*
0.21	32.201	13.707	1.000*	1.000*
0.25	22.146	10.051	1.000*	1.000*
0.30	17.353	5.755	1.000*	1.000*
0.35	11.393	4.820	1.000*	1.000*
0.40	9.364	4.663	1.000*	1.000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.19 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 11 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.11 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.15-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 15$ และระดับการเปลี่ยนแปลง$100\theta\%$ของ μ_0 และ $\theta = 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35$ และ 0.40

θ	ARL			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	238.601	163.451	208.706	13.172*
0.05	181.802	127.513	62.255	1.000*
0.10	101.146	56.914	2.296	1.000*
0.11	80.343	40.422	1.941	1.000*
0.15	58.542	25.316	1.000*	1.000*
0.20	34.701	15.523	1.000*	1.000*
0.21	35.336	12.710	1.000*	1.000*
0.25	28.038	9.439	1.000*	1.000*
0.30	16.721	5.759	1.000*	1.000*
0.35	10.215	4.861	1.000*	1.000*
0.40	8.735	4.38	1.000*	1.000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.20 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 15 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.11 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.15-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 20$ และระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 และ $\theta = 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35$ และ 0.40

θ	ARL			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	226.713	143.171	185.763	1.000*
0.05	157.925	122.059	47.839	1.000*
0.10	101.085	41.564	1.829	1.000*
0.11	86.876	35.918	1.078	1.000*
0.15	57.973	19.463	1.000*	1.000*
0.20	27.676	11.272	1.000*	1.000*
0.21	25.736	10.710	1.000*	1.000*
0.25	20.394	7.535	1.000*	1.000*
0.30	15.259	5.002	1.000*	1.000*
0.35	10.215	3.999	1.000*	1.000*
0.40	6.946	3.248	1.000*	1.000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.21 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 20 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.11 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.15-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 แสดงค่า ARL เมื่อ $\mu_0 = 25$ และระดับการเปลี่ยนแปลง$100\theta\%$ของ μ_0 และ $\theta = 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35$ และ 0.40

θ	ARL			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	224.263	128.272	150.026	1.000*
0.05	153.044	116.403	45.112	1.000*
0.10	99.125	40.832	1.064	1.000*
0.11	87.494	35.809	1.000*	1.000*
0.15	57.874	17.648	1.000*	1.000*
0.20	30.071	10.333	1.000*	1.000*
0.21	26.869	9.315	1.000*	1.000*
0.25	18.180	6.676	1.000*	1.000*
0.30	11.470	4.454	1.000*	1.000*
0.35	9.877	3.554	1.000*	1.000*
0.40	5.629	2.928	1.000*	1.000*

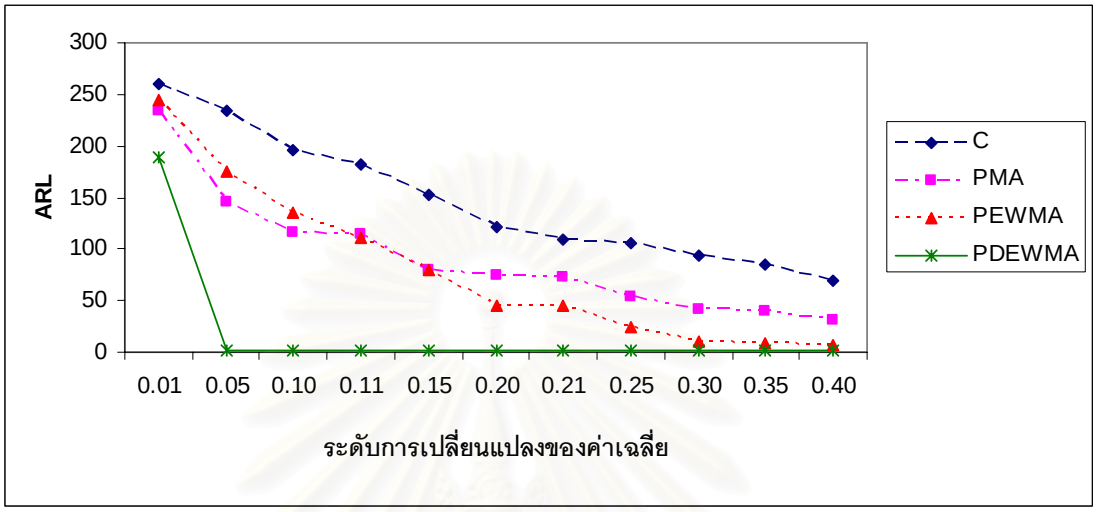
หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.22 สามารถอธิบายได้ดังนี้

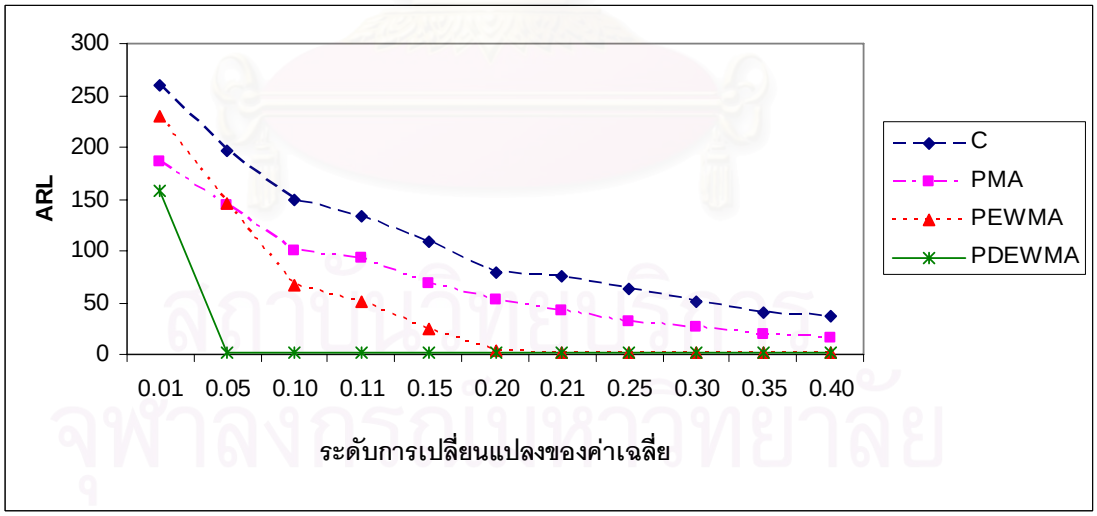
จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 25 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.10 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.11-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

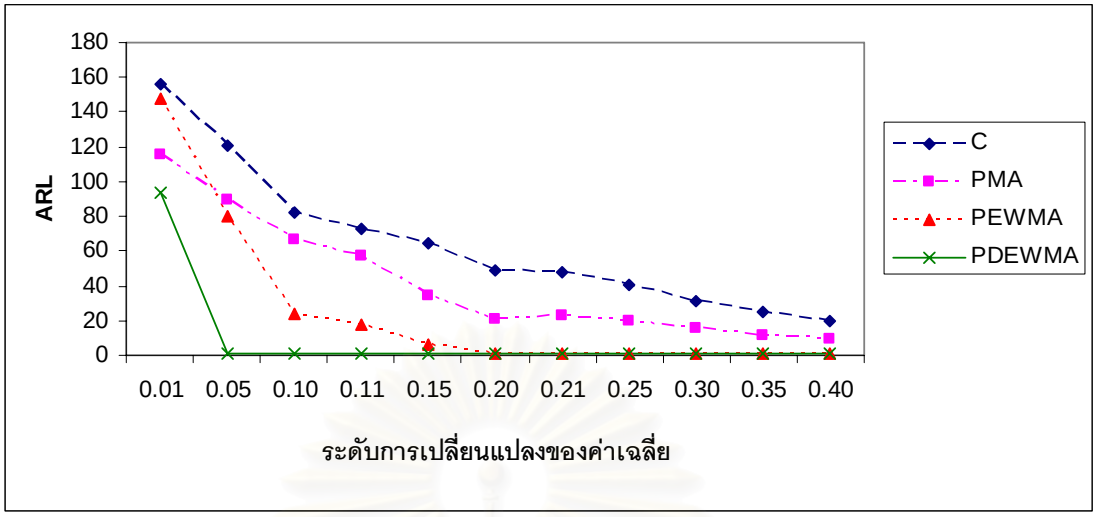
ดังนั้นจากตารางที่ 4.13 ถึง 4.22 สามารถแสดงเป็นภาพที่ 4.1 ถึง 4.8 ด้วยค่าพารามิเตอร์ μ_0 และ θ



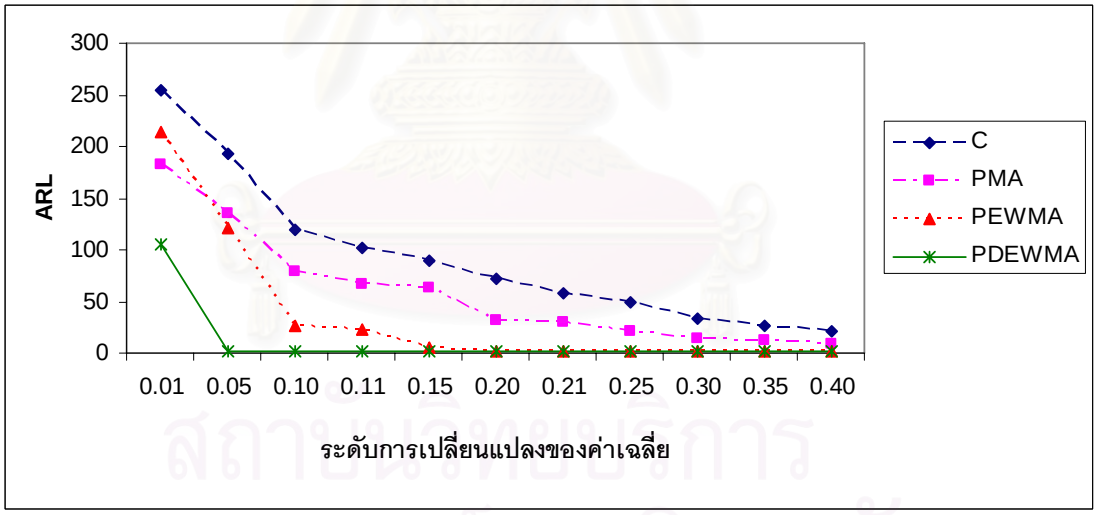
ภาพที่ 4.1 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1



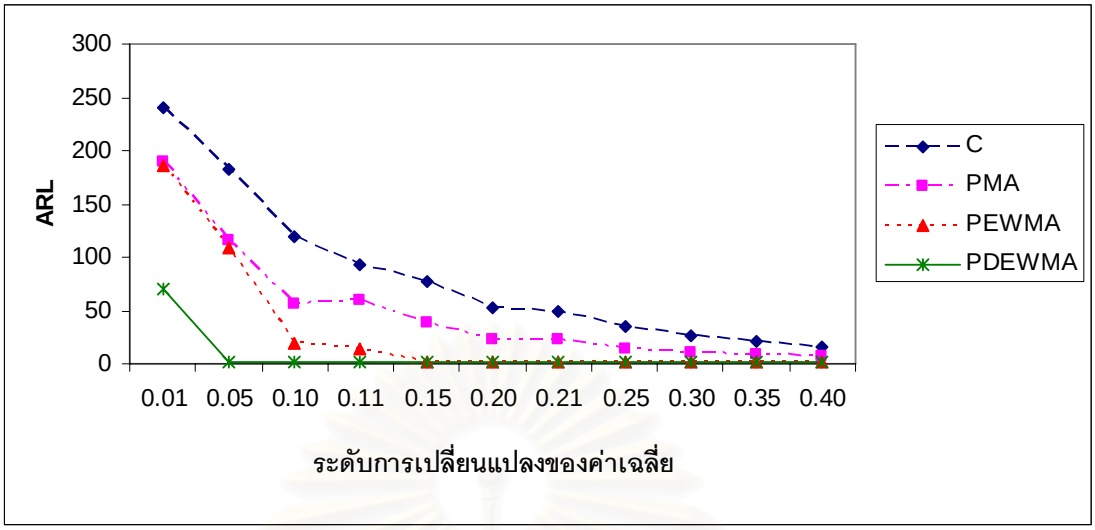
ภาพที่ 4.2 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3



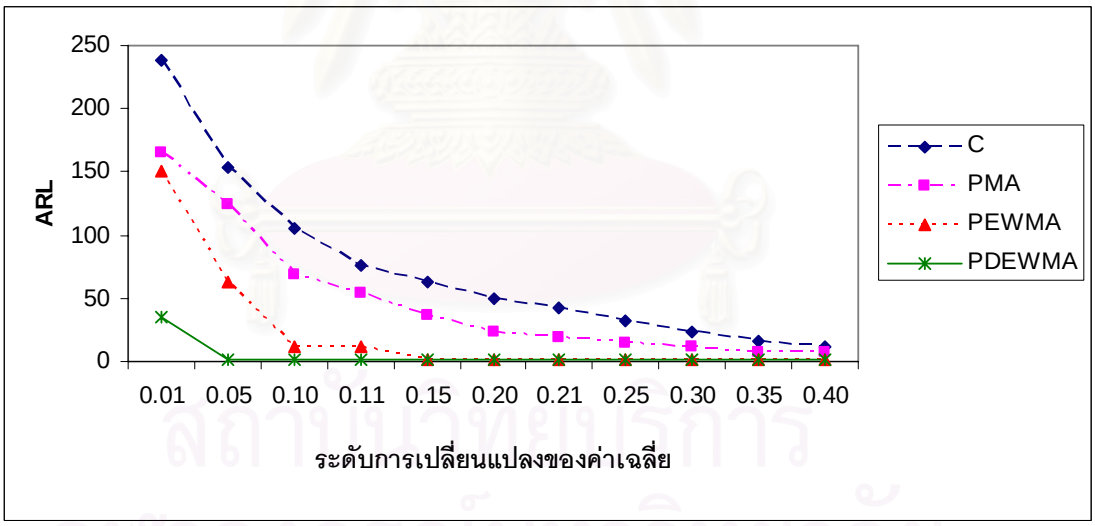
ภาพที่ 4.3 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5



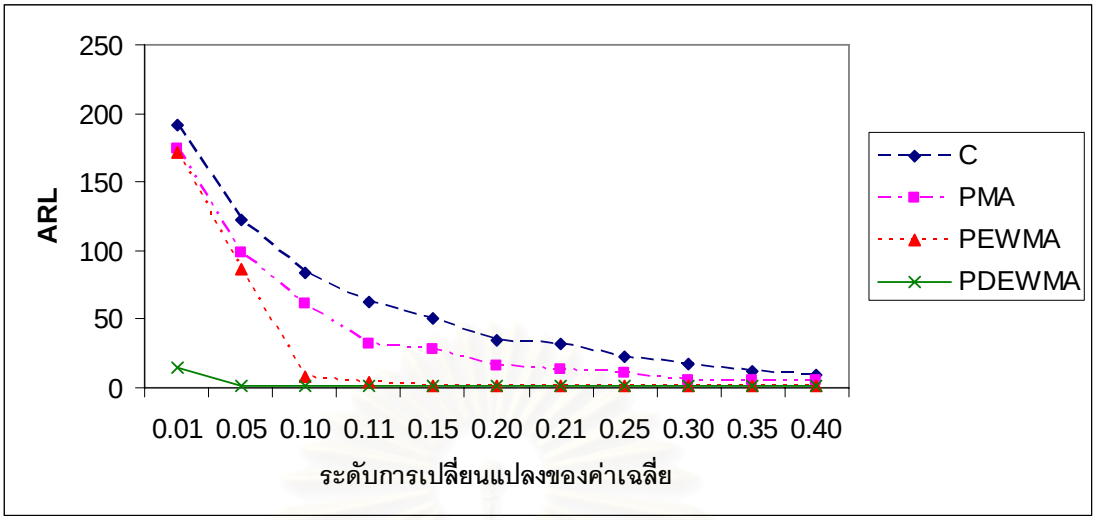
ภาพที่ 4.4 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6



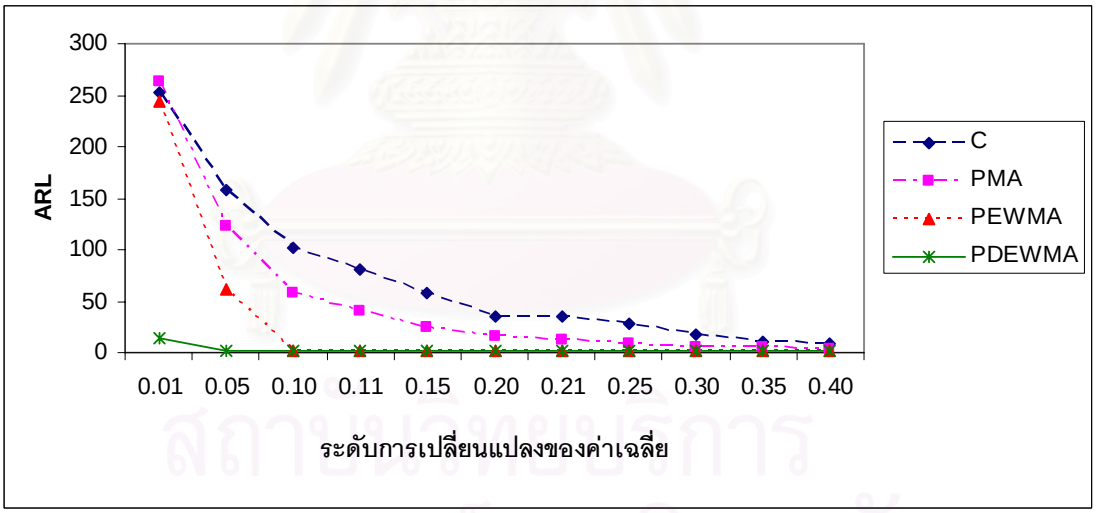
ภาพที่ 4.5 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8



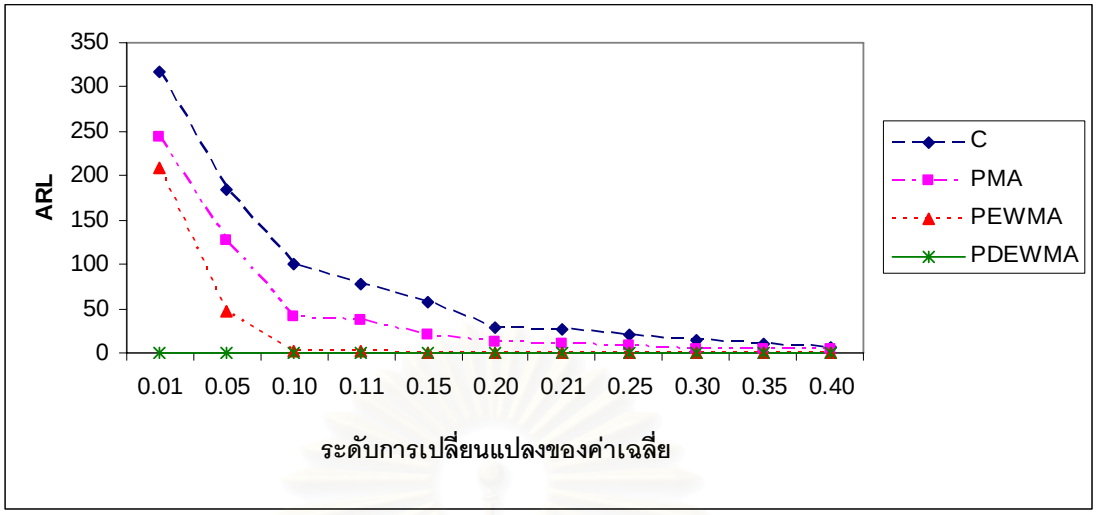
ภาพที่ 4.6 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10



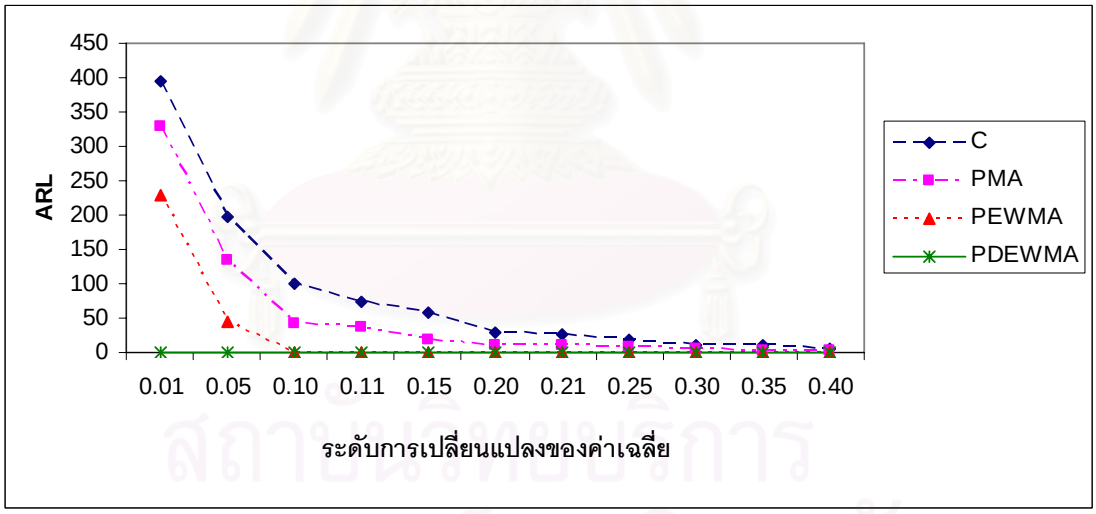
ภาพที่ 4.7 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 11



ภาพที่ 4.8 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 15



ภาพที่ 4.9 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 20



ภาพที่ 4.10 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อจุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25

4.4 ผลการวิเคราะห์อำนาจการทดสอบ (Power of Test)

ค่าอำนาจการทดสอบ (Power of Test) ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมดังแสดงในตารางที่ 4.23 – 4.32 โดยจำแนกตามจุดตำหนิโดยเฉลี่ยและระดับการเปลี่ยนแปลงที่ระดับต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

การหาค่าอำนาจการทดสอบ สามารถหาได้จากการนับจำนวนตัวอย่างที่มีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมแล้วหารด้วยจำนวนรอบทั้งหมด

ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ แผนภูมิที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ แผนภูมิที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงที่สุด แสดงว่าแผนภูมินั้นๆ สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิโดยเฉลี่ยได้เร็วที่สุด

จากตารางที่ 4.23 – 4.32 สามารถสรุปได้ว่า ในระดับการเปลี่ยนแปลงและจุดตำหนิโดยเฉลี่ยต่างๆ การหาค่าอำนาจการทดสอบของแผนภูมิทั้ง 4 แบบ ให้ผลเหมือนกันกับวิธีการหา ARL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 1$

θ	$\hat{\beta}$			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	0.0039	0.0043	0.0041	0.0053*
0.05	0.0043	0.0068	0.0052	1.0000*
0.10	0.0051	0.0084	0.0075	1.0000*
0.11	0.0052	0.0085	0.0092	1.0000*
0.15	0.0058	0.0116	0.0126	1.0000*
0.20	0.0070	0.0144	0.0209	1.0000*
0.21	0.0089	0.0161	0.0218	1.0000*
0.25	0.0097	0.0180	0.0405	1.0000*
0.30	0.0105	0.0232	0.1005	1.0000*
0.35	0.0125	0.0242	0.1205	1.0000*
0.40	0.0157	0.0342	0.1460	1.0000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกการควบคุม

จากตารางที่ 4.23 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 1 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 3$

θ	$\hat{\beta}$			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	0.0039	0.0054	0.0044	0.0063*
0.05	0.0050	0.0070	0.0068	1.0000*
0.10	0.0072	0.0100	0.0142	1.0000*
0.11	0.0082	0.0110	0.0254	1.0000*
0.15	0.0083	0.0136	0.0450	1.0000*
0.20	0.0112	0.0211	0.5342	1.0000*
0.21	0.0124	0.0229	0.5412	1.0000*
0.25	0.0134	0.0319	0.7096	1.0000*
0.30	0.0201	0.0414	1.0000*	1.0000*
0.35	0.0232	0.0522	1.0000*	1.0000*
0.40	0.0279	0.0628	1.0000*	1.0000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกการควบคุม

จากตารางที่ 4.24 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 3 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.25 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.30-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 5$

θ	$\hat{\beta}$			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	0.0060	0.0076	0.0068	0.0108*
0.05	0.0073	0.0107	0.0129	1.0000*
0.10	0.0117	0.0158	0.0452	1.0000*
0.11	0.0136	0.0184	0.0591	1.0000*
0.15	0.0155	0.0288	0.1642	1.0000*
0.20	0.0187	0.0496	0.9715	1.0000*
0.21	0.0211	0.0395	0.9866	1.0000*
0.25	0.0248	0.0501	1.0000*	1.0000*
0.30	0.0325	0.0647	1.0000*	1.0000*
0.35	0.0403	0.0790	1.0000*	1.0000*
0.40	0.0509	0.1000	1.0000*	1.0000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกการควบคุม

จากตารางที่ 4.25 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 5 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.21 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.25-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 6$

θ	$\hat{\beta}$			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	0.0040	0.0055	0.0045	0.0096*
0.05	0.0052	0.0074	0.0085	1.0000*
0.10	0.0083	0.0117	0.0389	1.0000*
0.11	0.0088	0.0136	0.0427	1.0000*
0.15	0.0113	0.0177	0.1570	1.0000*
0.20	0.0146	0.0310	0.9892	1.0000*
0.21	0.0149	0.0343	0.9961	1.0000*
0.25	0.0204	0.0479	1.0000*	1.0000*
0.30	0.0274	0.0640	1.0000*	1.0000*
0.35	0.0374	0.0922	1.0000*	1.0000*
0.40	0.0446	0.1108	1.0000*	1.0000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกการควบคุม

จากตารางที่ 4.26 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 6 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.21 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.25-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 8$

θ	$\hat{\beta}$			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	0.0041	0.0056	0.0046	0.0139*
0.05	0.0056	0.0075	0.0093	1.0000*
0.10	0.0090	0.0134	0.0579	1.0000*
0.11	0.0116	0.0176	0.0681	1.0000*
0.15	0.0129	0.0267	0.4644	1.0000*
0.20	0.0204	0.0422	1.0000*	1.0000*
0.21	0.0209	0.0452	1.0000*	1.0000*
0.25	0.0297	0.0685	1.0000*	1.0000*
0.30	0.0387	0.0971	1.0000*	1.0000*
0.35	0.0481	0.1235	1.0000*	1.0000*
0.40	0.0622	0.1393	1.0000*	1.0000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกการควบคุม

จากตารางที่ 4.27 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 8 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.15 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.20-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ $\mu_0 = 10$

θ	$\hat{\beta}$			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	0.0042	0.0059	0.0047	0.0296*
0.05	0.0056	0.0078	0.0148	1.0000*
0.10	0.0095	0.0144	0.0861	1.0000*
0.11	0.0101	0.0183	0.5564	1.0000*
0.15	0.0152	0.0277	0.9009	1.0000*
0.20	0.0215	0.0493	1.0000*	1.0000*
0.21	0.0243	0.0502	1.0000*	1.0000*
0.25	0.0329	0.0689	1.0000*	1.0000*
0.30	0.0452	0.1019	1.0000*	1.0000*
0.35	0.0609	0.1183	1.0000*	1.0000*
0.40	0.0818	0.1449	1.0000*	1.0000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกการควบคุม

จากตารางที่ 4.28 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 10 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.15 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.20-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.29 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมเมื่อ $\mu_0 = 11$

θ	$\hat{\beta}$			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	0.0061	0.0066	0.0067	0.0668*
0.05	0.0081	0.0095	0.0174	1.0000*
0.10	0.0122	0.0169	0.1241	1.0000*
0.11	0.0161	0.0246	0.1953	1.0000*
0.15	0.0195	0.0327	1.0000*	1.0000*
0.20	0.0286	0.0446	1.0000*	1.0000*
0.21	0.0313	0.0570	1.0000*	1.0000*
0.25	0.0448	0.1000	1.0000*	1.0000*
0.30	0.0580	0.1840	1.0000*	1.0000*
0.35	0.0899	0.2180	1.0000*	1.0000*
0.40	0.1051	0.2149	1.0000*	1.0000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกการควบคุม

จากตารางที่ 4.29 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 11 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.11 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.15-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมเมื่อ $\mu_0 = 15$

θ	$\hat{\beta}$			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	0.0043	0.0061	0.0048	0.0699*
0.05	0.0056	0.0078	0.0160	1.0000*
0.10	0.0099	0.0179	0.4157	1.0000*
0.11	0.0120	0.0237	0.4874	1.0000*
0.15	0.0167	0.0380	1.0000*	1.0000*
0.20	0.0284	0.0652	1.0000*	1.0000*
0.21	0.0292	0.0794	1.0000*	1.0000*
0.25	0.0418	0.1219	1.0000*	1.0000*
0.30	0.0596	0.1326	1.0000*	1.0000*
0.35	0.0946	0.2124	1.0000*	1.0000*
0.40	0.1146	0.2292	1.0000*	1.0000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกการควบคุม

จากตารางที่ 4.30 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 15 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.11 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.15-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมเมื่อ $\mu_0 = 20$

θ	$\hat{\beta}$			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	0.0043	0.0070	0.0054	1.0000*
0.05	0.0063	0.0082	0.0211	1.0000*
0.10	0.0098	0.0228	0.5376	1.0000*
0.11	0.0117	0.0276	0.9931	1.0000*
0.15	0.0190	0.0480	1.0000*	1.0000*
0.20	0.0328	0.0872	1.0000*	1.0000*
0.21	0.0355	0.0986	1.0000*	1.0000*
0.25	0.0506	0.1318	1.0000*	1.0000*
0.30	0.0589	0.1738	1.0000*	1.0000*
0.35	0.1085	0.2507	1.0000*	1.0000*
0.40	0.1447	0.3218	1.0000*	1.0000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกการควบคุม

จากตารางที่ 4.31 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 20 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.11 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.15-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.32 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมเมื่อ $\mu_0 = 25$

θ	$\hat{\beta}$			
	C	PMA	PEWMA	PDEWMA
0.01	0.0044	0.0078	0.0067	1.0000*
0.05	0.0066	0.0086	0.0232	1.0000*
0.10	0.0103	0.0235	0.9675	1.0000*
0.11	0.0114	0.0279	1.0000*	1.0000*
0.15	0.0160	0.0531	1.0000*	1.0000*
0.20	0.0316	0.0981	1.0000*	1.0000*
0.21	0.0332	0.1026	1.0000*	1.0000*
0.25	0.0543	0.1694	1.0000*	1.0000*
0.30	0.0875	0.2275	1.0000*	1.0000*
0.35	0.1380	0.2641	1.0000*	1.0000*
0.40	0.1768	0.3565	1.0000*	1.0000*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่จำนวนตัวอย่างจะออกนอกการควบคุม

จากตารางที่ 4.32 สามารถอธิบายได้ดังนี้

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย เท่ากับ 25 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.01-0.10 แผนภูมิควบคุม PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 0.11-0.40 แผนภูมิควบคุม PEWMA และ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงจุดตำหนิโดยเฉลี่ยทั้งหมด 4 แผนภูมิ ซึ่งประกอบด้วย แผนภูมิซี แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปัวส์ซอง แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง โดยศึกษาจากจำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เพื่อหาข้อสรุปว่าแผนภูมิใดมีประสิทธิภาพมากกว่าในแต่ละสถานการณ์ดังต่อไปนี้

1. กำหนดจุดตำหนิโดยเฉลี่ยที่ต้องการควบคุม μ_0 คือ 1, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 15, 20, 25

2. กำหนดอัตราเพิ่มขึ้นของจุดตำหนิเท่ากับ $100\theta\%$ ของ μ_0 ได้จุดตำหนิโดยเฉลี่ยที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม $\mu_1 = (1+\theta)\mu_0$ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้กำหนด θ = 0.01, 0.05, 0.10, 0.11, 0.15, 0.20, 0.21, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยวิธีเทคนิคมอนติคาร์โล และใช้โปรแกรมฟอร์แทรนสร้างข้อมูล โดยจำลองทั้งหมด 1,000 รอบ ในแต่ละสถานการณ์

5.1 สรุปผลการวิจัย

การพิจารณาว่าแผนภูมิควบคุมใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด จะทำการเปรียบเทียบโดยพิจารณาจากค่าจำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงจุดตำหนิโดยเฉลี่ย

5.5.1 การเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย

จากการเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมที่ระดับการเปลี่ยนแปลงจุดตำหนิโดยเฉลี่ยต่างกัน ของแผนภูมิซี แผนภูมิ PMA แผนภูมิ PEWMA และแผนภูมิ PDEWMA สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1%-10% จุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1- 25 แผนภูมิ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 11%-20% จุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8 -25 แผนภูมิ PEWMA และ แผนภูมิ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

3. เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 21%-40% จุดตำหนิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3-25 แผนภูมิ PEWMA และ แผนภูมิ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ผลสรุปข้างต้นนำเสนอดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แผนภูมิควบคุมที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $100\theta\%$ ของ μ_0 และจุดตำหนิโดยเฉลี่ย (μ_0)

จุดตำหนิโดยเฉลี่ย (μ_0)	ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $100\theta\%$		
	1%-10%	11%-20%	มากกว่า 20%
1 - 5	PDEWMA	PDEWMA	PEWMA,PDEWMA
6 - 10	PDEWMA	PEWMA,PDEWMA	PEWMA,PDEWMA
มากกว่า 10	PDEWMA	PEWMA,PDEWMA	PEWMA,PDEWMA

หมายเหตุ PEWMA หมายถึง แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

PDEWMA หมายถึง แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลสองครั้งกับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยครั้งนี้มีข้อเสนอแนะ 2 ด้านคือ

1. ด้านการนำไปใช้ประโยชน์

ในการเลือกแผนภูมิควบคุมสำหรับตรวจสอบกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงของจุดตำหนิ ควรเลือกแผนภูมิให้เหมาะสมเพื่อให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดตำหนิโดยเฉลี่ยที่ต้องการควบคุม (μ_0) และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย$100\theta\%$ โดยสามารถเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมได้จากตารางที่ 5.1 ในทางปฏิบัติผู้ใช้จะไม่สามารถทราบขนาดของ θ แต่จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย$100\theta\%$ เพิ่มขึ้น แผนภูมิ PDEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการ

2. ด้านการทำวิจัยเพื่อศึกษาต่อ

ในการทำวิจัยเพื่อศึกษาต่อ อาจจะทำได้ในเรื่องต่อไปนี้

1. การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจสอบกระบวนการเมื่อทราบจุดตำหนิโดยเฉลี่ยที่ต้องการควบคุม (μ_0) ดังนั้นในการศึกษาวิจัยต่ออาจศึกษาในกรณีไม่ทราบค่าจุดตำหนิโดยเฉลี่ยที่ต้องการควบคุม (μ_0)

2. ในการศึกษาวิจัยต่ออาจจะศึกษาเปรียบเทียบกับแผนภูมิควบคุมอื่นๆ เช่น แผนภูมิ Poisson CUSUM

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ภัทราทิพย์ อินปุระ(2545). "การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เพ็ญนภา เจริญศิลป์(2547). "การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของเสีย." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มานพ วราภักดิ์(2547). การจำลองเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

มานพ วราภักดิ์(2545). ทฤษฎีความน่าจะเป็น. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภาษาอังกฤษ

Alwan L.C. (2000). Statistical Process Analysis. New York : Irwin McGraw-Hill,

Montgomery D.C. (1991). Introduction to Statistic Quality Control, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc.,

Borror C.M., Champ C.W., Rigdon S.E. (1998). Poisson EWMA control charts. Journal of Quality Technology 30(4) : 352-361.

Gan F.F. (1990). Monitoring Poisson observations using modified exponentially weighted moving average Control Charts. Communications in Statistics-Theory and Methods 19 : 103-124.

Ryan,T.P. and N.C. Schwertman (1997). Optimal limits for attribute control charts. Journal of Quality Technology 29(1) : 99-104.

Shamma S.E., Shamma A.K. (1992). Development and evaluation of control chart using double exponentially weighted moving averages. International Journal of Quality and Reliability Management 9 : 12-25.

Steiner S.H. (1999). EWMA control charts with time-varying control limits and fast initial response. Journal of Quality Technology 31 : 75-86.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างตัวเลขสุ่ม

โปรแกรมสำหรับสร้างเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

โปรแกรมสำหรับคำนวณค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างตัวเลขสุ่ม

```
!****************COMPUTER RANDOM VARIABLE*****************!
FUNCTION URAND(IX,RAND)
REAL RAND
IX=DMOD(16807.0D0*IX,2147483647.0D0)
RAND=IX/2147483647.0
RETURN
END
```

โปรแกรมสำหรับสร้างเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

```
!**************COMPUTER POISSON VARIABLE*****************!
 FUNCTION PO(IX,MU1,X)
REAL MU1
REAL*8 E,P
E=EXP(-MU1)
P=1.0
I=0
5          CALL URAND(IX,RAND)
                    R=RAND
                    P=P*R
              IF(P.LE.E)THEN
                     X=I
            ELSE
                    I=I+1
      GOTO 5
 END IF
RETURN
END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมสำหรับคำนวณค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ

```
!**************** COMPUTE ARL OF c CHART*********************!
REAL MUO
INTEGER NROUND
PRINT*,'ENTER THE DESIRED SEED:'
READ (*,*) IX
PRINT*,'ENTER MUO:'
READ (*,*) MUO
PRINT*,'ENTER DELTA:'
READ (*,*) DELTA
PRINT*,'ENTER NROUND:'
READ (*,*) NROUND
        CALL MAINPROGRAM(IX,MUO,DELTA,NROUND,SUMNP,ARL)
END
SUBROUTINE MAINPROGRAM(IX,MUO,DELTA,NROUND,SUMNP,ARL)
REAL  MUO,MU1,DELTA
REAL  SUMNP,ARL,RL
REAL SIGMA3,CUCL,CLCL,TEMP_X
MU1 = (1+DELTA)*MUO
RL = 0.0
SUMNP = 0.0
DO 100 I = 1,NROUND
        DO 101 J = 1,100
        CALL PO(IX,MUO,X)
101     CONTINUE
        9   RL = RL + 1
        CALL PO(IX,MU1,X)
           DATAPOI = X
         TEMP_X = DATAPOI
        SD = SQRT(MUO)
        SIGMA3 = 3*SD
        CUCL = MUO + SIGMA3
        CLCL = MUO - SIGMA3
         IF (CLCL.LT.0) CLCL = 0
```

```
 IF (TEMP_X.GT.CUCL.OR.TEMP_X.LT.CLCL) THEN
            SUMNP = SUMNP + RL
                  RL = 0.0
            CALL URAND(IX,RAND)
                     RI=RAND
            IX=RI*100000
            ELSE
 GOTO 9
            END IF
100 CONTINUE
            ARL = SUMNP/NROUND
 RETURN
END
!*************** COMPUTE ARL OF PMA CHART*******************!
DIMENSION PMAOUT(100000)
REAL MUO,L,MU1
INTEGER N
PRINT*,'ENTER THE DESIRED SEED:'
READ (*,*)IX
PRINT*,'ENTER N:'
READ (*,*)N
PRINT*,'ENTER MUO:'
READ (*,*)MUO
PRINT*,'ENTER DELTA:'
READ (*,*)DELTA
PRINT*,'ENTER W:'
READ (*,*)W
PRINT*,'ENTER L:'
READ (*,*)L
PRINT*,'ENTER NROUND:'
READ (*,*)NROUND
MU1 = (1+DELTA)*MUO
CALL MAINPROGRAM(IX,N,MUO,MU1,W,L,NROUND,PMAOUT,ARL)
      100       END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
SUBROUTINE MAINPROGRAM(IX,N,MUO,MU1,W,L,NROUND,PMAOUT,ARL)
REAL  POI(N)
REAL  MUO,MU1
REAL  W,L
REAL  PMAOUT(N)
REAL  SUMPMA,SUMPMA1,ARL
  SUMPMA1 = 0.0
DO 72 I=1,NROUND
     DO 74 J=1,N
          IF (J.LE.100) THEN
                  CALL PO(IX,MUO,X)
                      POI(J) = 0
                   ELSE
                  CALL PO(IX,MU1,X)
                      POI(J) = X
                   END IF
     74  CONTINUE
          CALL PWMA(POI,N,W,PMAOUT)
          CALL ARLPMA(N,W,MUO,L,PMAOUT,SUMPMA)
                   SUMPMA1 = SUMPMA1 +  SUMPMA
                  CALL URAND(IX,RAND)
                       RI=RAND
                      IX=RI*100000
 72 CONTINUE
      ARL = SUMPMA1/NROUND
END

! ***************** COMPUTE PMA **********************!
  SUBROUTINE PWMA(POI,N,W,PMAOUT)
  REAL POI(N)
  REAL W
  REAL PMAOUT(N),M(N)
  REAL PMA
   DO 11 J=1,N
           M(J)=0
```

```
      IF(J-100.LT.W) THEN
            IF(J-100.EQ.1) THEN
                  M(J) = POI(J)/(J-100)
              ELSE
                  IF(J-100.GE.2) THEN
                     PMA = 0.0
                    DO 13 Z=0,J-1,1
                          PMA = PMA + POI(J-Z)
                  13 CONTINUE
                       M(J) = PMA/(J-100)
                    END IF
                 END IF
           ELSE
                  IF(J-100.GE.W) THEN
                     PMA = 0.0
                     DO 14 K=0,W-1,1
                           PMA = PMA + POI(J-K)
                     14 CONTINUE
                      M(J) = PMA/W
              END IF
          END IF
          PMAOUT(J) = M(J)
      11 CONTINUE
       RETURN
      END

SUBROUTINE ARLPMA(N,W,MUO,L,PMAOUT,SUMPMA)
REAL W,L
REAL PMAOUT(N)
REAL MUO
REAL SIGMA3,PUCL,PLCL,TEMP_X
 SUMPMA = 0.0
RL = 1.0
 DO 13 J=1,N
  IF(J.GT.100) THEN
```

```
          IF(J-100.LT.W) THEN
                TEMP_X = PMAOUT(J)
                SD = SQRT(MUO/(J-100))
                 SIGMA3  = L*SD
                 PUCL = MUO + SIGMA3
                 PLCL = MUO - SIGMA3
          ELSE IF(J-100.GE.W) THEN
                 TEMP_X = PMAOUT(J)
                 SD = SQRT(MUO/W)
                 SIGMA3 = L*SD
                 PUCL = MUO + SIGMA3
                  PLCL = MUO - SIGMA3
          END IF
           IF (PLCL.LT.0) PLCL = 0
    IF(TEMP_X.GT.PUCL.OR.TEMP_X.LT.PLCL.OR.RL.GE.1000) THEN
                      SUMPMA = SUMPMA + RL
                            RL = 1.0
           RETURN
           ELSE
                 RL = RL + 1
       END IF
  END IF
 13  CONTINUE
  RETURN
  END
!**************** COMPUTE ARL OF PEWMA CHART*******************!
REAL MUO,LAMDA,L
INTEGER NROUND
PRINT*,'ENTER THE DESIRED SEED:'
READ (*,*)IX
PRINT*,'ENTER MUO:'
READ (*,*)MUO
PRINT*,'ENTER DELTA:'
READ (*,*)DELTA
PRINT*,'ENTER LAMDA:'
```

```
READ (*,*)LAMDA
PRINT*,'ENTER L:'
READ (*,*)L
PRINT*,'ENTER NROUND:'
READ (*,*)NROUND
          CALL MAINPROGRAM(IX,NROUND,MUO,DELTA,LAMDA,L,ARL)
100       END
SUBROUTINE MAINPROGRAM(IX,NROUND,MUO,DELTA,LAMDA,L,ARL)
REAL  YY, DELTA
REAL  MUO,LAMDA,SUMPE
REAL  L ,ARL ,RESULT
INTEGER  IX
          RESULT = 0.0
 DO 16 I = 1,NROUND
           CALL ARLPEWMA(IX,MUO,DELTA,LAMDA,L,YY,SUMPE)
                RESULT = RESULT + SUMPE
16 CONTINUE
          ARL =    RESULT/NROUND
END

!************************ COMPUTE PEWMA ***********************!
  SUBROUTINE ARLPEWMA(IX,MUO,DELTA,LAMDA,L,YY,SUMPE)
  REAL YY,Y_T
  REAL TEMP_PE
  REAL MUO,L,LAMDA
  REAL SUMPE,X,TEMP_X,RL
  REAL  MU1,DELTA
  INTEGER T,IX
   MU1 = (1+DELTA)*MUO
   SUMPE = 0.0
   RL = 0.0
           DO 16 J = 1,100
              CALL PO(IX,MUO,X)
   16    CONTINUE
15         RL = RL + 1
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
          CALL PO(IX,MU1,X)
                P = X
           TEMP_X = P
          IF (RL.EQ.0.0) THEN
                T = 1
          ELSE
                T = T + 1
          END  IF
          IF(T.EQ.1) THEN
             YY = (LAMDA*P)+(1-LAMDA)*MU1
                 Y_T = YY
          ELSE

          YY = (LAMDA*P)+(1-LAMDA)*Y_T
                 Y_T = YY
          END IF
           TEMP_PE = MUO*(LAMDA/(2-LAMDA))*(1-((1-LAMDA)**(2*T)))
               PEUCL = MUO + L*SQRT(TEMP_PE)
               PELCL = MUO - L*SQRT(TEMP_PE)
               IF (PELCL.LT.0) PELCL = 0
            IF(YY.GT.PEUCL.OR.YY.LT.PELCL) THEN
                   SUMPE = SUMPE + RL
                        RL = 0.0
                         T = 0
                   ELSE
                      GOTO 15
                   END IF
      CONTINUE
RETURN
END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
!*************** COMPUTE ARL OF PDEWMA CHART*******************!
REAL MUO,LAMDA,K
INTEGER NROUND
PRINT*,'ENTER THE DESIRED SEED:'
READ (*,*)IX
PRINT*,'ENTER MUO:'
READ (*,*)MUO
PRINT*,'ENTER DELTA:'
READ (*,*)DELTA
PRINT*,'ENTER LAMDA:'
READ (*,*)LAMDA
PRINT*,'ENTER K:'
READ (*,*)K
PRINT*,'ENTER NROUND:'
READ (*,*)NROUND
          CALL MAINPROGRAM(IX,NROUND,MUO,DELTA,LAMDA,K,ARL)
100       END
SUBROUTINE MAINPROGRAM(IX,NROUND,MUO,DELTA,LAMDA,K,ARL)
REAL  MUO, LAMDA
REAL  K, SUMPDE,  ARL
RESULT = 0.0
SUMPDE = 0.0
   DO 200 I=1,NROUND
             CALL ARLPDEWMA(IX,MUO,DELTA,LAMDA,K,SUMPDE)
                    RESULT = RESULT  +    SUMPDE
 200 CONTINUE
      ARL = RESULT/NROUND
 END

!*****************COMPUTE  PDEWMA *********************!
  SUBROUTINE ARLPDEWMA(IX,MUO,DELTA,LAMDA,K,SUMPDE)
  REAL MUO,LAMDA,P
  REAL YY,ZZ,Y_T,Z_T,K,TEMP_X
  INTEGER T,IX
  REAL TEMP_PDE, PDEUCL,PDELCL, RL,SUMPDE
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 REAL MU1,DELTA
  MU1 = (1+DELTA)*MUO
  SUMPDE = 0.0
   RL = 0.0
        DO 61 J = 1,100
           CALL PO(IX,MUO,X)
61  CONTINUE
60        RL = RL + 1
           CALL PO(IX,MU1,X)
                P = X
          TEMP_X = P
       IF (RL.EQ.0.0) THEN
                T = 1
          ELSE
                T = T + 1
     END IF
        IF(T.EQ.1) THEN
          YY = (LAMDA*P)+(1-LAMDA)*MU1
           Y_T = YY
    ELSE
           YY = (LAMDA*P)+(1-LAMDA)*Y_T
          Y_T = YY
       END IF
      IF(T.EQ.1) THEN
          ZZ = (LAMDA*Y_T)+(1-LAMDA)*MU1
          Z_T = ZZ
   ELSE
          ZZ = (LAMDA*Y_T)+(1-LAMDA)*Z_T
          Z_T = ZZ
   END IF
TEMP_PDE=MUO*((LAMDA**4)*(1+((1-LAMDA)**2)-((T+1)**2)*((1-LAMDA)**(2*T))+(2*(T**2)
              +2*T-1)*((1-LAMDA)**(2*T+2))-((T**2)*((1-LAMDA)**(2*T+4))))/((1-((1-LAMDA)**2)))**3)
  PDEUCL = MUO + K*SQRT(TEMP_PDE)
  PDELCL = MUO - K*SQRT(TEMP_PDE)
     IF (PDELCL.LT.0) PELCL = 0
```

```
            IF(ZZ.GT.PDEUCL.OR.ZZ.LT.PDELCL) THEN
                  SUMPDE = SUMPDE + RL
                        RL = 0.0
                         T = 0
              ELSE
                    GOTO 60
               END IF
          RETURN
          END

!*******************COMPUTER POISSON VARIABLE*********************!
 SUBROUTINE PO(IX,MU1,X)
 REAL MU1
 REAL*8 E,P
           E=EXP(-MU1)
                 P=1.0
                  I=0
5         CALL URAND(IX, RAND)
                 R=RAND
                    P=P*R
                 IF(P.LE.E)THEN
                       X=I
                 ELSE
                       I=I+1
     GOTO 5
 END IF
 RETURN
 END

!*****************COMPUTER RANDOM VARIABLE******************!
 SUBROUTINE URAND(IX,RAND)
 REAL RAND
          IX=DMOD(16807.0D0*IX,2147483647.0D0)
            RAND=IX/2147483647.0
RETURN
END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอัจจนา จันทร์โกมุท เกิดเมื่อวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ.2524 ที่อำเภอเวียงสระ จังหวัดสุราฎร์ธานี จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสุราษฎร์พิทยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย