การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย

นายนิยม เจริญสุขโสภณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2561-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON ON CONTROL CHARTS FOR SHIFTED PROCESS MEAN

Mr. Niyom Charoensuksophon

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Statistics

Department of Statistics
Faculty of Commerce and Accountancy
Chulalongkorn University

Academic Year 2002
ISBN 974-17-2561-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย
โดย	นายนิยม เจริญสุขโสภณ
สาขาวิชา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัช อภิเมธีธำรง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ศิริพร สาเกทอง)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์)

…… กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา)

…… กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชูศักดิ์ อุดมศรี)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิยม เจริญสุขโสภณ : การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (A COMPARISON ON CONTROL CHARTS FOR SHIFTED PROCESS MEAN) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ร.อ. มานพ วราภักดิ์ : 218 หน้า. ISBN 974-17-2561-2.

ในการทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 แบบ ในกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ซึ่งแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบประกอบไปด้วย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (SYNTHETIC) และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) ซึ่งการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมชนิดต่างๆ วัดได้จากการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length; ARL) โดยหาจากจำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม ซึ่งในการวิจัยนี้จะไม่ทราบค่า μ และ σ ดังนั้นจะใช้ค่าประมาณไม่เอนเอียง(unbiased estimates) $\bar{\bar{x}}$ แทน μ และใช้ $\bar{s}/c(n^*)$ แทน σ ซึ่งจะนำค่า $\bar{\bar{x}}$ และ $\bar{s}/c(n^*)$ ไปใช้ในการสร้างแผนภูมิควบคุม และในการจำลองข้อมูลจะใช้ค่าเฉลี่ย(μ_0) = 10 และความแปรปรวน(σ^2) = 1 โดยได้ทดลองระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยที่ γ = $0.5\sigma, 0.6\sigma, 0.7\sigma, 0.8\sigma, 0.9\sigma, 1.0\sigma, 1.1\sigma, 1.2\sigma, 1.3\sigma, 1.4\sigma, 1.5\sigma, 2.0\sigma, 2.5\sigma, 3.0\sigma, 3.5\sigma, 4.0\sigma, 4.5\sigma, 5.0\sigma$ ที่ขนาดตัวอย่าง n = 4,5,6,7,8,9,10, 15,20,25,30,35,40,45,50 และค่า ARL เริ่มต้นสำหรับแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์(ARL_0) = 300,370,500 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยได้จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล 1000 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์ของการทดลอง

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยระดับน้อย [0.5, 0.8] เมื่อขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 4 ถึง 6 แผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีค่า ARL ต่ำสุด ขนาดตัวอย่าง 7 ถึง 8 แผนภูมิควบคุม RUNSUM และSYNTHETIC 300 จะมีค่า ARL ต่ำสุด ขนาดตัวอย่าง 9 หรือมากกว่า แผนภูมิควบคุม SYNTHETIC 300 จะมีค่า ARL ต่ำสุด

ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยระดับปานกลาง [0.9, 2.0] เมื่อขนาดตัวอย่าง 4 ถึง 6 แผนภูมิควบคุม SYNTHETIC 300 และ SYNTHETIC 370 จะมีค่า ARL ต่ำสุด ขนาดตัวอย่าง 7 ถึง 10 แผนภูมิควบคุม SYNTHETIC จะมีค่า ARL ต่ำสุด ขนาดตัวอย่าง 15 หรือมากกว่า ทุกแผนภูมิควบคุมมีค่า ARL เท่ากัน

ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยระดับมาก [2.1, 5.0] ทุกแผนภูมิควบคุมมีค่า ARL เท่ากันที่ทุกขนาดตัวอย่าง

แผนภูมิทั้ง 4 แบบ จะมีค่า ARL น้อยลง เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยมากขึ้น และขนาดตัวอย่างมากขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้หาอำนาจการทดสอบ (Power of Test) โดยหาจากความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม ซึ่งผลที่ได้จะให้แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพที่ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยระดับต่างๆ เหมือนกับผลของวิธีการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL)

ภาควิชา.....สถิติ..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....สถิติ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2545.....

##4382251026 : MAJOR STATISTICS
KEY WORDS : RUN SUM CONTROL CHART/SYNTHETIC CONTROL CHART/ARL
NIYOM CHAROENSUKSOPHON : THESIS TITLE. (A COMPARISON ON CONTROL CHARTS FOR SHIFTED PROCESS MEAN) THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.CAPT. MANOP VARAPHAKDI,218 pp. ISBN 974-17-2561-2.

The objectives of this research was to investigate the efficiency of four Control Chart types, specifying the mean shift process. Four Control Chart types consisted of $\bar{x}$ Control Chart, Exponentially Weighted Moving Average Control Chart, Synthetic Control Chart and Run Sum Control Chart. The efficiency of these Control Charts was compared and measured by the use of Average Run Length method (ARL). The sample mean average was examined until the process was beyond control, as the μ and σ were yet unknown, therefore, the unbiased estimates value $\bar{\bar{x}}$ substituted μ and $\bar{s}/c(n^*)$ substituted σ, which $\bar{\bar{x}}$ and $\bar{s}/c(n^*)$ values were applied to establish the control chart. The data simulations were μ_0 = 10, σ^2 = 1, and the mean shift level was tested at γ = 0.5σ,0.6σ,0.7σ,0.8σ,0.9σ,1.0σ,1.1σ,1.2σ,1.3σ,1.4σ,1.5σ, 2.0σ,2.5σ,3.0σ,3.5σ,4.0σ,4.5σ,5.0σ and $\sigma = \bar{s}/c(n^*)$ at n sample (n = 4,5,6,7,8, 9,10,15,20,25,30,35,40,45,50); the mean level of the in-control process $\mu_0 = \bar{\bar{x}}$ and the ARL starting point of Synthetic Control Chart was ARL_0 = 300,370,500. Data, applied to this research, was derived by the use of simulated Monte Carlo method (1000 times) under each examination.

The findings showed as follows:

- Run Sum Control Chart showed the least ARL, at the slight mean shift [0.5, 0.8], at the 4-6 sample size. With the 7-8 sample size, Run Sum Control Chart and Synthetic 300 worked the best. Also, Synthetic 300 showed the least ARL with the 9 or more sample size.

- Synthetic 300 and Synthetic 370 Control Chart showed the least ARL at the moderate mean shift [0.9, 2.0], with the 4-6 sample size, Synthetic Control Chart worked the best at the sample size of 7-10, and all Control Chart types showed the least ARL 15 or more sample size.

- At the extreme mean shift [2.1, 5.0], all Control Chart types demonstrated the least ARL with all sample sizes.

- The higher mean shift level, and the more sample size, the less ARL would be for all Control Chart types.

Under this research, the result of the Power of Test, measured from the probability of the out-control sample mean shift, was the same as the Average Run Length. That is, the research had completely supported the most efficient control chart at the different mean shifts.

Department.....Statistics..... Student's signature.....

Field of study.....Statistics..... Advisor's signature.....

Academic year.....2002.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดีจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ร้อยเอกมานพ วราภักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดี จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ในความกรุณาของท่านไว้ ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ศิริพร สาเกทอง รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา และรองศาสตราจารย์ชูศักดิ์ อุดมศรี ในฐานะประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ครู-อาจารย์ ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์วีรา พาสพัฒนพานิชย์ อธิการวิทยาลัยดุสิตธานี อาจารย์กฤชวรรณ อรุณสุริยะศักดิ์ รองอธิการฝ่ายบริหารและกิจการนักศึกษา และอาจารย์สุวัฒณ์ จันทรีย์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ ที่ท่านได้ให้การสนับสนุนการเรียนด้วยดีเสมอมา และขอขอบพระคุณอาจารย์ศิริพงษ์ รักใหม่ และอาจารย์พัชรินทร์ ลาสมวงศ์ ที่ท่านได้ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ และในการเรียนตลอดมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เป็นอย่างสูง รวมทั้งขอขอบคุณ พี่ น้อง และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา

นิยม เจริญสุขโสภณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ด

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 สมมติฐานของการวิจัย..... 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น..... 6

1.6 เกณฑ์ในการตัดสินใจ..... 6

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย..... 7

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 7

2 ทฤษฎีและสถิติที่เกี่ยวข้อง..... 8

2.1 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย..... 9

2.2 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล..... 10

2.3 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์..... 12

2.4 แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง..... 16

3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 21

3.1 การวางแผนการทดลอง..... 21

3.2 ขั้นตอนของการวิจัย..... 22

3.3 การจำลองตัวแปรสุ่มให้มีการแจกแจงตามที่กำหนดไว้..... 32

4 ผลการวิจัย..... 33

4.1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม..... 34

4.2 จำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL)..... 51

หน้า

4.3 ค่าอำนาจการทดสอบ (Power of Test) 85
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 101
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 101
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 103
รายการอ้างอิง..... 105
ภาคผนวก..... 107
ภาคผนวก ก..... 108
ภาคผนวก ข..... 169
ภาคผนวก ค..... 171
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 218

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างการหาค่าของ RUNSUM โดยกำหนด $\bar{\bar{x}} = 10$ และ $\bar{s}/c(n^*) = 1$..... 18

3.1 ข้อมูล X_t เมื่อกำหนด $\lambda = 30$, $\mu_0 = 10, \sigma^2 = 1$, $\varepsilon_t \sim N(0,1)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย γ ที่ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0..... 23

4.1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 4..... 36

4.2 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 5..... 37

4.3 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 6..... 38

4.4 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 7..... 39

4.5 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 8..... 40

4.6 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 9..... 41

4.7 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 10..... 42

4.8 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 15..... 43

4.9 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 20..... 44

4.10 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 25..... 45

4.11 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 30..... 46

4.12 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 35..... 47

4.13 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 40..... 48

4.14 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 45..... 49

4.15 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 50..... 50

4.16 ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยที่แผนภูมิควบคุมเฉลี่ยมีประสิทธิภาพสูงสุด จำแนกตามขนาดตัวอย่าง 51

4.17 ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยที่แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลมีประสิทธิภาพสูงสุดจำแนกตามขนาดตัวอย่าง..... 52

4.18 ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยที่แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงสุด จำแนกตามขนาดตัวอย่าง และค่า ARL_0..... 53

4.19 ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยที่แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งมีประสิทธิภาพสูงสุด จำแนกตามขนาดตัวอย่าง..... 54

4.20 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 4..... 55

ตารางที่ หน้า

4.21 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 5..... 57
4.22 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 6..... 59
4.23 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 7..... 61
4.24 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 8..... 63
4.25 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 9..... 65
4.26 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 10..... 67
4.27 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 15..... 69
4.28 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 20..... 71
4.29 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 25..... 73
4.30 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 30..... 75
4.31 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 35..... 77
4.32 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 40..... 79
4.33 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 45..... 81
4.34 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 50..... 83

ตารางที่ หน้า

4.35 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 4..... 86

4.36 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 5..... 87

4.37 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 6..... 88

4.38 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 7..... 89

4.39 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 8..... 90

4.40 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 9..... 91

4.41 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 10..... 92

4.42 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 15..... 93

4.43 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 20..... 94

4.44 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 25..... 95

4.45 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 30..... 96

4.46 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 35..... 97

4.47 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 40..... 98

4.48 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 45..... 99

ตารางที่ หน้า

4.49 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 50..... 100

5.1 แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ขนาด Shift และ n ต่างกัน..... 102

ก1. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 4, λ=40, n^*=5, m=35..... 109

ก2. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 5, λ=40, n^*=5, m=35..... 110

ก3. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 6, λ=40, n^*=5, m=35..... 111

ก4. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 7, λ=40, n^*=5, m=35..... 112

ก5. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 8, λ=40, n^*=5, m=35..... 113

ก6. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 9, λ=40, n^*=5, m=35..... 114

ก7. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 10, λ=40, n^*=5, m=35..... 115

ก8. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 15, λ=40, n^*=5, m=35..... 116

ก9. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 20, λ=40, n^*=5, m=35..... 117

ก10. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 25, λ=40, n^*=5, m=35..... 118

ก11. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 30, λ=40, n^*=5, m=35..... 119

ก12. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 35, λ=40, n^*=5, m=35..... 120

ก13. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 40, λ=40, n^*=5, m=35..... 121

ตารางที่ หน้า

ก14. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 45, λ=40, n^*=5, m=35..... 122
ก15. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 50, λ=40, n^*=5, m=35..... 123
ก16. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 4, λ=40, n^*=5, m=35..... 124
ก17. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 5, λ=40, n^*=5, m=35..... 125
ก18. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 6, λ=40, n^*=5, m=35..... 126
ก19. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 7, λ=40, n^*=5, m=35..... 127
ก20. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 8, λ=40, n^*=5, m=35..... 128
ก21. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 9, λ=40, n^*=5, m=35..... 129
ก22. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 10, λ=40, n^*=5, m=35..... 130
ก23. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 15, λ=40, n^*=5, m=35..... 131
ก24. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 20, λ=40, n^*=5, m=35..... 132
ก25. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 25, λ=40, n^*=5, m=35..... 133
ก26. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 30, λ=40, n^*=5, m=35..... 134
ก27. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 35, λ=40, n^*=5, m=35..... 135

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก28. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 40, λ=40, n^*=5, m=35 136

ก29. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 45, λ=40, n^*=5, m=35 137

ก30. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 50, λ=40, n^*=5, m=35 138

ก31. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 4, λ=40, n^*=4, m=40 139

ก32. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 5, λ=40, n^*=4, m=40 140

ก33. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 6, λ=40, n^*=4, m=40 141

ก34. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 7, λ=40, n^*=4, m=40 142

ก35. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 8, λ=40, n^*=4, m=40 143

ก36. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 9, λ=40, n^*=4, m=40 144

ก37. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 10, λ=40, n^*=4, m=40 145

ก38. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 15, λ=40, n^*=4, m=40 146

ก39. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 20, λ=40, n^*=4, m=40 147

ก40. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 25, λ=40, n^*=4, m=40 148

ก41. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 30, λ=40, n^*=4, m=40 149

ตารางที่ หน้า

ก42. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 35, λ=40, n^*=4, m=40 150
ก43. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 40, λ=40, n^*=4, m=40 151
ก44. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 45, λ=40, n^*=4, m=40 152
ก45. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตาม Shift เมื่อ n = 50, λ=40, n^*=4, m=40 153
ก46. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 4, λ=40, n^*=4, m=40 154
ก47. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 5, λ=40, n^*=4, m=40 155
ก48. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 6, λ=40, n^*=4, m=40 156
ก49. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 7, λ=40, n^*=4, m=40 157
ก50. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 8, λ=40, n^*=4, m=40 158
ก51. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 9, λ=40, n^*=4, m=40 159
ก52. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 10, λ=40, n^*=4, m=40 160
ก53. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 15, λ=40, n^*=4, m=40 161
ก54. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 20, λ=40, n^*=4, m=40 162
ก55. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 25, λ=40, n^*=4, m=40 163

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก56. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 30, λ=40, n^{*}=4, m=40..... 164

ก57. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 35, λ=40, n^{*}=4, m=40..... 165

ก58. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 40, λ=40, n^{*}=4, m=40..... 166

ก59. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 45, λ=40, n^{*}=4, m=40..... 167

ก60. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 50, λ=40, n^{*}=4, m=40..... 168

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แผนผังสรุปขั้นตอนของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์..... 15
2.2 ขอบเขตของ RUNSUM..... 16
2.3 แผนผังสรุปขั้นตอนของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง..... 19
3.1 กราฟแสดงข้อมูล X_t เมื่อกำหนด λ= 30 , $\mu_0 = 10, \sigma^2 = 1$, $\varepsilon_t \sim N(0,1)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย γ ที่ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0..... 24
3.2 แผนผังแสดงวิธีการหาจำนวนคาบเวลาโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม..... 27
3.3 แผนผังแสดงวิธีการหาความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม..... 30
4.1 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4..... 56
4.2 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 5..... 58
4.3 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 6..... 60
4.4 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 7..... 62
4.5 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 8..... 64
4.6 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 9..... 66
4.7 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10..... 68
4.8 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15..... 70
4.9 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20..... 72
4.10 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 25..... 74
4.11 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30..... 76
4.12 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 35..... 78
4.13 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40..... 80
4.14 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 45..... 82
4.15 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50..... 84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผู้บริโภคโดยทั่วไป เมื่อจะซื้อสินค้าใดก็ตาม สิ่งหนึ่งที่มักจะคำนึงถึงผลิตภัณฑ์ที่ซื้อหามาก็คือ ความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ หรือกล่าวง่ายๆก็คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์นั่นเอง ในกระบวนการผลิตสินค้าใดๆก็ตาม ส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดผลผลิตที่ดีมีหลายประการ เช่น คน เครื่องจักร วัตถุดิบ กระบวนการผลิต หรือกรรมวิธีการผลิต เป็นต้น กล่าวคือ ถ้าส่วนประกอบที่กล่าวมาไม่มีความบกพร่อง สินค้าที่ผลิตมาได้ก็อยู่ในระดับมาตรฐานน่าเชื่อถือสำหรับผู้บริโภค แต่ในความเป็นจริงกระบวนการผลิตมักจะเกิดความผันแปรอยู่เสมอ ซึ่งความผันแปรเหล่านี้จะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ไม่คงที่ เกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามความผันแปรดังกล่าว ทำให้มีบางส่วนที่เสียเกินขอบเขตที่จะยอมรับได้ ดังนั้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เสียที่พอยอมรับได้ไม่ต้องถูกปฏิเสธไป จะต้องมีการควบคุมคุณภาพของสินค้า วิธีการควบคุมคุณภาพสินค้ามีหลายวิธีการด้วยกัน วิธีหนึ่งที่ใช้กันมาก คือ วิธีการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (statistical quality control)

ในปี ค.ศ. 1959 Roberts S.W. ได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล (Exponentially Weighted Moving Average control chart ; EWMA) ใช้ในกรณีที่ลักษณะข้อมูลปรับเปลี่ยนไปทีละน้อย วิธีการนี้ให้น้ำหนักกับข้อมูลปัจจุบันมากกว่าน้ำหนักที่ให้กับข้อมูลในอดีตซึ่งลดลงเรื่อยๆ และนอกจากนี้ยังใช้ในการพยากรณ์ด้วย

ในปี ค.ศ. 1990 Lucas J.M. and Saccuci M.S. ได้ทำการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมระหว่าง แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ Control Chart) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (Cummulative Sum Control Chart : CUSUM) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล พบว่าทั้งแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล มีประสิทธิภาพมากกว่าแผนภูมิควบคุมเฉลี่ย

ในปี ค.ศ. 1997 Albin, S.L. ,Kang, L. and Shea G. ได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล ($\bar{x}$ and EWMA Control Chart) พัฒนาจากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล โดยรวมขอบเขตควบคุม

ของแผนภูมิทั้งสองแบบไว้ในแผนภูมิควบคุมเดียวกัน และทำการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล กับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล พบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล มีประสิทธิภาพมากกว่าในการตรวจสอบสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย

ในปี ค.ศ. 1997 Charles W. Champ and Steven E. Rigdon ได้นำแผนภูมิผลรวมแบบวิ่ง (Run Sum Control Chart) มาเปรียบเทียบกับแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล พบว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าในการตรวจสอบกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย

ในปี ค.ศ. 2000 Wu Z. and Spedding T.A. ได้เสนอแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) ซึ่งมีวัตถุประสงค์สำหรับตรวจสอบกระบวนการค่าเฉลี่ยที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย เป็นการรวมระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยกับแผนภูมิควบคุมฟอร์มมิงรันเลงจ์ (The Conforming Run Length Control Chart : CRL)

จากการศึกษาแผนภูมิควบคุมข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาแผนภูมิควบคุมเฉลี่ย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง เพื่อเปรียบเทียบว่า แผนภูมิชนิดใดเหมาะที่จะใช้ในการเปลี่ยนแปลงระดับน้อย และชนิดใดเหมาะที่จะใช้ในการเปลี่ยนแปลงระดับมาก ซึ่งจากการศึกษาพบว่ายังไม่มีการเปรียบเทียบภายใต้สถานการณ์ของกระบวนการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยพร้อมกันทั้ง 4 แผนภูมิที่กล่าวมาข้างต้น โดยจะทดลองในขนาดตัวอย่างที่แตกต่างกัน แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทุกแผนภูมิควบคุม ด้วยจำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบกระบวนการจนกว่าจะพบการออกนอกการควบคุม(Average run length ; ARL) เป็นเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม นอกจากนี้ผู้วิจัยได้คำนวณความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ซึ่งประกอบด้วย
   - แผนภูมิควบคุมเฉลี่ย ($\bar{x}$ Control Chart) ใช้สัญลักษณ์ X-bar
   - แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) ใช้สัญลักษณ์ EWMA
   - แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) ใช้สัญลักษณ์ SYNTHETIC
   - แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (Run Sum Control Chart)ใช้สัญลักษณ์ RUNSUM

2. เพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ ภายใต้สถานการณ์ต่างๆ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

สมมติฐานของการวิจัยมีดังนี้

ภายใต้ลักษณะการตรวจสอบของกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยในค่าเฉลี่ย แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง จะมีประสิทธิภาพมากสุดในกรณีขนาดตัวอย่างน้อย ส่วนแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ จะมีประสิทธิภาพมากสุดในกรณีขนาดตัวอย่างปานกลาง และมาก

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ มีขอบเขตของการศึกษา ดังนี้

1. ค่าวัดผลิตภัณฑ์มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น μ และความแปรปรวนเป็น σ^2 ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสมมติว่าไม่ทราบค่า μ และค่า σ ดังนั้น

ในการสร้างแผนภูมิควบคุม จะใช้ค่าประมาณแทน μ และ σ ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะใช้ค่าประมาณไม่เอนเอียง (unbiased estimates) $\bar{\bar{x}}$ แทน μ และ $\frac{\bar{s}}{c(n^*)}$ แทน σ

โดยที่

$$\bar{\bar{x}} = \frac{(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + ... + \bar{x}_m)}{m} = \frac{\sum_{i=1}^{n^*.m} x_i}{n^*.m}$$

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + ... s_m}{m}$$

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n^*} (x_{(m-1)n^*+i} - \bar{x}_m)^2}{n^* - 1}}, \qquad j = 1,2,...,m$$

และ $$c(n^*) = \frac{\sqrt{2}\,\Gamma\left(\frac{n^*}{2}\right)}{\sqrt{n^*-1}\,\Gamma\left(\frac{n^*-1}{2}\right)}$$

โดยที่ n^* คือ จำนวนหน่วยตัวอย่างต่อกลุ่มที่ใช้ในการหาค่า $\bar{\bar{x}}$ โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 5 [1]

m คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการหาค่า $\bar{\bar{x}}$ โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 25 [1] แต่ละกลุ่มมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ n^*

ซึ่งวิธีการหาค่า c(n*) แสดงในภาคผนวก ข

การแจกแจงปกติมีฟังก์ชันความหนาแน่นดังนี้

$$f(x;\mu,\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad -\infty < x < \infty, \; -\infty < \mu < \infty, \; \sigma^2 > 0$$

---

[1] ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองเปลี่ยนค่า n^* และค่า m ที่ใช้ในการหา $\bar{\bar{x}}$ และ $\frac{\bar{s}}{c(n^*)}$ โดยได้เปลี่ยนจาก n^* = 5, m = 25 เป็น n^* = 4 , m = 40 และ n^* = 5, m = 35 ปรากฏว่าผลสรุปไม่แตกต่างกันดังตัวอย่างที่แสดงในภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ข้อมูลที่นำมาศึกษา ได้จากการจำลองจากตัวแบบอนุกรมเวลา โดยมีตัวแบบดังนี้

$$X_t = \mu_0 + \gamma I_t + \varepsilon_t \ , t = 1,2,3,\ldots$$

$$I_t = \begin{cases} 0 \ , \ t \le \lambda \\ 1 \ , \ t > \lambda \end{cases}$$

กล่าวคือในกรณีที่กระบวนการปกติ ตัวแบบที่จะใช้ในการจำลอง เพื่อหาค่า $\bar{\bar{x}}$ และ $\frac{\bar{s}}{c(n^*)}$ คือ

$$X_t = \mu_0 + \varepsilon_t$$

และในกรณีที่กระบวนการไม่ปกติ ($t > \lambda$) ตัวแบบที่จะใช้ในการจำลอง คือ

$$X_t = \mu_0 + \gamma + \varepsilon_t$$

โดยที่ X_t คือ อนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t แทนค่าวัดผลิตภัณฑ์

μ_0 คือ ระดับค่าเฉลี่ยของค่าวัดผลิตภัณฑ์ เมื่อกระบวนการอยู่ในสถานะปกติโดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10

γ คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\delta\sigma$ โดยที่ σ =1, δ =0.5,0.6, 0.7,0.8,0.9,1.0,1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,,2.0,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5,5.0

I_t คือ ตัวแปรบ่งชี้ (Indicator Variable) ณ เวลาที่ t

ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน สุ่ม ณ เวลา t กำหนด $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2), \sigma^2 = 1$ และเป็นอิสระกัน

λ คือ จำนวนคาบเวลา หรือจำนวนค่าสังเกตเริ่มต้น (Run – in period) ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนระดับค่าเฉลี่ย โดยกำหนดให้ λ เท่ากับ 30[1]

3. กำหนดขนาดตัวอย่าง (n) ที่ใช้ในการศึกษาเท่ากับ 4,5,6,7,8,9,10,15,20,25,30,35,40, 45,50
4. ค่าคงที่ปรับให้เรียบ α ของแผนภูมิควบคุม EWMA จะเป็นค่าที่ให้ ARL(γ) ต่ำสุด
5. กำหนดค่า ARL_0 (ค่า ARL เริ่มต้น) เท่ากับ 300, 370 และ 500 สำหรับวิธีของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม
6. ในการวิจัยครั้งนี้จะจำลองข้อมูลให้มีสถานการณ์ตามที่กำหนดข้างต้น โดยใช้เทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Technique) โดยเขียนด้วยโปรแกรมภาษาฟอร์แทรน (Fortran) และทำการจำลองข้อมูลซ้ำกัน 1000 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์ของการทดลอง

---

[1] การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดลองที่จำนวนคาบเวลา(λ)อื่นๆ เช่น λ=40 ปรากฏว่าผลสรุปไม่แตกต่างดังตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ก

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัยมีดังนี้

ประชากรที่นำมาศึกษาจะมีการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระต่อกัน โดยเมื่อเริ่มต้นกระบวนการที่เวลา t=0 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_0 ความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 ซึ่งสมมติไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ จะใช้ค่าประมาณแทน μ และ σ ในการสร้างแผนภูมิควบคุมซึ่งจะใช้ค่าประมาณไม่เอนเอียง (unbiased estimates) $\bar{\bar{x}}$ แทน μ และ $\frac{\bar{s}}{c(n^*)}$ แทน σ และที่เวลา $t > \lambda$ กระบวนการจะมีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไปจาก μ_0 เป็น $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$

1.6 เกณฑ์ในการตัดสินใจ

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจว่าแผนภูมิควบคุมใดจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ภายใต้สถานการณ์ต่างๆ ที่กำหนดขึ้น คือ พิจารณาโดยการเปรียบเทียบจำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบจนกว่าจะพบการออกนอกการควบคุม (Average run length ; ARL) และวิธีใดให้ค่า ARL ที่ต่ำกว่าจะเป็นแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีกว่า ค่า ARL คำนวณได้ดังนี้

$$ARL = \frac{\sum_{r=1}^{n^{**}} A_r}{n^{**}}$$

โดยที่ n^{**} คือ จำนวนครั้งของการทดลอง (n^{**} =1000)

A_r คือ จำนวนตัวอย่าง $\bar{x}_i$ ที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบสิ่งผิดปกติในครั้งที่ r

นอกจากนี้ในการวิจัยนี้ได้ทำการหาอำนาจการทดสอบ (Power of Test) คือค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ของแผนภูมิทั้ง 4 แบบ ซึ่งจะวัดจากสัดส่วนของจำนวนครั้งที่ $\bar{x}_i$ ออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมอีกทางหนึ่งควบคู่กันไปกับ ARL

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

คำจำกัดความหลักในงานวิจัยนี้ ได้แก่

1. เส้นกลาง (Central Line ;CL) คือค่าเฉลี่ยในกระบวนการ
2. เส้นควบคุมบน (Upper Control Line ;UCL) คือค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุม
3. เส้นควบคุมล่าง (Lower Control Line ;LCL) คือค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุม
4. ความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length ;ARL) คือจำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการวิจัยครั้งนี้คือ

1. เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบจากการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมในกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย
2. เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้แผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในทางปฏิบัติต่อไปในกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยเล็กน้อย และในกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยมาก
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมอื่นๆ สำหรับการควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ภายใต้สถานการณ์ต่างๆ ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและตัวสถิติที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ใช้สำหรับตรวจวัดกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ซึ่งจะเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม 4 แบบ คือ แผนภูมิควบคุมเฉลี่ย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง

ให้ $X_1, X_2, \ldots$ แทนค่าวัดลักษณะเฉพาะของผลิตผลที่ผลิตออกมา แบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ กลุ่มละจำนวน n การแบ่งกลุ่มย่อย ควรให้มีสมาชิกในกลุ่มมีความเหมือนกันมากที่สุด เช่น ผลิตจากคาบเวลาเดียวกัน หรือผลิตจากเครื่องจักรตัวเดียวกัน

นิยาม $\bar{X}_t = \frac{X_1 + X_2 + \ldots + X_n}{n}$, t= 1, 2,...

ซึ่งข้อมูล $\bar{X}_t$ จะนำไปใช้ในแต่ละแผนภูมิต่อไปในการตรวจสอบวิธีว่าอยู่ในการควบคุมหรือไม่ โดยที่ค่าวัดผลิตภัณฑ์มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น μ และความแปรปรวนเป็น σ^2 ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสมมติว่าไม่ทราบค่า μ และค่า σ ดังนั้น ในการสร้างแผนภูมิควบคุม จะใช้ค่าประมาณแทน μ และ σ โดยจะใช้ค่าประมาณไม่เอนเอียง (unbiased estimates) $\bar{\bar{x}}$ แทน μ และ $\frac{\bar{s}}{c(n^*)}$ แทน σ

โดยที่

$$\bar{\bar{x}} = \frac{(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \ldots + \bar{x}_m)}{m}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n^*m} x_i}{n^* m}$$

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \ldots s_m}{m}$$

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n^*} (x_{(m-1)n^*+i} - \bar{x}_m)^2}{n^* - 1}}, \qquad j = 1,2,\ldots,m$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และ $c(n^*) = \frac{\sqrt{2}\,\Gamma\left(\frac{n^*}{2}\right)}{\sqrt{n^*-1}\,\Gamma\left(\frac{n^*-1}{2}\right)}$

โดยที่ n^* คือ จำนวนหน่วยตัวอย่างต่อกลุ่มที่ใช้ในการหาค่า $\bar{\bar{x}}$ โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 5 [1]

m คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการหาค่า $\bar{\bar{x}}$ โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 25 [1] แต่ละกลุ่มมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ n^*

ซึ่งวิธีการหาค่า c(n*) แสดงในภาคผนวก ข

2.1 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย

แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$ Control Chart) เป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้สำหรับควบคุมคุณภาพโดยเฉลี่ยในกระบวนการผลิตหนึ่ง ภายใต้ขอบเขตของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้

เมื่อกรรมวิธีอยู่ภายใต้การควบคุม $X_j \sim N(\mu_0, \sigma^2)$ ดังนั้น

$$\bar{X}_t \sim N(\mu_0, \frac{\sigma^2}{n}) \quad , \; t = 1, 2, \ldots$$

และ $$Z = \frac{(\bar{X}_t - \mu_0)\sqrt{n}}{\sigma} \sim N(0,1)$$

ขอบเขตควบคุม

เนื่องจากโดยส่วนใหญ่แล้ว ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบ N(0,1) จะมีค่าอยู่ระหว่าง –3 และ +3 P(-3<Z<3)=0.9973 ฉะนั้น ถ้ากรรมวิธีอยู่ภายใต้การควบคุม ตลอดทุกกลุ่มย่อย t จะได้ขอบเขตควบคุมคือ

$$UCL = \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$$

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้า $\bar{X}_t$ มีค่ามากกว่าเขตจำกัดควบคุมบน หรือน้อยกว่าเขตจำกัดควบคุมล่าง กระบวนการจะไม่อยู่ในเขตควบคุม หรือกระบวนการผิดปกติ

---

[1] ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองเปลี่ยนค่า n^* และค่า m ที่ใช้ในการหา $\bar{\bar{x}}$ และ $\frac{\bar{s}}{c(n^*)}$ โดยได้เปลี่ยนจาก $n^* = 5$, m = 25 เป็น $n^* = 4$, m = 40 และ $n^* = 5$, m = 35 ปรากฏว่าผลสรุปไม่แตกต่างกันดังตัวอย่างที่แสดงในภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล

แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล เป็นแผนภูมิควบคุมที่เป็นทางเลือกที่ดีชนิดหนึ่ง ในกรณีที่ลักษณะข้อมูลปรับเปลี่ยนไปทีละน้อย

นิยาม

$$W_t = (1-\omega)[\bar{x}_t + \omega\bar{x}_{t-1} + \omega^2\bar{x}_{t-2} + ...], \qquad ,0 < \omega < 1$$

หรือ

$$W_t = \alpha[\bar{x}_t + (1-\alpha)\bar{x}_{t-1} + (1-\alpha)^2\bar{x}_{t-2} + ...] \qquad ,\alpha = 1-\omega$$

$$= \alpha\bar{x}_t + (1-\alpha)\omega_{t-1}, t = 1,2,3,...$$

โดยที่ W_t = ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง $\bar{x}_t$ นับถึงคาบเวลา t

α = ค่าคงที่ของพารามิเตอร์ปรับให้เรียบซึ่งจะเลือกค่า α ที่ได้ ARI(γ) ต่ำสุด

$W_0 = \mu_0$

เรียกลำดับ $W_0, W_1, ...$ ว่าค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล

ขอบเขตควบคุม

เมื่อกรรมวิธีอยู่ภายใต้การควบคุม $X_i \sim N(\mu, \sigma^2)$ และเป็นอิสระกัน ดังนั้น $\bar{x}_t$ เป็นอิสระกัน และต่างมีการแจกแจง $N(\mu, \sigma^2/n)$ ฉะนั้นจากความสัมพันธ์

$$W_t = \alpha\bar{x}_t + (1-\alpha)W_{t-1}, t = 1,2,3,...$$

$$= \alpha\bar{x}_t + \alpha(1-\alpha)\bar{x}_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2\bar{x}_{t-2} + ... + \alpha(1-\alpha)^{t-1}\bar{x}_1 + (1-\alpha)^t W_0$$

เมื่อให้ $W_0 = \mu_0$ จะได้ว่า

$$E(W_t) = \mu_0[\alpha + \alpha(1-\alpha) + \alpha(1-\alpha)^2 + ... + \alpha(1-\alpha)^{t-1} + (1-\alpha)^t]$$

$$= \mu_0\alpha\left[\frac{1-(1-\alpha)^t}{1-(1-\alpha)}\right] + \mu_0(1-\alpha)^t$$

$$= \mu_0$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$V(W_t) = \frac{\sigma^2}{n}\left[\alpha^2 + (\alpha(1-\alpha))^2 + (\alpha(1-\alpha)^2)^2 + ... + (\alpha(1-\alpha)^{t-1})^2\right]$$

$$= \frac{\sigma^2\alpha^2}{n}\left[\frac{1-(1-\alpha)^{2t}}{1-(1-\alpha)^2}\right]$$

$$= \frac{\sigma^2\alpha(1-(1-\alpha)^{2t})}{n(2-\alpha)}$$

เมื่อ t มีค่าใหญ่ และกรรมวิธีอยู่ในเขตควบคุมจะได้

$$V(W_t) \approx \frac{\sigma^2\alpha}{n(2-\alpha)}$$

จากนี้ได้เขตจำกัดควบคุมล่างและเขตจำกัดควบคุมบนดังต่อไปนี้ (ด้วยหลักการของแผนภูมิ $\bar{x}$)

$$UCL = \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{s}}{c(n^*)}\sqrt{\frac{\alpha}{n(2-\alpha)}}$$

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{s}}{c(n^*)}\sqrt{\frac{\alpha}{n(2-\alpha)}}$$

โดยที่ α เป็นค่าที่ได้ ARL(γ) ต่ำสุด ซึ่งหาค่า α ดังนี้ แต่ละค่า γ จะหาค่า ARL ณ ค่า α หนึ่งๆ โดยจะกำหนดค่าเริ่มต้น α=0.01 และจากนั้นเพิ่มค่า α ครั้งละ 0.01 จนถึงค่า α=0.99 แต่ละค่า α จะสร้างเขตควบคุม UCL และ LCL ตามสูตรข้างต้น และหาค่า ARL เมื่อได้ค่า ARL สำหรับทุกค่า α ที่กำหนดแล้ว จะเลือกค่า α ที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด เป็นค่า α ที่จะใช้ในแผนภูมิควบคุม (สร้างเขตควบคุม UCL และ LCL)สำหรับค่า γ หนึ่งๆ เพื่อการตรวจสอบกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ต่อไป

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้าค่า $W_t = \alpha\bar{X}_t + (1-\alpha)W_{t-1}$ มากกว่าเขตจำกัดควบคุมบน หรือน้อยกว่าเขตจำกัดควบคุมล่าง กระบวนการจะไม่อยู่ภายใต้การควบคุม

2.3 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์

แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ เป็นแผนภูมิควบคุมที่รวมกันระหว่างแผนภูมิควบคุมเฉลี่ยกับแผนภูมิคอนฟอร์มมิงรันเลนจ์ (Conforming Run Length Control Chart ; CRL) ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลปกติ $N(\mu_0, \sigma^2)$

แผนภูมิควบคุมเฉลี่ย เป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้สำหรับควบคุมคุณภาพโดยเฉลี่ยในกระบวนการผลิตหนึ่ง ภายใต้ขอบเขตของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้

ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมเฉลี่ย

$$UCL = \bar{\bar{X}} + \frac{k\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$$

$$CL = \bar{\bar{X}}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - \frac{k\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$$

ค่า k ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยที่นำมาใช้กับวิธีแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์จะเปลี่ยนไปตามสถานการณ์ต่างๆ โดยใช้วิธีการของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ในการหาค่า k

ส่วนแผนภูมิควบคุมฟอร์มมิงรันเรนจ์ เป็นแผนภูมิที่ใช้ในการตรวจสอบหน่วยที่ตรวจสอบจนกว่าจะพบหน่วยที่ตรวจสอบผิดปกติ

ตัวแปรสุ่ม CRL มีการแจกแจงแบบเรขาคณิต (Geometric distribution) มีพารามิเตอร์เป็น P ซึ่ง P เป็นความน่าจะเป็นที่จะพบหน่วยที่ตรวจสอบผิดปกติ มีค่าเฉลี่ยเป็น 1/P ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม คือ $1-(1-P)^{CRL}, CRL = 1,2,...$

ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมฟอร์มมิงรันเรนจ์จะมีเพียงขอบเขตควบคุมล่าง เนื่องจากค่า CRL จะมีค่าน้อย ถ้าค่า P มีค่ามาก และ CRL จะมีค่ามาก ถ้าค่า P มีค่าน้อย ดังนั้นจึงสนใจเฉพาะ CRL ที่มีค่าน้อยเพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม

แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์

จะประกอบด้วยขอบเขตควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ ดังนี้

1. แผนภูมิ $\bar{x}/s$ มีเขตควบคุมล่าง $(LCL_{\bar{x}/s})$ และเขตควบคุมบน $(UCL_{\bar{x}/s})$ ดังนี้

$$LCL_{\bar{x}/s} = \bar{\bar{X}} + \frac{k\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$$

$$UCL_{\bar{x}/s} = \bar{\bar{X}} - \frac{k\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}} \qquad (2.1)$$

2. แผนภูมิ CRL มีเขตควบคุม L เป็นเขตควบคุมล่าง

ค่า k และค่า L เป็นค่าที่สำคัญสำหรับแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ ซึ่งวิธีการสำหรับหาค่า k และค่า L เป็นดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดค่า δ ขนาดตัวอย่าง (n) และ ARL_0

ขั้นที่ 2 หาค่า k และ L เริ่มแรกจากสมการ

$$ARL_0 = \frac{1}{2\Phi(-k)} \times \frac{1}{1-[1-2\Phi(-k)]^L} \qquad (2.2)$$

โดยที่ $\Phi(x) = \int \varphi(y)dy$ ซึ่ง $\varphi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}y^2}$,$-\infty < y < \infty$

ค่า L เริ่มต้นจะเริ่มตั้งแต่ 1 และคำนวณหาค่า k จากสมการ (2.2) โดยใช้วิธีการเชิงตัวเลข (Numerical Method) ที่เป็นวิธีการ Newton โดยมีสมการเวียนเกิด (Recurrence Equation) ดังนี้

$$k = k_0 - \frac{f(k_0)}{f'(k_0)}$$

โดยที่ $f(k_0) = \Phi(-k_0)\left[1-\{1-2\Phi(-k_0)\}^L\right] - \frac{1}{2(ARL_0)}$

$$f'(k_0) = -\Phi(-k_0)\left[1-\{1-2\Phi(-k_0)\}^L\right] - 2L\{1-2\Phi(-k_0)\}^{L-1}\phi(-k_0)\Phi(-k_0)$$

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^{x} \phi(y)dy$$

$$\phi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}y^2} \quad , \quad -\infty < y < \infty$$

และค่าเริ่มต้น k_0 กำหนดเท่ากับ 1.0 (เป็นค่าขอบเขตล่าง)

ขั้นที่ 3 หาค่า $ARL_s(\gamma)$ โดยนำค่า L และค่า k ที่ได้จากสมการ (2.2) มาแทนในสมการ (2.3)

$$ARL_s(\gamma) = \frac{1}{P} \times \frac{1}{1-(1-P)^L} \qquad (2.3)$$

โดยที่ $P = 1-\Phi\left(k-\delta\sqrt{n}\right)+\Phi\left(-k-\delta\sqrt{n}\right)$

โดย $ARL_s(\gamma)$ คือค่า ARL เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งถ้าค่า $ARL_s(\gamma)$ ต่ำสุด แสดงว่าจะมีการตรวจพบว่ากระบวนการไม่อยู่ในเขตควบคุมเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นที่ 4 หาค่า L และค่า k ค่าต่อไปโดยกลับไปทำขั้นที่ 1 โดยทำการเพิ่มค่า L ทีละ1

ขั้นที่ 5 เปรียบเทียบค่า $ARL_s(\gamma)$ ค่าปัจจุบัน กับค่า $ARL_s(\gamma)$ ก่อนหน้านี้ 1 ตัว ว่าค่า $ARL_s(\gamma)$ ค่าปัจจุบันมีค่าน้อยกว่าค่าก่อนหน้านี้หรือไม่ ถ้าน้อยกว่าให้กลับไปทำในขั้นที่ 2 แต่ถ้าค่าไม่น้อยกว่าค่า $ARL_s(\gamma)$ ของค่าก่อนค่าปัจจุบันจะเป็นค่าที่น้อยที่สุด ทำขั้นตอนที่ 6

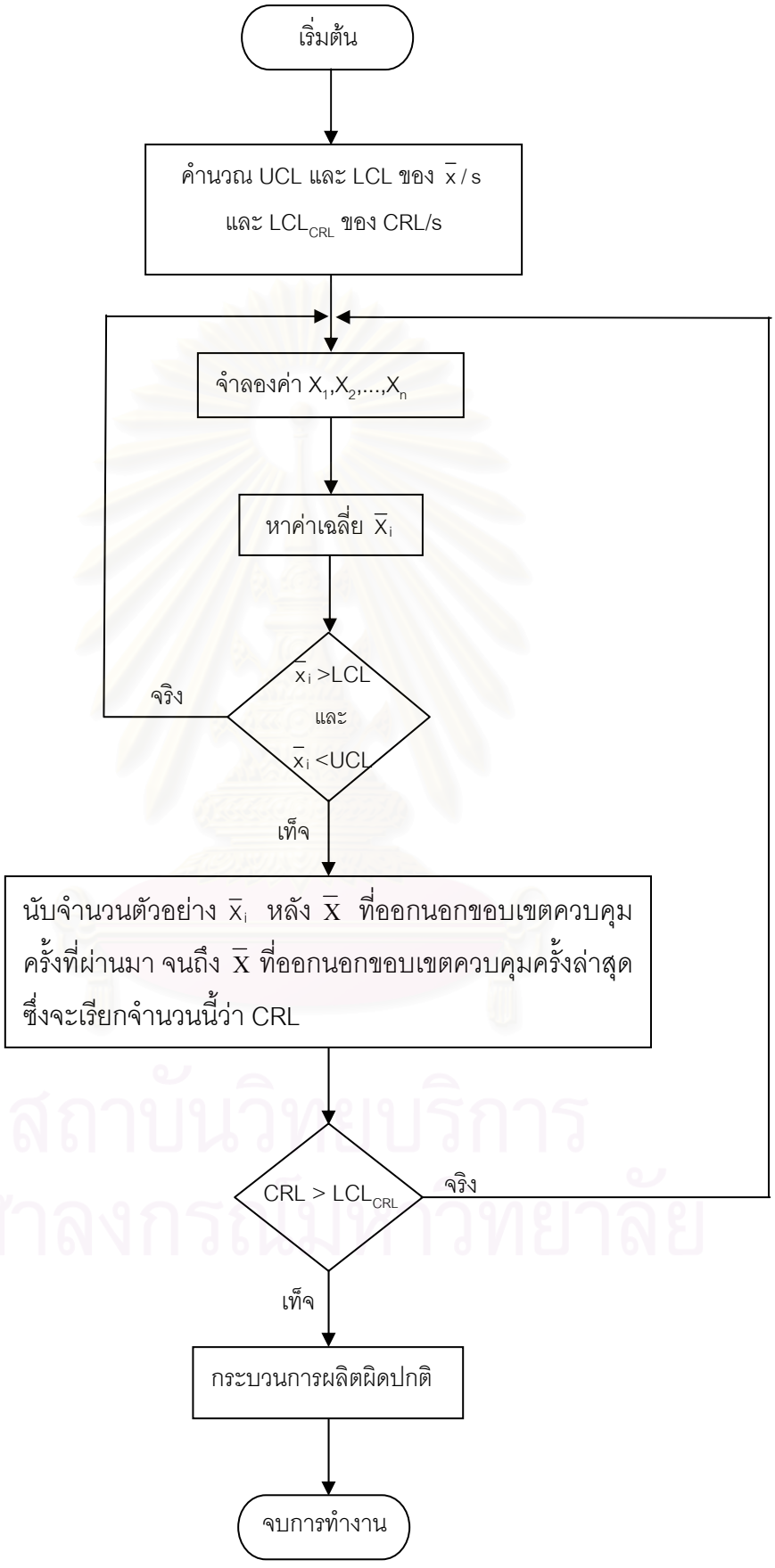
ขั้นที่ 6 นำค่า L และค่า k ของขั้นตอนที่ให้ค่า $ARL_s(\gamma)$ น้อยที่สุด ไปใช้ในการคำนวณขอบเขตของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ ซึ่งค่า k นำมาคำนวณหาขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{x}/s$ ดังสมการที่ (2.1) และค่า L เป็นขอบเขตควบคุมล่างสำหรับแผนภูมิควบคุม CRL

เกณฑ์การตัดสินใจ

ในการตัดสินใจว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่จะใช้ขอบเขตควบคุมของทั้งสองแผนภูมิควบคุมมาใช้ร่วมกันโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณของเขตของแผนภูมิควบคุมบนและล่างของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}/S$ คือ $UCL_{\bar{X}}$ และ $LCL_{\bar{X}}$ และคำนวณขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม CRL/S คือ LCL_{CRL}
2. สุ่มตัวอย่าง $x_1, x_2, x_3, ..., x_n$ จำนวน n ค่า และคำนวณหาค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ และนำค่า $\bar{X}$ มาใช้ในการตรวจสอบแต่ละครั้ง
3. ถ้า $\bar{X}$ มีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมคุณภาพล่าง $LCL_{\bar{X}}$ และน้อยกว่าขอบเขตควบคุมคุณภาพบน $UCL_{\bar{X}}$ ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย แสดงว่าตัวอย่างนี้ยังอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุมคุณภาพให้กลับไปทำในข้อที่1 แต่ถ้าออกนอกขอบเขตควบคุมให้ทำต่อในข้อที่ 4
4. นับจำนวนตัวอย่าง $\bar{X}_i$ หลัง $\bar{X}$ ที่ออกนอกขอบเขตควบคุมครั้งที่ผ่านมา จนถึง $\bar{X}$ ที่ออกนอกขอบเขตควบคุมครั้งล่าสุด ซึ่งจะเรียกจำนวนนี้ว่า CRL ในแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์
5. ถ้าค่า CRL นี้ใหญ่กว่าขอบเขตควบคุมคุณภาพล่าง LCL_{CRL} ของแผนภูมิควบคุม CRL แสดงว่าตัวอย่างนี้ยังอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุมคุณภาพ ให้กลับไปทำในข้อที่ 2 ถ้าค่า CRL นี้เล็กกว่าขอบเขตควบคุม LCI_{CRL} แสดงว่าออกนอกขอบเขตควบคุม

จากขั้นตอนในการหาแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ สามารถแสดงเป็นแผนผังได้ดังนี้



ภาพที่ 2.1 แผนผังสรุปขั้นตอนของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง

แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง เป็นแผนภูมิที่ง่าย แต่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบดี วิธีการควบคุมค่าเฉลี่ยวิธีนี้ คือการใช้ค่า $\bar{x}_t$ ที่ได้จากการผลลัพธ์ของกระบวนการทำซ้ำๆ กัน หลายๆ ครั้ง โดยวิธีการหาแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 วิธีการหาขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง

ขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง จะมีเส้นกลาง (center line) โดยมีค่าเท่ากับ $\bar{\bar{x}}$ ส่วนเส้นที่อยู่เหนือจากเส้นกลางคือ $\bar{\bar{x}}+\frac{1\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$, $\bar{\bar{x}}+\frac{2\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$, $\bar{\bar{x}}+\frac{3\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$ ตามลำดับ

และเส้นที่อยู่ใต้เส้นกลางคือ $\bar{\bar{x}}-\frac{1\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$, $\bar{\bar{x}}-\frac{2\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$, $\bar{\bar{x}}-\frac{3\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$ ตามลำดับ

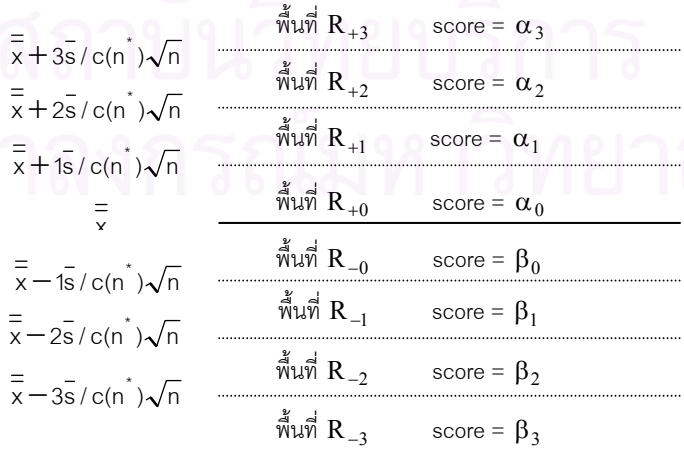
โดยพื้นที่ที่อยู่เหนือเส้นกลาง กำหนดให้มีค่าเท่ากับ $R_{+0},R_{+1},R_{+2},R_{+3}$

ส่วนพื้นที่ที่อยู่ใต้เส้นกลาง กำหนดให้มีค่าเท่ากับ $R_{-0},R_{-1},R_{-2},R_{-3}$

ให้ α_i คือค่า(score) ที่อยู่ในพื้นที่ R_{+i}

β_j คือค่า(score) ที่อยู่ในพื้นที่ R_{-j}

ดังนั้นพื้นที่ $R_{+0},R_{+1},R_{+2},R_{+3}$ จะมีค่าเท่ากับ $\alpha_0,\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3$ ซึ่งเท่ากับ +0,+1,+2,+3 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ $R_{-0},R_{-1},R_{-2},R_{-3}$ จะมีค่าเท่ากับ $\beta_0,\beta_1,\beta_2,\beta_3$ ซึ่งเท่ากับ -0, -1, -2, -3 ตามลำดับ โดย R_i,R_j,α_i,β_j ถูกกำหนดโดย โดย Charles W. Champ and Steven E. Rigdon (1997) ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ขอบเขตของ RUNSUM

ส่วนที่ 2 แสดงวิธีการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL)

แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 หาขอบเขตควบคุมตามวิธีการในส่วนที่ 1

ขั้นที่ 2 สุ่มตัวอย่าง $x_1, x_2, x_3, ..., x_n$ จำนวน n ค่า และคำนวณหาค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ แล้วนำค่า $\bar{X}$ มาใช้ในการตรวจสอบ

ขั้นที่ 3 นำค่า $\bar{X}$ ที่ได้จากขั้นที่ 2 มาเปรียบเทียบกับขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งจะได้ค่า(score) ให้เท่ากับ s_t ถ้าค่า $\bar{X}$ ที่ได้จากขั้นที่ 2 มากกว่า $\bar{\bar{x}}$ จะได้ค่า s_t ที่มีเครื่องหมายเป็นบวก (α_i) แต่ถ้าค่า $\bar{X}$ ที่ได้จากขั้นที่ 2 น้อยกว่า $\bar{\bar{x}}$ จะได้ค่า s_t ที่มีเครื่องหมายเป็นลบ (β_j)

ขั้นที่ 4 นำค่า s_t ที่ได้จากขั้นที่ 3 ไปเปรียบเทียบกับค่า s_t ก่อนหน้านี้(s_{t-1})(ในการสุ่มตัวอย่างครั้งแรก s_{t-1}=0) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

4.1 ถ้าค่า s_t กับ s_{t-1} มีค่าเป็นบวกหรือเป็นลบเหมือนกัน จะได้ค่า s_t ใหม่ คือ $s_t = s_t + s_{t-1}$

4.2 ถ้าค่า s_t กับค่า s_{t-1} มีค่าบวก-ลบต่างกัน จะได้ s_t ใหม่คือ ค่า s_t ในปัจจุบัน

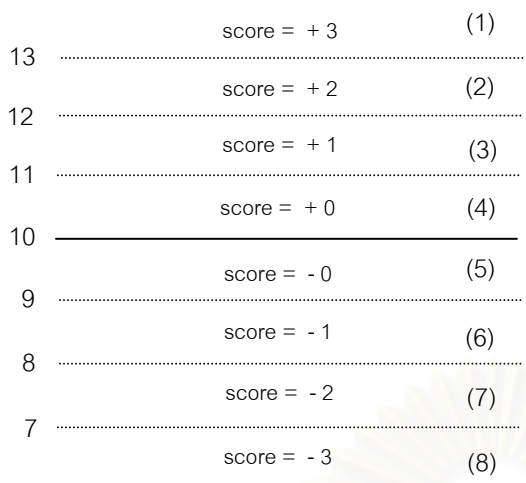
ขั้นที่ 5 ถ้าค่า s_t ที่ได้จากขั้นที่ 4 น้อยกว่า 3 หรือมากกว่า -3 แสดงว่ากระบวนการยังอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุม ให้กลับไปทำขั้นที่ 2 แต่ถ้าค่า s_t มากกว่า 3 หรือน้อยกว่า –3 แสดงว่ากระบวนการเริ่มมีความผิดปกติ

การตัดสินใจ

ถ้าค่า s_t >3 หรือค่า s_t < –3 แสดงว่ากระบวนการเริ่มมีความผิดปกติเกิดขึ้น (ในกรณีนี้ค่า 3 และ –3 ถูกกำหนดโดย John H. Reynolds)

ตัวอย่างในการหาแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง ดังแสดงในตารางที่ 2.1 มีวิธีการดังนี้

1. หาขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง โดยใช้ $\bar{\bar{x}} = 10$ และ $\bar{s}/c(n^*) = 1$ จะได้เส้นกลางเท่ากับ 10 เส้นเหนือเส้นกลาง 11(10+1(1)), 12(10+2(1)), 13(10+3(1)) ตามลำดับ และเส้นใต้เส้นกลางเท่ากับ 9(10-1(1)), 8(10-2(1)), 7(10-3(1)) ตามลำดับ
2. จำลองข้อมูลโดยใช้ตัวแบบ $x_t = \bar{\bar{x}} + \gamma I_t + \varepsilon_t$, $t = 1,2,3,...$ จะได้ $\bar{x}_t$ เท่ากับ 9.3, 10.2, 10.9, 10.0, 9.8, 12.0, 12.2, 10.9, 11.5, 11.9



Sample No.	Sample Mean	Score	S_t
1	9.3	- 0	- 0
2	10.2	+ 0	+ 0
3	10.9	+ 0	+ 0
4	10.0	+ 0	+ 0
5	9.8	- 0	- 0
6	12.0	+ 1	+ 1
7	12.2	+ 2	+ 3
8	10.9	+ 0	+ 3
9	11.5	+ 1	+ 4
10	11.9	+ 1	+ 5

<u>ตารางที่ 2.1</u> ตัวอย่างการหาค่าของ RUNSUM โดยกำหนด $\bar{\bar{x}} = 10$ และ $\bar{s}/c(n^*) = 1$

3. นำ $\bar{x}_t$ ที่ได้จากข้อ 2 ไปเปรียบเทียบกับขอบเขตในข้อ 1 โดย $\bar{x}_1 = 9.3$ จะตกอยู่ในช่วง(5) ดังนั้นค่า S_t = -0
4. ค่า $\bar{x}_2 = 10.2$ จะตกอยู่ในช่วง(4) จะได้ค่า = +0 ซึ่งทำให้ค่า S_t เปลี่ยน เนื่องจาก ค่า ที่ได้มีเครื่องหมายต่างกัน ดังนั้น S_t จะเปลี่ยนเป็นค่าปัจจุบัน ซึ่งจะเท่ากับ +0

   ค่า $\bar{x}_3 = 10.9$ จะตกอยู่ในช่วง(4) จะได้ค่า = +0 ซึ่งค่าที่ได้มีเครื่องหมายเหมือนกับค่า S_t ตัวก่อน ดังนั้นจึงนำค่า S_t มารวมกันได้เท่ากับ +0

   ค่า $\bar{x}_4 = 10.0$ จะตกอยู่ในช่วง(4) จะได้ค่า = +0 ซึ่งค่า S_t ที่ได้มีเครื่องหมายเหมือนกับค่า S_t ตัวก่อน ดังนั้นจึงนำค่า S_t มารวมกันได้เท่ากับ +0

   ค่า $\bar{x}_5 = 9.8$ จะตกอยู่ในช่วง(5) จะได้ค่า = -0 ซึ่งทำให้ค่า S_t เปลี่ยน เนื่องจาก ค่าS_t ที่ได้มีเครื่องหมายต่างกัน ดังนั้น S_t จะเปลี่ยนเป็นค่าปัจจุบัน ซึ่งจะเท่ากับ +0

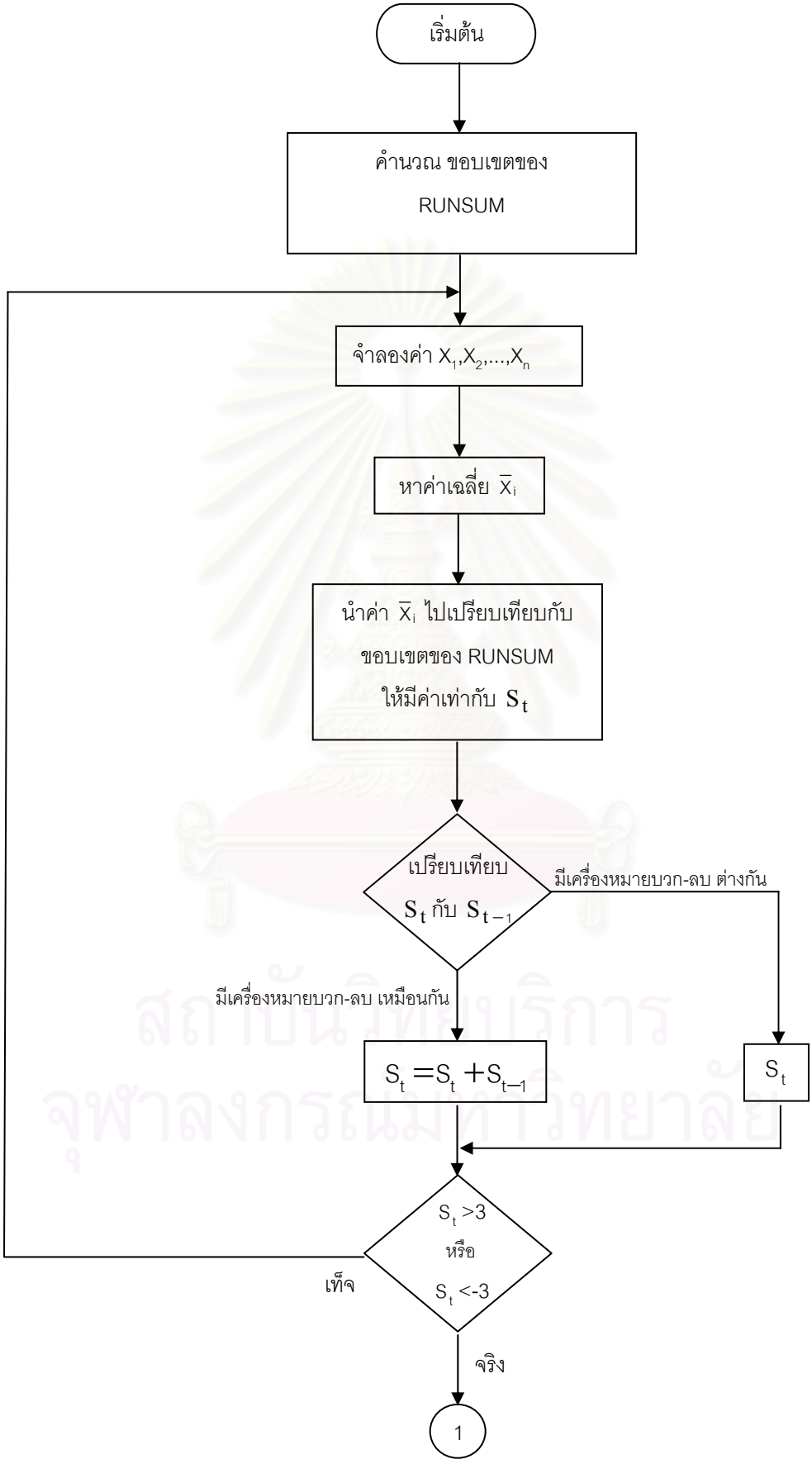
   ค่า $\bar{x}_6 = 12.0$ จะตกอยู่ในช่วง(3) จะได้ค่า = +1 ซึ่งทำให้ค่า S_t เปลี่ยน เนื่องจากค่าS_t ที่ได้มีเครื่องหมายต่างกัน ดังนั้น S_t จะเปลี่ยนเป็นค่าปัจจุบัน ซึ่งจะเท่ากับ +1

   ค่า $\bar{x}_7 = 12.2$ จะตกอยู่ในช่วง(2) จะได้ค่า = +2 ซึ่งค่า S_t ที่ได้มีเครื่องหมายเหมือนกับค่า S_t ตัวก่อน ดังนั้นจึงนำค่า S_t มารวมกันได้เท่ากับ +3

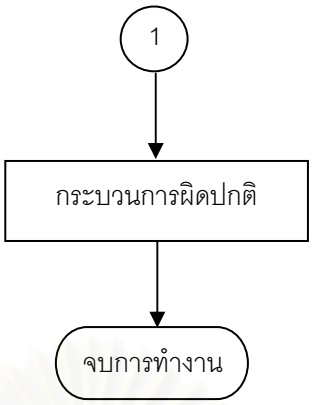
   ค่า $\bar{x}_8 = 10.9$ จะตกอยู่ในช่วง(4) จะได้ค่า = +0 ซึ่งค่า S_t ที่ได้มีเครื่องหมายเหมือนกับค่า S_t ตัวก่อน ดังนั้นจึงนำค่า S_t มารวมกันได้เท่ากับ +3

   ค่า $\bar{x}_9 = 11.5$ จะตกอยู่ในช่วง(3) จะได้ค่า = +1 ซึ่งค่า S_t ที่ได้มีเครื่องหมายเหมือนกับค่า S_t ตัวก่อน ดังนั้นจึงนำค่า S_t มารวมกันได้เท่ากับ +4 ซึ่งมากกว่า +3 ดังนั้นแสดงว่ากระบวนการเริ่มมีความผิดปกติ

จากขั้นตอนในการหาแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง สามารถแสดงเป็นแผนผังได้ดังนี้



ภาพที่ 2.3 แผนผังสรุปขั้นตอนของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง



ภาพที่ 2.3 (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 แบบ โดยใช้วิธีการตรวจสอบจำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) สำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ถ้าแผนภูมิควบคุมชนิดใดให้ค่า ARL น้อยที่สุด แสดงว่าแผนภูมิควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด แผนภูมิควบคุมที่นำมาใช้ในการศึกษาทั้ง 4 แบบประกอบด้วย แผนภูมิควบคุมเฉลี่ย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง การวิจัยนี้จะมีลักษณะเป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล เพื่อหาผลสรุปในการเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ ที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งวิธีดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวางแผนการทดลอง

วิธีที่ใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย ที่นำมาเปรียบเทียบกันในงานวิจัยนี้ จะเปรียบเทียบภายใต้ตัวแบบอนุกรมเวลากรณีค่าเฉลี่ยคงที่ มีตัวแบบดังนี้

$$X_t = \mu_0 + \gamma I_t + \varepsilon_t \quad ,t = 1,2,3,\ldots \qquad (3.1)$$

โดยที่

$$I_t = \begin{cases} 0 \ , \ t \le \lambda \\ 1 \ , \ t > \lambda \end{cases}$$

โดยที่ X_t คือ อนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t แทนค่าวัดผลิตภัณฑ์

μ_0 คือ ระดับค่าเฉลี่ยของค่าวัดผลิตภัณฑ์ เมื่อกระบวนการอยู่ในสถานะปกติโดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10

γ คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\delta\sigma$ โดยที่ δ เท่ากับ 0.5,0.6, 0.7,0.8,0.9,1.0,1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,,2.0,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5,5.0

I_τ คือ ค่าสังเกต ณ เวลาที่ t

ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่สุ่ม ณ เวลา t กำหนด $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2), \sigma^2 = 1$

λ คือ จำนวนคาบเวลา หรือจำนวนค่าสังเกตเริ่มต้น (Run – in period) ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนระดับค่าเฉลี่ย โดยกำหนดให้ λ เท่ากับ 30

n คือ ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเท่ากับ 4,5,6,7,8,9,10,15,20,25,30, 35,40,45,50

3.2 ขั้นตอนของการวิจัย

ในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาแผนภูมิควบคุม 4 แบบ ของประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. กำหนดขนาดตัวอย่าง และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยตามสถานการณ์ที่กำหนดขึ้น
2. จำลองข้อมูลให้มีลักษณะการแจกแจงปกติ โดยมีตัวแบบดังนี้

2.1 ในขณะที่กระบวนการปกติ ตัวแบบที่จะใช้ในการจำลองข้อมูล คือ

$$X_t = \mu_0 + \varepsilon_t$$

โดยที่ $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2), \sigma^2 = 1$

ซึ่งข้อมูลที่ได้ จะนำมาหา $\bar{\bar{x}}$ และ $\frac{\bar{s}}{c(n^*)}$ เพื่อนำมาสร้างแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ

โดยที่

$$\bar{\bar{x}} = \frac{(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + ... + \bar{x}_m)}{m} = \frac{\sum_{i=1}^{n^*m} x_i}{n^* m}$$

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + ... s_m}{m}$$

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n^*} (x_{(m-1)n^*+i} - \bar{x}_m)^2}{n^* - 1}}, \quad j = 1,2,..., m$$

และ $$c(n^*) = \frac{\sqrt{2}\,\Gamma\left(\frac{n^*}{2}\right)}{\sqrt{n^* - 1}\,\Gamma\left(\frac{n^* - 1}{2}\right)}$$

โดยที่ n^* คือ จำนวนหน่วยตัวอย่างที่ใช้ในการหาค่า $\bar{\bar{x}}$ โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 5 [1]

m คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการหาค่า $\bar{\bar{x}}$ โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 25 [1]

ซึ่งวิธีการหาค่า c(n*) แสดงในภาคผนวก ข

---

[1] ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองเปลี่ยนค่า n^* และค่า m ที่ใช้ในการหา $\bar{\bar{x}}$ และ $\frac{\bar{s}}{c(n^*)}$ โดยได้เปลี่ยนจาก $n^* = 5$, m = 25 เป็น $n^* = 4$, m = 40 และ $n^* = 5$, m = 35 ปรากฏว่าผลสรุปไม่แตกต่างกันดังตัวอย่างที่แสดงในภาคผนวก ก

2.2 เมื่อกระบวนการไม่ปกติ ($t > \lambda$) จะใช้ตัวแบบในการจำลองข้อมูล คือ

$$X_t = \mu_0 + \gamma + \varepsilon_t$$

โดยที่ $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2), \sigma^2 = 1$

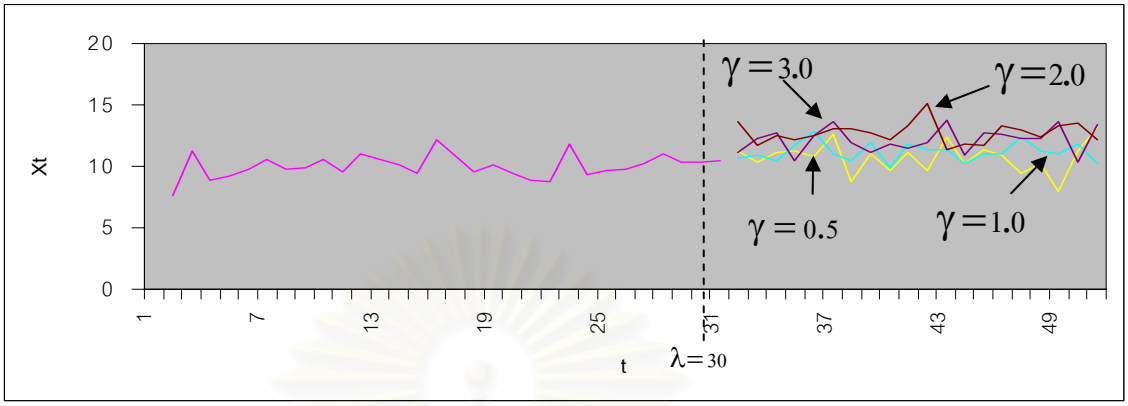
ตัวอย่างข้อมูลจากการจำลองภายใต้ตัวแบบอนุกรมเวลาค่าเฉลี่ยคงที่ เฉพาะช่วงเวลา (X_t) ดังตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูล X_t เมื่อกำหนด λ= 30 , $\mu_0 = 10, \sigma^2 = 1$, $\varepsilon_t \sim N(0,1)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย γ ที่ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0

	γ =0		γ =0
t	X_t	t	X_t
1	7.67	16	10.81
2	11.30	17	9.59
3	8.84	18	10.07
4	9.20	19	9.43
5	9.78	20	8.89
6	10.57	21	8.17
7	9.79	22	11.80
8	9.87	23	9.34
9	10.62	24	9.70
10	9.49	25	9.75
11	11.03	26	10.28
12	10.52	27	11.07
13	10.14	28	10.29
14	9.47	29	10.37
15	12.14	30	10.5

	γ = 0.5	γ = 1	γ = 2	γ = 3
t	X_t	X_t	X_t	X_t
31	11.29	10.65	11.19	13.69
32	10.31	10.96	12.30	11.66
33	11.09	10.40	12.70	12.50
34	11.27	11.69	10.45	12.13
35	10.76	12.88	12.46	12.52
36	12.63	11.02	13.67	13.08
37	8.70	10.42	11.97	13.04
38	11.01	11.93	11.14	12.72
39	9.63	9.94	11.78	12.18
40	11.16	11.79	11.48	13.24
41	9.66	11.41	11.93	15.12
42	12.42	11.38	13.74	11.35
43	10.28	10.18	10.88	11.80
44	11.31	11.06	12.72	11.74
45	10.87	10.97	12.61	13.26
46	9.38	12.35	12.23	12.91
47	10.28	11.25	12.31	12.39
48	7.93	11.03	13.61	13.26
49	11.26	11.78	10.31	13.54
50	13.19	10.22	13.42	12.11

ภาพที่ 3.1 กราฟแสดงข้อมูล X_t เมื่อกำหนด λ= 30 , $\mu_0 = 10, \sigma^2 = 1$, $\varepsilon_t \sim N(0,1)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย γ ที่ 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0



3. การกำหนดขอบเขตควบคุม

การกำหนดขอบเขตควบคุมสำหรับแต่ละแผนภูมิควบคุม เป็นดังนี้

(1) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย เป็นดังนี้

$$UCL = \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$$

(2) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล เป็นดังนี้

$$UCL = \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{s}}{c(n^*)}\sqrt{\frac{\alpha}{n(2-\alpha)}}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{s}}{c(n^*)}\sqrt{\frac{\alpha}{n(2-\alpha)}}$$

(3) แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ จะมีขอบเขตควบคุม 2 ขอบเขตควบคุม ดังนี้

1. แผนภูมิ $\bar{x}/s$ มีเขตควบคุมล่าง $(LCL_{\bar{x}/s})$ และเขตควบคุมบน $(UCL_{\bar{x}/s})$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{x}/s} = \bar{\bar{x}} + \frac{k\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$$

$$LCL_{\bar{x}/s} = \bar{\bar{x}} - \frac{k\bar{s}}{c(n^*)\sqrt{n}}$$

2. แผนภูมิ CRL มีเขตควบคุม L เป็นเขตควบคุมล่าง ซึ่งค่า k และค่า L จะหาได้ตามกรรมวิธีที่กล่าวในหัวข้อ 2.3 บทที่ 2

(4) แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง

ขอบเขตสำหรับแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งจะถูกกำหนดด้วย α_i และ β_j กล่าวคือ ถ้า $S_t > \alpha_i$ หรือ $S_t < \beta_j$ จะออกนอกเขตควบคุม โดยที่ $\alpha_i = 3$ และ $\beta_j = -3$

4. การหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL)

ในขั้นตอนนี้จะนำขอบเขตควบคุมที่ได้จาก ข้อ (3) มาใช้ในตัวสถิติทดสอบแต่ละตัวในแต่ละสถานการณ์เพื่อหาค่า ARL โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ขั้นที่ 1 สร้างตัวเลขสุ่ม U(0,1)

ขั้นที่ 2 สร้างค่าของ $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ (ภายใต้ค่า σ^2 ที่กำหนด)

ขั้นที่ 3 กำหนดพารามิเตอร์ μ_0 = 10 ในตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ในการหา $\bar{\bar{x}}$

ขั้นที่ 4 กำหนดจำนวนคาบเวลาเริ่มต้น λ= 30

ขั้นที่ 5 กำหนดค่าคงที่ n, δ

ขั้นที่ 6 จำลองข้อมูลให้มีลักษณะภายใต้ตัวแบบ (3.1)

ขั้นที่ 7 เริ่มใช้ตัวสถิติทดสอบตั้งแต่คาบเวลาที่ $\lambda + 1$ คำนวณค่าสถิติเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุม ที่ได้มาจากขั้นตอนการหาขอบเขตควบคุม ถ้าค่าสถิติมีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือน้อยกว่าขอบเขตควบคุมล่าง ให้ไปทำขั้นที่ 8 ต่อ

แต่ถ้าค่าสถิติมีค่าน้อยกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือมากกว่าขอบเขตควบคุมล่าง ให้เปรียบเทียบตัวสถิติตัวต่อไปจนกว่าจะมีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือน้อยกว่าขอบเขตควบคุมล่าง

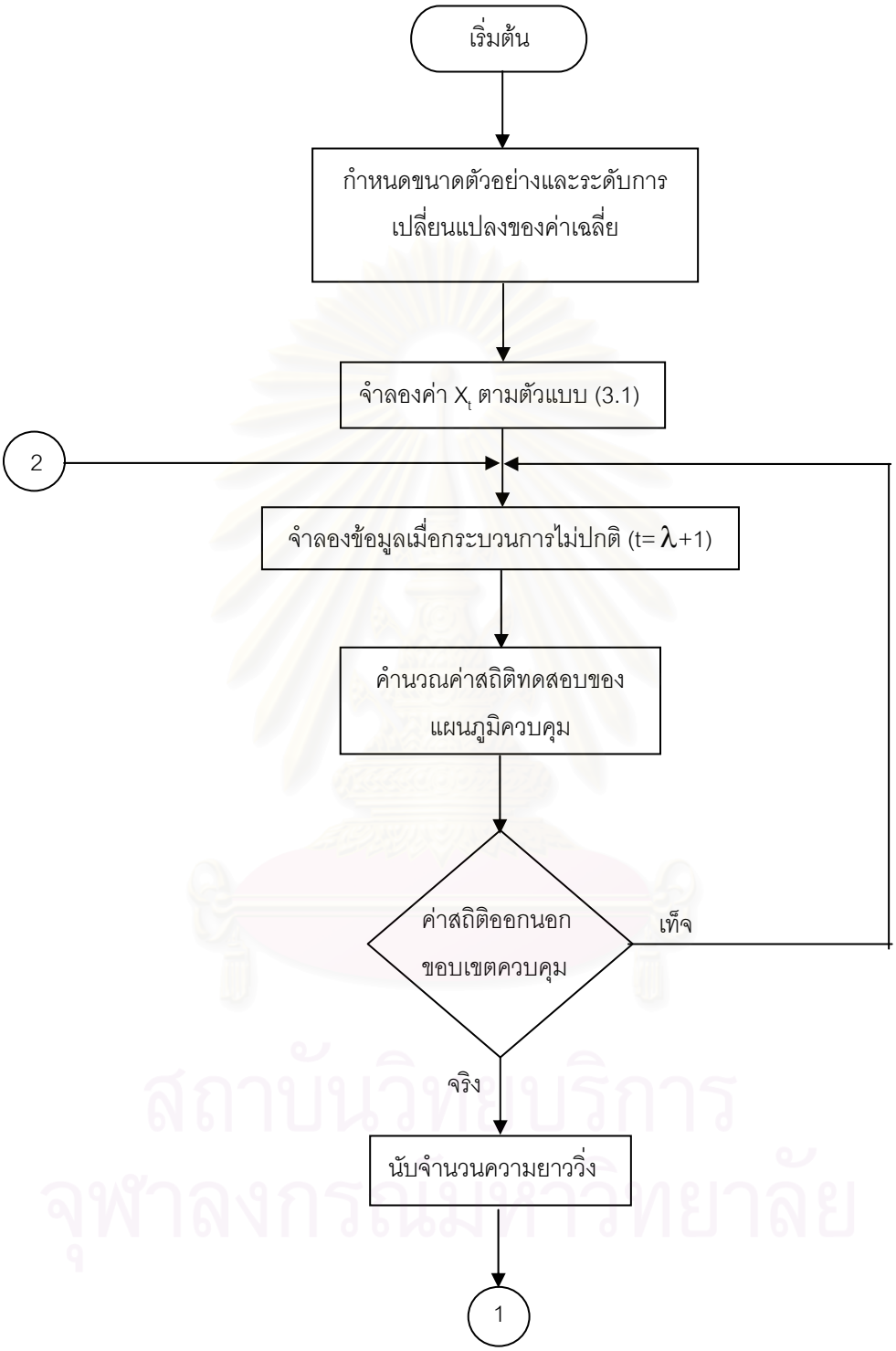
ขั้นที่ 8 ทำขั้นที่ 6 และ 7 ซ้ำ 1000 รอบ (n^{**}=1,000) แล้วหาจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) สำหรับตัวสถิติที่กำลังพิจารณา

ขั้นที่ 9 เปลี่ยนค่า δ ในตัวแบบอนุกรมเวลาค่าเฉลี่ยคงที่ แล้วทำขั้นที่ 6-8 จนกระทั่งครบทุกค่าที่เปลี่ยนแปลงไป

การหาค่า ARL ของตัวสถิติแต่ละตัวกระทำภายใต้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับการหาขอบเขตควบคุม เมื่อได้ค่า ARL ของแต่ละระดับที่เปลี่ยนแปลงไปในตัวสถิติทดสอบแต่ละกรณีที่ศึกษามาแล้ว จะนำมาเปรียบเทียบกัน โดยพิจารณาว่าแผนภูมิควบคุมใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด แผนภูมิควบคุมนั้นจะต้องมีค่า ARL ต่ำกว่าแผนภูมิควบคุมอื่นๆ

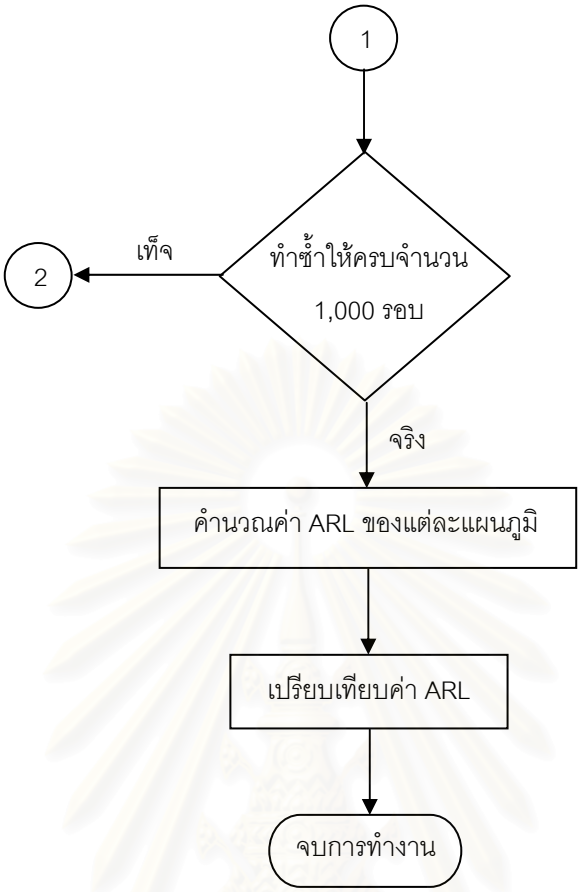
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนในการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) แสดงเป็นแผนผังได้ดังนี้



ภาพที่ 3.2 แผนผังแสดงวิธีการหาจำนวนคาบเวลาโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.2 (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. การหาอำนาจการทดสอบ (Power of Test)

การหาอำนาจการทดสอบ เพื่อตรวจสอบดูว่า แผนภูมิควบคุมใดให้ประสิทธิภาพดีที่สุด และตรงกับผลที่ได้จากวิธีการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยหรือไม่ โดยจะนำขอบเขตควบคุมที่ได้จาก ข้อ (3) มาใช้ในตัวสถิติทดสอบแต่ละตัวในแต่ละสถานการณ์เพื่อหาค่าอำนาจการทดสอบ โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ขั้นที่ 1 สร้างตัวเลขสุ่ม U(0,1)

ขั้นที่ 2 สร้างค่าของ $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ (ภายใต้ค่า σ^2 ที่กำหนด)

ขั้นที่ 3 กำหนดพารามิเตอร์ μ_0 = 10 ในตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ในการหา $\bar{\bar{x}}$

ขั้นที่ 4 กำหนดจำนวนคาบเวลาเริ่มต้น λ= 30

ขั้นที่ 5 กำหนดค่าคงที่ n, δ

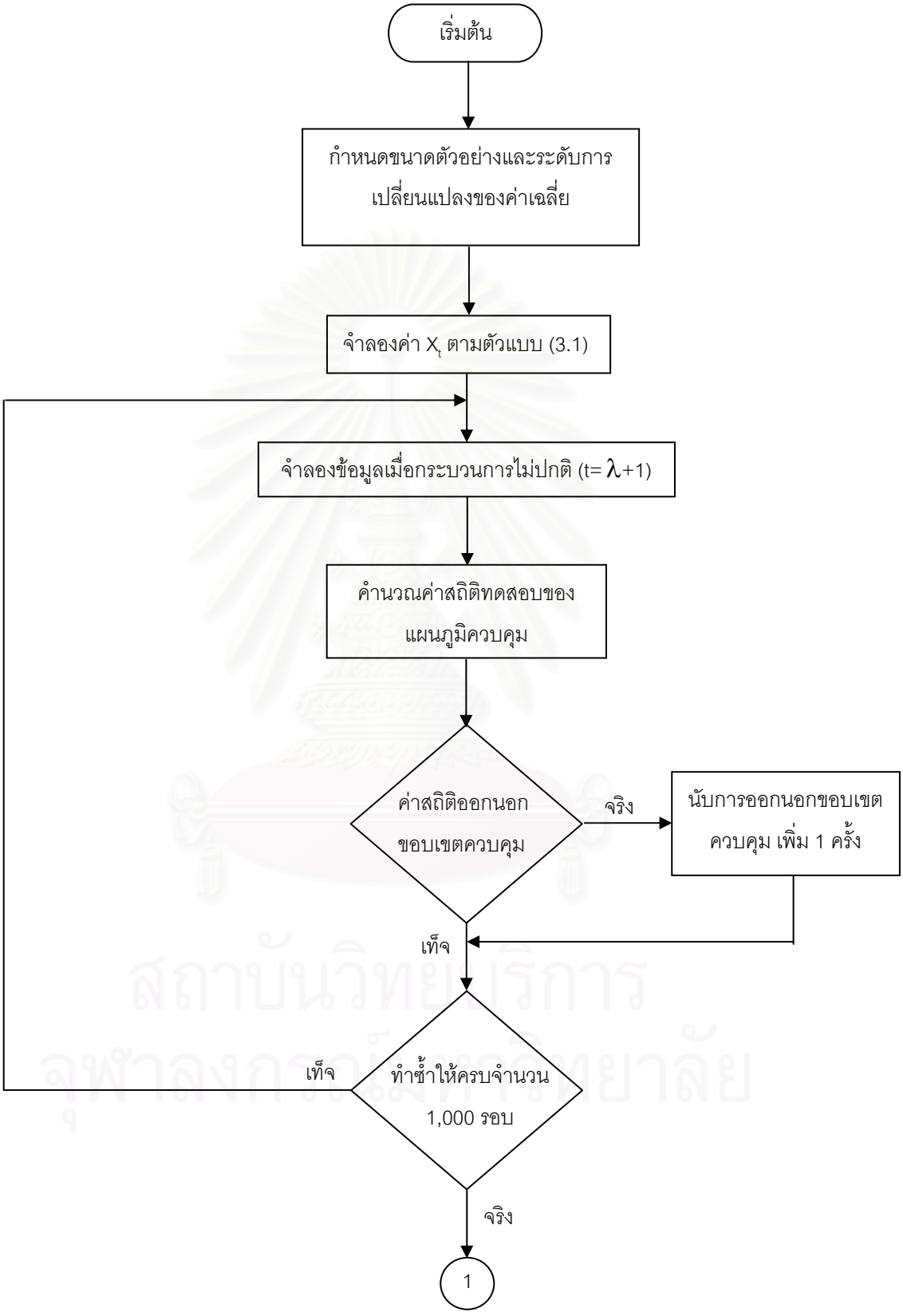
ขั้นที่ 6 จำลองข้อมูลให้มีลักษณะภายใต้ตัวแบบ (3.1)

ขั้นที่ 7 เริ่มใช้ตัวสถิติทดสอบตั้งแต่คาบเวลาที่ $\lambda+1$ คำนวณค่าสถิติเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุม ที่ได้มาจากขั้นตอนการหาขอบเขตควบคุม ถ้าค่าสถิติมีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือมีค่าน้อยกว่าขอบเขตควบคุมล่าง แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างออกนอกขอบเขตควบคุม แต่ถ้าค่าสถิติมีค่าน้อยกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือมีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมล่าง แสดงว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างยังอยู่ในขอบเขตควบคุม

ขั้นที่ 8 ทำขั้นที่ 6 และ 7 ซ้ำ 1000 รอบ (n^{**}=1,000) แล้วหาค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ซึ่งหาได้จากจำนวนครั้งของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ออกนอกขอบเขตควบคุมทั้งหมด(จากขั้นที่ 7)หารด้วยจำนวนรอบของการทดลองซ้ำ (n^{**}=1,000)

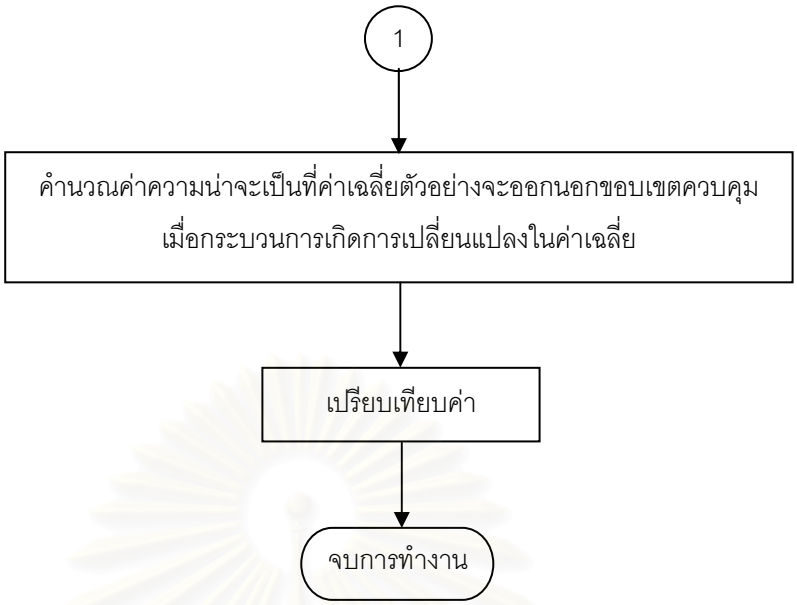
การหาค่าอำนาจการทดสอบของตัวสถิติแต่ละตัวกระทำภายใต้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับการหาขอบเขตควบคุม เมื่อได้ค่าอำนาจการทดสอบของแต่ละระดับที่เปลี่ยนแปลงไปในตัวสถิติทดสอบแต่ละกรณีที่ศึกษามาแล้ว จะนำมาเปรียบเทียบกัน โดยพิจารณาว่าแผนภูมิควบคุมใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด แผนภูมิควบคุมนั้นจะต้องมีค่าอำนาจการทดสอบมากกว่าแผนภูมิควบคุมอื่นๆ

ขั้นตอนในการหาอำนาจการทดสอบ (Power of Test) แสดงเป็นแผนผังได้ดังนี้



<u>ภาพที่ 3.3</u> แผนผังแสดงวิธีการหาความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.3 (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การจำลองตัวแปรสุ่มให้มีการแจกแจงตามที่กำหนดไว้

ในการสร้างตัวแปรสุ่มให้มีการ แจกแจงตามที่กำหนด จะใช้เทคนิคมอนติคาร์โล โดยการเขียนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาฟอร์แทรนเพาเวอร์สเตชั่น (Fortran Power Station) โดยมีรายละเอียดดังนี้

การสร้างลักษณะการแจกแจงค่าผิดพลาดสุ่ม (ε_t) ตามที่กำหนดไว้ในข้อตกลงเบื้องต้นให้มีการแจกแจงแบบปกติ จะต้องใช้ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกรูป (Uniform Distribution) U(0,1) เป็นพื้นฐานในการจำลองตัวแปรสุ่มอื่นๆ

การจำลองตัวแปรสุ่มเอกรูป U(0,1)

การจำลองหรือการผลิตตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปในช่วง (0,1) ในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธี “Multiplicative Congruential Method” ซึ่งมีตัวผลิต (Generator) เป็นดังนี้

$$R_i = aR_{i-1} \pmod{m}$$

ซึ่ง R_i = จำนวนเต็มที่เป็นเศษเหลือจากการหาร aR_{i-1} ด้วย m

และกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ดังนี้ (Law and Kelton (1997))

$a = 7^5 = 16807$

$m = 2^{21} - 1$

R_0 = ค่าเริ่มต้นมีค่าเป็นบวกไม่มากกว่า m

เพราะฉะนั้น $U_i = R_i / m$ จะเป็นเลขสุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วง (0,1) ตามที่ต้องการ

โปรแกรมย่อยที่เป็นฟังก์ชันที่ใช้ผลิตตัวเลขสุ่มคือ Function U(IX) แสดงไว้ในภาคผนวก ก

การจำลองตัวแปรสุ่มปกติ $N(\mu, \sigma^2)$

การผลิตเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ จะใช้วิธีของ Box และ Muller ซึ่งจะทำการสร้างเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน N(0,1) โดยใช้ตัวผลิต

$$Z = \left(-2\lambda n U_1\right)^{\frac{1}{2}} \cos\left(2\pi U_2\right)$$

โดยที่ U_1 และ U_2 เป็นอิสระกันและต่างมีการแจกแจงเอกรูป U(0,1) และ U_1 , U_2 เป็นตัวเลขสุ่มที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมย่อย Function U(IX) เมื่อได้ตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานแล้ว ทำการแปลงค่าเลขสุ่มดังกล่าว โดยใช้ฟังก์ชัน

$$\varepsilon = \mu + \sigma z$$

ซึ่งจะได้ว่า ε มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2

โปรแกรมย่อยที่ใช้ผลิตตัวเลขสุ่ม ให้มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 คือ Function EPS(IX,EMEAN,EVAR) ดังแสดงในภาคผนวก ค

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจสอบกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ซึ่งแผนภูมิควบคุมคุณภาพทั้ง 4 แบบคือ แผนภูมิควบคุมเฉลี่ย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง โดยวิธีหาจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมดังกล่าว โดยที่ค่า ARL ของแผนภูมิชนิดใดน้อยที่สุด แสดงว่าแผนภูมิชนิดนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุดในกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลง การวิจัยครั้งที่จึงเสนอผลการวิจัย จำแนกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกคือ ตารางแสดงขอบเขตควบคุมของแต่ละตัวสถิติทดสอบในแต่ละกรณีที่ศึกษา ส่วนที่ 2 คือค่า ARL ของแต่ละวิธีการตรวจสอบ ซึ่งจะเสนอเป็นตารางและกราฟ เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบ และส่วนที่ 3 คือ ค่าอำนาจของการทดสอบ (power of test) โดยกำหนดสัญลักษณ์ต่อไปนี้ ใช้แทนความหมายต่างๆ คือ

γ หรือ Shift	หมายถึง	ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย
n	หมายถึง	ขนาดตัวอย่าง
λ	หมายถึง	จำนวนคาบเวลาหรือจำนวนค่าสังเกตเริ่มต้น (Run – in period) ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนระดับค่าเฉลี่ย
ARL	หมายถึง	จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่าง $\bar{x}$ โดยเฉลี่ยที่ต้องตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการผิดปกติ
ARL_0	หมายถึง	ค่า ARLเริ่มต้นของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ เมื่อขบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม
$\bar{x}$	หมายถึง	วิธีการตรวจสอบแบบค่าเฉลี่ย
EWMA	หมายถึง	วิธีการตรวจสอบแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล
SYNTHETIC	หมายถึง	วิธีการตรวจสอบแบบสังเคราะห์
RUNSUM	หมายถึง	วิธีการตรวจสอบแบบผลรวมวิ่ง

โดยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

γ = 0.5σ,0.6σ, 0.7σ, 0.8σ, 0.9σ, 1.0σ, 1.1σ, 1.2σ, 1.3σ, 1.4σ, 1.5σ, 2.0σ, 2.5σ, 3.0σ, 3.5σ, 4.0σ, 4.5σ, 5.0σ , σ=1

n = 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

λ = 30

μ_0 = 10

$\bar{\bar{x}}$ = 10.04[1]

$\frac{\bar{s}}{c(n^*)}$ = 0.9956[1]

ARL_0 = 300, 370, 500

α_i = 3

β_i = -3

4.1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม

ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 – 4.15 สรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)

จะเห็นได้ว่าขอบเขตของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่างเพียงอย่างเดียว จะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของระดับการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเมื่อขนาดตัวอย่างเปลี่ยนจะทำให้ความกว้างของขอบเขตควบคุมเปลี่ยนไปด้วยในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือถ้าขนาดตัวอย่างยิ่งมากจะทำให้ระยะห่างระหว่างเส้นควบคุมบนกับเส้นควบคุมล่างน้อยลงไปด้วย

2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล (EWMA)

ขอบเขตควบคุมของแผนภูมินี้จะขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง และระดับการเปลี่ยนแปลงด้วย กล่าวคือแผนภูมิควบคุมจะมีความกว้างขนาดต่างๆ กัน ที่ขนาดตัวอย่างต่างกัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลงต่างกัน กล่าวคือถ้าขนาดตัวอย่างหรือระดับการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยน ความกว้างของขอบเขตควบคุมจะมีความกว้างที่ไม่แน่นอน (ขึ้นๆ ลงๆ) ซึ่งเกิดมาจากการค้นหาค่า α ที่ดีที่สุดในแต่ละกรณีที่จะทำให้ได้ค่า ARLต่ำสุดใจขณะที่ขนาดตัวอย่างและระดับการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยนไป

---

[1] ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองเปลี่ยนค่า n^* และค่า m ที่ใช้ในการหา $\bar{\bar{x}}$ และ $\frac{\bar{s}}{c(n^*)}$ โดยได้เปลี่ยนจาก n^* = 5, m = 25 เป็น n^* = 4 , m = 40 และ n^* = 5, m = 35 ปรากฏว่าผลสรุปไม่แตกต่างกันดังตัวอย่างที่แสดงในภาคผนวก ก

3. แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic)

ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ จะมี 2 ขอบเขตควบคุม อธิบายได้ดังนี้

ขอบเขตควบคุมแรกจะมีเส้นควบคุมบนกับเส้นควบคุมล่าง จะมีค่าเปลี่ยนแปลงในทุกๆ ค่า เมื่อขนาดตัวอย่าง และระดับการเปลี่ยนแปลงเปลี่ยน เพราะจะทำการค้นหาค่า k ที่ดีที่สุด ในแต่ละกรณีที่จะทำให้ได้ค่า ARL ที่ต่ำที่สุด ที่ขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น และที่ระดับการเปลี่ยนแปลงเท่ากัน ความกว้างของขอบเขตควบคุมจะมีขนาดลดลง ในทางกลับกัน ที่ขนาดตัวอย่างเท่าเดิม แต่ค่าระดับการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ค่าความกว้างของขอบเขตควบคุมก็จะมีขนาดลดลง และการเปลี่ยนแปลงค่า ARL_0 จาก 300 เป็น 370 และ 500 ที่ขนาดตัวอย่าง และระดับการเปลี่ยนแปลงเท่าเดิม ความกว้างของขอบเขตควบคุมจะมีขนาดเพิ่มขึ้น

ขอบเขตควบคุมที่สองจะมีค่าขอบเขตควบคุมเป็น L จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดตัวอย่าง และระดับการเปลี่ยนแปลง ที่ขนาดตัวอย่างเพิ่ม และที่ระดับการเปลี่ยนแปลงเท่าเดิม ค่าของ L จะลดลงหรือเท่าเดิม ในทางกลับกัน ถ้าขนาดตัวอย่างเท่าเดิม แต่ระดับการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ค่าของ L จะมีขนาดลดลงหรือเท่าเดิมเหมือนกัน และการเปลี่ยนแปลงค่าของ ARL_0 จาก 300 เป็น 370 และ 500 ที่ขนาดตัวอย่างและระดับการเปลี่ยนแปลงเท่าเดิม ค่าของ L จะมีขนาดเพิ่มขึ้นหรือเท่าเดิม

4. แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM)

จะเห็นได้ว่าขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง ขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่างเพียงอย่างเดียว จะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของระดับการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเมื่อขนาดตัวอย่างเปลี่ยนจะทำให้ความกว้างของขอบเขตควบคุมเปลี่ยนไปด้วยในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือถ้าขนาดตัวอย่างยิ่งมาก จะทำให้ระยะห่างระหว่างเส้นควบคุมบนกับเส้นควบคุมล่างน้อยลงไปด้วย

จากผลข้างต้นสรุปได้ว่า ขนาดตัวอย่างมีผลต่อแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ แต่ระดับการเปลี่ยนแปลง จะมีผลเฉพาะแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม Synthetic เท่านั้น

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทดลองเปลี่ยนค่า λ และ เพื่อต้องการดูผลกระทบของ λ ว่ามีผลต่อขอบเขตควบคุมหรือไม่ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ก1. - ก15. ในภาคผนวก ก ซึ่งพบว่าค่า λ ให้ประสิทธิภาพไม่ต่างกันคือ ค่าความกว้างของขอบเขตควบคุมยังคงไม่ เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 4

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.53	8.55	10.52	9.56	11.25	8.83	17	11.28	8.80	19	11.32	8.76	21	11.53	8.55
0.6	11.53	8.55	10.51	9.57	11.22	8.86	12	11.25	8.83	13	11.29	8.79	15	11.53	8.55
0.7	11.53	8.55	10.63	9.45	11.2	8.88	9	11.22	8.86	10	11.26	8.82	11	11.53	8.55
0.8	11.53	8.55	10.69	9.39	11.17	8.91	7	11.19	8.89	7	11.23	8.85	8	11.53	8.55
0.9	11.53	8.55	10.72	9.36	11.16	8.92	6	11.18	8.90	6	11.21	8.87	6	11.53	8.55
1.0	11.53	8.55	10.78	9.30	11.14	8.94	5	11.16	8.92	5	11.19	8.89	5	11.53	8.55
1.2	11.53	8.55	10.95	9.13	11.09	8.99	3	11.11	8.97	3	11.17	8.91	4	11.53	8.55
1.4	11.53	8.55	11.10	8.98	11.09	8.99	3	11.11	8.97	3	11.14	8.94	3	11.53	8.55
1.5	11.53	8.55	11.19	8.89	11.05	9.03	2	11.08	9.00	2	11.14	8.94	3	11.53	8.55
2.0	11.53	8.55	11.37	8.71	11.05	9.03	2	11.08	9.00	2	11.11	8.97	2	11.53	8.55
2.5	11.53	8.55	11.42	8.66	11.05	9.03	2	11.08	9.00	2	11.11	8.97	2	11.53	8.55
3.0	11.53	8.55	11.03	9.05	11.05	9.03	2	11.08	9.00	2	11.11	8.97	2	11.53	8.55
4.0	11.53	8.55	10.51	9.57	10.98	9.10	1	11.00	9.08	1	11.04	9.04	1	11.53	8.55
5.0	11.53	8.55	10.36	9.72	10.98	9.10	1	11.00	9.08	1	11.04	9.04	1	11.53	8.55

ตารางที่ 4.2 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 5

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.37	8.71	10.51	9.57	11.11	8.97	14	11.13	8.95	15	11.16	8.92	17	11.37	8.71
0.6	11.37	8.71	10.52	9.55	11.08	9.00	10	11.11	8.97	11	11.14	8.94	12	11.37	8.71
0.7	11.37	8.71	10.60	9.47	11.05	9.03	7	11.08	9.00	8	11.11	8.97	8	11.37	8.71
0.8	11.37	8.71	10.64	9.43	11.04	9.04	6	11.06	9.02	6	11.08	9.00	6	11.37	8.71
0.9	11.37	8.71	10.80	9.27	11.03	9.05	5	11.04	9.04	5	11.07	9.01	5	11.37	8.71
1.0	11.37	8.71	10.81	9.26	11.01	9.07	4	11.03	9.05	4	11.05	9.03	4	11.37	8.71
1.2	11.37	8.71	11.00	9.07	10.98	9.10	3	11.00	9.08	3	11.03	9.05	3	11.37	8.71
1.4	11.37	8.71	11.07	9.00	10.95	9.13	2	10.97	9.11	2	10.99	9.09	2	11.37	8.71
1.5	11.37	8.71	11.18	8.89	10.95	9.13	2	10.97	9.11	2	10.99	9.09	2	11.37	8.71
2.0	11.37	8.71	11.29	8.78	10.95	9.13	2	10.97	9.11	2	10.99	9.09	2	11.37	8.71
2.5	11.37	8.71	11.21	8.86	10.95	9.13	2	10.97	9.11	2	10.99	9.09	2	11.37	8.71
3.0	11.37	8.71	10.70	9.37	10.88	9.20	1	10.90	9.18	1	10.99	9.09	1	11.37	8.71
4.0	11.37	8.71	10.41	9.66	10.88	9.20	1	10.90	9.18	1	11.93	8.15	1	11.37	8.71
5.0	11.37	8.71	10.29	9.78	10.88	9.20	1	10.90	9.18	1	11.93	8.15	1	11.37	8.71

ตารางที่ 4.3 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 6

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.26	8.82	10.52	9.56	11.00	9.08	12	11.03	9.05	13	11.05	9.03	14	11.26	8.82
0.6	11.26	8.82	10.52	9.56	10.97	9.11	8	11.00	9.08	9	11.03	9.05	10	11.26	8.82
0.7	11.26	8.82	10.63	9.45	10.95	9.13	6	10.97	9.11	6	11.00	9.08	7	11.26	8.82
0.8	11.26	8.82	10.65	9.43	10.94	9.14	5	10.96	9.12	5	10.98	9.10	5	11.26	8.82
0.9	11.26	8.82	10.74	9.34	10.92	9.16	4	10.94	9.14	4	10.96	9.12	4	11.26	8.82
1.0	11.26	8.82	10.83	9.25	10.9	9.18	3	10.92	9.16	3	10.96	9.12	4	11.26	8.82
1.2	11.26	8.82	10.89	9.19	10.87	9.21	2	10.92	9.16	3	10.94	9.14	3	11.26	8.82
1.4	11.26	8.82	10.98	9.10	10.87	9.21	2	10.88	9.20	2	10.91	9.17	2	11.26	8.82
1.5	11.26	8.82	11.12	8.96	10.87	9.21	2	10.88	9.20	2	10.91	9.17	2	11.26	8.82
2.0	11.26	8.82	11.12	8.96	10.87	9.21	2	10.88	9.20	2	10.91	9.17	2	11.26	8.82
2.5	11.26	8.82	10.76	9.32	10.87	9.21	2	10.88	9.20	2	10.91	9.17	2	11.26	8.82
3.0	11.26	8.82	10.49	9.59	10.81	9.27	1	10.83	9.25	1	10.85	9.23	1	11.26	8.82
4.0	11.26	8.82	10.32	9.76	10.81	9.27	1	10.83	9.25	1	10.85	9.23	1	11.26	8.82
5.0	11.26	8.82	10.25	9.83	10.81	9.27	1	10.83	9.25	1	10.85	9.23	1	11.26	8.82

ตารางที่ 4.4 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 7

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.17	8.91	10.49	9.59	10.92	9.16	10	10.94	9.14	11	10.97	9.11	12	11.17	8.91
0.6	11.17	8.91	10.53	9.55	10.90	9.18	7	10.92	9.16	8	10.94	9.14	8	11.17	8.91
0.7	11.17	8.91	10.57	9.51	10.87	9.21	5	10.90	9.18	6	10.92	9.16	6	11.17	8.91
0.8	11.17	8.91	10.64	9.44	10.86	9.22	4	10.87	9.21	4	10.91	9.17	5	11.17	8.91
0.9	11.17	8.91	10.72	9.36	10.84	9.24	3	10.85	9.23	3	10.89	9.19	4	11.17	8.91
1.0	11.17	8.91	10.79	9.29	10.84	9.24	3	10.85	9.23	3	10.87	9.21	3	11.17	8.91
1.2	11.17	8.91	10.87	9.21	10.81	9.27	2	10.82	9.26	2	10.84	9.24	2	11.17	8.91
1.4	11.17	8.91	11.00	9.08	10.81	9.27	2	10.82	9.26	2	10.84	9.24	2	11.17	8.91
1.5	11.17	8.91	11.11	8.97	10.81	9.27	2	10.82	9.26	2	10.84	9.24	2	11.17	8.91
2.0	11.17	8.91	10.86	9.22	10.81	9.27	2	10.82	9.26	2	10.84	9.24	2	11.17	8.91
2.5	11.17	8.91	10.58	9.50	10.81	9.27	1	10.82	9.26	2	10.84	9.24	2	11.17	8.91
3.0	11.17	8.91	10.40	9.68	10.75	9.33	1	10.77	9.31	1	10.79	9.29	1	11.17	8.91
4.0	11.17	8.91	10.27	9.81	10.75	9.33	1	10.77	9.31	1	10.79	9.29	1	11.17	8.91
5.0	11.17	8.91	10.22	9.86	10.75	9.33	1	10.77	9.31	1	10.79	9.29	1	11.17	8.91

ตารางที่ 4.5 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 8

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.09	8.99	10.44	9.64	10.86	9.22	9	10.87	9.21	9	10.90	9.18	10	11.09	8.99
0.6	11.09	8.99	10.50	9.58	10.83	9.25	6	10.85	9.23	7	10.87	9.21	7	11.09	8.99
0.7	11.09	8.99	10.54	9.54	10.82	9.26	5	10.83	9.25	5	10.85	9.23	5	11.09	8.99
0.8	11.09	8.99	10.66	9.42	10.80	9.28	4	10.82	9.26	4	10.84	9.24	4	11.09	8.99
0.9	11.09	8.99	10.75	9.33	10.78	9.30	3	10.80	9.28	3	10.82	9.26	3	11.09	8.99
1.0	11.09	8.99	10.75	9.33	10.78	9.30	3	10.80	9.28	3	10.82	9.26	3	11.09	8.99
1.2	11.09	8.99	10.96	9.12	10.76	9.32	2	10.77	9.31	2	10.79	9.29	2	11.09	8.99
1.4	11.09	8.99	10.96	9.12	10.76	9.32	2	10.77	9.31	2	10.79	9.29	2	11.09	8.99
1.5	11.09	8.99	10.93	9.15	10.76	9.32	2	10.77	9.31	2	10.79	9.29	2	11.09	8.99
2.0	11.09	8.99	10.90	9.18	10.76	9.32	2	10.77	9.31	2	10.79	9.29	2	11.09	8.99
2.5	11.09	8.99	10.50	9.58	10.71	9.37	1	10.72	9.36	1	10.79	9.29	1	11.09	8.99
3.0	11.09	8.99	10.36	9.72	10.71	9.37	1	10.72	9.36	1	10.74	9.34	1	11.09	8.99
4.0	11.09	8.99	10.24	9.84	10.71	9.37	1	10.72	9.36	1	10.74	9.34	1	11.09	8.99
5.0	11.09	8.99	10.19	9.89	10.71	9.37	1	10.72	9.36	1	10.74	9.34	1	11.09	8.99

ตารางที่ 4.6 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 9

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.03	9.05	10.44	9.64	10.80	9.28	8	10.82	9.26	8	10.84	9.24	9	11.03	9.05
0.6	11.03	9.05	10.45	9.63	10.78	9.30	6	10.80	9.28	6	10.82	9.26	6	11.03	9.05
0.7	11.03	9.05	10.58	9.50	10.76	9.32	4	10.77	9.31	4	10.81	9.27	5	11.03	9.05
0.8	11.03	9.05	10.61	9.47	10.74	9.34	3	10.76	9.32	3	10.79	9.29	4	11.03	9.05
0.9	11.03	9.05	10.67	9.41	10.74	9.34	3	10.76	9.32	3	10.78	9.30	3	11.03	9.05
1.0	11.03	9.05	10.80	9.28	10.71	9.37	2	10.73	9.35	2	10.78	9.30	3	11.03	9.05
1.2	11.03	9.05	10.86	9.22	10.71	9.37	2	10.73	9.35	2	10.75	9.33	2	11.03	9.05
1.4	11.03	9.05	10.96	9.12	10.71	9.37	2	10.73	9.35	2	10.75	9.33	2	11.03	9.05
1.5	11.03	9.05	11.01	9.07	10.71	9.37	2	10.73	9.35	2	10.75	9.33	2	11.03	9.05
2.0	11.03	9.05	10.66	9.42	10.71	9.37	2	10.73	9.35	2	10.75	9.33	2	11.03	9.05
2.5	11.03	9.05	10.39	9.69	10.67	9.41	1	10.68	9.40	1	10.70	9.38	1	11.03	9.05
3.0	11.03	9.05	10.29	9.79	10.67	9.41	1	10.68	9.40	1	10.70	9.38	1	11.03	9.05
4.0	11.03	9.05	10.21	9.87	10.67	9.41	1	10.68	9.40	1	10.70	9.38	1	11.03	9.05
5.0	11.03	9.05	10.16	9.92	10.67	9.41	1	10.68	9.40	1	10.70	9.38	1	11.03	9.05

ตารางที่ 4.7 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 10

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.98	9.1	10.41	9.67	10.76	9.32	7	10.78	9.30	8	10.79	9.29	8	10.98	9.1
0.6	10.98	9.1	10.44	9.64	10.74	9.34	5	10.75	9.33	5	10.78	9.30	6	10.98	9.1
0.7	10.98	9.1	10.49	9.59	10.72	9.36	4	10.74	9.34	4	10.75	9.33	4	10.98	9.1
0.8	10.98	9.1	10.65	9.43	10.71	9.37	3	10.72	9.36	3	10.74	9.34	3	10.98	9.1
0.9	10.98	9.1	10.68	9.40	10.71	9.37	3	10.72	9.36	3	10.74	9.34	3	10.98	9.1
1.0	10.98	9.1	10.71	9.37	10.68	9.40	2	10.69	9.39	2	10.71	9.37	2	10.98	9.1
1.2	10.98	9.1	10.84	9.24	10.68	9.40	2	10.69	9.39	2	10.71	9.37	2	10.98	9.1
1.4	10.98	9.1	10.91	9.17	10.68	9.40	2	10.69	9.39	2	10.71	9.37	2	10.98	9.1
1.5	10.98	9.1	10.86	9.22	10.68	9.40	2	10.69	9.39	2	10.71	9.37	2	10.98	9.1
2.0	10.98	9.1	10.77	9.31	10.68	9.40	2	10.69	9.39	2	10.71	9.37	2	10.98	9.1
2.5	10.98	9.1	10.39	9.69	10.63	9.45	1	10.65	9.43	1	10.67	9.41	1	10.98	9.1
3.0	10.98	9.1	10.29	9.79	10.63	9.45	1	10.65	9.43	1	10.67	9.41	1	10.98	9.1
4.0	10.98	9.1	10.20	9.88	10.63	9.45	1	10.65	9.43	1	10.67	9.41	1	10.98	9.1
5.0	10.98	9.1	10.15	9.93	10.63	9.45	1	10.65	9.43	1	10.67	9.41	1	10.98	9.1

ตารางที่ 4.8 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 15

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.81	9.27	10.42	9.66	10.61	9.47	5	10.62	9.46	5	10.63	9.45	5	10.81	9.27
0.6	10.81	9.27	10.52	9.56	10.58	9.50	3	10.61	9.47	4	10.62	9.46	4	10.81	9.27
0.7	10.81	9.27	10.56	9.52	10.58	9.50	3	10.59	9.49	3	10.61	9.47	3	10.81	9.27
0.8	10.81	9.27	10.56	9.52	10.56	9.52	2	10.57	9.51	2	10.59	9.49	2	10.81	9.27
0.9	10.81	9.27	10.66	9.42	10.56	9.52	2	10.57	9.51	2	10.59	9.49	2	10.81	9.27
1.0	10.81	9.27	10.70	9.38	10.56	9.52	2	10.57	9.51	2	10.59	9.49	2	10.81	9.27
1.2	10.81	9.27	10.77	9.31	10.56	9.52	2	10.57	9.51	2	10.59	9.49	2	10.81	9.27
1.4	10.81	9.27	10.59	9.49	10.56	9.52	2	10.57	9.51	2	10.59	9.49	2	10.81	9.27
1.5	10.81	9.27	10.65	9.43	10.56	9.52	2	10.57	9.51	2	10.59	9.49	2	10.81	9.27
2.0	10.81	9.27	10.33	9.75	10.53	9.55	1	10.54	9.54	1	10.55	9.53	1	10.81	9.27
2.5	10.81	9.27	10.23	9.85	10.53	9.55	1	10.54	9.54	1	10.55	9.53	1	10.81	9.27
3.0	10.81	9.27	10.20	9.88	10.53	9.55	1	10.54	9.54	1	10.55	9.53	1	10.81	9.27
4.0	10.81	9.27	10.15	9.93	10.53	9.55	1	10.54	9.54	1	10.55	9.53	1	10.81	9.27
5.0	10.81	9.27	10.12	9.96	10.53	9.55	1	10.54	9.54	1	10.55	9.53	1	10.81	9.27

ตารางที่ 4.9 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 20

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.71	9.37	10.38	9.70	10.52	9.56	4	10.53	9.55	4	10.54	9.54	4	10.71	9.37
0.6	10.71	9.37	10.48	9.60	10.51	9.57	3	10.52	9.56	3	10.53	9.55	3	10.71	9.37
0.7	10.71	9.37	10.51	9.57	10.49	9.59	2	10.50	9.58	2	10.52	9.56	2	10.71	9.37
0.8	10.71	9.37	10.60	9.48	10.49	9.59	2	10.50	9.58	2	10.52	9.56	2	10.71	9.37
0.9	10.71	9.37	10.64	9.44	10.49	9.59	2	10.50	9.58	2	10.52	9.56	2	10.71	9.37
1.0	10.71	9.37	10.68	9.40	10.49	9.59	2	10.50	9.58	2	10.52	9.56	2	10.71	9.37
1.2	10.71	9.37	10.65	9.43	10.49	9.59	2	10.50	9.58	2	10.52	9.56	2	10.71	9.37
1.4	10.71	9.37	10.47	9.61	10.49	9.59	2	10.50	9.58	2	10.52	9.56	2	10.71	9.37
1.5	10.71	9.37	10.38	9.70	10.46	9.62	1	10.47	9.61	1	10.52	9.56	1	10.71	9.37
2.0	10.71	9.37	10.22	9.86	10.46	9.62	1	10.47	9.61	1	10.48	9.60	1	10.71	9.37
2.5	10.71	9.37	10.17	9.91	10.46	9.62	1	10.47	9.61	1	10.48	9.60	1	10.71	9.37
3.0	10.71	9.37	10.14	9.94	10.46	9.62	1	10.47	9.61	1	10.48	9.60	1	10.71	9.37
4.0	10.71	9.37	10.12	9.96	10.46	9.62	1	10.47	9.61	1	10.48	9.60	1	10.71	9.37
5.0	10.71	9.37	10.10	9.98	10.46	9.62	1	10.47	9.61	1	10.48	9.60	1	10.71	9.37

ตารางที่ 4.10 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 25

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.63	9.45	10.39	9.69	10.46	9.62	3	10.47	9.61	3	10.48	9.60	3	10.63	9.45
0.6	10.63	9.45	10.47	9.61	10.44	9.64	2	10.45	9.63	2	10.48	9.60	3	10.63	9.45
0.7	10.63	9.45	10.56	9.52	10.44	9.64	2	10.45	9.63	2	10.46	9.62	2	10.63	9.45
0.8	10.63	9.45	10.55	9.53	10.44	9.64	2	10.45	9.63	2	10.46	9.62	2	10.63	9.45
0.9	10.63	9.45	10.57	9.51	10.44	9.64	2	10.45	9.63	2	10.46	9.62	2	10.63	9.45
1.0	10.63	9.45	10.57	9.51	10.44	9.64	2	10.45	9.63	2	10.46	9.62	2	10.63	9.45
1.2	10.63	9.45	10.44	9.64	10.44	9.64	2	10.45	9.63	2	10.46	9.62	2	10.63	9.45
1.4	10.63	9.45	10.31	9.77	10.42	9.66	1	10.42	9.66	1	10.44	9.64	1	10.63	9.45
1.5	10.63	9.45	10.27	9.81	10.42	9.66	1	10.42	9.66	1	10.44	9.64	1	10.63	9.45
2.0	10.63	9.45	10.18	9.90	10.42	9.66	1	10.42	9.66	1	10.44	9.64	1	10.63	9.45
2.5	10.63	9.45	10.14	9.94	10.42	9.66	1	10.42	9.66	1	10.44	9.64	1	10.63	9.45
3.0	10.63	9.45	10.12	9.96	10.42	9.66	1	10.42	9.66	1	10.44	9.64	1	10.63	9.45
4.0	10.63	9.45	10.10	9.98	10.42	9.66	1	10.42	9.66	1	10.44	9.64	1	10.63	9.45
5.0	10.63	9.45	10.08	10.00	10.42	9.66	1	10.42	9.66	1	10.44	9.64	1	10.63	9.45

ตารางที่ 4.11 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 30

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.58	9.5	10.41	9.67	10.42	9.66	3	10.43	9.65	3	10.44	9.64	3	10.58	9.5
0.6	10.58	9.5	10.48	9.60	10.41	9.67	2	10.42	9.66	2	10.43	9.65	2	10.58	9.5
0.7	10.58	9.5	10.46	9.62	10.41	9.67	2	10.42	9.66	2	10.43	9.65	2	10.58	9.5
0.8	10.58	9.5	10.54	9.54	10.41	9.67	2	10.42	9.66	2	10.43	9.65	2	10.58	9.5
0.9	10.58	9.5	10.51	9.57	10.41	9.67	2	10.42	9.66	2	10.43	9.65	2	10.58	9.5
1.0	10.58	9.5	10.53	9.55	10.41	9.67	2	10.42	9.66	2	10.43	9.65	2	10.58	9.5
1.2	10.58	9.5	10.31	9.77	10.41	9.67	1	10.42	9.66	1	10.43	9.65	2	10.58	9.5
1.4	10.58	9.5	10.23	9.85	10.38	9.70	1	10.39	9.69	1	10.40	9.68	1	10.58	9.5
1.5	10.58	9.5	10.20	9.88	10.38	9.70	1	10.39	9.69	1	10.40	9.68	1	10.58	9.5
2.0	10.58	9.5	10.14	9.94	10.38	9.70	1	10.39	9.69	1	10.40	9.68	1	10.58	9.5
2.5	10.58	9.5	10.12	9.96	10.38	9.70	1	10.39	9.69	1	10.40	9.68	1	10.58	9.5
3.0	10.58	9.5	10.11	9.97	10.38	9.70	1	10.39	9.69	1	10.40	9.68	1	10.58	9.5
4.0	10.58	9.5	10.09	9.99	10.38	9.70	1	10.39	9.69	1	10.40	9.68	1	10.58	9.5
5.0	10.58	9.5	10.08	10.00	10.38	9.70	1	10.39	9.69	1	10.40	9.68	1	10.58	9.5

ตารางที่ 4.12 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.54	9.54	10.40	9.68	10.38	9.70	2	10.39	9.69	2	10.41	9.67	3	10.54	9.54
0.6	10.54	9.54	10.47	9.61	10.38	9.70	2	10.39	9.69	2	10.40	9.68	2	10.54	9.54
0.7	10.54	9.54	10.47	9.61	10.38	9.70	2	10.39	9.69	2	10.40	9.68	2	10.54	9.54
0.8	10.54	9.54	10.47	9.61	10.38	9.70	2	10.39	9.69	2	10.40	9.68	2	10.54	9.54
0.9	10.54	9.54	10.41	9.67	10.38	9.70	2	10.39	9.69	2	10.40	9.68	2	10.54	9.54
1.0	10.54	9.54	10.48	9.60	10.38	9.70	2	10.39	9.69	2	10.40	9.68	2	10.54	9.54
1.2	10.54	9.54	10.25	9.83	10.36	9.72	1	10.36	9.72	1	10.38	9.70	1	10.54	9.54
1.4	10.54	9.54	10.19	9.89	10.36	9.72	1	10.36	9.72	1	10.38	9.70	1	10.54	9.54
1.5	10.54	9.54	10.18	9.90	10.36	9.72	1	10.36	9.72	1	10.38	9.70	1	10.54	9.54
2.0	10.54	9.54	10.13	9.95	10.36	9.72	1	10.36	9.72	1	10.38	9.70	1	10.54	9.54
2.5	10.54	9.54	10.11	9.97	10.36	9.72	1	10.36	9.72	1	10.38	9.70	1	10.54	9.54
3.0	10.54	9.54	10.10	9.98	10.36	9.72	1	10.36	9.72	1	10.38	9.70	1	10.54	9.54
4.0	10.54	9.54	10.09	9.99	10.36	9.72	1	10.36	9.72	1	10.38	9.70	1	10.54	9.54
5.0	10.54	9.54	10.07	10.01	10.36	9.72	1	10.36	9.72	1	10.38	9.70	1	10.54	9.54

ตารางที่ 4.13 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.51	9.57	10.38	9.70	10.36	9.72	2	10.37	9.71	2	10.38	9.70	2	10.51	9.57
0.6	10.51	9.57	10.43	9.65	10.36	9.72	2	10.37	9.71	2	10.38	9.70	2	10.51	9.57
0.7	10.51	9.57	10.43	9.65	10.36	9.72	2	10.37	9.71	2	10.38	9.70	2	10.51	9.57
0.8	10.51	9.57	10.41	9.67	10.36	9.72	2	10.37	9.71	2	10.38	9.70	2	10.51	9.57
0.9	10.51	9.57	10.43	9.65	10.36	9.72	2	10.37	9.71	2	10.38	9.70	2	10.51	9.57
1.0	10.51	9.57	10.30	9.78	10.36	9.72	2	10.37	9.71	2	10.35	9.73	2	10.51	9.57
1.2	10.51	9.57	10.27	9.81	10.34	9.74	1	10.34	9.74	1	10.35	9.73	1	10.51	9.57
1.4	10.51	9.57	10.20	9.88	10.34	9.74	1	10.34	9.74	1	10.35	9.73	1	10.51	9.57
1.5	10.51	9.57	10.18	9.90	10.34	9.74	1	10.34	9.74	1	10.35	9.73	1	10.51	9.57
2.0	10.51	9.57	10.12	9.96	10.34	9.74	1	10.34	9.74	1	10.35	9.73	1	10.51	9.57
2.5	10.51	9.57	10.11	9.97	10.34	9.74	1	10.34	9.74	1	10.35	9.73	1	10.51	9.57
3.0	10.51	9.57	10.09	9.99	10.34	9.74	1	10.34	9.74	1	10.35	9.73	1	10.51	9.57
4.0	10.51	9.57	10.07	10.01	10.34	9.74	1	10.34	9.74	1	10.35	9.73	1	10.51	9.57
5.0	10.51	9.57	10.07	10.01	10.34	9.74	1	10.34	9.74	1	10.35	9.73	1	10.51	9.57

ตารางที่ 4.14 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 45

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.48	9.6	10.36	9.72	10.34	9.74	2	10.35	9.73	2	10.36	9.72	2	10.48	9.6
0.6	10.48	9.6	10.44	9.64	10.34	9.74	2	10.35	9.73	2	10.36	9.72	2	10.48	9.6
0.7	10.48	9.6	10.43	9.65	10.34	9.74	2	10.35	9.73	2	10.36	9.72	2	10.48	9.6
0.8	10.48	9.6	10.37	9.71	10.34	9.74	2	10.35	9.73	2	10.36	9.72	2	10.48	9.6
0.9	10.48	9.6	10.29	9.79	10.34	9.74	2	10.35	9.73	2	10.36	9.72	2	10.48	9.6
1.0	10.48	9.6	10.23	9.85	10.32	9.76	1	10.35	9.73	1	10.36	9.72	1	10.48	9.6
1.2	10.48	9.6	10.17	9.91	10.32	9.76	1	10.33	9.75	1	10.34	9.74	1	10.48	9.6
1.4	10.48	9.6	10.15	9.93	10.32	9.76	1	10.33	9.75	1	10.34	9.74	1	10.48	9.6
1.5	10.48	9.6	10.13	9.95	10.32	9.76	1	10.33	9.75	1	10.34	9.74	1	10.48	9.6
2.0	10.48	9.6	10.10	9.98	10.32	9.76	1	10.33	9.75	1	10.34	9.74	1	10.48	9.6
2.5	10.48	9.6	10.09	9.99	10.32	9.76	1	10.33	9.75	1	10.34	9.74	1	10.48	9.6
3.0	10.48	9.6	10.08	10.00	10.32	9.76	1	10.33	9.75	1	10.34	9.74	1	10.48	9.6
4.0	10.48	9.6	10.07	10.01	10.32	9.76	1	10.33	9.75	1	10.34	9.74	1	10.48	9.6
5.0	10.48	9.6	10.07	10.01	10.32	9.76	1	10.33	9.75	1	10.34	9.74	1	10.48	9.6

ตารางที่ 4.15 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 50

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.46	9.62	10.42	9.66	10.32	9.76	2	10.33	9.75	2	10.34	9.74	2	10.46	9.62
0.6	10.46	9.62	10.43	9.65	10.32	9.76	2	10.33	9.75	2	10.34	9.74	2	10.46	9.62
0.7	10.46	9.62	10.39	9.69	10.32	9.76	2	10.33	9.75	2	10.34	9.74	2	10.46	9.62
0.8	10.46	9.62	10.44	9.64	10.32	9.76	2	10.33	9.75	2	10.34	9.74	2	10.46	9.62
0.9	10.46	9.62	10.26	9.82	10.32	9.76	2	10.33	9.75	2	10.34	9.74	2	10.46	9.62
1.0	10.46	9.62	10.28	9.80	10.30	9.78	1	10.33	9.75	1	10.34	9.74	1	10.46	9.62
1.2	10.46	9.62	10.18	9.90	10.30	9.78	1	10.31	9.77	1	10.32	9.76	1	10.46	9.62
1.4	10.46	9.62	10.14	9.94	10.30	9.78	1	10.31	9.77	1	10.32	9.76	1	10.46	9.62
1.5	10.46	9.62	10.13	9.95	10.30	9.78	1	10.31	9.77	1	10.32	9.76	1	10.46	9.62
2.0	10.46	9.62	10.11	9.97	10.30	9.78	1	10.31	9.77	1	10.32	9.76	1	10.46	9.62
2.5	10.46	9.62	10.09	9.99	10.30	9.78	1	10.31	9.77	1	10.32	9.76	1	10.46	9.62
3.0	10.46	9.62	10.08	10.00	10.30	9.78	1	10.31	9.77	1	10.32	9.76	1	10.46	9.62
4.0	10.46	9.62	10.07	10.01	10.30	9.78	1	10.31	9.77	1	10.32	9.76	1	10.46	9.62
5.0	10.46	9.62	10.07	10.01	10.30	9.78	1	10.31	9.77	1	10.32	9.76	1	10.46	9.62

4.2 จำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL)

จำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมดังแสดงในตารางที่ 4.20 – 4.34 และภาพที่ 4.1 – 4.15 โดยจำแนกตามขนาดตัวอย่างและระดับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ แผนภูมิที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ แผนภูมิที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด แสดงว่าแผนภูมินั้นๆ สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยได้เร็วที่สุด

จากตารางที่ 4.20 – 4.34 ขนาดตัวอย่าง มีผลต่อค่า ARL ของทุกแผนภูมิควบคุม ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย

แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดในระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยที่แผนภูมิควบคุมเฉลี่ยมีประสิทธิภาพสูงสุด จำแนกตามขนาดตัวอย่าง

ขนาดตัวอย่าง	ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย
4	2.5σ - 5.0σ
5	2.08σ - 5.0σ
6	1.91σ - 5.0σ
7	1.78σ - 5.0σ
8	1.67σ - 5.0σ
9	1.58σ - 5.0σ
10	1.51σ - 5.0σ
15	1.21σ - 5.0σ
20	1.06σ - 5.0σ
25	0.96σ - 5.0σ
30	0.88σ - 5.0σ
35	0.81σ - 5.0σ
40	0.76σ - 5.0σ
45	0.72σ - 5.0σ
50	0.69σ - 5.0σ

2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล

แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดในระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยที่แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลมีประสิทธิภาพสูงสุดจำแนกตามขนาดตัวอย่าง

ขนาดตัวอย่าง	ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย
4	2.5σ - 5.0σ
5	2.08σ - 5.0σ
6	1.91σ - 5.0σ
7	1.78σ - 5.0σ
8	1.67σ - 5.0σ
9	1.58σ - 5.0σ
10	1.51σ - 5.0σ
15	1.21σ - 5.0σ
20	1.06σ - 5.0σ
25	0.96σ - 5.0σ
30	0.88σ - 5.0σ
35	0.81σ - 5.0σ
40	0.76σ - 5.0σ
45	0.72σ - 5.0σ
50	0.69σ - 5.0σ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์

แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดในระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยที่แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงสุด จำแนกตามขนาดตัวอย่าง และค่า ARL_0

ขนาดตัวอย่าง	ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย		
	$ARL_0 = 300$	$ARL_0 = 370$	$ARL_0 = 500$
4	1.07σ - 5.0σ	1.19σ - 5.0σ	1.4σ - 5.0σ
5	0.92σ - 5.0σ	1.09σ - 5.0σ	1.7σ - 5.0σ
6	0.88σ - 5.0σ	1.09σ - 5.0σ	1.2σ - 5.0σ
7	0.8σ - 5.0σ	0.99σ - 5.0σ	1.2σ - 5.0σ
8	0.79σ - 5.0σ	0.8σ - 5.0σ	1.3σ - 5.0σ
9	0.72σ - 5.0σ	1.02σ - 5.0σ	1.2σ - 5.0σ
10	0.68σ - 5.0σ	0.98σ - 5.0σ	1.0σ - 5.0σ
15	0.55σ - 5.0σ	0.69σ - 5.0σ	0.9σ - 5.0σ
20	0.5σ - 5.0σ	0.6σ - 5.0σ	0.8σ - 5.0σ
25	0.5σ - 5.0σ	0.59σ - 5.0σ	0.59σ - 5.0σ
30	0.5σ - 5.0σ	0.61σ - 5.0σ	0.62σ - 5.0σ
35	0.5σ - 5.0σ	0.58σ - 5.0σ	0.58σ - 5.0σ
40	0.5σ - 5.0σ	0.5σ - 5.0σ	0.6σ - 5.0σ
45	0.5σ - 5.0σ	0.51σ - 5.0σ	0.51σ - 5.0σ
50	0.5σ - 5.0σ	0.5σ - 5.0σ	0.5σ - 5.0σ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง

แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดในระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยที่แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งมีประสิทธิภาพสูงสุด จำแนกตามขนาดตัวอย่าง

ขนาดตัวอย่าง	ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย
4	0.5σ - 1.07σ และ 2.30σ - 5.0σ
5	0.5σ - 0.92σ และ 2.08σ - 5.0σ
6	0.5σ - 0.88σ และ 1.90σ - 5.0σ
7	0.5σ - 0.8σ และ 1.78σ - 5.0σ
8	0.5σ - 0.8σ และ 1.67σ - 5.0σ
9	0.5σ - 0.72σ และ 1.58σ - 5.0σ
10	0.5σ - 0.68σ และ 1.50σ - 5.0σ
15	0.5σ - 0.60σ และ 1.21σ - 5.0σ
20	1.06σ - 5.0σ
25	0.96σ - 5.0σ
30	0.88σ - 5.0σ
35	0.80σ - 5.0σ
40	0.76σ - 5.0σ
45	0.72σ - 5.0σ
50	0.69σ - 5.0σ

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทดลองเปลี่ยนค่า λ เพื่อต้องการดูผลกระทบของ λ ว่ามีผลต่อค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยหรือไม่ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ก16. – ก30. ในภาคผนวก ก ซึ่งพบว่าค่า λ ไม่มีผลกระทบต่อค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย

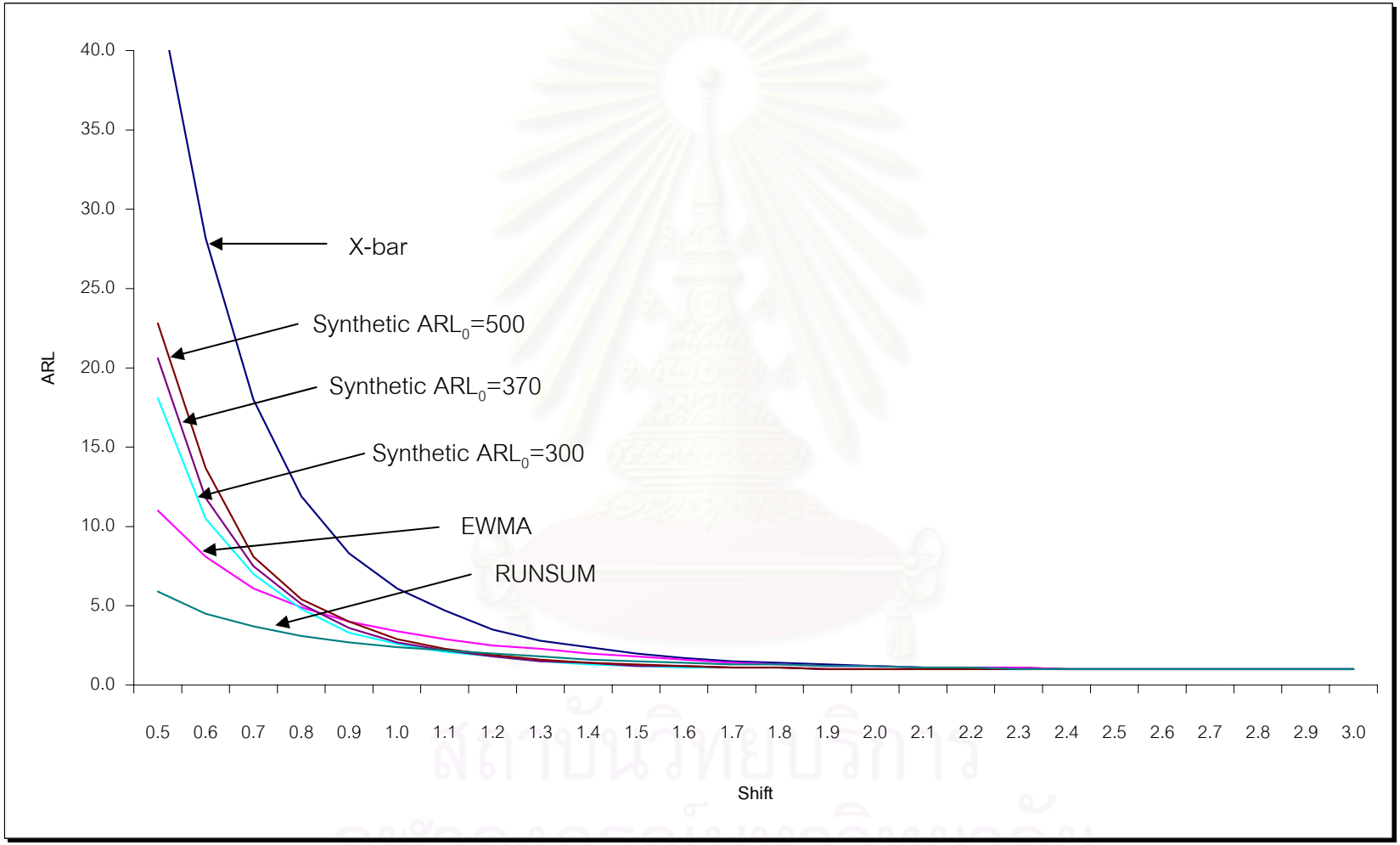
ตารางที่ 4.20 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 4

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	43.7	11.0	17.7	20.6	22.8	5.9*
0.6	28.2	8.1	10.3	11.8	13.7	4.5*
0.7	18.0	6.1	6.9	7.5	8.1	3.7*
0.8	11.9	4.9	4.7	5.1	5.4	3.1*
0.9	8.3	4.0	3.3	3.6	4.0	2.7*
1.0	6.1	3.4	2.6	2.7	2.9	2.4*
1.07	5.4	3.1	2.2*	2.3	2.4	2.2*
1.1	4.7	2.9	2.1*	2.2	2.3	2.2
1.19	3.5	2.6	1.8*	1.8*	1.9	2.0
1.3	2.8	2.3	1.5*	1.5*	1.6	1.8
1.4	2.3	2.0	1.3*	1.4*	1.4*	1.6
1.5	2.0	1.8	1.2*	1.2*	1.3*	1.5
2.0	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
2.3	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.34	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.20 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 2.5σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.07σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.19σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ1.4σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 1.07σ และที่ γ ระดับ 2.3σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.1 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4

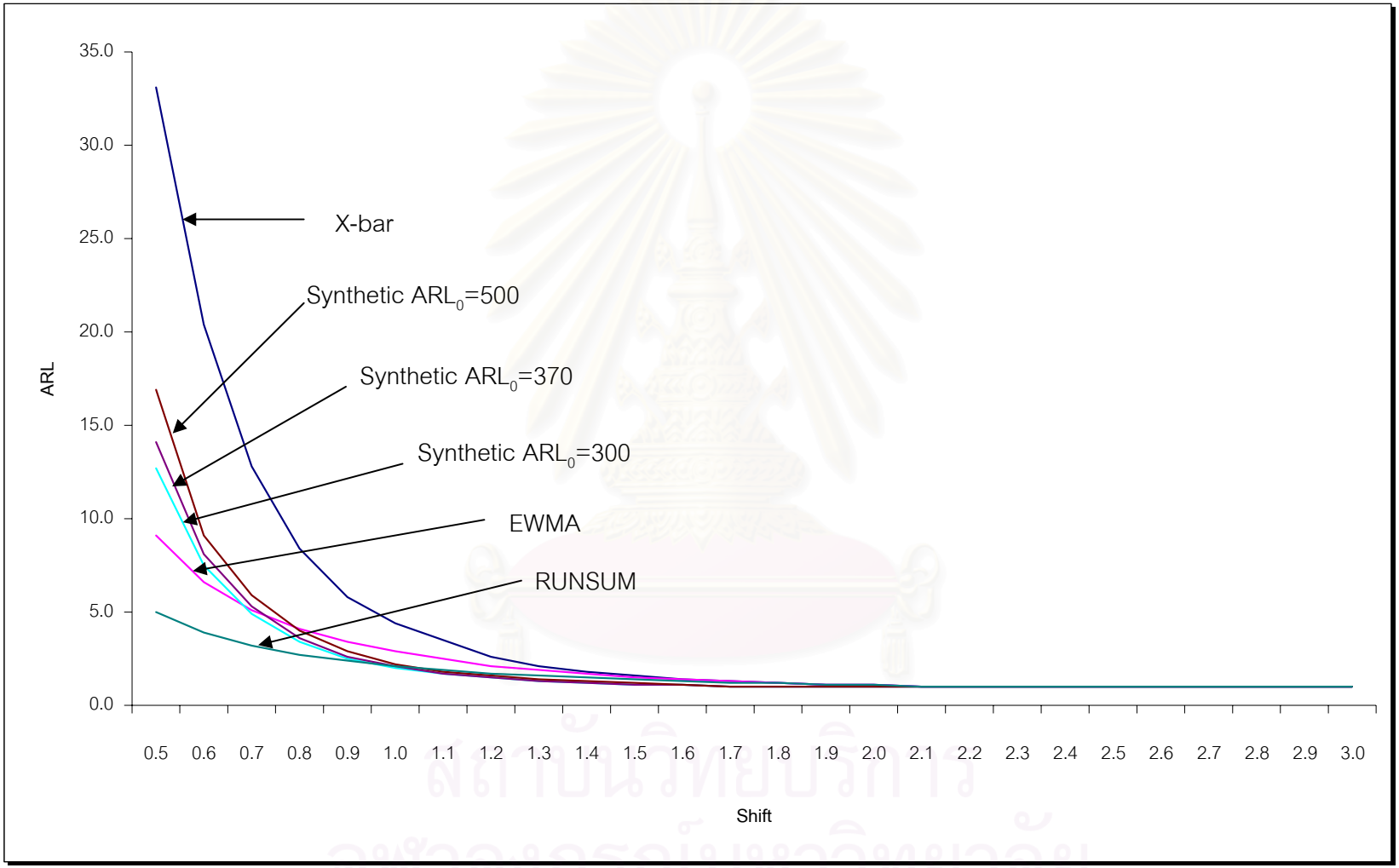
ตารางที่ 4.21 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 5

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	33.1	9.1	12.7	14.1	16.9	5.0*
0.6	20.4	6.6	7.5	8.1	9.1	3.9*
0.7	12.8	5.1	4.9	5.3	5.9	3.2*
0.8	8.4	4.1	3.4	3.6	4.0	2.7*
0.92	5.7	3.3	2.3*	2.5	2.7	2.3*
1.0	4.4	2.9	2.0*	2.1	2.2	2.1
1.09	3.5	2.5	1.7*	1.7*	1.9	1.9
1.1	3.4	2.5	1.7*	1.7*	1.8	1.9
1.2	2.6	2.1	1.5*	1.5*	1.6	1.7
1.3	2.1	1.9	1.3*	1.3*	1.4	1.6
1.4	1.8	1.7	1.2*	1.2*	1.3	1.5
1.5	1.6	1.5	1.1*	1.1*	1.2	1.4
1.7	1.3	1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.3
2.0	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
2.08	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.21 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 5 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 2.08σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.92σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.09σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.7σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 0.92σ และที่ γ ระดับ 2.08σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.2 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 5

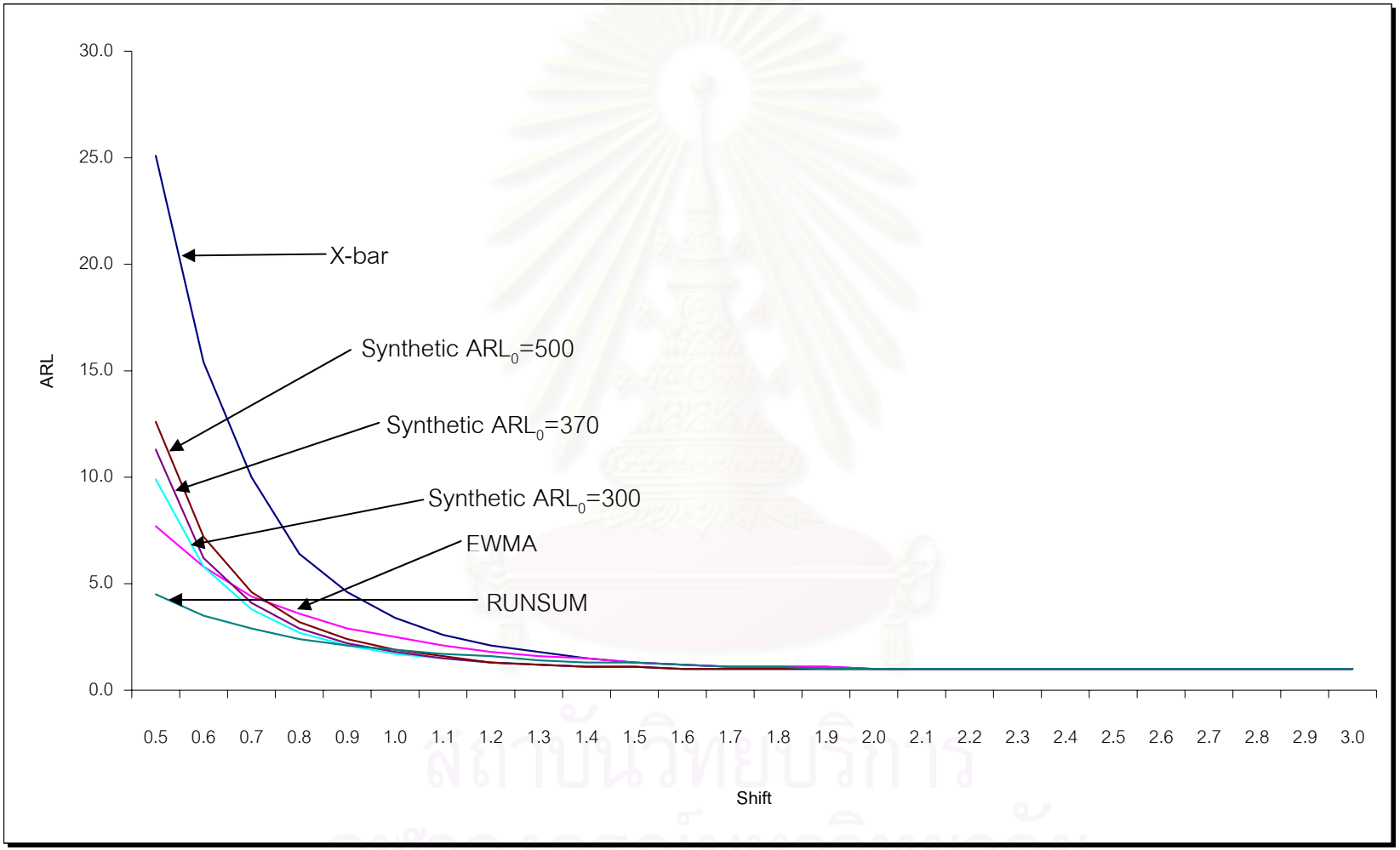
ตารางที่ 4.22 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 6

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	25.1	7.7	9.9	11.3	12.6	4.5*
0.6	15.4	5.8	5.8	6.2	7.2	3.5*
0.7	10.0	4.4	3.8	4.1	4.6	2.9*
0.8	6.4	3.6	2.7	2.9	3.2	2.4*
0.88	4.9	3.0	2.2*	2.4	2.5	2.2*
0.9	4.6	2.9	2.1*	2.2	2.4	2.1*
1.0	3.4	2.5	1.7*	1.8	1.9	1.9
1.09	2.7	2.1	1.5*	1.5*	1.6	1.7
1.1	2.6	2.1	1.5*	1.5*	1.6	1.7
1.2	2.1	1.8	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
1.3	1.8	1.6	1.2*	1.2*	1.2*	1.4
1.4	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.5	1.3	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.9	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.91	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.22 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 6 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.91σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.88σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.09σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.2σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 0.9σ และที่ γ ระดับ 1.9σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.3 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 6

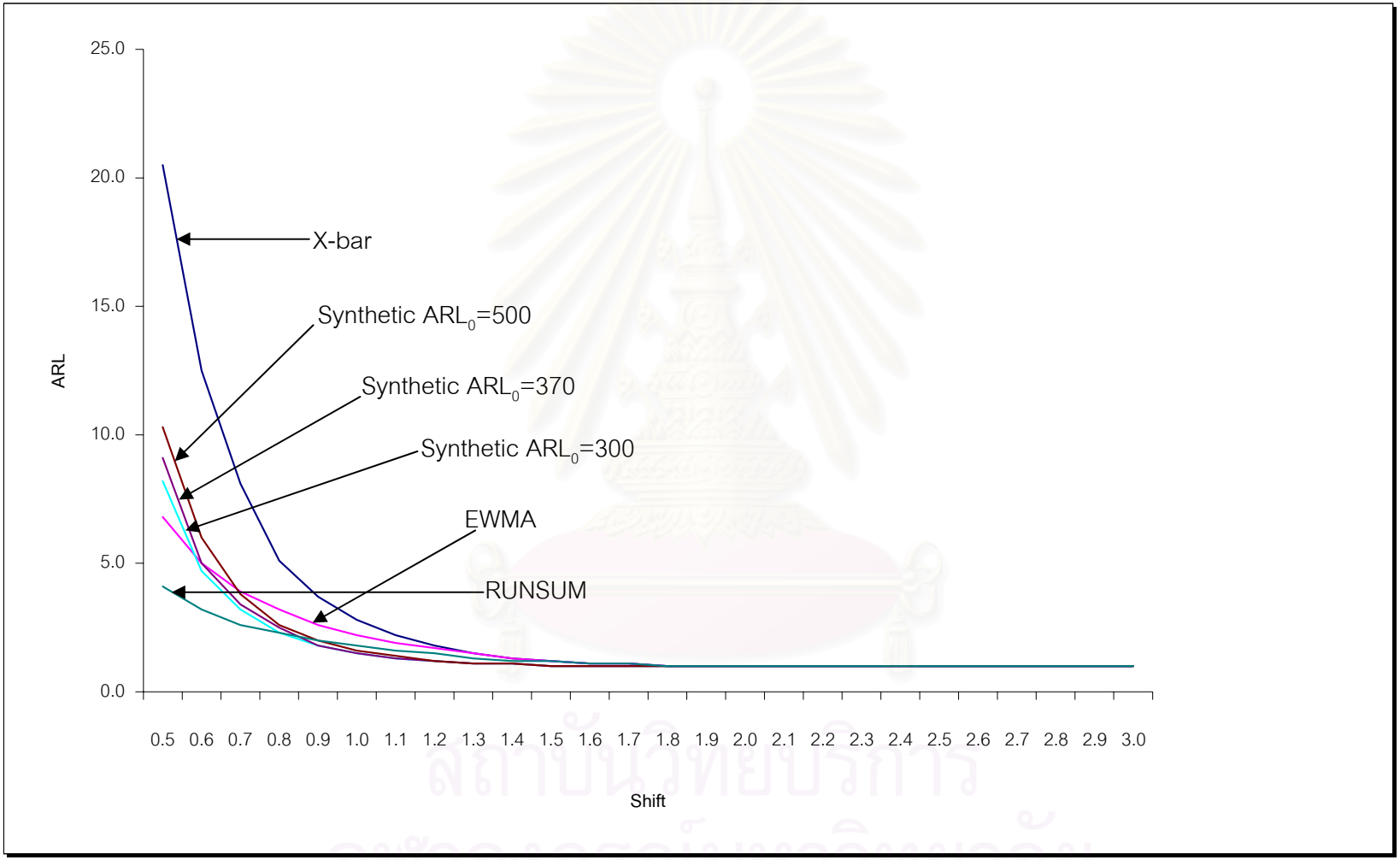
ตารางที่ 4.23 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 7

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	20.5	6.8	8.2	9.1	10.3	4.1*
0.6	12.5	5.0	4.7	5.0	6.0	3.2*
0.7	8.1	3.9	3.2	3.4	3.8	2.6*
0.8	5.1	3.2	2.3*	2.5	2.6	2.3*
0.9	3.7	2.6	1.8*	1.8	2.0	2.0
0.99	2.9	2.2	1.5*	1.5*	1.7	1.8
1.0	2.8	2.2	1.5*	1.5*	1.6	1.8
1.1	2.2	1.9	1.3*	1.3*	1.4	1.6
1.2	1.8	1.7	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
1.3	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.4	1.3	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.2
1.5	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.78	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.23 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 7 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.78σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.8σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.99σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.2σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 0.8σ และที่ γ ระดับ 1.78σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.4 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 7

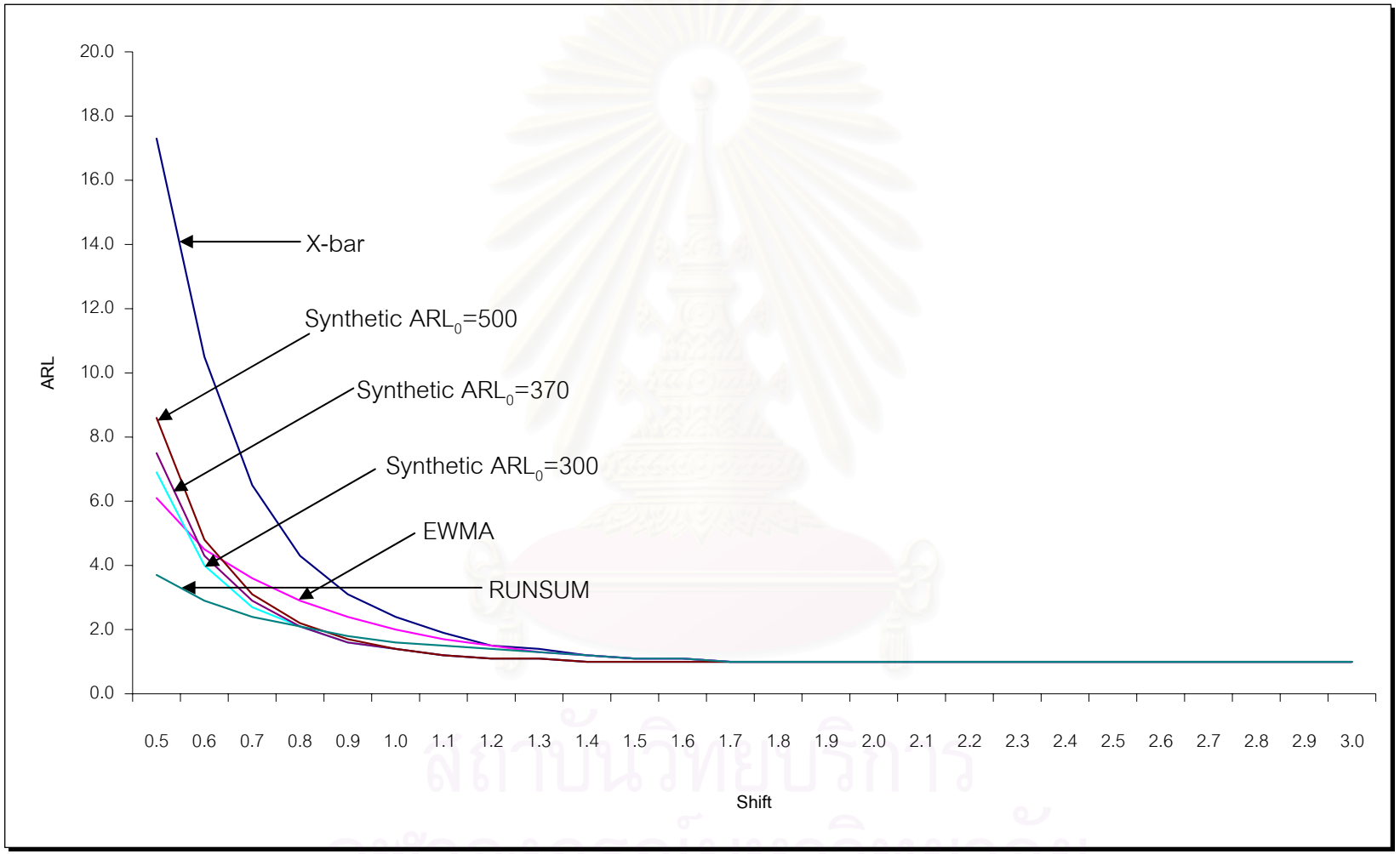
ตารางที่ 4.24 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 8

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	17.3	6.1	6.9	7.5	8.6	3.7*
0.6	10.5	4.5	4.0	4.3	4.8	2.9*
0.7	6.5	3.6	2.7	2.9	3.1	2.4*
0.79	4.5	2.9	2.1*	2.2	2.2	2.1*
0.8	4.3	2.9	2.1*	2.1*	2.2	2.1*
0.98	2.5	2.1	1.4*	1.4*	1.5	1.7
1.1	1.9	1.7	1.2*	1.2*	1.4	1.5
1.2	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.2	1.4
1.3	1.4	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.4	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.5	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.67	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.24 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 8 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.67σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0=300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.79σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.8σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.3σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 0.8σ และที่ γ ระดับ 1.67σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.5 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 8

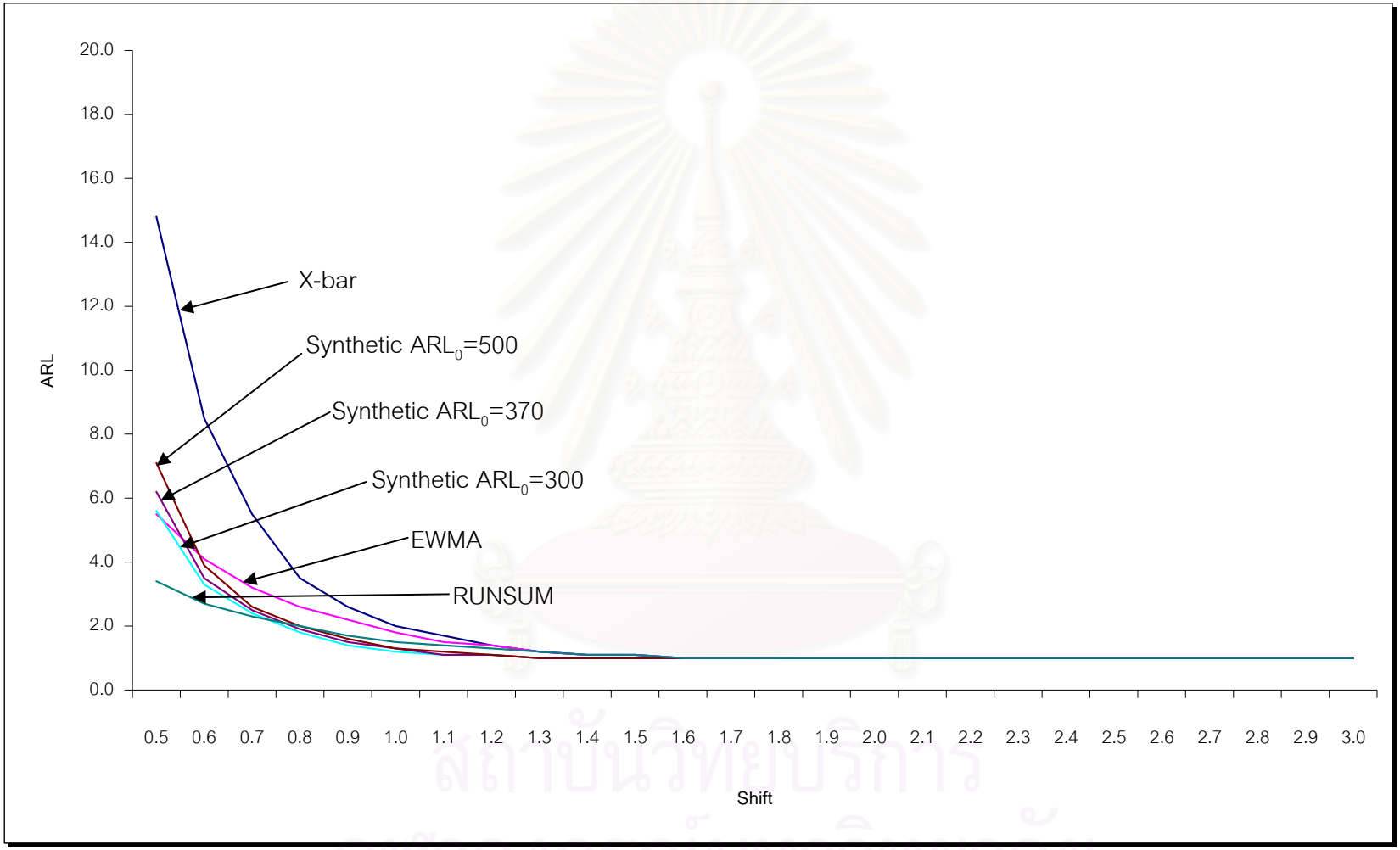
ตารางที่ 4.25 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 9

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	14.8	5.5	5.6	6.2	7.1	3.4*
0.6	8.5	4.1	3.3	3.5	3.9	2.7*
0.7	5.5	3.2	2.4	2.5	2.6	2.3*
0.72	5.1	3.1	2.2*	2.3	2.5	2.2*
0.8	3.5	2.6	1.8*	1.9	2.0	2.0
0.9	2.6	2.2	1.4*	1.5	1.6	1.7
1.0	2.0	1.8	1.2*	1.3	1.3	1.5
1.02	2.0	1.7	1.2*	1.2*	1.3	1.5
1.1	1.7	1.5	1.1*	1.1*	1.2	1.4
1.2	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.3	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.4	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.5	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.58	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.25 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 9 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.58σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0=300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ γ ระดับ 0.72σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 และแผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.2σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 0.72σ และที่ γ ระดับ 1.58σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.6 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 9

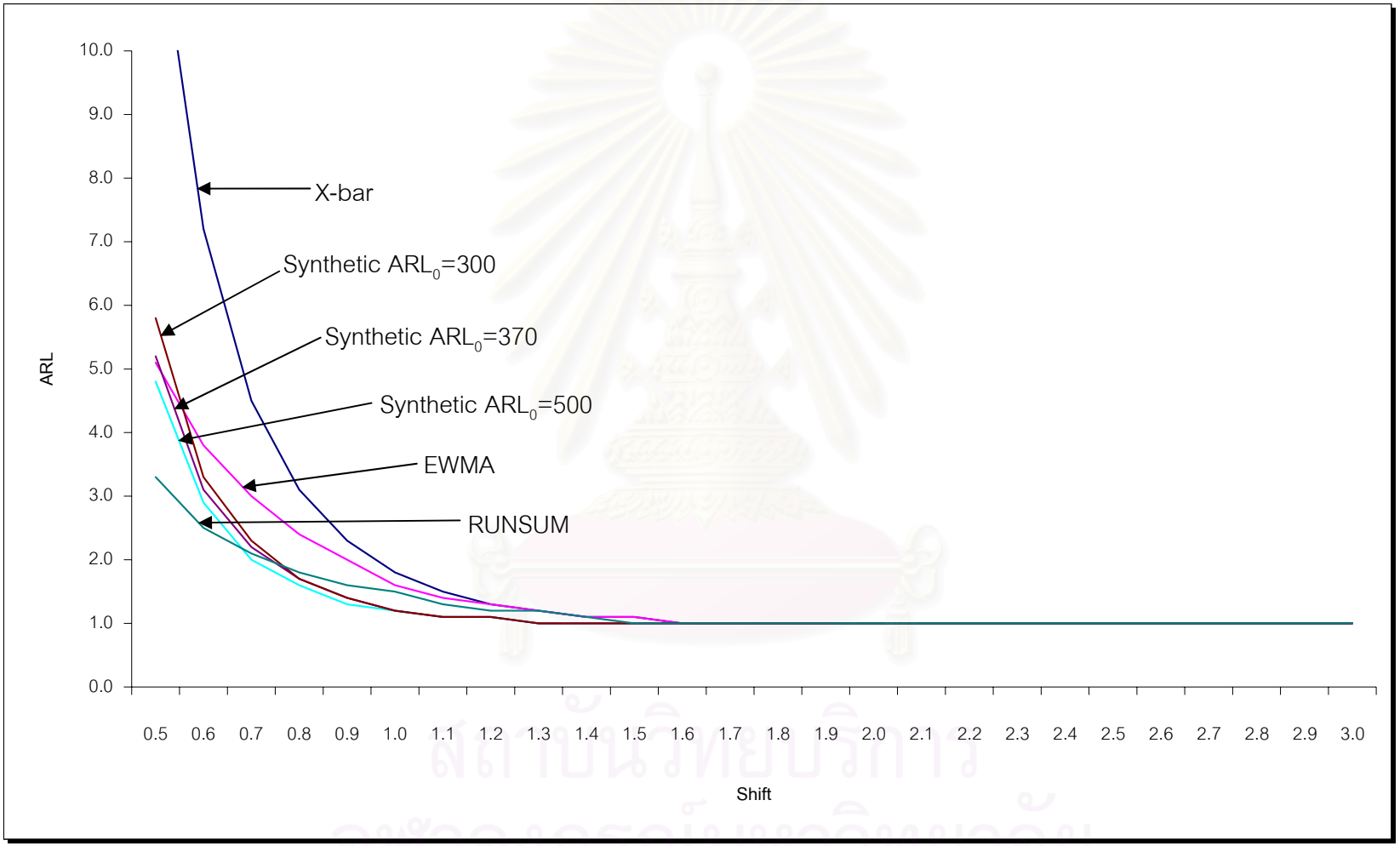
ตารางที่ 4.26 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=10

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	12.4	5.1	4.8	5.2	5.8	3.3*
0.6	7.2	3.8	2.9	3.1	3.3	2.5*
0.68	5.1	3.1	2.2*	2.4	2.5	2.2*
0.7	4.5	3.0	2.0*	2.2	2.3	2.1
0.8	3.1	2.4	1.6*	1.7	1.7	1.8
0.9	2.3	2.0	1.3*	1.4	1.4	1.6
0.98	1.8	1.7	1.2*	1.2*	1.3	1.5
1.0	1.8	1.6	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
1.1	1.5	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.2	1.3	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.2
1.3	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.4	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.5	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.51	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.26 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.51σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0=300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.68σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.98σ -5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0=500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด γ ระดับ 1.0σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 0.68σ และที่ γ ระดับ 1.5σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.7 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10

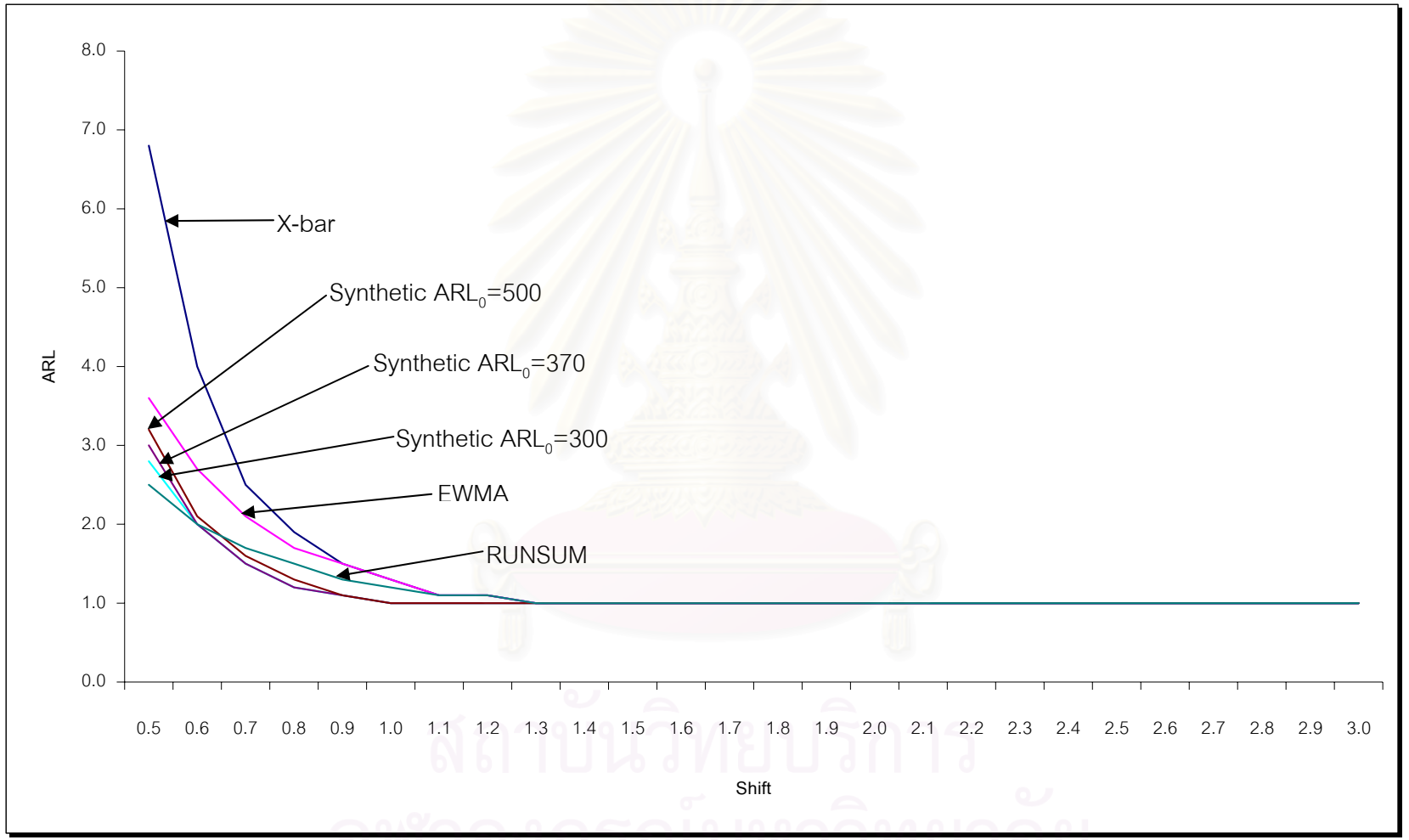
ตารางที่ 4.27 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=15

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	6.8	3.6	2.8	3.0	3.2	2.5*
0.55	5.1	3.2	2.3*	2.4	2.7	2.3*
0.6	4.0	2.7	2.0*	2.0	2.1	2.0*
0.69	2.7	2.2	1.5*	1.5*	1.6	1.7
0.7	2.5	2.1	1.5*	1.5*	1.6	1.7
0.8	1.9	1.7	1.2*	1.2*	1.3	1.5
0.9	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.0	1.3	1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.1	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.21	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.27 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.21σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0=300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.55σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.69σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.9σ - 5.0σ และ แผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 0.6σ และที่ γ ระดับ 1.21σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.8 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15

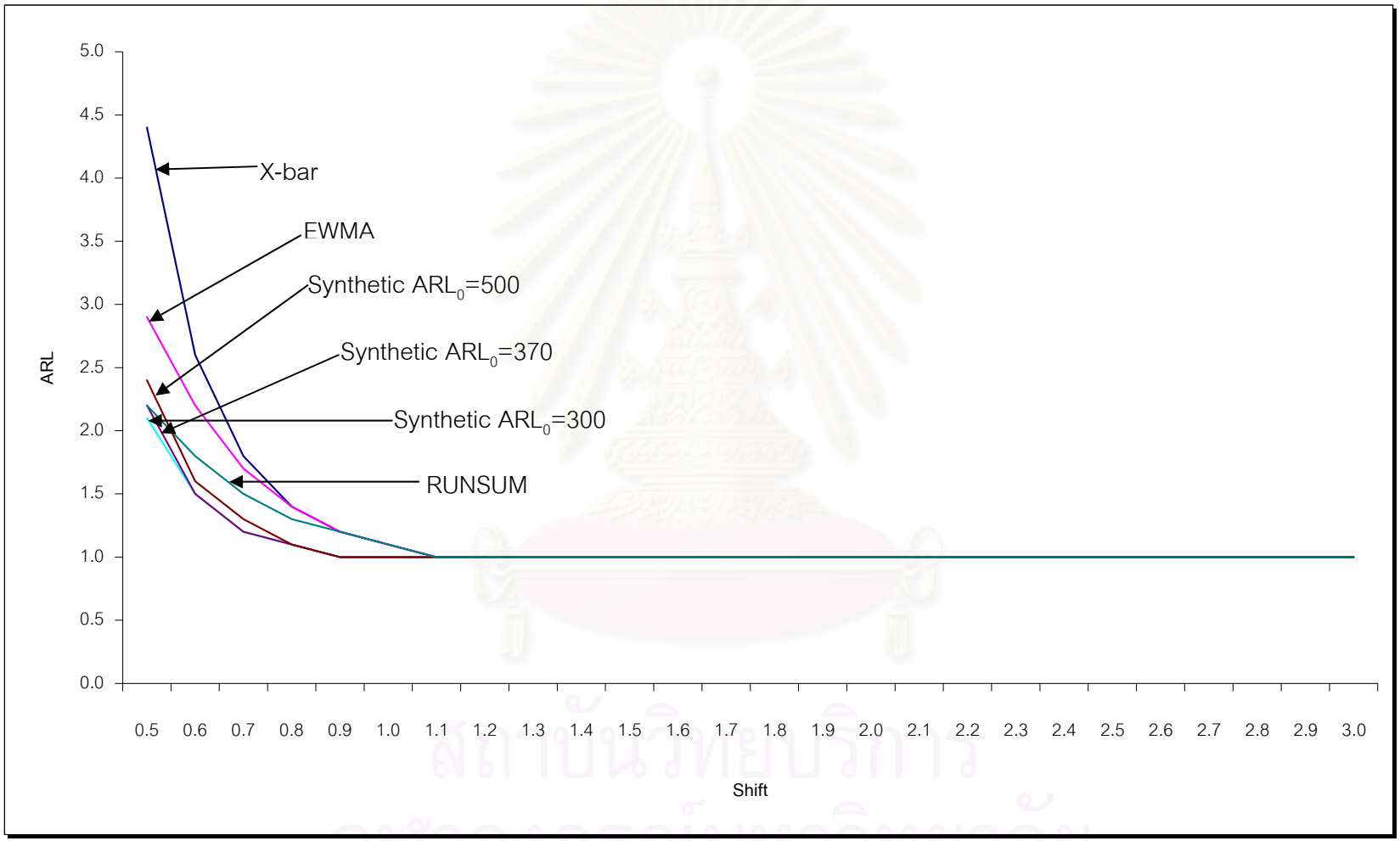
ตารางที่ 4.28 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=20

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	4.4	2.9	2.1*	2.2	2.4	2.2
0.6	2.6	2.2	1.5*	1.5*	1.6	1.8
0.7	1.8	1.7	1.2*	1.2*	1.3	1.5
0.8	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
0.9	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.0	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.06	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.28 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.06σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 และแผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด γ ระดับ 0.8σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.06σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.9 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20

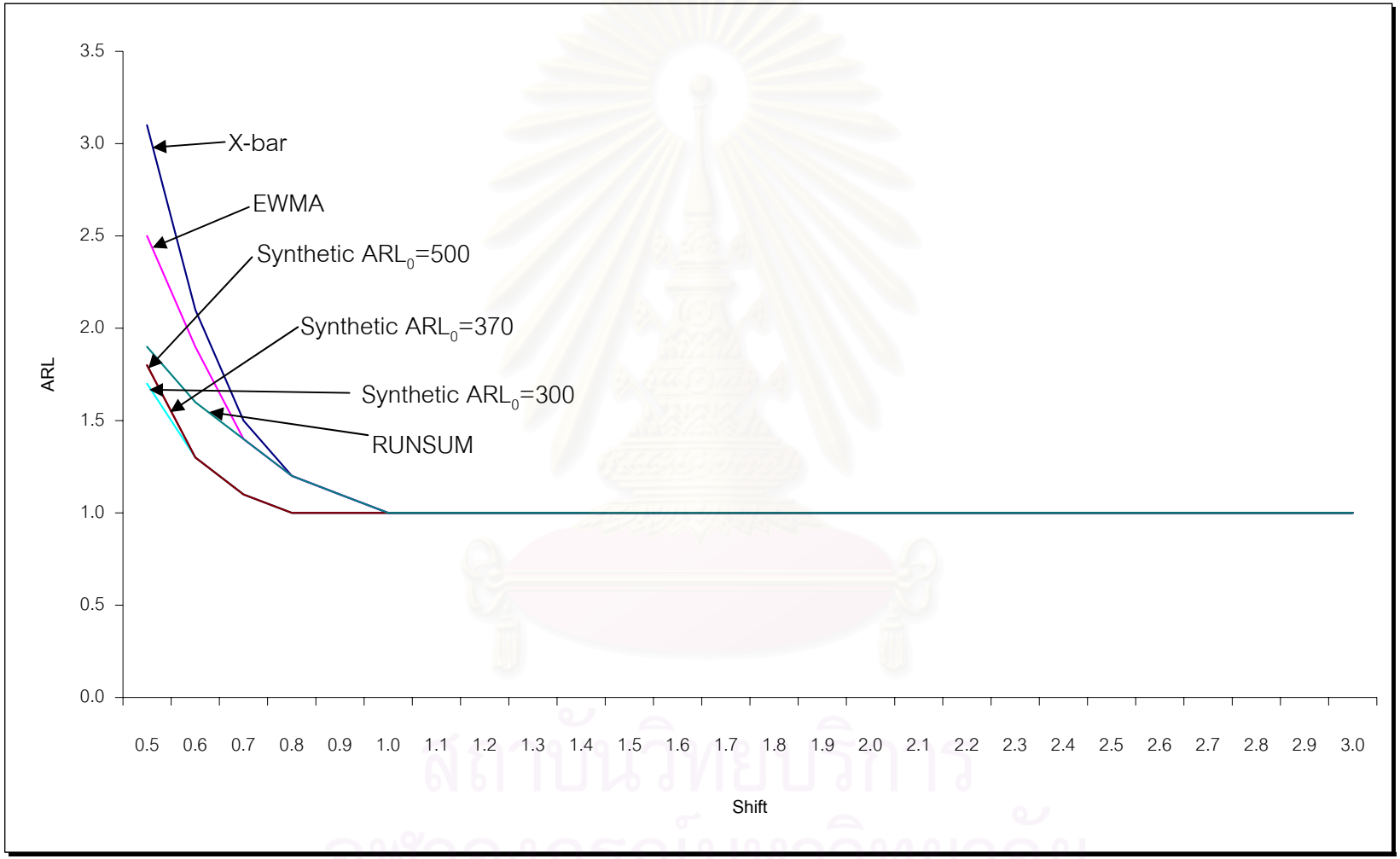
ตารางที่ 4.29 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=25

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	3.1	2.5	1.7*	1.8	1.8	1.9
0.59	2.2	1.9	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
0.6	2.1	1.9	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
0.7	1.5	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.8	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
0.9	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.96	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.29 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 25 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.96σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 และแผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.59σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.96σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.10 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 25

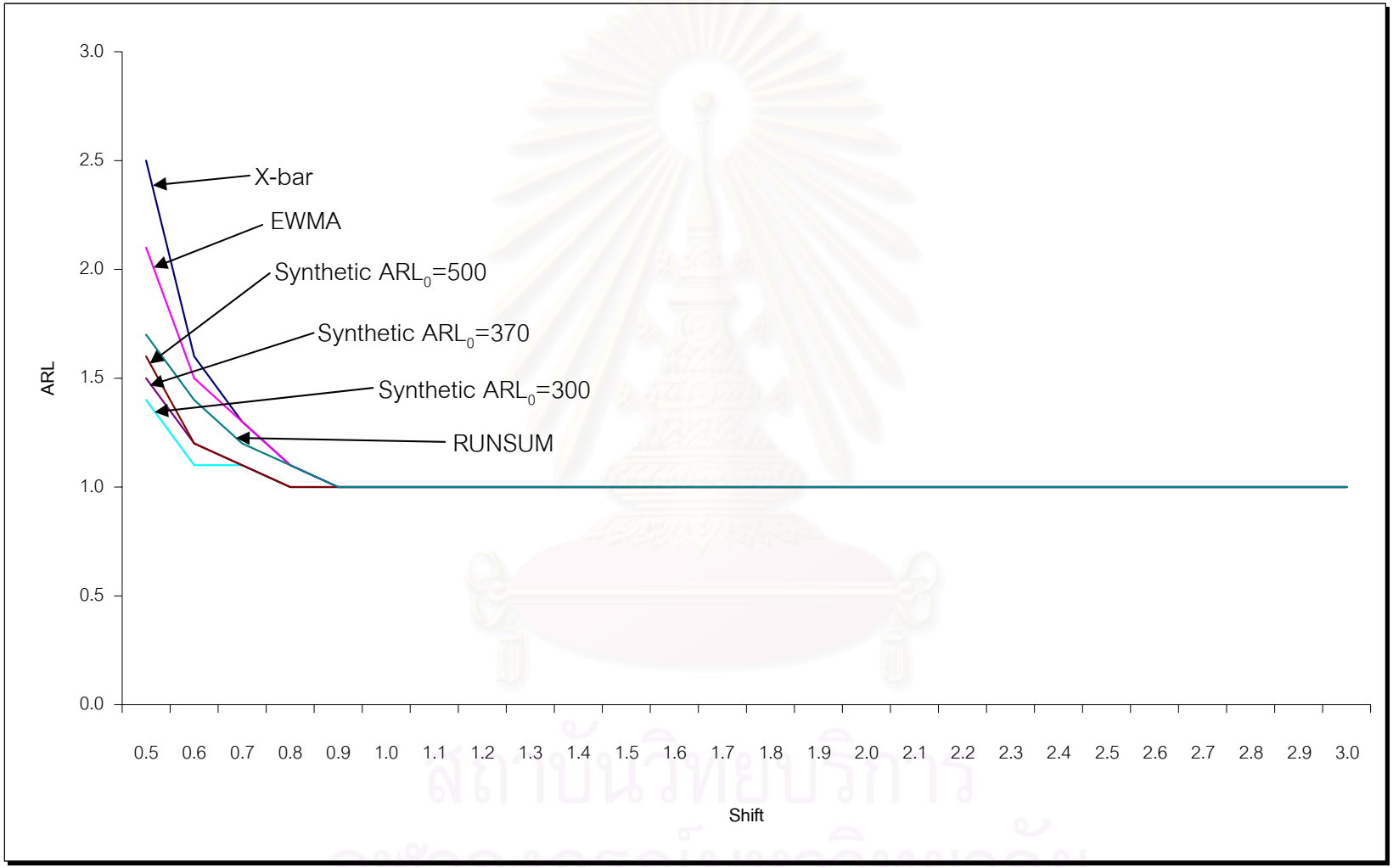
ตารางที่ 4.30 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=30

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	2.5	2.1	1.4*	1.5	1.6	1.7
0.6	1.6	1.5	1.1*	1.2	1.2	1.4
0.61	1.6	1.5	1.1*	1.1*	1.2	1.4
0.62	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.7	1.3	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.2
0.8	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.88	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.30 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.88σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ- 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.61σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.62σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.88σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.11 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30

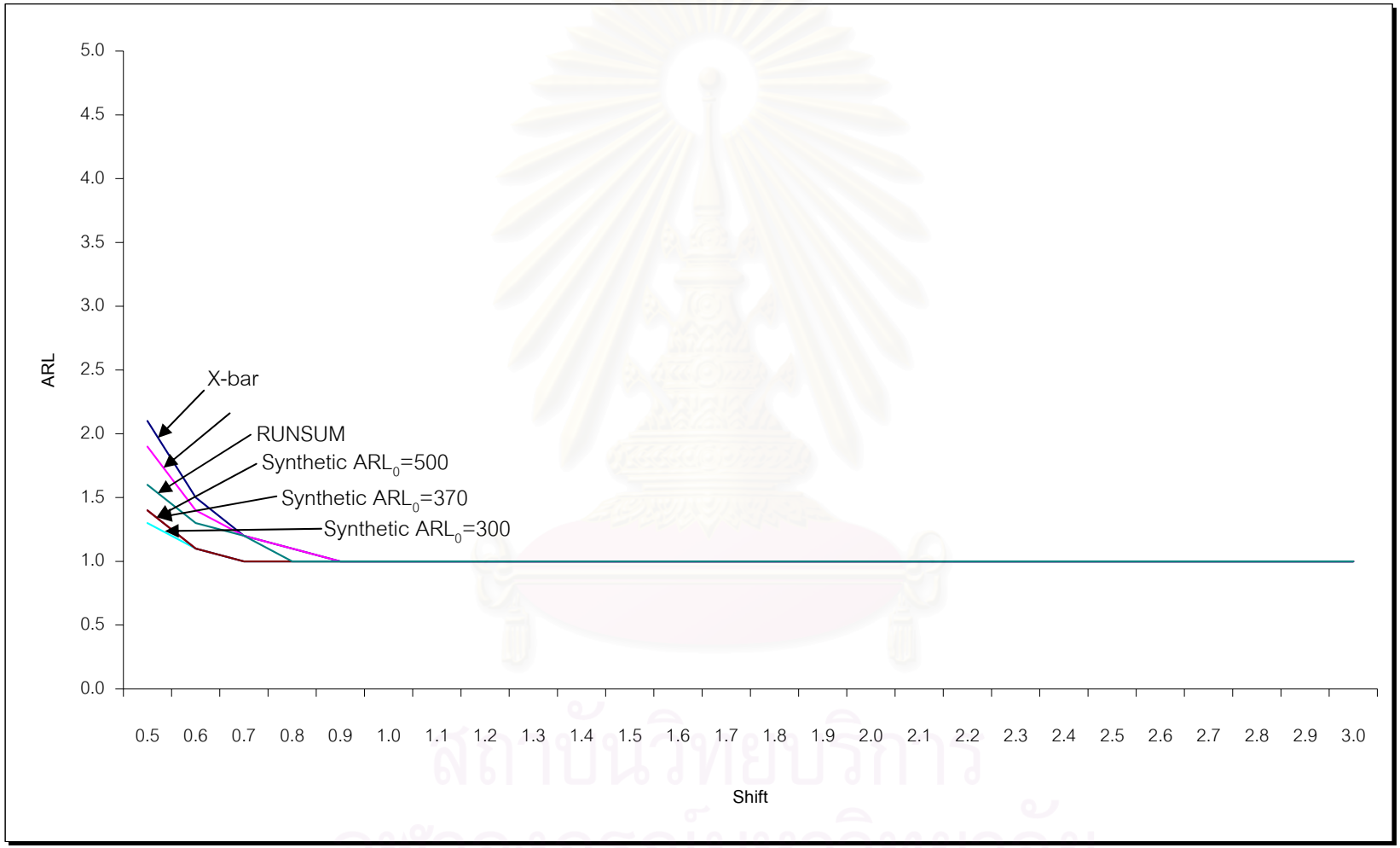
ตารางที่ 4.31 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	2.1	1.9	1.3*	1.4	1.4	1.6
0.58	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.6	1.5	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
0.7	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
0.8	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.81	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.31 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 35 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.81σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 และแผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.58σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.8σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.12 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 35

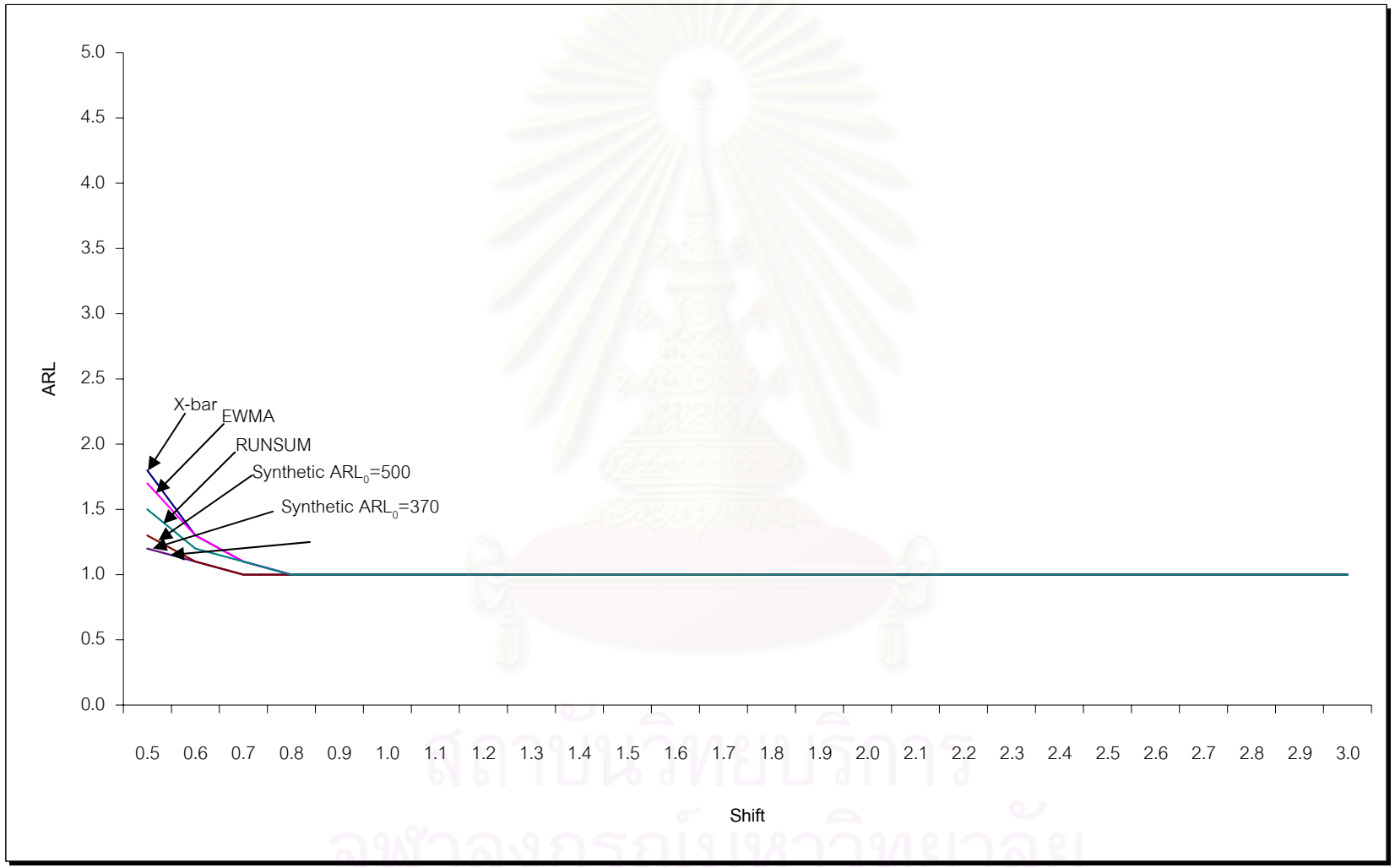
ตารางที่ 4.32 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	1.8	1.7	1.2*	1.2*	1.3	1.5
0.6	1.3	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.2
0.7	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.76	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.8	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.32 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.76σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 300 และแผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.6σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.76σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.13 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 40

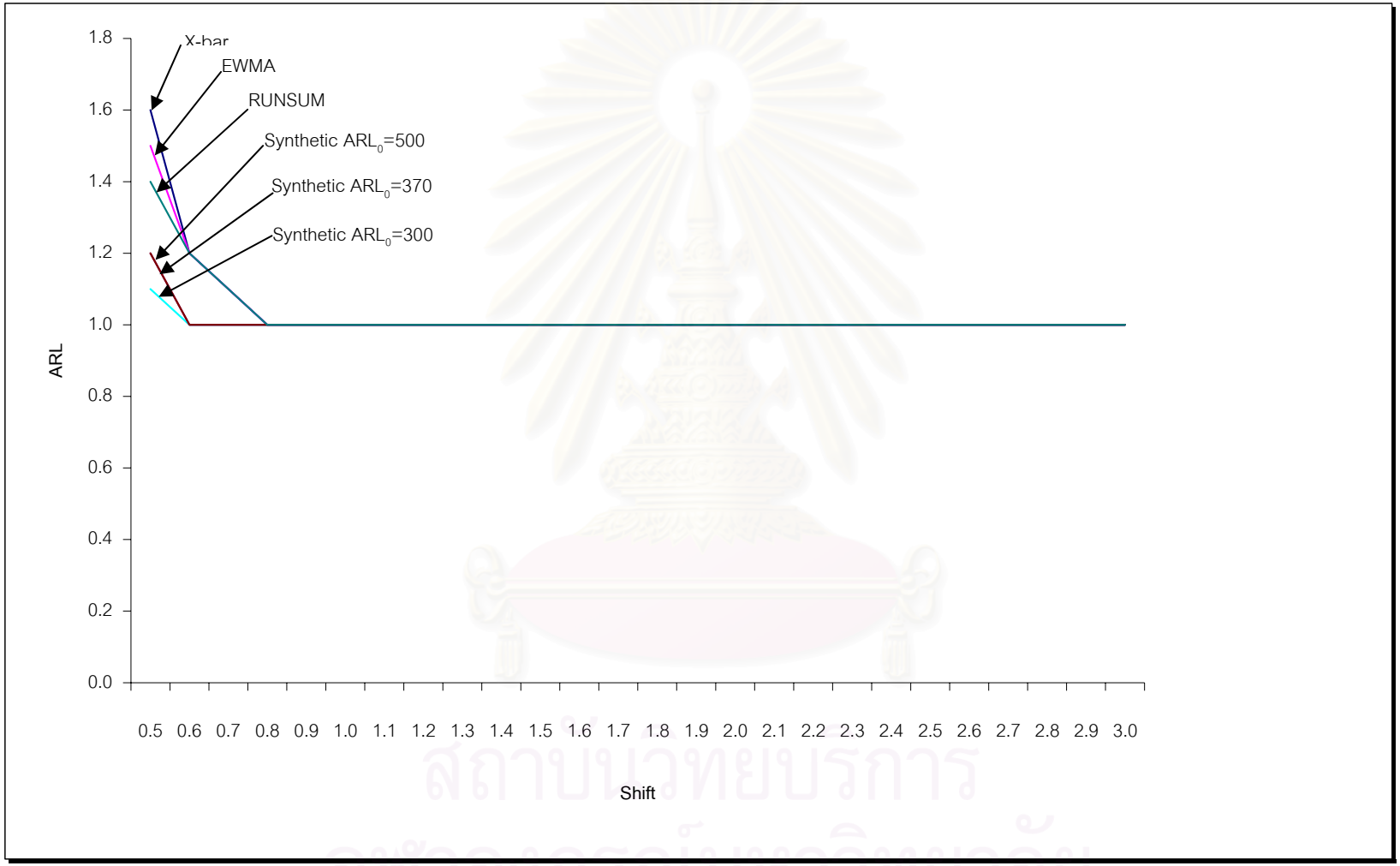
ตารางที่ 4.33 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=45

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	1.6	1.5	1.1*	1.2	1.2	1.4
0.51	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.6	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
0.7	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.72	1.0*	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.73	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.8	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.33 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 45 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.72σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.73σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 300 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 5.0σ แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 และแผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.51σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.72σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.14 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 45

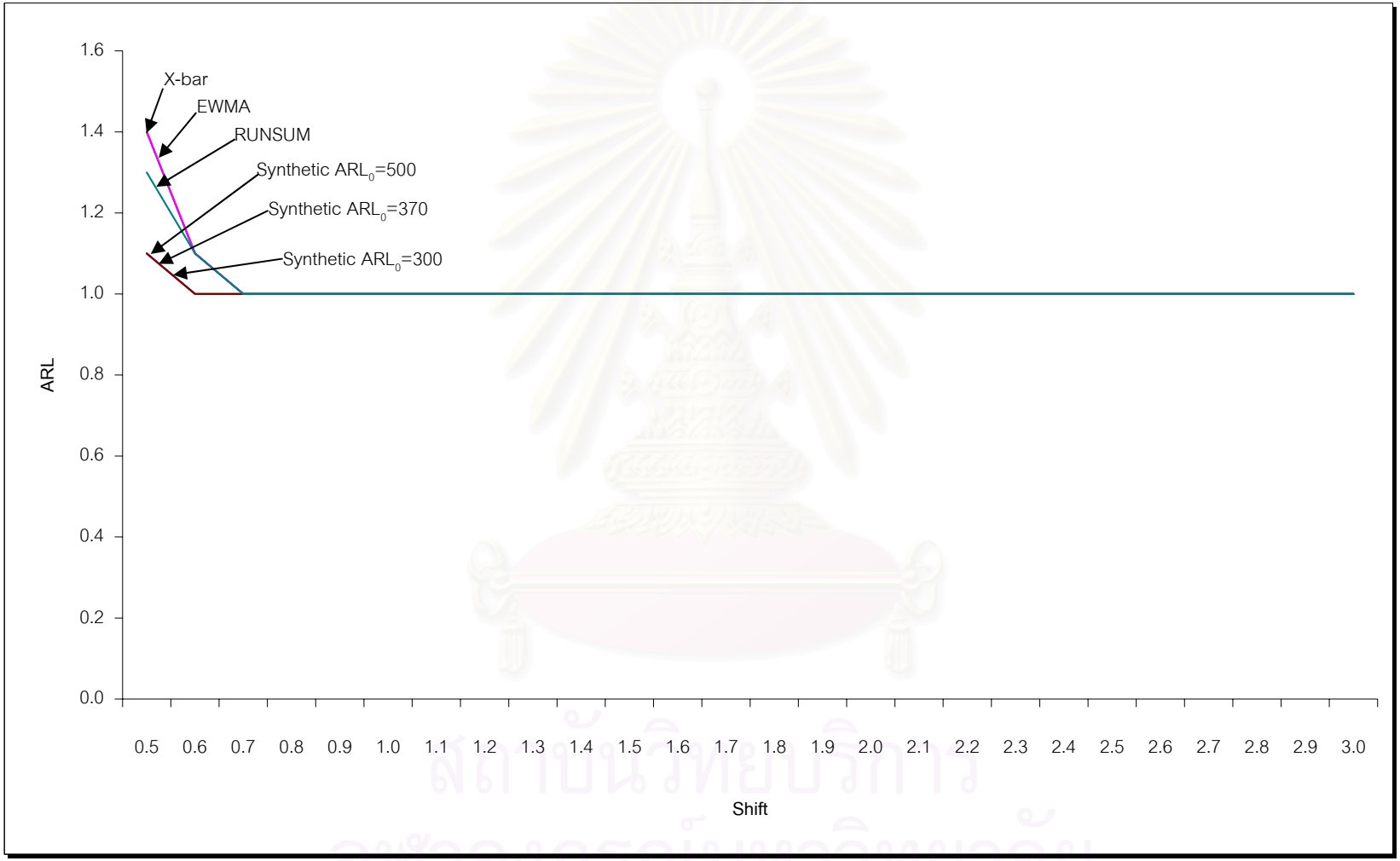
ตารางที่ 4.34 จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=50

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
0.6	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.69	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.7	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.8	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

จากตารางที่ 4.34 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.69σ - 5.0σ แผนภูมิ ควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 300 แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 370 และแผนภูมิควบคุม Synthetic ที่ ARL_0= 500 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5σ - 5.0σ และแผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.69σ - 5.0σ



ภาพที่ 4.15 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50

4.3 ค่าอำนาจการทดสอบ (Power of Test)

ค่าอำนาจการทดสอบ (Power of Test) ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมดังแสดงในตารางที่ 4.35 – 4.49 โดยจำแนกตามขนาดตัวอย่าง และระดับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

การหาค่าอำนาจการทดสอบ สามารถหาได้จากการนับจำนวนค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่มีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมแล้วหารด้วยจำนวนรอบทั้งหมด

ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ แผนภูมิที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ แผนภูมิที่ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงที่สุด แสดงว่าแผนภูมินั้นๆ สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยได้เร็วที่สุด

จากตารางที่ 4.35 – 4.49 สามารถสรุปได้ว่า ในระดับการเปลี่ยนแปลง และ n ต่างๆ การหาค่าอำนาจการทดสอบของแผนภูมิทั้ง 4 แบบ ให้ผลเหมือนกันกับวิธีการหา ARL โดยในระดับการเปลี่ยนแปลงน้อย และ ขนาดตัวอย่างน้อย แผนภูมิ RUNSUM จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด ในขณะที่ระดับการเปลี่ยนแปลงน้อย และขนาดตัวอย่างปานกลางถึงมาก แผนภูมิ Synthetic จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.35 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 4

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.04	.11	.06	.06	.05	.19*
0.6	.05	.14	.10	.09	.09	.24*
0.7	.07	.18	.17	.15	.13	.28*
0.8	.10	.22	.23	.22	.20	.34*
0.9	.13	.26	.32	.31	.27	.39*
1.0	.18	.30	.41	.40	.38	.43*
1.04	.20	.32	.44*	.42	.41	.44*
1.1	.23	.36	.49*	.47	.44	.47
1.2	.30	.41	.58*	.57*	.54	.52
1.3	.38	.46	.68*	.67*	.64	.58
1.4	.44	.52	.75*	.74*	.72	.63
1.5	.52	.57	.82*	.81*	.79	.67
2.0	.85	.85	.98*	.97*	.97*	.86
2.5	.98	.98	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.74	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.8	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.36 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 5

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.04	.12	.09	.08	.07	.22*
0.6	.06	.16	.15	.14	.12	.28*
0.7	.09	.21	.24	.22	.20	.32*
0.8	.12	.26	.32	.31	.29	.37*
0.9	.21	.30	.42	.39	.37	.44*
0.93	.20	.32	.46*	.43	.40	.45
1.0	.26	.36	.53*	.52	.49	.49
1.1	.33	.43	.63*	.61	.58	.54
1.2	.41	.49	.70*	.69*	.66	.58
1.3	.50	.55	.76*	.75*	.74	.64
1.4	.58	.62	.82*	.81*	.80	.69
1.5	.66	.68	.89*	.88*	.86	.73
2.0	.93	.93	.99*	.99*	.99*	.93
2.5	.99	.99	1.00*	1.00*	1.00*	.99
2.52	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.57	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.37 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 6

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.05	.14	.11	.09	.08	.23*
0.6	.07	.18	.18	.16	.14	.29*
0.7	.11	.23	.27	.25	.24	.35*
0.8	.16	.29	.38	.36	.33	.41*
0.88	.21	.33	.46*	.43	.41	.46*
0.9	.24	.34	.48*	.46	.43	.47*
1.0	.31	.41	.59*	.57	.54	.52
1.1	.39	.48	.68*	.67*	.64	.59
1.2	.48	.55	.78*	.76*	.74	.64
1.3	.57	.61	.86*	.85*	.84*	.69
1.4	.66	.69	.91*	.91*	.90*	.74
1.5	.74	.76	.94*	.94*	.94*	.79
2.0	.97	.97	1.00*	1.00*	1.00*	.97
2.32	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.37	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.38 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 7

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.05	.15	.15	.14	.11	.26*
0.6	.08	.20	.24	.23	.21	.32*
0.7	.14	.26	.34	.32	.30	.39*
0.8	.22	.32	.43	.41	.39	.44*
0.82	.23	.33	.46*	.44	.41	.46*
0.9	.29	.38	.56*	.55	.51	.50
1.0	.38	.45	.68*	.66	.65	.57
1.1	.46	.54	.77*	.75	.74	.62
1.2	.58	.61	.85*	.84*	.82	.69
1.3	.68	.70	.90*	.89*	.89*	.76
1.4	.76	.77	.95*	.94*	.94*	.81
1.5	.84	.84	.97*	.97*	.97*	.86
2.0	.99	.99	1.00*	1.00*	1.00*	.99
2.1	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.39 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 8

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.07	.17	.15	.14	.13	.28*
0.6	.10	.23	.26	.25	.22	.35*
0.7	.17	.29	.38	.36	.34	.42*
0.8	.25	.35	.49*	.47	.45	.49*
0.9	.35	.44	.64*	.62	.59	.56
1.0	.44	.52	.74*	.74*	.71	.61
1.1	.54	.61	.84*	.83 *	.81	.67
1.2	.67	.69	.90*	.89*	.89*	.74
1.3	.75	.77	.94*	.94*	.94*	.79
1.4	.84	.83	.97*	.96*	.96*	.86
1.5	.89	.89	.99*	.98*	.98*	.90
2.0	.99	.99	1.00*	1.00*	1.00*	.99
2.05	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.40 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 9

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.07	.18	.20	.17	.16	.30*
0.6	.13	.25	.30	.29	.27	.37*
0.7	.20	.32	.43	.42	.39	.45*
0.74	.24	.35	.48*	.46	.44	.47
0.8	.30	.40	.56*	.54	.51	.51
0.9	.40	.48	.69*	.68	.65	.58
1.0	.50	.56	.80*	.79	.76	.65
1.1	.61	.65	.88*	.88*	.85	.71
1.2	.72	.74	.93*	.92*	.92*	.78
1.3	.81	.81	.96*	.95*	.95*	.83
1.4	.88	.88	.98*	.98*	.98*	.89
1.5	.92	.92	.99*	.99*	.99*	.93
1.6	.96	.96	1.00*	1.00*	1.00*	.96
1.86	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.9	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.41 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 10

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.09	.19	.22	.21	.19	.31*
0.6	.15	.26	.35	.34	.32	.39*
0.69	.22	.33	.46*	.46	.42	.46*
0.7	.24	.34	.49*	.47	.44	.47
0.8	.34	.43	.61*	.59	.55	.54
0.9	.45	.51	.73*	.71	.70	.61
1.0	.55	.61	.84*	.82	.81	.68
1.1	.67	.70	.91*	.91*	.90*	.75
1.2	.77	.78	.95*	.95*	.94*	.80
1.3	.86	.85	.98*	.97*	.97*	.86
1.4	.91	.92	.99*	.99*	.99*	.92
1.5	.95	.95	.99*	.99*	.99*	.95
1.6	.98	.98	1.00*	1.00*	1.00*	.98
1.83	1.00*	.99	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.87	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.9	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.42 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 15

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.14	.27	.36	.34	.32	.41*
0.6	.27	.37	.50*	.47	.45	.50*
0.7	.40	.47	.68*	.66	.63	.59
0.8	.51	.58	.82*	.81*	.79	.66
0.9	.66	.69	.92*	.91*	.89	.74
1.0	.80	.80	.97*	.96*	.96*	.83
1.1	.89	.89	.99*	.99*	.99*	.90
1.2	.95	.95	1.00*	.99*	.99*	.95
1.3	.98	.98	1.00*	1.00*	1.00*	.98
1.4	.99	.99	1.00*	1.00*	1.00*	.99
1.44	1.00*	.99	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.46	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.47	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.43 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 20

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.22	.34	.48*	.46	.43	.47
0.6	.37	.46	.69*	.67	.64	.58
0.7	.54	.59	.83*	.82*	.79	.67
0.8	.71	.73	.94*	.93*	.92*	.77
0.9	.84	.85	.97*	.97*	.97*	.86
1.0	.93	.93	1.00*	.99*	.99*	.93
1.1	.97	.97	1.00*	1.00*	1.00*	.97
1.2	.99	.99	1.00*	1.00*	1.00*	.99
1.22	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.24	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.3	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.4	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.44 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 25

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.33	.39	.58*	.57	.54	.53
0.6	.49	.55	.77*	.76	.74	.63
0.7	.67	.69	.91*	.90*	.89*	.74
0.8	.81	.82	.97*	.96*	.96*	.83
0.9	.92	.92	.99*	.99*	.99*	.82
1.0	.97	.97	1.00*	1.00*	1.00*	.97
1.1	.99	.99	1.00*	1.00*	1.00*	.99
1.12	1.00*	.99	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.15	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.2	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.3	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.4	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.45 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 30

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.39	.48	.70*	.69	.67	.58
0.6	.61	.65	.87*	.86	.84	.71
0.7	.78	.79	.94*	.94*	.94*	.82
0.8	.90	.90	.99*	.98*	.98*	.91
0.9	.96	.96	1.00*	1.00*	1.00*	.96
1.0	.99	.99	1.00*	1.00*	1.00*	.99
1.03	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.05	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.1	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.2	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.3	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.4	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.46 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.46	.54	.76*	.74	.73	.63
0.6	.70	.71	.90*	.90*	.88	.76
0.7	.85	.85	.98*	.97*	.97*	.86
0.8	.95	.95	1.00*	1.00*	1.00*	.95
0.9	.99	.99	1.00*	1.00*	1.00*	.99
0.95	1.00*	.99	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
0.97	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.1	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.2	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.3	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.4	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.47 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.55	.59	.84*	.82	.81	.68
0.6	.77	.78	.96*	.95*	.94	.81
0.7	.91	.91	.99*	.99*	.99*	.91
0.8	.98	.98	1.00*	1.00*	1.00*	.98
0.9	.99	.99	1.00*	1.00*	1.00*	.99
0.91	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
0.92	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.1	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.2	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.3	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.4	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.48 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 45

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.61	.64	.87*	.85	.84	.71
0.6	.81	.82	.97*	.97*	.97*	.84
0.7	.94	.94	1.00*	1.00*	1.00*	.94
0.8	.99	.99	1.00*	1.00*	1.00*	.99
0.82	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
0.84	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
0.9	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.1	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.2	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.3	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.4	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.49 ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อ n = 50

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	.69	.71	.91*	.90	.89	.75
0.6	.88	.88	.97*	.97*	.97*	.89
0.7	.96	.96	1.00*	1.00*	1.00*	.96
0.8	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
0.82	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
0.9	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.1	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.2	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.3	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.4	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
1.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.5	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
5.0	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีค่าความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้ต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย มีทั้งหมด 4 แผนภูมิควบคุม ซึ่งประกอบไปด้วย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง โดยศึกษาจากจำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ ดังที่กล่าวมา และได้กำหนดขนาดตัวอย่าง n = 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 และกำหนดระดับการเปลี่ยนแปลง δ = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 โดยใช้คาบเวลาเริ่มต้น λ = 30 และค่า ARL เริ่มต้นของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ ARL_0 = 300, 370, 500 ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยวิธีเทคนิคมอนติคาร์โล และใช้โปรแกรมภาษาฟอร์แทรน สร้างข้อมูลให้มีลักษณะตามที่กำหนดไว้ โดยจำลองทั้งหมด 1,000 รอบ ในแต่ละสถานการณ์

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองโดยจำลองค่าเฉลี่ยตัวอย่างขึ้นมา แล้วนำไปเปรียบเทียบกับขอบเขตของแผนภูมิควบคุม ทั้ง 4 แบบ ถ้าค่าเฉลี่ยตัวอย่างตกนอกขอบเขตควบคุม จะถือว่ากระบวนการผิดปกติ โดยเปรียบเทียบกับค่า ARL ที่ได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลง มีระดับต่ำ เท่ากับ 0.5σ - 0.8σ, σ =1 ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4, 5, 6 แผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีค่า ARL ต่ำสุด ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 7, 8 แผนภูมิควบคุม RUNSUM และแผนภูมิควบคุม SYNTHETIC ที่ค่า ARL_0 = 300 จะมีค่า ARL ต่ำสุด ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 9, 10, 15, 20 แผนภูมิควบคุม SYNTHETIC ที่ค่า ARL_0 = 300 จะมีค่า ARL ต่ำสุด และที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 25, 30, 35, 40, 45, 50 แผนภูมิควบคุม SYNTHETIC ที่ค่า ARL_0 = 300 , 370, 500 จะมีค่า ARL ต่ำสุด

2. เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงมีระดับปานกลางเท่ากับ 0.9σ - 2.0σ, σ=1 ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4, 5, 6 แผนภูมิควบคุม SYNTHETIC ที่ค่า ARL_0 = 300 จะมีค่า ARL ต่ำสุด ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 7, 8, 9, 10 แผนภูมิควบคุม SYNTHETIC ที่ค่า ARL_0 = 300 , 370, 500 จะมีค่า ARL ต่ำสุด และที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 แผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ จะมีค่า ARL เท่ากัน

3. เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงมีระดับมากเท่ากับ 2.1σ - 5.0σ, σ=1 ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 แผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ จะมีค่า ARL เท่ากัน

ผลสรุปข้างต้นนำเสนอดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แผนภูมิควบคุมที่มีค่า ARL ต่ำสุดที่ระดับการเปลี่ยนแปลง และขนาดตัวอย่างต่างกัน

<table>
<tr><th>ระดับการเปลี่ยนแปลง
ขนาดตัวอย่าง</th><th>0.5 - 0.8</th><th>0.9 - 2.0</th><th>2.1 - 5.0</th></tr>
<tr><td>4 - 6</td><td>RUNSUM</td><td>SYNTHETIC 300
SYNTHETIC 370</td><td rowspan="5">$\bar{X}$
EWMA
SYNTHETIC*
RUNSUM</td></tr>
<tr><td>7 - 8</td><td>RUNSUM
SYNTHETIC 300</td><td>SYNTHETIC*</td></tr>
<tr><td>9 - 10</td><td>SYNTHETIC 300</td><td>SYNTHETIC*</td></tr>
<tr><td>11 - 20</td><td>SYNTHETIC 300</td><td rowspan="2">$\bar{X}$
EWMA
SYNTHETIC*
RUNSUM</td></tr>
<tr><td>21 - 50</td><td>$\bar{X}$
EWMA
SYNTHETIC*
RUNSUM</td></tr>
</table>

SYNTHETIC 300 หมายถึง แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่มีค่า ARL_0 = 300

SYNTHETIC 370 หมายถึง แผนภูมิควบคุม Synthetic ที่มีค่า ARL_0 = 370

SYNTHETIC* หมายถึง แผนภูมิควบคุม Synthetic 300, Synthetic 370, Synthetic 500

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยครั้งนี้มีข้อเสนอแนะเป็น 2 ด้าน คือ

1. ในด้านการนำไปใช้

ในการเลือกใช้แผนภูมิควบคุม เมื่อประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ ถ้าต้องการตรวจสอบกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุมให้เหมาะสม เพื่อให้มีค่า ARL ต่ำสุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับการเปลี่ยนแปลง(γ) และขนาดตัวอย่าง(n) ในทางปฏิบัติผู้ใช้จะไม่สามารถทราบขนาดของระดับการเปลี่ยนแปลง(γ) แต่ถ้าจะใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดมากที่สามารถตรวจวัดค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่อมีระดับการเปลี่ยนแปลงน้อย (0.5σ - 0.8σ) ในขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4 ถึง 6 ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุม RUNSUM ในขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 7 ถึง 8 ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุม RUNSUM หรือ SYNTHETIC 300 ในขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 9 หรือมากกว่า ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุม SYNTHETIC 300 แต่ถ้าต้องการที่จะใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดปานกลาง (0.9σ -2.0σ) ในขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 4 ถึง 6 ควรเลือกใช้แผนภูมิ ควบคุม SYNTHETIC 300 หรือ SYNTHETIC 370 ในขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 7 ถึง 10 ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุม SYNTHETIC ในขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 15 หรือมากกว่า จะเลือกใช้แผนภูมิควบคุมใดก็ได้เพราะมีประสิทธิภาพเท่ากันหมด และถ้าต้องการที่จะใช้เครื่องมือที่ไม่ละเอียดมากในการวัดค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่อมีระดับการเปลี่ยนแปลงมาก (2.1σ -5.0σ) ทุกแผนภูมิควบคุมมี ประสิทธิภาพเท่ากัน ที่ทุกขนาดตัวอย่าง สามารถเลือกใช้แผนภูมิใดก็ได้ โดยอาจจะเลือกใช้ แผนภูมิควบคุม X-bar เนื่องจากเป็นแผนภูมิควบคุมที่ง่ายในการตรวจสอบกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย และถ้าในกรณีที่ต้องการลดต้นทุนให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดก็ควรจะใช้ แผนภูมิควบคุม SYNTHETIC แต่ถ้าต้องการให้สินค้ามีคุณภาพที่ดี ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุมRUNSUM เนื่องจากสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยระดับน้อยได้ดีกว่าแผนภูมิ ควบคุม SYNTHETIC

2. ในด้านการทำวิจัยเพื่อศึกษาต่อ

ในการทำวิจัยเพื่อศึกษาต่อ อาจจะทำได้ในเรื่องต่อไปนี้

1. การวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาในกรณีที่ข้อมูลหรือค่าสังเกตนั้นมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal) ดังนั้นผู้ที่สนใจจะศึกษาต่อ อาจจะศึกษาในกรณีที่ค่าสังเกตนั้นมีการแจกแจงในรูปแบบอื่นๆ เช่น การแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (Uniform) หรือการแจกแจงแบบแกมมา (Gamma) เป็นต้น

2. ในการศึกษาวิจัยต่ออาจจะศึกษาในกรณีที่ความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กัน คือ มีอัตสหสัมพันธ์(autocorrelated)กัน

3. ในการศึกษาวิจัยต่ออาจจะศึกษาเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมอื่นๆ เช่น Moving Centerline Exponentially Weighted Moving Average (MCEWMA) ของ Christina M. Mastrangelo and Evelyn C. Brown

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เดือน สินธุพันธ์ประทุม. เทคนิคฟอร์แทรน 77. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

ธรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัย. ภาษาคอมพิวเตอร์ฟอร์แทรน 77. กรุงเทพมหานคร :สำนักพิมพ์ประกายพรึก, 2527.

นภัสพร เธียรพัฒนะวงศ์. การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยในค่าเฉลี่ย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

สุกัญญา หนูกล่ำ. อำนาจการทดสอบของตัวสถิติทดสอบค่าเฉลี่ยเมื่อประชากรมีการแจกแจงแบบเบ้ขวา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

อดิศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์. การควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2535.

ภาษาต่างประเทศ

Albin, S.L., Kang L. And Shea G. “An $\bar{x}$ and EWMA Chart for Individual Observations,” Journal of Quality Technology 29(1997) : 41-48.

Champ, C.W. and Rigdon, S.E. “An Analysis of the Run Sum Control Chart,” Journal of Quality Technology 29(1997) : 407-417.

Crowder, S.V. “A Simple Method for Studying Run-Length Distributions of Exponentially Weighted Moving Average Charts,” Technometrics 29(1987) : 401-407.

Crowder, S.V. “Design of Exponentially Weighted Moving Average Schemes,” Journal of Quality Technology 21(1989) : 155-162.

Lucas, J.M. and Saccuci, M.S. “Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes,” Technometrics 32(1990) : 1-12.

Montgomery, D.C. Introduction to Statistical Quality Control. 3rd. Edition, New York : John Wiley & Sons, 1997.

Reynolds, J.H. “The Run Sum Control Chart Procedure,” Journal of Quality Technology 3(1971) : 23-27.

Roberts, S.W. “Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages,” Technometrics 1(1959) : 239-250.

Roberts, S.W. “A Comparison of Some Control Chart Procedures,” Technometrics 8(1966) : 411-430.

Wu, Z. and Spedding T.A. “A Synthetic Control Chart for Detecting Small Shifts in the Process Mean,” Journal of Quality Technology 32(2000) : 32-38.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1. – ก15. แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง เมื่อคาบเวลา(λ) = 40 n^* = 5 และ m = 35 จำแนกตามระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย และขนาดตัวอย่าง

ตารางที่ ก16. – ก30. แสดงจำนวนความยาววิ่ง(ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ ที่คาบเวลา(λ) = 40 n^* = 5 และ m = 35 จำแนกตามระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย และขนาดตัวอย่าง

ตารางที่ ก31. – ก45. แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง เมื่อคาบเวลา(λ) = 40 n^* = 4 และ m = 40 จำแนกตามระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย และขนาดตัวอย่าง

ตารางที่ ก46. – ก60. แสดงจำนวนความยาววิ่ง(ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ เมื่อประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ ที่คาบเวลา(λ) = 40 n^* = 4 และ m = 40 จำแนกตามระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย และขนาดตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก1. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 4, λ=40, n^*=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.38	8.46	10.41	9.43	11.10	8.74	17	11.13	8.71	19	11.17	8.67	21	11.38	8.46
0.6	11.38	8.46	10.39	9.45	11.08	8.76	12	11.10	8.74	13	11.14	8.70	15	11.38	8.46
0.7	11.38	8.46	10.51	9.33	11.05	8.79	9	11.08	8.76	10	11.12	8.72	11	11.38	8.46
0.8	11.38	8.46	10.58	9.26	11.03	8.81	7	11.05	8.79	7	11.09	8.75	8	11.38	8.46
0.9	11.38	8.46	10.60	9.24	11.02	8.82	6	11.04	8.80	6	11.06	8.78	6	11.38	8.46
1.0	11.38	8.46	10.66	9.18	11.00	8.84	5	11.02	8.82	5	11.05	8.79	5	11.38	8.46
1.2	11.38	8.46	10.83	9.01	10.95	8.89	3	10.97	8.87	3	11.03	8.81	4	11.38	8.46
1.4	11.38	8.46	10.99	8.85	10.95	8.89	3	10.97	8.87	3	11.00	8.84	3	11.38	8.46
1.5	11.38	8.46	11.07	8.77	10.91	8.93	2	10.93	8.91	2	11.00	8.84	3	11.38	8.46
2.0	11.38	8.46	11.25	8.59	10.91	8.93	2	10.93	8.91	2	10.96	8.88	2	11.38	8.46
2.5	11.38	8.46	11.31	8.53	10.91	8.93	2	10.93	8.91	2	10.96	8.88	2	11.38	8.46
3.0	11.38	8.46	10.92	8.92	10.91	8.93	2	10.93	8.91	2	10.96	8.88	2	11.38	8.46
4.0	11.38	8.46	10.39	9.45	10.84	9.00	1	10.87	8.97	1	10.90	8.94	1	11.38	8.46
5.0	11.38	8.46	10.25	9.59	10.84	9.00	1	10.87	8.97	1	10.90	8.94	1	11.38	8.46

ตารางที่ ก2. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 5, λ=40, n^*=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.22	8.62	10.39	9.45	10.97	8.87	14	10.99	8.85	15	11.02	8.82	17	11.22	8.62
0.6	11.22	8.62	10.41	9.43	10.94	8.90	10	10.96	8.88	11	11.00	8.84	12	11.22	8.62
0.7	11.22	8.62	10.49	9.35	10.91	8.93	7	10.94	8.90	8	10.97	8.87	8	11.22	8.62
0.8	11.22	8.62	10.53	9.31	10.90	8.94	6	10.92	8.92	6	10.94	8.90	6	11.22	8.62
0.9	11.22	8.62	10.69	9.15	10.89	8.95	5	10.90	8.94	5	10.93	8.91	5	11.22	8.62
1.0	11.22	8.62	10.70	9.14	10.87	8.97	4	10.89	8.95	4	10.91	8.93	4	11.22	8.62
1.2	11.22	8.62	10.89	8.95	10.84	9.00	3	10.86	8.98	3	10.89	8.95	3	11.22	8.62
1.4	11.22	8.62	10.95	8.89	10.81	9.03	2	10.83	9.01	2	10.85	8.99	2	11.22	8.62
1.5	11.22	8.62	11.06	8.78	10.81	9.03	2	10.83	9.01	2	10.85	8.99	2	11.22	8.62
2.0	11.22	8.62	11.17	8.67	10.81	9.03	2	10.83	9.01	2	10.85	8.99	2	11.22	8.62
2.5	11.22	8.62	11.10	8.74	10.81	9.03	2	10.83	9.01	2	10.85	8.99	2	11.22	8.62
3.0	11.22	8.62	10.58	9.26	10.75	9.09	1	10.77	9.07	1	10.85	8.99	1	11.22	8.62
4.0	11.22	8.62	10.29	9.55	10.75	9.09	1	10.77	9.07	1	10.79	9.05	1	11.22	8.62
5.0	11.22	8.62	10.18	9.66	10.75	9.09	1	10.90	9.18	1	10.79	9.05	1	11.22	8.62

ตารางที่ ก3. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 6, λ=40, n^*=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.11	8.73	10.41	9.43	10.86	8.98	12	10.89	8.95	13	10.91	8.93	14	11.11	8.73
0.6	11.11	8.73	10.41	9.43	10.84	9.00	8	10.86	8.98	9	10.89	8.95	10	11.11	8.73
0.7	11.11	8.73	10.52	9.32	10.81	9.03	6	10.83	9.01	6	10.87	8.97	7	11.11	8.73
0.8	11.11	8.73	10.53	9.31	10.80	9.04	5	10.82	9.02	5	10.84	9.00	5	11.11	8.73
0.9	11.11	8.73	10.62	9.22	10.78	9.06	4	10.80	9.04	4	10.82	9.02	4	11.11	8.73
1.0	11.11	8.73	10.71	9.13	10.76	9.08	3	10.78	9.06	3	10.82	9.02	4	11.11	8.73
1.2	11.11	8.73	10.77	9.07	10.73	9.11	2	10.78	9.06	3	10.80	9.04	3	11.11	8.73
1.4	11.11	8.73	10.86	8.98	10.73	9.11	2	10.75	9.09	2	10.77	9.07	2	11.11	8.73
1.5	11.11	8.73	11.01	8.83	10.73	9.11	2	10.75	9.09	2	10.77	9.07	2	11.11	8.73
2.0	11.11	8.73	11.01	8.83	10.73	9.11	2	10.75	9.09	2	10.77	9.07	2	11.11	8.73
2.5	11.11	8.73	10.65	9.19	10.73	9.11	2	10.75	9.09	2	10.77	9.07	2	11.11	8.73
3.0	11.11	8.73	10.37	9.47	10.67	9.17	1	10.69	9.15	1	10.72	9.12	1	11.11	8.73
4.0	11.11	8.73	10.20	9.64	10.67	9.17	1	10.69	9.15	1	10.72	9.12	1	11.11	8.73
5.0	11.11	8.73	10.14	9.70	10.67	9.17	1	10.69	9.15	1	10.72	9.12	1	11.11	8.73

ตารางที่ ก4. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 7, λ=40, n^*=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.02	8.82	10.37	9.47	10.78	9.06	10	10.80	9.04	11	10.86	8.98	12	11.02	8.82
0.6	11.02	8.82	10.42	9.42	10.76	9.08	7	10.78	9.06	8	10.80	9.04	8	11.02	8.82
0.7	11.02	8.82	10.45	9.39	10.74	9.10	5	10.76	9.08	6	10.78	9.06	6	11.02	8.82
0.8	11.02	8.82	10.52	9.32	10.72	9.12	4	10.74	9.10	4	10.77	9.07	5	11.02	8.82
0.9	11.02	8.82	10.60	9.24	10.70	9.14	3	10.72	9.12	3	10.76	9.08	4	11.02	8.82
1.0	11.02	8.82	10.67	9.17	10.70	9.14	3	10.72	9.12	3	10.74	9.10	3	11.02	8.82
1.2	11.02	8.82	10.75	9.09	10.67	9.17	2	10.69	9.15	2	10.71	9.13	2	11.02	8.82
1.4	11.02	8.82	10.89	8.95	10.67	9.17	2	10.69	9.15	2	10.71	9.13	2	11.02	8.82
1.5	11.02	8.82	10.99	8.85	10.67	9.17	2	10.69	9.15	2	10.71	9.13	2	11.02	8.82
2.0	11.02	8.82	10.75	9.09	10.67	9.17	2	10.69	9.15	2	10.71	9.13	2	11.02	8.82
2.5	11.02	8.82	10.46	9.38	10.67	9.17	1	10.69	9.15	2	10.71	9.13	2	11.02	8.82
3.0	11.02	8.82	10.29	9.55	10.62	9.22	1	10.64	9.20	1	10.66	9.18	1	11.02	8.82
4.0	11.02	8.82	10.15	9.69	10.62	9.22	1	10.64	9.20	1	10.66	9.18	1	11.02	8.82
5.0	11.02	8.82	10.10	9.74	10.62	9.22	1	10.64	9.20	1	10.66	9.18	1	11.02	8.82

ตารางที่ ก5. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 8, λ=40, n^*=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.95	8.89	10.32	9.52	10.72	9.12	9	10.73	9.11	9	10.76	9.08	10	10.95	8.89
0.6	10.95	8.89	10.39	9.45	10.70	9.14	6	10.72	9.12	7	10.74	9.10	7	10.95	8.89
0.7	10.95	8.89	10.43	9.41	10.68	9.16	5	10.70	9.14	5	10.72	9.12	5	10.95	8.89
0.8	10.95	8.89	10.54	9.30	10.67	9.17	4	10.68	9.16	4	10.70	9.14	4	10.95	8.89
0.9	10.95	8.89	10.63	9.21	10.65	9.19	3	10.66	9.18	3	10.69	9.15	3	10.95	8.89
1.0	10.95	8.89	10.63	9.21	10.65	9.19	3	10.66	9.18	3	10.69	9.15	3	10.95	8.89
1.2	10.95	8.89	10.84	9.00	10.62	9.22	2	10.64	9.20	2	10.66	9.18	2	10.95	8.89
1.4	10.95	8.89	10.84	9.00	10.62	9.22	2	10.64	9.20	2	10.66	9.18	2	10.95	8.89
1.5	10.95	8.89	10.82	9.02	10.62	9.22	2	10.64	9.20	2	10.66	9.18	2	10.95	8.89
2.0	10.95	8.89	10.79	9.05	10.62	9.22	2	10.64	9.20	2	10.66	9.18	2	10.95	8.89
2.5	10.95	8.89	10.39	9.45	10.57	9.27	1	10.64	9.20	1	10.61	9.23	1	10.95	8.89
3.0	10.95	8.89	10.25	9.59	10.57	9.27	1	10.59	9.25	1	10.61	9.23	1	10.95	8.89
4.0	10.95	8.89	10.12	9.72	10.57	9.27	1	10.59	9.25	1	10.61	9.23	1	10.95	8.89
5.0	10.95	8.89	10.07	9.77	10.57	9.27	1	10.59	9.25	1	10.61	9.23	1	10.95	8.89

ตารางที่ ก6. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 9, λ=40, n^*=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.89	8.95	10.33	9.51	10.67	9.17	8	10.68	9.16	8	10.71	9.13	9	10.89	8.95
0.6	10.89	8.95	10.33	9.51	10.65	9.19	6	10.66	9.18	6	10.68	9.16	6	10.89	8.95
0.7	10.89	8.95	10.47	9.37	10.63	9.21	4	10.64	9.20	4	10.67	9.17	5	10.89	8.95
0.8	10.89	8.95	10.50	9.34	10.61	9.23	3	10.62	9.22	3	10.66	9.18	4	10.89	8.95
0.9	10.89	8.95	10.55	9.29	10.61	9.23	3	10.62	9.22	3	10.64	9.20	3	10.89	8.95
1.0	10.89	8.95	10.69	9.15	10.58	9.26	2	10.60	9.24	2	10.64	9.20	3	10.89	8.95
1.2	10.89	8.95	10.75	9.09	10.58	9.26	2	10.60	9.24	2	10.62	9.22	2	10.89	8.95
1.4	10.89	8.95	10.85	8.99	10.58	9.26	2	10.60	9.24	2	10.62	9.22	2	10.89	8.95
1.5	10.89	8.95	10.89	8.95	10.58	9.26	2	10.60	9.24	2	10.62	9.22	2	10.89	8.95
2.0	10.89	8.95	10.55	9.29	10.58	9.26	2	10.60	9.24	2	10.62	9.22	2	10.89	8.95
2.5	10.89	8.95	10.27	9.57	10.54	9.30	1	10.55	9.29	1	10.57	9.27	1	10.89	8.95
3.0	10.89	8.95	10.18	9.66	10.54	9.30	1	10.55	9.29	1	10.57	9.27	1	10.89	8.95
4.0	10.89	8.95	10.10	9.74	10.54	9.30	1	10.55	9.29	1	10.57	9.27	1	10.89	8.95
5.0	10.89	8.95	10.05	9.79	10.54	9.30	1	10.55	9.29	1	10.57	9.27	1	10.89	8.95

ตารางที่ ก7. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 10, λ=40, n^*=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.84	9.00	10.30	9.54	10.62	9.22	7	10.64	9.20	8	10.66	9.18	8	10.84	9.00
0.6	10.84	9.00	10.33	9.51	10.60	9.24	5	10.62	9.22	5	10.64	9.20	6	10.84	9.00
0.7	10.84	9.00	10.37	9.47	10.59	9.25	4	10.60	9.24	4	10.62	9.22	4	10.84	9.00
0.8	10.84	9.00	10.54	9.30	10.57	9.27	3	10.59	9.25	3	10.60	9.24	3	10.84	9.00
0.9	10.84	9.00	10.57	9.27	10.57	9.27	3	10.59	9.25	3	10.60	9.24	3	10.84	9.00
1.0	10.84	9.00	10.60	9.24	10.55	9.29	2	10.56	9.28	2	10.58	9.26	2	10.84	9.00
1.2	10.84	9.00	10.73	9.11	10.55	9.29	2	10.56	9.28	2	10.58	9.26	2	10.84	9.00
1.4	10.84	9.00	10.80	9.04	10.55	9.29	2	10.56	9.28	2	10.58	9.26	2	10.84	9.00
1.5	10.84	9.00	10.75	9.09	10.55	9.29	2	10.56	9.28	2	10.58	9.26	2	10.84	9.00
2.0	10.84	9.00	10.66	9.18	10.55	9.29	2	10.56	9.28	2	10.58	9.26	2	10.84	9.00
2.5	10.84	9.00	10.27	9.57	10.50	9.34	1	10.52	9.32	1	10.54	9.30	1	10.84	9.00
3.0	10.84	9.00	10.17	9.67	10.50	9.34	1	10.52	9.32	1	10.54	9.30	1	10.84	9.00
4.0	10.84	9.00	10.09	9.75	10.50	9.34	1	10.52	9.32	1	10.54	9.30	1	10.84	9.00
5.0	10.84	9.00	10.04	9.80	10.50	9.34	1	10.52	9.32	1	10.54	9.30	1	10.84	9.00

ตารางที่ ก8. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 15, λ=40, n^*=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.67	9.17	10.30	9.54	10.48	9.36	5	10.49	9.35	5	10.50	9.34	5	10.67	9.17
0.6	10.67	9.17	10.41	9.43	10.45	9.39	3	10.48	9.36	4	10.49	9.35	4	10.67	9.17
0.7	10.67	9.17	10.45	9.39	10.45	9.39	3	10.46	9.38	3	10.48	9.36	3	10.67	9.17
0.8	10.67	9.17	10.44	9.40	10.43	9.41	2	10.44	9.40	2	10.46	9.38	2	10.67	9.17
0.9	10.67	9.17	10.55	9.29	10.43	9.41	2	10.44	9.40	2	10.60	9.24	2	10.67	9.17
1.0	10.67	9.17	10.59	9.25	10.43	9.41	2	10.44	9.40	2	10.60	9.24	2	10.67	9.17
1.2	10.67	9.17	10.65	9.19	10.43	9.41	2	10.44	9.40	2	10.60	9.24	2	10.67	9.17
1.4	10.67	9.17	10.47	9.37	10.43	9.41	2	10.44	9.40	2	10.60	9.24	2	10.67	9.17
1.5	10.67	9.17	10.54	9.30	10.43	9.41	2	10.44	9.40	2	10.60	9.24	2	10.67	9.17
2.0	10.67	9.17	10.22	9.62	10.40	9.44	1	10.41	9.43	1	10.43	9.41	1	10.67	9.17
2.5	10.67	9.17	10.12	9.72	10.40	9.44	1	10.41	9.43	1	10.43	9.41	1	10.67	9.17
3.0	10.67	9.17	10.07	9.77	10.40	9.44	1	10.41	9.43	1	10.43	9.41	1	10.67	9.17
4.0	10.67	9.17	10.03	9.81	10.40	9.44	1	10.41	9.43	1	10.43	9.41	1	10.67	9.17
5.0	10.67	9.17	10.00	9.84	10.40	9.44	1	10.41	9.43	1	10.43	9.41	1	10.67	9.17

ตารางที่ ก9. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 20, λ=40, n^*=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.57	9.27	10.27	9.57	10.39	9.45	4	10.40	9.44	4	10.42	9.42	4	10.57	9.27
0.6	10.57	9.27	10.36	9.48	10.38	9.46	3	10.39	9.45	3	10.40	9.44	3	10.57	9.27
0.7	10.57	9.27	10.39	9.45	10.37	9.47	2	10.37	9.47	2	10.39	9.45	2	10.57	9.27
0.8	10.57	9.27	10.48	9.36	10.37	9.47	2	10.37	9.47	2	10.39	9.45	2	10.57	9.27
0.9	10.57	9.27	10.53	9.31	10.37	9.47	2	10.37	9.47	2	10.39	9.45	2	10.57	9.27
1.0	10.57	9.27	10.57	9.27	10.37	9.47	2	10.37	9.47	2	10.39	9.45	2	10.57	9.27
1.2	10.57	9.27	10.54	9.30	10.37	9.47	2	10.37	9.47	2	10.39	9.45	2	10.57	9.27
1.4	10.57	9.27	10.36	9.48	10.37	9.47	2	10.37	9.47	2	10.39	9.45	2	10.57	9.27
1.5	10.57	9.27	10.26	9.58	10.33	9.51	1	10.34	9.50	1	10.39	9.45	1	10.57	9.27
2.0	10.57	9.27	10.11	9.73	10.33	9.51	1	10.34	9.50	1	10.36	9.48	1	10.57	9.27
2.5	10.57	9.27	10.05	9.79	10.33	9.51	1	10.34	9.50	1	10.36	9.48	1	10.57	9.27
3.0	10.57	9.27	10.03	9.81	10.33	9.51	1	10.34	9.50	1	10.36	9.48	1	10.57	9.27
4.0	10.57	9.27	10.01	9.83	10.33	9.51	1	10.34	9.50	1	10.36	9.48	1	10.57	9.27
5.0	10.57	9.27	9.99	9.85	10.33	9.51	1	10.34	9.50	1	10.36	9.48	1	10.57	9.27

ตารางที่ ก10. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 25, λ=40, n^{*}=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.5	9.34	10.27	9.57	10.33	9.51	3	10.34	9.50	3	10.35	9.49	3	10.5	9.34
0.6	10.5	9.34	10.35	9.49	10.32	9.52	2	10.33	9.51	2	10.35	9.49	3	10.5	9.34
0.7	10.5	9.34	10.44	9.40	10.32	9.52	2	10.33	9.51	2	10.34	9.50	2	10.5	9.34
0.8	10.5	9.34	10.44	9.40	10.32	9.52	2	10.33	9.51	2	10.34	9.50	2	10.5	9.34
0.9	10.5	9.34	10.46	9.38	10.32	9.52	2	10.33	9.51	2	10.34	9.50	2	10.5	9.34
1.0	10.5	9.34	10.46	9.38	10.32	9.52	2	10.33	9.51	2	10.34	9.50	2	10.5	9.34
1.2	10.5	9.34	10.32	9.52	10.32	9.52	2	10.33	9.51	2	10.34	9.50	2	10.5	9.34
1.4	10.5	9.34	10.20	9.64	10.29	9.55	1	10.30	9.54	1	10.31	9.53	1	10.5	9.34
1.5	10.5	9.34	10.15	9.69	10.29	9.55	1	10.30	9.54	1	10.31	9.53	1	10.5	9.34
2.0	10.5	9.34	10.06	9.78	10.29	9.55	1	10.30	9.54	1	10.31	9.53	1	10.5	9.34
2.5	10.5	9.34	10.03	9.81	10.29	9.55	1	10.30	9.54	1	10.31	9.53	1	10.5	9.34
3.0	10.5	9.34	10.01	9.83	10.29	9.55	1	10.30	9.54	1	10.31	9.53	1	10.5	9.34
4.0	10.5	9.34	9.98	9.86	10.29	9.55	1	10.30	9.54	1	10.31	9.53	1	10.5	9.34
5.0	10.5	9.34	9.96	9.88	10.29	9.55	1	10.30	9.54	1	10.31	9.53	1	10.5	9.34

ตารางที่ ก11. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 30, λ=40, n^{*}=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.45	9.39	10.30	9.54	10.30	9.54	3	10.31	9.53	3	10.32	9.52	3	10.45	9.39
0.6	10.45	9.39	10.36	9.48	10.28	9.56	2	10.29	9.55	2	10.30	9.54	2	10.45	9.39
0.7	10.45	9.39	10.35	9.49	10.28	9.56	2	10.29	9.55	2	10.30	9.54	2	10.45	9.39
0.8	10.45	9.39	10.42	9.42	10.28	9.56	2	10.29	9.55	2	10.30	9.54	2	10.45	9.39
0.9	10.45	9.39	10.39	9.45	10.28	9.56	2	10.29	9.55	2	10.30	9.54	2	10.45	9.39
1.0	10.45	9.39	10.42	9.42	10.28	9.56	2	10.29	9.55	2	10.30	9.54	2	10.45	9.39
1.2	10.45	9.39	10.19	9.65	10.26	9.58	1	10.29	9.55	1	10.30	9.54	2	10.45	9.39
1.4	10.45	9.39	10.11	9.73	10.26	9.58	1	10.27	9.57	1	10.28	9.56	1	10.45	9.39
1.5	10.45	9.39	10.09	9.75	10.26	9.58	1	10.27	9.57	1	10.28	9.56	1	10.45	9.39
2.0	10.45	9.39	10.03	9.81	10.26	9.58	1	10.27	9.57	1	10.28	9.56	1	10.45	9.39
2.5	10.45	9.39	10.00	9.84	10.26	9.58	1	10.27	9.57	1	10.28	9.56	1	10.45	9.39
3.0	10.45	9.39	9.99	9.85	10.26	9.58	1	10.27	9.57	1	10.28	9.56	1	10.45	9.39
4.0	10.45	9.39	9.98	9.86	10.26	9.58	1	10.27	9.57	1	10.28	9.56	1	10.45	9.39
5.0	10.45	9.39	9.96	9.88	10.26	9.58	1	10.27	9.57	1	10.28	9.56	1	10.45	9.39

ตารางที่ ก12. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 35, λ=40, n^{*}=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.41	9.43	10.29	9.55	10.26	9.58	2	10.26	9.58	2	10.29	9.55	3	10.41	9.43
0.6	10.41	9.43	10.36	9.48	10.26	9.58	2	10.26	9.58	2	10.27	9.57	2	10.41	9.43
0.7	10.41	9.43	10.36	9.48	10.26	9.58	2	10.26	9.58	2	10.27	9.57	2	10.41	9.43
0.8	10.41	9.43	10.35	9.49	10.26	9.58	2	10.26	9.58	2	10.27	9.57	2	10.41	9.43
0.9	10.41	9.43	10.30	9.54	10.26	9.58	2	10.26	9.58	2	10.27	9.57	2	10.41	9.43
1.0	10.41	9.43	10.37	9.47	10.26	9.58	2	10.26	9.58	2	10.27	9.57	2	10.41	9.43
1.2	10.41	9.43	10.14	9.70	10.23	9.61	1	10.24	9.60	1	10.25	9.59	1	10.41	9.43
1.4	10.41	9.43	10.08	9.76	10.23	9.61	1	10.24	9.60	1	10.25	9.59	1	10.41	9.43
1.5	10.41	9.43	10.06	9.78	10.23	9.61	1	10.24	9.60	1	10.25	9.59	1	10.41	9.43
2.0	10.41	9.43	10.01	9.83	10.23	9.61	1	10.24	9.60	1	10.25	9.59	1	10.41	9.43
2.5	10.41	9.43	9.99	9.85	10.23	9.61	1	10.24	9.60	1	10.25	9.59	1	10.41	9.43
3.0	10.41	9.43	9.98	9.86	10.23	9.61	1	10.24	9.60	1	10.25	9.59	1	10.41	9.43
4.0	10.41	9.43	9.97	9.87	10.23	9.61	1	10.24	9.60	1	10.25	9.59	1	10.41	9.43
5.0	10.41	9.43	9.96	9.88	10.23	9.61	1	10.24	9.60	1	10.25	9.59	1	10.41	9.43

ตารางที่ ก13. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 40, λ=40, n^*=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.38	9.46	10.26	9.58	10.24	9.60	2	10.24	9.60	2	10.25	9.59	2	10.38	9.46
0.6	10.38	9.46	10.32	9.52	10.24	9.60	2	10.24	9.60	2	10.25	9.59	2	10.38	9.46
0.7	10.38	9.46	10.31	9.53	10.24	9.60	2	10.24	9.60	2	10.25	9.59	2	10.38	9.46
0.8	10.38	9.46	10.29	9.55	10.24	9.60	2	10.24	9.60	2	10.25	9.59	2	10.38	9.46
0.9	10.38	9.46	10.31	9.53	10.24	9.60	2	10.24	9.60	2	10.25	9.59	2	10.38	9.46
1.0	10.38	9.46	10.19	9.65	10.24	9.60	2	10.24	9.60	2	10.25	9.59	2	10.38	9.46
1.2	10.38	9.46	10.16	9.68	10.21	9.63	1	10.22	9.62	1	10.23	9.61	1	10.38	9.46
1.4	10.38	9.46	10.08	9.76	10.21	9.63	1	10.22	9.62	1	10.23	9.61	1	10.38	9.46
1.5	10.38	9.46	10.06	9.78	10.21	9.63	1	10.22	9.62	1	10.23	9.61	1	10.38	9.46
2.0	10.38	9.46	10.01	9.83	10.21	9.63	1	10.22	9.62	1	10.23	9.61	1	10.38	9.46
2.5	10.38	9.46	9.99	9.85	10.21	9.63	1	10.22	9.62	1	10.23	9.61	1	10.38	9.46
3.0	10.38	9.46	9.97	9.87	10.21	9.63	1	10.22	9.62	1	10.23	9.61	1	10.38	9.46
4.0	10.38	9.46	9.96	9.88	10.21	9.63	1	10.22	9.62	1	10.23	9.61	1	10.38	9.46
5.0	10.38	9.46	9.96	9.88	10.21	9.63	1	10.22	9.62	1	10.23	9.61	1	10.38	9.46

ตารางที่ ก14. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 45, λ=40, n^{*}=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.36	9.48	10.24	9.60	10.22	9.62	2	10.22	9.62	2	10.23	9.61	2	10.36	9.48
0.6	10.36	9.48	10.33	9.51	10.22	9.62	2	10.22	9.62	2	10.23	9.61	2	10.36	9.48
0.7	10.36	9.48	10.32	9.52	10.22	9.62	2	10.22	9.62	2	10.23	9.61	2	10.36	9.48
0.8	10.36	9.48	10.26	9.58	10.22	9.62	2	10.22	9.62	2	10.23	9.61	2	10.36	9.48
0.9	10.36	9.48	10.18	9.66	10.22	9.62	2	10.22	9.62	2	10.23	9.61	2	10.36	9.48
1.0	10.36	9.48	10.11	9.73	10.20	9.64	1	10.20	9.64	1	10.23	9.61	1	10.36	9.48
1.2	10.36	9.48	10.06	9.78	10.20	9.64	1	10.20	9.64	1	10.21	9.63	1	10.36	9.48
1.4	10.36	9.48	10.03	9.81	10.20	9.64	1	10.20	9.64	1	10.21	9.63	1	10.36	9.48
1.5	10.36	9.48	10.02	9.82	10.20	9.64	1	10.20	9.64	1	10.21	9.63	1	10.36	9.48
2.0	10.36	9.48	9.99	9.85	10.20	9.64	1	10.20	9.64	1	10.21	9.63	1	10.36	9.48
2.5	10.36	9.48	9.98	9.86	10.20	9.64	1	10.20	9.64	1	10.21	9.63	1	10.36	9.48
3.0	10.36	9.48	9.97	9.87	10.20	9.64	1	10.20	9.64	1	10.21	9.63	1	10.36	9.48
4.0	10.36	9.48	9.95	9.89	10.20	9.64	1	10.20	9.64	1	10.21	9.63	1	10.36	9.48
5.0	10.36	9.48	9.95	9.89	10.20	9.64	1	10.20	9.64	1	10.21	9.63	1	10.36	9.48

ตารางที่ ก15. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 50, λ=40, n^{*}=5, m=35

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.33	9.51	10.30	9.54	10.20	9.64	2	10.21	9.63	2	10.22	9.62	2	10.33	9.51
0.6	10.33	9.51	10.31	9.53	10.20	9.64	2	10.21	9.63	2	10.22	9.62	2	10.33	9.51
0.7	10.33	9.51	10.28	9.56	10.20	9.64	2	10.21	9.63	2	10.22	9.62	2	10.33	9.51
0.8	10.33	9.51	10.33	9.51	10.20	9.64	2	10.21	9.63	2	10.22	9.62	2	10.33	9.51
0.9	10.33	9.51	10.14	9.70	10.20	9.64	2	10.21	9.63	2	10.22	9.62	2	10.33	9.51
1.0	10.33	9.51	10.16	9.68	10.18	9.66	1	10.21	9.63	1	10.22	9.62	1	10.33	9.51
1.2	10.33	9.51	10.07	9.77	10.18	9.66	1	10.19	9.65	1	10.20	9.64	1	10.33	9.51
1.4	10.33	9.51	10.03	9.81	10.18	9.66	1	10.19	9.65	1	10.20	9.64	1	10.33	9.51
1.5	10.33	9.51	10.02	9.82	10.18	9.66	1	10.19	9.65	1	10.20	9.64	1	10.33	9.51
2.0	10.33	9.51	9.99	9.85	10.18	9.66	1	10.19	9.65	1	10.20	9.64	1	10.33	9.51
2.5	10.33	9.51	9.97	9.87	10.18	9.66	1	10.19	9.65	1	10.20	9.64	1	10.33	9.51
3.0	10.33	9.51	9.97	9.87	10.18	9.66	1	10.19	9.65	1	10.20	9.64	1	10.33	9.51
4.0	10.33	9.51	9.95	9.89	10.18	9.66	1	10.19	9.65	1	10.20	9.64	1	10.33	9.51
5.0	10.33	9.51	9.95	9.89	10.18	9.66	1	10.19	9.65	1	10.20	9.64	1	10.33	9.51

<u>ตารางที่ ก16.</u> จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 4 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	36.1	11.0	14.9	16.3	18.8	5.9*
0.6	24.1	8.1	9.0	9.7	11.3	4.5*
0.7	15.7	6.1	6.1	6.6	7.2	3.7*
0.8	10.4	4.9	4.2	4.5	5.0	3.1*
0.9	7.5	4.0	3.1	3.2	3.5	2.7*
1.0	5.6	3.4	2.4*	2.5	2.7	2.4*
1.1	4.2	2.9	1.9*	2.1	2.2	2.2
1.2	3.3	2.5	1.7*	1.7*	1.8	2.0
1.3	2.6	2.3	1.4*	1.5*	1.5*	1.8
1.4	2.2	2.0	1.3*	1.3*	1.4*	1.6
1.5	1.8	1.8	1.2*	1.2*	1.3*	1.5
2.0	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
2.3	1.0*	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก17.</u> จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 5

λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	28.1	9.1	10.6	11.8	13.5	5.0*
0.6	17.6	6.6	6.5	7.0	7.8	3.9*
0.7	10.9	5.1	4.3	4.8	5.2	3.2*
0.8	7.3	4.1	3.1	3.3	3.5	2.7*
0.9	5.4	3.4	2.3*	2.4	2.6	2.4
1.0	3.9	2.9	1.9*	2.0	2.0	2.1
1.1	3.0	2.5	1.6*	1.6*	1.7	1.9
1.2	2.4	2.1	1.5*	1.5*	1.5*	1.7
1.3	2.0	1.9	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
1.4	1.7	1.7	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
1.5	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
1.7	1.3	1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.3
2.0	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก18.</u> จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 6

λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	21.4	7.7	8.5	9.3	10.7	4.5*
0.6	13.0	5.8	5.2	5.5	6.1	3.5*
0.7	8.7	4.4	3.5	3.7	4.1	2.9*
0.8	5.8	3.6	2.5	2.7	2.9	2.4*
0.9	4.2	2.9	2.0*	2.1	2.2	2.1
1.0	3.1	2.5	1.7*	1.7*	1.7*	1.9
1.1	2.4	2.1	1.4*	1.4*	1.5*	1.7
1.2	2.0	1.8	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
1.3	1.7	1.6	1.2*	1.2*	1.2*	1.4
1.4	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.5	1.3	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.9	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.91	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก19.</u> จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 7 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	17.6	6.8	7.1	7.7	8.7	4.1*
0.6	10.7	5.0	4.2	4.5	4.9	3.2*
0.7	6.9	3.9	2.9	3.1	3.3	2.6*
0.8	4.6	3.2	2.1*	2.3	2.4	2.3*
0.9	3.4	2.6	1.7*	1.8	1.8	2.0
1.0	2.5	2.2	1.5*	1.5*	1.5*	1.8
1.1	2.0	1.9	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
1.2	1.7	1.7	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
1.3	1.4	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.4	1.3	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.2
1.5	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.78	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก20.</u> จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 8 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	15.0	6.1	6.0	6.5	7.3	3.7*
0.6	9.1	4.5	3.6	3.9	4.1	2.9*
0.7	5.8	3.6	2.5	2.6	2.8	2.4*
0.8	3.9	2.9	2.0*	2.0*	2.1	2.1
0.9	2.8	2.4	1.5*	1.6*	1.6*	1.8
1.0	2.2	2.0	1.3*	1.3*	1.4*	1.6
1.1	1.8	1.7	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
1.2	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.2	1.4
1.3	1.3	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.4	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.5	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.67	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก21. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 9

λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	12.8	5.5	4.8	5.2	6.0	3.4*
0.6	7.5	4.1	3.0	3.2	3.4	2.7*
0.7	4.8	3.2	2.2	2.3	2.4	2.3*
0.8	3.2	2.6	1.7*	1.8	1.9	2.0
0.9	2.4	2.2	1.4*	1.4*	1.5	1.7
1.0	1.9	1.8	1.2*	1.2*	1.3	1.5
1.1	1.6	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
1.2	1.3	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.3	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.4	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.5	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.58	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก22. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=10 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	10.7	5.1	4.3	4.6	5.1	3.3*
0.6	6.4	3.8	2.8	2.9	3.0	2.5*
0.7	4.1	3.0	1.9*	2.0	2.1	2.1
0.8	2.8	2.4	1.6*	1.6*	1.7	1.8
0.9	2.1	2.0	1.3*	1.3*	1.4	1.6
1.0	1.7	1.6	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
1.1	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.2	1.3	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.2
1.3	1.1	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.4	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.5	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.51	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก23. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=15 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	6.1	3.6	2.6	2.7	2.9	2.5*
0.6	3.5	2.7	1.8*	1.9	2.0	2.0
0.7	2.4	2.1	1.4*	1.5	1.5	1.7
0.8	1.8	1.7	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
0.9	1.4	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.0	1.2	1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.1	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.21	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก24. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=20 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	4.0	2.9	2.0*	2.1	2.2	2.2
0.6	2.5	2.2	1.4*	1.5	1.5	1.8
0.7	1.8	1.7	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
0.8	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
0.9	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.0	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.06	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก25. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=25 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	2.9	2.5	1.6*	1.7	1.8	1.9
0.6	2.0	1.9	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
0.7	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.8	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
0.9	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.96	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก26.</u> จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=30 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	2.3	2.1	1.4*	1.4*	1.5	1.7
0.6	1.6	1.5	1.1*	1.1*	1.2	1.4
0.61	1.6	1.5	1.1*	1.1*	1.2	1.4
0.62	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.7	1.2	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.2
0.8	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.88	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก27. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=35 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	2.0	1.9	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
0.58	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.6	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
0.7	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
0.8	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.81	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก28.</u> จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=40 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	1.7	1.7	1.2*	1.2*	1.3	1.5
0.6	1.3	1.3	1.0*	1.0*	1.1	1.2
0.7	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.76	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.8	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก29.</u> จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=45 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.2	1.4
0.51	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.6	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
0.7	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.72	1.0*	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.73	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.8	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก30. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n=50 λ=40, n^{*}=5, m=35

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
0.6	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.69	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.7	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.8	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก31. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 4, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.29	8.49	10.38	9.40	11.03	8.75	17	11.06	8.72	19	11.09	8.69	21	11.29	8.49
0.6	11.29	8.49	10.36	9.42	11.00	8.78	12	11.03	8.75	13	11.07	8.72	15	11.29	8.49
0.7	11.29	8.49	10.48	9.30	10.98	8.80	9	11.01	8.77	10	11.04	8.74	11	11.29	8.49
0.8	11.29	8.49	10.55	9.24	10.96	8.82	7	10.98	8.80	7	11.01	8.77	8	11.29	8.49
0.9	11.29	8.49	10.57	9.21	10.94	8.84	6	10.96	8.82	6	10.99	8.79	6	11.29	8.49
1.0	11.29	8.49	10.63	9.15	10.93	8.85	5	10.95	8.83	5	10.98	8.81	5	11.29	8.49
1.2	11.29	8.49	10.80	8.98	10.88	8.90	3	10.90	8.88	3	10.96	8.82	4	11.29	8.49
1.4	11.29	8.49	10.96	8.83	10.88	8.90	3	10.90	8.88	3	10.93	8.85	3	11.29	8.49
1.5	11.29	8.49	11.04	8.74	10.85	8.94	2	10.87	8.92	2	10.93	8.85	3	11.29	8.49
2.0	11.29	8.49	11.35	8.43	10.85	8.94	2	10.87	8.92	2	10.89	8.89	2	11.29	8.49
2.5	11.29	8.49	11.27	8.51	10.85	8.94	2	10.87	8.92	2	10.89	8.89	2	11.29	8.49
3.0	11.29	8.49	10.88	8.90	10.85	8.94	2	10.87	8.92	2	10.89	8.89	2	11.29	8.49
4.0	11.29	8.49	10.36	9.42	10.78	9.00	1	10.80	8.98	1	10.83	8.95	1	11.29	8.49
5.0	11.29	8.49	10.22	9.56	10.78	9.00	1	10.80	8.98	1	10.83	8.95	1	11.29	8.49

ตารางที่ ก32. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 5, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.15	8.63	10.36	9.42	10.90	8.88	14	10.92	8.86	15	10.95	8.83	17	11.15	8.63
0.6	11.15	8.63	10.37	9.41	10.87	8.91	10	10.90	8.89	11	10.93	8.86	12	11.15	8.63
0.7	11.15	8.63	10.40	9.38	10.85	8.94	7	10.87	8.91	8	10.90	8.88	8	11.15	8.63
0.8	11.15	8.63	10.50	9.28	10.83	8.95	6	10.85	8.93	6	10.87	8.91	6	11.15	8.63
0.9	11.15	8.63	10.65	9.13	10.82	8.96	5	10.84	8.94	5	10.86	8.92	5	11.15	8.63
1.0	11.15	8.63	10.67	9.12	10.80	8.98	4	10.82	8.96	4	10.84	8.94	4	11.15	8.63
1.2	11.15	8.63	10.85	8.93	10.78	9.00	3	10.80	8.98	3	10.82	8.96	3	11.15	8.63
1.4	11.15	8.63	10.92	8.86	10.74	9.04	2	10.76	9.02	2	10.79	8.99	2	11.15	8.63
1.5	11.15	8.63	11.03	8.75	10.74	9.04	2	10.76	9.02	2	10.79	8.99	2	11.15	8.63
2.0	11.15	8.63	11.14	8.64	10.74	9.04	2	10.76	9.02	2	10.79	8.99	2	11.15	8.63
2.5	11.15	8.63	11.07	8.71	10.74	9.04	2	10.76	9.02	2	10.79	8.99	2	11.15	8.63
3.0	11.15	8.63	10.55	9.23	10.68	9.10	1	10.70	9.08	1	10.79	8.99	1	11.15	8.63
4.0	11.15	8.63	10.26	9.52	10.68	9.10	1	10.70	9.08	1	10.73	9.05	1	11.15	8.63
5.0	11.15	8.63	10.15	9.64	10.68	9.10	1	10.70	9.08	1	10.73	9.05	1	11.15	8.63

ตารางที่ ก33. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 6, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	11.04	8.74	10.33	9.45	10.80	8.98	12	10.82	8.96	13	10.85	8.94	14	11.04	8.74
0.6	11.04	8.74	10.37	9.41	10.77	9.01	8	10.79	8.99	9	10.82	8.96	10	11.04	8.74
0.7	11.04	8.74	10.48	9.30	10.75	9.03	6	10.77	9.01	6	10.80	8.98	7	11.04	8.74
0.8	11.04	8.74	10.50	9.28	10.74	9.04	5	10.75	9.03	5	10.78	9.00	5	11.04	8.74
0.9	11.04	8.74	10.63	9.16	10.72	9.06	4	10.74	9.04	4	10.76	9.02	4	11.04	8.74
1.0	11.04	8.74	10.59	9.19	10.70	9.08	3	10.72	9.06	3	10.76	9.02	4	11.04	8.74
1.2	11.04	8.74	10.84	8.94	10.67	9.11	2	10.72	9.06	3	10.74	9.04	3	11.04	8.74
1.4	11.04	8.74	10.95	8.83	10.67	9.11	2	10.69	9.09	2	10.71	9.07	2	11.04	8.74
1.5	11.04	8.74	10.82	8.96	10.67	9.11	2	10.69	9.09	2	10.71	9.07	2	11.04	8.74
2.0	11.04	8.74	10.99	8.79	10.67	9.11	2	10.69	9.09	2	10.71	9.07	2	11.04	8.74
2.5	11.04	8.74	10.54	9.24	10.67	9.11	2	10.69	9.09	2	10.71	9.07	2	11.04	8.74
3.0	11.04	8.74	10.32	9.46	10.62	9.17	1	10.63	9.15	1	10.66	9.12	1	11.04	8.74
4.0	11.04	8.74	10.16	9.62	10.62	9.17	1	10.63	9.15	1	10.66	9.12	1	11.04	8.74
5.0	11.04	8.74	10.09	9.69	10.62	9.17	1	10.63	9.15	1	10.66	9.12	1	11.04	8.74

ตารางที่ ก34. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 7, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.95	8.83	10.32	9.46	10.72	9.06	10	10.74	9.04	11	10.77	9.02	12	10.95	8.83
0.6	10.95	8.83	10.37	9.41	10.70	9.08	7	10.72	9.06	8	10.74	9.04	8	10.95	8.83
0.7	10.95	8.83	10.46	9.32	10.68	9.11	5	10.70	9.08	6	10.72	9.06	6	10.95	8.83
0.8	10.95	8.83	10.48	9.31	10.66	9.12	4	10.68	9.11	4	10.71	9.07	5	10.95	8.83
0.9	10.95	8.83	10.53	9.25	10.64	9.14	3	10.66	9.13	3	10.70	9.08	4	10.95	8.83
1.0	10.95	8.83	10.68	9.10	10.64	9.14	3	10.66	9.13	3	10.68	9.10	3	10.95	8.83
1.2	10.95	8.83	10.79	8.99	10.61	9.17	2	10.63	9.15	2	10.65	9.13	2	10.95	8.83
1.4	10.95	8.83	10.90	8.89	10.61	9.17	2	10.63	9.15	2	10.65	9.13	2	10.95	8.83
1.5	10.95	8.83	10.93	8.85	10.61	9.17	2	10.63	9.15	2	10.65	9.13	2	10.95	8.83
2.0	10.95	8.83	10.80	8.98	10.61	9.17	2	10.63	9.15	2	10.65	9.13	2	10.95	8.83
2.5	10.95	8.83	10.54	9.24	10.61	9.17	1	10.63	9.15	2	10.65	9.13	2	10.95	8.83
3.0	10.95	8.83	10.29	9.49	10.56	9.22	1	10.58	9.20	1	10.60	9.18	1	10.95	8.83
4.0	10.95	8.83	10.14	9.64	10.56	9.22	1	10.58	9.20	1	10.60	9.18	1	10.95	8.83
5.0	10.95	8.83	10.07	9.71	10.56	9.22	1	10.58	9.20	1	10.60	9.18	1	10.95	8.83

ตารางที่ ก35. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 8, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.88	8.90	10.33	9.45	10.66	9.12	9	10.67	9.11	9	10.70	9.08	10	10.88	8.90
0.6	10.88	8.90	10.40	9.38	10.64	9.15	6	10.66	9.12	7	10.68	9.10	7	10.88	8.90
0.7	10.88	8.90	10.45	9.33	10.62	9.16	5	10.64	9.14	5	10.66	9.12	5	10.88	8.90
0.8	10.88	8.90	10.45	9.33	10.61	9.17	4	10.62	9.16	4	10.64	9.14	4	10.88	8.90
0.9	10.88	8.90	10.61	9.17	10.59	9.19	3	10.61	9.17	3	10.63	9.15	3	10.88	8.90
1.0	10.88	8.90	10.66	9.12	10.59	9.19	3	10.61	9.17	3	10.63	9.15	3	10.88	8.90
1.2	10.88	8.90	10.69	9.09	10.57	9.22	2	10.58	9.20	2	10.60	9.18	2	10.88	8.90
1.4	10.88	8.90	10.80	8.98	10.57	9.22	2	10.58	9.20	2	10.60	9.18	2	10.88	8.90
1.5	10.88	8.90	10.85	8.93	10.57	9.22	2	10.58	9.20	2	10.60	9.18	2	10.88	8.90
2.0	10.88	8.90	10.57	9.21	10.57	9.22	2	10.58	9.20	2	10.60	9.18	2	10.88	8.90
2.5	10.88	8.90	10.35	9.43	10.52	9.26	1	10.53	9.25	1	10.60	9.18	1	10.88	8.90
3.0	10.88	8.90	10.21	9.57	10.52	9.26	1	10.53	9.25	1	10.55	9.23	1	10.88	8.90
4.0	10.88	8.90	10.09	9.69	10.52	9.26	1	10.53	9.25	1	10.55	9.23	1	10.88	8.90
5.0	10.88	8.90	10.04	9.74	10.52	9.26	1	10.53	9.25	1	10.55	9.23	1	10.88	8.90

ตารางที่ ก36. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 9, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.83	8.95	10.29	9.50	10.61	9.17	8	10.62	9.16	8	10.65	9.13	9	10.83	8.95
0.6	10.83	8.95	10.35	9.43	10.59	9.19	6	10.61	9.18	6	10.62	9.16	6	10.83	8.95
0.7	10.83	8.95	10.44	9.34	10.57	9.21	4	10.58	9.20	4	10.61	9.17	5	10.83	8.95
0.8	10.83	8.95	10.46	9.32	10.55	9.23	3	10.57	9.22	3	10.60	9.18	4	10.83	8.95
0.9	10.83	8.95	10.62	9.16	10.55	9.23	3	10.57	9.22	3	10.58	9.20	3	10.83	8.95
1.0	10.83	8.95	10.62	9.16	10.53	9.25	2	10.54	9.24	2	10.58	9.20	3	10.83	8.95
1.2	10.83	8.95	10.71	9.07	10.53	9.25	2	10.54	9.24	2	10.56	9.22	2	10.83	8.95
1.4	10.83	8.95	10.82	8.96	10.53	9.25	2	10.54	9.24	2	10.56	9.22	2	10.83	8.95
1.5	10.83	8.95	10.77	9.01	10.53	9.25	2	10.54	9.24	2	10.56	9.22	2	10.83	8.95
2.0	10.83	8.95	10.63	9.15	10.53	9.25	2	10.54	9.24	2	10.56	9.22	2	10.83	8.95
2.5	10.83	8.95	10.35	9.43	10.48	9.30	1	10.50	9.28	1	10.52	9.26	1	10.83	8.95
3.0	10.83	8.95	10.20	9.59	10.48	9.30	1	10.50	9.28	1	10.52	9.26	1	10.83	8.95
4.0	10.83	8.95	10.08	9.70	10.48	9.30	1	10.50	9.28	1	10.52	9.26	1	10.83	8.95
5.0	10.83	8.95	10.03	9.75	10.48	9.30	1	10.50	9.28	1	10.52	9.26	1	10.83	8.95

ตารางที่ ก37. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 10, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.78	9.00	10.27	9.52	10.57	9.22	7	10.58	9.20	8	10.60	9.18	8	10.78	9.00
0.6	10.78	9.00	10.30	9.48	10.55	9.23	5	10.56	9.22	5	10.59	9.19	6	10.78	9.00
0.7	10.78	9.00	10.34	9.44	10.53	9.25	4	10.55	9.23	4	10.56	9.22	4	10.78	9.00
0.8	10.78	9.00	10.50	9.28	10.52	9.26	3	10.53	9.25	3	10.55	9.23	3	10.78	9.00
0.9	10.78	9.00	10.53	9.25	10.52	9.26	3	10.53	9.25	3	10.55	9.23	3	10.78	9.00
1.0	10.78	9.00	10.56	9.22	10.49	9.29	2	10.51	9.27	2	10.53	9.26	2	10.78	9.00
1.2	10.78	9.00	10.70	9.08	10.49	9.29	2	10.51	9.27	2	10.53	9.26	2	10.78	9.00
1.4	10.78	9.00	10.77	9.01	10.49	9.29	2	10.51	9.27	2	10.53	9.26	2	10.78	9.00
1.5	10.78	9.00	10.71	9.07	10.49	9.29	2	10.51	9.27	2	10.53	9.26	2	10.78	9.00
2.0	10.78	9.00	10.63	9.16	10.49	9.29	2	10.51	9.27	2	10.53	9.26	2	10.78	9.00
2.5	10.78	9.00	10.24	9.54	10.45	9.33	1	10.47	9.32	1	10.48	9.30	1	10.78	9.00
3.0	10.78	9.00	10.14	9.64	10.45	9.33	1	10.47	9.32	1	10.48	9.30	1	10.78	9.00
4.0	10.78	9.00	10.06	9.72	10.45	9.33	1	10.47	9.32	1	10.48	9.30	1	10.78	9.00
5.0	10.78	9.00	10.01	9.77	10.45	9.33	1	10.47	9.32	1	10.48	9.30	1	10.78	9.00

ตารางที่ ก38. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 15, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.62	9.16	10.27	9.51	10.43	9.35	5	10.44	9.34	5	10.45	9.33	5	10.62	9.16
0.6	10.62	9.16	10.38	9.40	10.40	9.38	3	10.43	9.35	4	10.44	9.34	4	10.62	9.16
0.7	10.62	9.16	10.41	9.37	10.40	9.38	3	10.41	9.37	3	10.43	9.35	3	10.62	9.16
0.8	10.62	9.16	10.46	9.32	10.38	9.40	2	10.39	9.39	2	10.41	9.37	2	10.62	9.16
0.9	10.62	9.16	10.50	9.28	10.38	9.40	2	10.39	9.39	2	10.41	9.37	2	10.62	9.16
1.0	10.62	9.16	10.58	9.20	10.38	9.40	2	10.39	9.39	2	10.41	9.37	2	10.62	9.16
1.2	10.62	9.16	10.58	9.20	10.38	9.40	2	10.39	9.39	2	10.41	9.37	2	10.62	9.16
1.4	10.62	9.16	10.61	9.17	10.38	9.40	2	10.39	9.39	2	10.41	9.37	2	10.62	9.16
1.5	10.62	9.16	10.55	9.23	10.38	9.40	2	10.39	9.39	2	10.41	9.37	2	10.62	9.16
2.0	10.62	9.16	10.16	9.63	10.35	9.43	1	10.36	9.42	1	10.38	9.41	1	10.62	9.16
2.5	10.62	9.16	10.07	9.71	10.35	9.43	1	10.36	9.42	1	10.38	9.41	1	10.62	9.16
3.0	10.62	9.16	10.03	9.75	10.35	9.43	1	10.36	9.42	1	10.38	9.41	1	10.62	9.16
4.0	10.62	9.16	9.99	9.79	10.35	9.43	1	10.36	9.42	1	10.38	9.41	1	10.62	9.16
5.0	10.62	9.16	9.97	9.81	10.35	9.43	1	10.36	9.42	1	10.38	9.41	1	10.62	9.16

ตารางที่ ก39. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 20, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.52	9.26	10.24	9.54	10.35	9.44	4	10.35	9.43	4	10.37	9.41	4	10.52	9.26
0.6	10.52	9.26	10.33	9.45	10.33	9.45	3	10.34	9.44	3	10.36	9.43	3	10.52	9.26
0.7	10.52	9.26	10.36	9.42	10.32	9.46	2	10.33	9.45	2	10.34	9.44	2	10.52	9.26
0.8	10.52	9.26	10.45	9.333	10.32	9.46	2	10.33	9.45	2	10.34	9.44	2	10.52	9.26
0.9	10.52	9.26	10.50	9.28	10.32	9.46	2	10.33	9.45	2	10.34	9.44	2	10.52	9.26
1.0	10.52	9.26	10.54	9.25	10.32	9.46	2	10.33	9.45	2	10.34	9.44	2	10.52	9.26
1.2	10.52	9.26	10.50	9.28	10.32	9.46	2	10.33	9.45	2	10.34	9.44	2	10.52	9.26
1.4	10.52	9.26	10.32	9.46	10.32	9.46	2	10.33	9.45	2	10.34	9.44	2	10.52	9.26
1.5	10.52	9.26	10.23	9.55	10.29	9.49	1	10.30	9.48	1	10.34	9.44	1	10.52	9.26
2.0	10.52	9.26	10.07	9.71	10.29	9.49	1	10.30	9.48	1	10.31	9.47	1	10.52	9.26
2.5	10.52	9.26	10.02	9.76	10.29	9.49	1	10.30	9.48	1	10.31	9.47	1	10.52	9.26
3.0	10.52	9.26	10.00	9.78	10.29	9.49	1	10.30	9.48	1	10.31	9.47	1	10.52	9.26
4.0	10.52	9.26	9.97	9.81	10.29	9.49	1	10.30	9.48	1	10.31	9.47	1	10.52	9.26
5.0	10.52	9.26	9.96	9.82	10.29	9.49	1	10.30	9.48	1	10.31	9.47	1	10.52	9.26

ตารางที่ ก40. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 25, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.45	9.33	10.25	9.53	10.29	9.49	3	10.30	9.49	3	10.31	9.47	3	10.45	9.33
0.6	10.45	9.33	10.37	9.42	10.27	9.51	2	10.28	9.50	2	10.31	9.47	3	10.45	9.33
0.7	10.45	9.33	10.33	9.45	10.27	9.51	2	10.28	9.50	2	10.29	9.49	2	10.45	9.33
0.8	10.45	9.33	10.40	9.38	10.27	9.51	2	10.28	9.50	2	10.29	9.49	2	10.45	9.33
0.9	10.45	9.33	10.44	9.34	10.27	9.51	2	10.28	9.50	2	10.29	9.49	2	10.45	9.33
1.0	10.45	9.33	10.44	9.34	10.27	9.51	2	10.28	9.50	2	10.29	9.49	2	10.45	9.33
1.2	10.45	9.33	10.25	9.53	10.27	9.51	2	10.28	9.50	2	10.29	9.49	2	10.45	9.33
1.4	10.45	9.33	10.20	9.59	10.25	9.54	1	10.25	9.53	1	10.27	9.51	1	10.45	9.33
1.5	10.45	9.33	10.14	9.64	10.25	9.54	1	10.25	9.53	1	10.27	9.51	1	10.45	9.33
2.0	10.45	9.33	10.04	9.75	10.25	9.54	1	10.25	9.53	1	10.27	9.51	1	10.45	9.33
2.5	10.45	9.33	10.00	9.79	10.25	9.54	1	10.25	9.53	1	10.27	9.51	1	10.45	9.33
3.0	10.45	9.33	9.98	9.80	10.25	9.54	1	10.25	9.53	1	10.27	9.51	1	10.45	9.33
4.0	10.45	9.33	9.95	9.83	10.25	9.54	1	10.25	9.53	1	10.27	9.51	1	10.45	9.33
5.0	10.45	9.33	9.93	9.85	10.25	9.54	1	10.25	9.53	1	10.27	9.51	1	10.45	9.33

ตารางที่ ก41. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 30, λ=40, n^{*}=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.40	9.38	10.23	9.55	10.25	9.53	3	10.26	9.52	3	10.27	9.51	3	10.40	9.38
0.6	10.40	9.38	10.34	9.44	10.24	9.54	2	10.25	9.53	2	10.26	9.52	2	10.40	9.38
0.7	10.40	9.38	10.40	9.39	10.24	9.54	2	10.25	9.53	2	10.26	9.52	2	10.40	9.38
0.8	10.40	9.38	10.36	9.42	10.24	9.54	2	10.25	9.53	2	10.26	9.52	2	10.40	9.38
0.9	10.40	9.38	10.35	9.43	10.24	9.54	2	10.25	9.53	2	10.26	9.52	2	10.40	9.38
1.0	10.40	9.38	10.26	9.52	10.24	9.54	2	10.25	9.53	2	10.26	9.52	2	10.40	9.38
1.2	10.40	9.38	10.16	9.62	10.21	9.57	1	10.22	9.56	1	10.26	9.52	2	10.40	9.38
1.4	10.40	9.38	10.08	9.70	10.21	9.57	1	10.22	9.56	1	10.23	9.55	1	10.40	9.38
1.5	10.40	9.38	10.06	9.72	10.21	9.57	1	10.22	9.56	1	10.23	9.55	1	10.40	9.38
2.0	10.40	9.38	9.99	9.79	10.21	9.57	1	10.22	9.56	1	10.23	9.55	1	10.40	9.38
2.5	10.40	9.38	9.97	9.81	10.21	9.57	1	10.22	9.56	1	10.23	9.55	1	10.40	9.38
3.0	10.40	9.38	9.96	9.82	10.21	9.57	1	10.22	9.56	1	10.23	9.55	1	10.40	9.38
4.0	10.40	9.38	9.95	9.84	10.21	9.57	1	10.22	9.56	1	1023	9.55	1	10.40	9.38
5.0	10.40	9.38	9.93	9.85	10.21	9.57	1	10.22	9.56	1	10.23	9.55	1	10.40	9.38

ตารางที่ ก42. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 35, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.37	9.41	10.24	9.54	10.21	9.57	2	10.22	9.56	2	10.24	9.54	3	10.37	9.41
0.6	10.37	9.41	10.31	9.47	10.21	9.57	2	10.22	9.56	2	10.23	9.55	2	10.37	9.41
0.7	10.37	9.41	10.35	9.43	10.21	9.57	2	10.22	9.56	2	10.23	9.55	2	10.37	9.41
0.8	10.37	9.41	10.35	9.43	10.21	9.57	2	10.22	9.56	2	10.23	9.55	2	10.37	9.41
0.9	10.37	9.41	10.29	9.49	10.21	9.57	2	10.22	9.56	2	10.23	9.55	2	10.37	9.41
1.0	10.37	9.41	10.22	9.56	10.21	9.57	2	10.22	9.56	2	10.23	9.55	2	10.37	9.41
1.2	10.37	9.41	10.09	9.69	10.19	9.59	1	10.20	9.58	1	10.21	9.57	1	10.37	9.41
1.4	10.37	9.41	10.04	9.74	10.19	9.59	1	10.20	9.58	1	10.21	9.57	1	10.37	9.41
1.5	10.37	9.41	10.02	9.76	10.19	9.59	1	10.20	9.58	1	10.21	9.57	1	10.37	9.41
2.0	10.37	9.41	9.98	9.80	10.19	9.59	1	10.20	9.58	1	10.21	9.57	1	10.37	9.41
2.5	10.37	9.41	9.96	9.82	10.19	9.59	1	10.20	9.58	1	10.21	9.57	1	10.37	9.41
3.0	10.37	9.41	9.94	9.84	10.19	9.59	1	10.20	9.85	1	10.21	9.57	1	10.37	9.41
4.0	10.37	9.41	9.94	9.84	10.19	9.59	1	10.20	9.58	1	10.21	9.57	1	10.37	9.41
5.0	10.37	9.41	9.93	9.85	1019	9.59	1	10.20	9.58	1	10.21	9.57	1	10.37	9.41

ตารางที่ ก43. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 40, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.33	9.45	10.23	9.55	10.19	9.59	2	10.20	9.58	2	10.21	9.57	2	10.33	9.45
0.6	10.33	9.45	10.28	9.50	10.19	9.59	2	10.20	9.58	2	10.21	9.57	2	10.33	9.45
0.7	10.33	9.45	10.31	9.47	10.19	9.59	2	10.20	9.58	2	10.21	9.57	2	10.33	9.45
0.8	10.33	9.45	10.33	9.45	10.19	9.59	2	10.20	9.58	2	10.21	9.57	2	10.33	9.45
0.9	10.33	9.45	10.26	9.52	10.19	9.59	2	10.20	9.58	2	10.21	9.57	2	10.33	9.45
1.0	10.33	9.45	10.16	9.62	10.19	9.59	2	10.20	9.58	2	10.21	9.57	2	10.33	9.45
1.2	10.33	9.45	10.06	9.72	10.17	9.61	1	10.18	9.60	1	10.19	9.59	1	10.33	9.45
1.4	10.33	9.45	10.02	9.76	10.17	9.61	1	10.18	9.60	1	10.19	9.59	1	10.33	9.45
1.5	10.33	9.45	10.00	9.78	10.17	9.61	1	10.18	9.60	1	10.19	9.59	1	10.33	9.45
2.0	10.33	9.45	9.97	9.81	10.17	9.61	1	10.18	9.60	1	10.19	9.59	1	10.33	9.45
2.5	10.33	9.45	9.95	9.83	10.17	9.61	1	10.18	9.60	1	10.19	9.59	1	10.33	9.45
3.0	10.33	9.45	9.94	9.84	10.17	9.61	1	10.18	9.60	1	10.19	9.59	1	10.33	9.45
4.0	10.33	9.45	9.92	9.86	10.17	9.61	1	1018	9.60	1	10.19	9.59	1	10.33	9.45
5.0	10.33	9.45	9.92	9.86	10.17	9.61	1	10.18	9.60	1	10.19	9.59	1	10.33	9.45

ตารางที่ ก44. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 45, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.31	9.47	10.27	9.51	10.18	9.60	2	10.18	9.60	2	10.19	9.59	2	10.31	9.47
0.6	10.31	9.47	10.31	9.47	10.18	9.60	2	10.18	9.60	2	10.19	9.59	2	10.31	9.47
0.7	10.31	9.47	10.28	9.50	10.18	9.60	2	10.18	9.60	2	10.19	9.59	2	10.31	9.47
0.8	10.31	9.47	10.28	9.50	10.18	9.60	2	10.18	9.60	2	10.19	9.59	2	10.31	9.47
0.9	10.31	9.47	10.20	9.58	10.18	9.60	2	10.18	9.60	2	10.19	9.59	2	10.31	9.47
1.0	10.31	9.47	10.17	9.61	10.61	9.17	1	10.16	9.62	1	10.19	9.59	1	10.31	9.47
1.2	10.31	9.47	10.05	9.73	10.61	9.17	1	10.16	9.62	1	10.17	9.61	1	10.31	9.47
1.4	10.31	9.47	10.01	9.77	10.61	9.17	1	10.16	9.62	1	10.17	9.61	1	10.31	9.47
1.5	10.31	9.47	10.00	9.78	10.61	9.17	1	10.16	9.62	1	10.17	9.61	1	10.31	9.47
2.0	10.31	9.47	9.96	9.82	10.61	9.17	1	10.16	9.62	1	10.17	9.61	1	10.31	9.47
2.5	10.31	9.47	9.95	9.83	10.61	9.17	1	10.16	9.62	1	10.17	9.61	1	10.31	9.47
3.0	10.31	9.47	9.94	9.84	10.61	9.17	1	10.16	9.62	1	10.17	9.61	1	10.31	9.47
4.0	10.31	9.47	9.92	9.86	10.61	9.17	1	10.16	9.62	1	10.17	9.61	1	10.31	9.47
5.0	10.31	9.47	9.92	9.86	10.61	9.17	1	10.16	9.62	1	10.17	9.61	1	10.31	9.47

ตารางที่ ก45. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิจำแนกตามขนาดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย γ เมื่อ n = 50, λ=40, n^*=4, m=40

γ	$\bar{X}$		EWMA		SYN(ARL_0=300)			SYN(ARL_0=370)			SYN(ARL_0=500)			RUNSUM	
	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL	L	UCL	LCL
0.5	10.29	9.49	10.25	9.53	10.16	9.62	2	10.17	9.61	2	10.17	9.61	2	10.29	9.49
0.6	10.29	9.49	10.26	9.52	10.16	9.62	2	10.17	9.61	2	10.17	9.61	2	10.29	9.49
0.7	10.29	9.49	10.26	9.52	10.16	9.62	2	10.17	9.61	2	10.17	9.61	2	10.29	9.49
0.8	10.29	9.49	10.20	9.58	10.16	9.62	2	10.17	9.61	2	10.17	9.61	2	10.29	9.49
0.9	10.29	9.49	10.09	9.69	10.16	9.62	2	10.17	9.61	2	10.17	9.61	2	10.29	9.49
1.0	10.29	9.49	10.05	9.73	10.14	9.64	1	10.15	9.63	1	10.17	9.61	2	10.29	9.49
1.2	10.29	9.49	10.01	9.77	10.14	9.64	1	10.15	9.63	1	10.16	9.62	1	10.29	9.49
1.4	10.29	9.49	9.98	9.80	10.14	9.64	1	10.15	9.63	1	10.16	9.62	1	10.29	9.49
1.5	10.29	9.49	9.98	9.80	10.14	9.64	1	10.15	9.63	1	10.16	9.62	1	10.29	9.49
2.0	10.29	9.49	9.95	9.83	10.14	9.64	1	10.15	9.63	1	10.16	9.62	1	10.29	9.49
2.5	10.29	9.49	9.93	9.85	10.14	9.64	1	10.15	9.63	1	10.16	9.62	1	10.29	9.49
3.0	10.29	9.49	9.93	9.85	10.14	9.64	1	10.15	9.63	1	10.16	9.62	1	10.29	9.49
4.0	10.29	9.49	9.92	9.86	10.14	9.64	1	10.15	9.63	1	10.16	9.62	1	10.29	9.49
5.0	10.29	9.49	9.92	9.86	10.14	9.64	1	10.15	9.63	1	10.16	9.62	1	10.29	9.49

ตารางที่ ก46. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 4 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	29.2	11.0	11.6	13.0	15.0	5.9*
0.6	18.7	8.1	7.7	8.2	9.0	4.5*
0.7	12.6	6.1	5.1	5.6	6.2	3.7*
0.8	8.7	4.9	3.7	3.9	4.3	3.1*
0.9	6.3	4.0	2.8	2.9	3.1	2.7*
1.0	4.8	3.4	2.2*	2.3	2.5	2.4
1.1	3.7	2.9	1.8*	1.9	2.0	2.2
1.2	2.9	2.5	1.6*	1.6*	1.7	2.0
1.3	2.4	2.3	1.4*	1.4*	1.5*	1.8
1.4	2.0	2.0	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
1.5	1.7	1.8	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
2.0	1.1	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
2.3	1.0*	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก47.</u> จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อ n = 5 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	22.4	9.1	8.8	9.6	10.7	5.0*
0.6	14.1	6.6	5.7	6.0	6.6	3.9*
0.7	9.0	5.2	3.9	4.1	4.4	3.2*
0.8	6.3	4.1	2.8	2.9	3.2	2.7*
0.9	4.7	3.4	2.1*	2.2	2.4	2.4
1.0	3.5	2.9	1.8*	1.9	1.9	2.1
1.1	2.7	2.5	1.5*	1.6	1.6	1.9
1.2	2.2	2.1	1.4*	1.4*	1.4*	1.7
1.3	1.8	1.9	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
1.4	1.6	1.7	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
1.5	1.4	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
1.7	1.2	1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.3
2.0	1.0*	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก48. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n = 6

λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	17.6	7.7	7.1	7.8	8.8	4.5*
0.6	10.9	5.7	4.6	5.0	5.3	3.5*
0.7	7.2	4.4	3.2	3.4	3.6	2.9*
0.8	5.1	3.6	2.3*	2.4	2.6	2.4
0.9	3.7	3.0	1.8*	1.8*	1.9	2.1
1.0	2.8	2.5	1.5*	1.5*	1.6	1.9
1.1	2.2	2.1	1.3*	1.4*	1.4*	1.7
1.2	1.8	1.9	1.2*	1.2*	1.3*	1.6
1.3	1.5	1.6	1.2*	1.2*	1.2*	1.4
1.4	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.5	1.3	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.9	1.0*	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.91	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก49.</u> จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n = 7 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	14.1	6.8	6.0	6.4	7.2	4.1*
0.6	8.8	5.0	3.8	4.1	4.5	3.2*
0.7	5.9	3.9	2.7	2.8	3.0	2.6*
0.8	4.1	3.2	2.0*	2.1	2.2	2.3
0.9	3.0	2.6	1.6*	1.7	1.7	2.0
1.0	2.4	2.2	1.4*	1.4*	1.5	1.8
1.1	1.8	1.9	1.2*	1.2*	1.3*	1.6
1.2	1.6	1.6	1.1*	1.1*	1.2*	1.5
1.3	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.4	1.2	1.2	1.0*	1.1*	1.1*	1.2
1.5	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.78	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก50. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n = 8 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	12.5	6.1	4.9	5.2	5.8	3.7*
0.6	7.5	4.5	3.2	3.3	3.5	3.0*
0.7	4.8	3.5	2.3*	2.4	2.5	2.5
0.8	3.3	2.9	1.8*	1.8*	1.9	2.1
0.9	2.5	2.4	1.5*	1.5*	1.5*	1.8
1.0	2.0	2.0	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
1.1	1.6	1.7	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
1.2	1.4	1.5	1.1*	1.1*	1.2	1.4
1.3	1.3	1.3	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.4	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.5	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.67	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก51. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n = 9

λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	10.7	5.6	4.3	4.7	5.2	3.4*
0.6	6.6	4.1	2.8	2.9	3.1	2.7*
0.7	4.2	3.2	2.0*	2.1	2.2	2.2
0.8	2.9	2.6	1.6*	1.7	1.7	1.9
0.9	2.2	2.1	1.4*	1.4*	1.4*	1.7
1.0	1.8	1.8	1.2*	1.2*	1.3	1.5
1.1	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
1.2	1.3	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.3	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.4	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.5	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.58	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก52. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n=10 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	9.0	5.1	3.7	3.9	4.4	3.3*
0.6	5.5	3.8	2.5*	2.7	2.8	2.5*
0.7	3.6	3.0	1.8*	1.9	2.0	2.1
0.8	2.6	2.4	1.5*	1.5*	1.6	1.8
0.9	1.9	2.0	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
1.0	1.6	1.6	1.1*	1.1*	1.2*	1.5
1.1	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.2	1.2	1.3	1.0*	1.0*	1.1*	1.2
1.3	1.1	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.4	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.5	1.0*	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.51	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก53. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n=15 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	5.1	3.7	2.4*	2.6	2.8	2.5
0.6	3.3	2.8	1.7*	1.8	1.9	2.1
0.7	2.2	2.2	1.4*	1.4*	1.4*	1.8
0.8	1.7	1.7	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
0.9	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
1.0	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.1	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก54. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n=20 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	3.5	2.9	1.8*	1.9	2.0	2.2
0.6	2.2	2.2	1.4*	1.4*	1.5	1.8
0.7	1.7	1.7	1.2*	1.2*	1.2*	1.5
0.8	1.3	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
0.9	1.1	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
1.0	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
1.06	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก55. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n=25 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	2.7	2.4	1.5*	1.5*	16	1.9
0.6	1.8	1.8	1.2*	1.2*	1.3	1.6
0.7	1.4	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
0.8	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
0.9	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.96	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก56. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n=30 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	2.2	2.1	1.4*	1.4*	1.4*	1.7
0.6	1.5	1.6	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.61	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.62	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.7	1.2	1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
0.8	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.88	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก57. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n=35 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	1.8	1.9	1.3*	1.3*	1.3*	1.6
0.58	1.4	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.6	1.3	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
0.7	1.1	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
0.8	1.0*	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก58. จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n=40 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	1.6	1.7	1.2*	1.2*	1.3	1.5
0.6	1.2	1.3	1.0*	1.0*	1.1	1.3
0.7	1.1	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.76	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.8	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก59.</u> จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n=45 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	1.4	1.5	1.1*	1.1*	1.2	1.4
0.51	1.5	1.5	1.1*	1.1*	1.1*	1.4
0.6	1.2	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.2
0.7	1.0*	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.73	1.0*	1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.8	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก60.จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมเมื่อ n=50 λ=40, n^{*}=4, m=40

Chart / γ	$\bar{X}$	EWMA	SYNTHETIC			RUNSUM
			ARL_0=300	ARL_0=370	ARL_0=500	
0.5	1.3	1.4	1.1*	1.1*	1.1*	1.3
0.6	1.1	1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.1
0.69	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.7	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.8	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
0.9	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.1	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.2	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.3	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.4	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
1.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
2.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
3.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.0	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*
4.5	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*	1.0*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำสุด ใน γ ขนาดต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีการคำนวณค่า $\bar{\bar{x}}$, $\bar{s}$ และ $c(n^*)$ กรณีไม่ทราบค่า μ และ σ^2

การประมาณค่า μ ด้วยตัวประมาณไม่เอนเอียง $\bar{\bar{x}}$ ดังนี้

$$\bar{\bar{x}} = \frac{(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \ldots + \bar{x}_m)}{m}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n^*m} x_i}{n^* m}$$

การประมาณค่า σ ด้วยตัวประมาณไม่เอนเอียงดังนี้

จากแต่ละค่า

$$s_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}_1)^2}{n^* - 1}}$$

$$s_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_{n+i} - \bar{x}_2)^2}{n^* - 1}}$$

.

.

.

$$s_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_{(m-1)n^*+i} - \bar{x}_m)^2}{n^* - 1}}$$

ถ้าให้ $\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \ldots s_m}{m}$ ตัวสถิติ $\bar{s}$ ตามนี้จะเป็นตัวประมาณเอนเอียง นั่นคือ $E(\bar{s}) \neq \sigma$ ฉะนั้น จะต้องปรับตัวสถิตินี้ได้ว่า

$E(\bar{s}) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} E(s_i) = E(s_1)$ เพราะว่า $s_1, s_2, \ldots, s_k$ เป็นอิสระกัน และต่างมีการแจกแจงเหมือนกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ให้ $y = \frac{(n-1)s_1^2}{\sigma^2}$

เนื่องจาก $y \sim \chi^2(n-1)$ ฉะนั้น

$$E(\sqrt{y}) = \int_0^\infty \frac{y^{1/2} y^{\frac{(n-1)}{2}-1} e^{-y/2}}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right) 2^{(n-1)/2}} dy$$

$$= \frac{1}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right) 2^{(n-1)/2}} \int_0^\infty y^{\frac{n}{2}-1} e^{-y/2} dy$$

$$= \frac{\sqrt{2}}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \int_0^\infty x^{\frac{n}{2}-1} e^{-x} dx \qquad \text{(ให้ } x = y/2\text{)}$$

$$= \frac{\sqrt{2}\,\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}$$

ซึ่งเท่ากับ $E\left(\sqrt{\frac{(n-1)s_1^2}{\sigma^2}}\right) = \frac{\sqrt{n-1}}{\sigma} E(s_1) = \frac{\sqrt{n-1}}{\sigma} E(\bar{s})$

ดังนั้น $E(\bar{s}) = \frac{\sigma\sqrt{2}\,\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\sqrt{n-1}\,\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}$

เมื่อให้ $c(n) = \frac{\sqrt{2}\,\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\sqrt{n-1}\,\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}$ ได้ว่า

$\frac{\bar{s}}{c(n)}$ เป็นตัวประมาณไม่เอนเอียงของ σ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างตารางเลขสุ่ม

โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ

โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างฟังก์ชันปกติสะสม

โปรแกรมสำหรับคำนวณจำนวนคาบเวลาโดยเฉลี่ย(ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด

โปรแกรมสำหรับคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด

รายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างตารางเลขสุ่ม

```
!
!   ***FUNCTION FOR GENERATING RANDOM NUMBERS U(0,1)
!
    FUNCTION U(IX)
          REAL U
          IX = IX*16807
          IF(IX .LE. 0.0) IX = IX+2147483647+1
          FLT = IX
          U = FLT/2147483647
          RETURN
          END
```

โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ

```
!
!  ***FUNCTION FOR GENERATING NORMAL RANDOM ERRORS N(MEAN,VAR)
!
          FUNCTION EPS(IX,EMEAN,EVAR)
          REAL*8 A,B
          U1 = U(IX)
          U2 = U(IX)
          A = -2.0*ALOG(U1)
          B = 6.283185*U2
          ZSCORE = DSQRT(A)*DCOS(B)
          EPS = SQRT(EVAR)*ZSCORE + EMEAN
          RETURN
          END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างฟังก์ชันปกติสะสม</u>

```
!
!    ***FUNCTION FOR COMPUTING CDF VALUE OF N(0,1)
!
     FUNCTION CDFZ(Z)
           DIMENSION A(6)
           A(1) = 0.0705230784
           A(2) =0.0422820123
           A(3) =0.0092705272
           A(4) =0.0001520143
           A(5) =0.0002765672
           A(6) =0.0000430838
           B = 1.0
           DO 5 I =1,6
            B = B + (A(I)*(ABS(Z)/SQRT(2.0))**I)
   5 CONTINUE
     F = B**(-16)
           IF (Z) 10,10,20
  10 CDFZ = F/2.0
     RETURN
  20 CDFZ = 1.0 - F/2.0
     RETURN
  END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>โปรแกรมแสดงการคำนวณค่าคาบเวลาโดยเฉลี่ย(ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ สำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย</u>

```
!
!     TITLE: QUALITY CONTROL FOR THE CONSTANT MEAN PROCESS
!
          DIMENSION
          ALPHA(30,10),ARLX(10),ARLE(10),ARLS(10),ARLR(10),ETA(30),ELL(30,10),EUL
          (30,10),N(10),SXLL(30,10),SXUL(30,10),XLL(30,10),XUL(30,10),RUL(30,10),RLL(
          30,10)
          INTEGER SEED,CRL,SCRL(30,10)
          REAL    MUO,XBAR,SDIF,DIF,S,SBAR,XBARS,CN,R(10)
          CHARACTER
          ANS*1,LINE(150)*1,NAME*20,STLINEA(5)*30,STLIN(5)*35,STNAMEA(5)*29,STN
          AMEC(5)*34
           DATA LINE/150*'_'/
           DATA STNAMEA/5*'X-BAR  EWMA  SYNTHE  RS'/,STNAMEC/5*'X-BAR  EWMA
          SYNTHE  RS'/
          DATA  STLINEA/5*'_____'/,STLINEC/5*'_____
          _____'/

    1 WRITE(*,2)
    2 FORMAT(///,13X,'#*#*# WELCOME TO QUALITY CONTROL #*#*#')
      WRITE(*,35)
   35 FORMAT(///,2X,'ENTER AN OUT-PUT FILE NAME:')
      READ(*,37)NAME
   37 FORMAT(A20)
!           open(3,file='a:arl.dat')
      OPEN(800,FILE=NAME)

    4 WRITE(*,5)
```

```
   5 FORMAT(//,23X,'**CONSTANT MEAN PROCESS**',//,23X,'  OPERATION',//,23X,'1)
ANALYZE',/,23X,'2)  EXIT',/,23X,'_________________')

  7 WRITE(*,8)
   8 FORMAT(/,23X,'ENTER YOUR CHOICE:')
     READ(*,11)KANS
     IF(KANS .LT. 1 .OR. KANS .GT. 2)THEN
              PRINT*,'**SORRY,YOU HAVE TO ENTER 1 OR 2 RE-ENTER.'
              GO TO 7
            END IF
            IF (KANS .EQ. 1)GO TO 301
            WRITE(*,9)
   9 FORMAT(//,13X,'   ## END OF QUALITY CONTROL  ##',/,13X,'   ####   GOOD - BYE
####',///)
  GO TO 209

  301 WRITE(*,10)
   10 FORMAT(//,2X,'ENTER A RUN-IN PERIOD L:(6-200)')
     READ(*,11)L
   11 FORMAT(I4)
     IF(L .LT. 6 .OR. L .GT. 200)THEN
              PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
              GO TO 301
     END IF

  303 WRITE(*,12)
   12 FORMAT(/,2X,'ENTER A PROCESS MEAN,MUO:(0.0-999.9)')
     READ(*,13)MUO
   13 FORMAT(F6.0)
     IF(MUO .LT. 0 .OR. MUO .GT. 999.9)THEN
              PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            GO TO 303
          END IF

 307 WRITE(*,16)
  16 FORMAT(/,2X,'ENTER A VARIANCE OF RANDOM ERROR:(0.0-999.9)')
    READ(*,13)EVAR
    IF(EVAR .LT. 0 .OR. EVAR .GT. 999.9)THEN
            PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
            GO TO 307
          END IF

    WRITE(*,18)
  18 FORMAT(/,2X,'ENTER SIZE OF THE SHIFT IN STANDARD DEVIATION
UNITS,ETA:(-99.99,99.99)')

 309 WRITE(*,19)
  19 FORMAT(/,2X,'HOW MANY ETAS?(1-30)')
          READ(*,11)NETA
    IF(NETA .LT. 1 .OR. NETA .GT. 30)THEN
            PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
            GO TO 309
          END IF

          DO 21 K = 1, NETA
 311 WRITE(*,20)K
  20 FORMAT(/,1X,'ETA(',I2,')=')
    READ(*,13)ETA(K)
    IF(ETA(K) .LT. -99.99 .OR. ETA(K) .GT. 99.99)THEN
            PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE(-99.99,99.99).RE-ENTER.'
            GO TO 311
          END IF
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 21 CONTINUE


    WRITE(*,22)
 22 FORMAT(/,2X,'ENTER SAMPLE SIZE?N:(INTERGER:1-100)')
313 WRITE(*,23)
 23 FORMAT(/,2X,'HOW MANY SAMPLE SIZE?(1-3)')
          READ(*,11)NSAM
    IF(NSAM .LT. 1 .OR. NSAM .GT. 3)THEN
             PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
             GO TO 313
          END IF


          DO 25 K = 1, NSAM
315 WRITE(*,24)K
 24 FORMAT(/,1X,'N(',I2,')=')
    READ(*,11)N(K)
    IF(N(K) .LT. 1 .OR. N(K) .GT. 100)THEN
             PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE(INTEGER:1-100).RE-ENTER.'
             GO TO 315
          END IF
 25 CONTINUE


 317 WRITE(*,26)
 26 FORMAT(/,2X,'ENTER THE VALUE ARL(0) FOR THE SYNTHETIC CHART:(100.0-
999.9)')
    READ(*,13)ARLO
    IF(ARLO .LT. 100.0 .OR. ARLO .GT. 999.9)THEN
             PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
             GO TO 317
          END IF
 321 WRITE(*,29)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 29 FORMAT(/,2X,'ENTER A SEED:(INTEGER:1-9999999)')
   READ(*,11)SEED
   IF(SEED .LT. 1 .OR. SEED .GT. 9999999)THEN
            PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
            GO TO 321
          END IF

323 WRITE(*,32)
 32 FORMAT(/,2X,'ENTER NUMBER OF SIMULATION RUNS:(1-100000)')
   READ(*,11)NROUND
   IF(NROUND .LT. 1 .OR. NROUND .GT. 100000)THEN
            PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
            GO TO 323
          END IF

 40 ANS=''
   WRITE(*,43)
 43 FORMAT(///,2X,'RE-ENTER(Y/N)?')
   READ(*,44)ANS
 44 FORMAT(A1)
   IF(ANS .EQ. 'Y' .OR. ANS .EQ. 'y')THEN
        GO TO 4
         ELSE IF(ANS .EQ. 'N' .OR. ANS .EQ. 'n')THEN
          GO TO 50
         ELSE
                PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
          GO TO 40
          END IF

 50 CONTINUE
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
  WRITE(*,52)
 52 FORMAT(//,2X,'***PLEASE WAIT,YOUR JOB IS IN PROCESS.')

    ESD=SQRT(EVAR)
          DO 55 K = 1,30
           ETA(K)=ETA(K)*ESD
 55 CONTINUE

    WRITE(800,59)
 59 FORMAT(///,40X,'***CONSTANT MEAN PROCESS****')

    IS = SEED
          DO 61 K =1,L
            DUMMY = MUO + EPS(IS,EMEAN,EVAR)
 61 CONTINUE
          IX=IS
          IXI=IS
          RL = 0.0
    SUM = 0.0
    SUMX = 0.0
  DO 917 M=1,25
          SUMX=0.0
          SDIF=0.0
  DO 915 I = 1,5
           X = MUO + EPS(IXI,EMEAN,EVAR)
           SUMX = SUMX + X
           R(I)=X
915 CONTINUE
    XBAR = SUMX/5
  DO 916 J=1,5
         DIF = (R(J)-XBAR)**2
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            SDIF = SDIF+DIF
 916 CONTINUE
            S= SQRT(SDIF/4)
            SXBAR=SXBAR+XBAR
            SUMS=SUMS+S
 917 CONTINUE
            XBARS=SXBAR/25
            SBAR=SUMS/25
            CN=(3*SQRT(2*3.141592654)/8)
            ZIG=SBAR/CN
            MUO=XBARS
       ESD=ZIG
!
!     ***FIND CONTROL LIMITS
!
             DO 99 I = 1, NETA
               ETAI = ETA(I)
             DO 99 J = 1, NSAM
             SIZEN = N(J)

!***  X-BAR CHART
        XSD = 3.0*ESD/SQRT(SIZEN)
             XUL(I,J) = MUO + XSD
             XLL(I,J) = MUO - XSD
!***  EWMA CHART
        IXI = IX
             CALL CLEW(IXI,SIZEN,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,ALPH,CUL,CLL)
             EUL(I,J) = CUL
             ELL(I,J) = CLL
             ALPHA(I,J) = ALPH
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 !***  SYNTHETIC CHART
      CALL CLSYN(SIZEN,ETAI,ARLO,SK,CRL)
            SSD = SK*ESD/SQRT(SIZEN)
            SXUL(I,J) = MUO + SSD
            SXLL(I,J) = MUO - SSD
            SCRL(I,J) = CRL

!***  RUNSUM CHART
            RSD=3*ESD/SQRT(SIZEN)
            RUL(I,J)=MUO+RSD
            RLL(I,J)=MUO-RSD

   99 CONTINUE

!
!     ***PRINT CONTROL LIMITS
!
            WRITE(800,105)
  105 FORMAT(///,40X,'+++TABLE OF CONTROL LIMITS+++')
            WRITE(800,107)MUO,EVAR,L
  107 FORMAT(/,20X,'PROCESS MEAN=',F7.2,'PROCESS VARIANCE=', F7.2,'RUN-IN
PERIOD = ',I3)
            NDASH = 38*NSAM + 9
            WRITE(800,109)(LINE(K),K = 1,NDASH)
  109 FORMAT(128A1)
            WRITE(800,111)(N(K),K = 1,NSAM)
  111 FORMAT(2X,'SHIFT\N',19X,3(I3,35X))
      WRITE(800,113)(STLINEC(K),K = 1,NSAM)
  113 FORMAT(9X,3(3X,A35))
      WRITE(800,115)(STNAMEC(K),K = 1,NSAM)
  115 FORMAT(9X,3(4X,A34))
```

```
            WRITE(800,109)(LINE(K),K = 1,NDASH)
            DO 130 I = 1,NETA
            WRITE(800,117)ETA(I),(XUL(I,J),EUL(I,J),SXUL(I,J),RUL(I,J),J = 1,NSAM)
 117 FORMAT(/,1X,F6.2,4X,3(F7.2,1X,F7.2,2X,F7.2,7X,F7.2,2X))
            WRITE(800,118)(XLL(I,J),ELL(I,J),SXLL(I,J),RLL(I,J),SCRL(I,J),J = 1,NSAM)
 118 FORMAT(9X,3(4X,F7.2,2X,F7.2,2X,F7.2,2X,F7.2,2X,I3))
 130 CONTINUE
!
!           ***PRINT HEADING OF THE TABLE OF ARL VALUES
!
    WRITE(800,135)
 135 FORMAT(///,40X,'***TABLE OF ARL VALUES***')
    WRITE(800,107)MUO,EVAR,L
            NDASH = 33*NSAM+9
            WRITE(800,137)(LINE(K),K=1,NDASH)
 137 FORMAT(125A1)
            WRITE(800,139)(N(K),K=1,NSAM)
 139 FORMAT(2X,'SHIFT\N',17X,3(I3,30X))
    WRITE(800,141)(STLINEA(K),K = 1,NSAM)
 141 FORMAT(9X,3(3X,A30))
    WRITE(800,142)(STNAMEA(K),K = 1,NSAM)
 142 FORMAT(9X,3(4X,A29))
    WRITE(800,137)(LINE(K),K = 1,NDASH)
!
!    ***COMPUTE ARL OF EACH CONTROL CHART
!
    DO 180 I = 1,NETA
      ETAI = ETA(I)
            DO 155 J = 1,NSAM
            SIZEN = N(J)
```

```
            IXI = IX
            CUL = XUL(I,J)
            CLL = XLL(I,J)
            CALL ARLXBAR(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ARL)
            ARLX(J) = ARL

            IXI = IX
            CUL = EUL(I,J)
            CLL = ELL(I,J)
            ALPH = ALPHA(I,J)
CALL ARLEW(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ALPH,ARL)
            ARLE(J) = ARL

            IXI = IX
            CUL = SXUL(I,J)
            CLL = SXLL(I,J)
            CRL = SCRL(I,J)
 CALLARLSYN(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,CRL,ARL)
            ARLS(J) = ARL

            IXI = IX
            CUL = RUL(I,J)
            CLL = RLL(I,J)
            CALL ARLRS(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ARL)
            ARLR(J) = ARL
 155 CONTINUE

            WRITE(800,173)ETA(I),(ARLX(K),ARLE(K),ARLS(K),ARLR(K),K=1,NSAM)
 173 FORMAT(/,1X,F6.2,2X,3(2X,F7.1,1X,F7.1,1X,F7.1,1X,F7.1))
 180 CONTINUE
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
      WRITE(*,205)
  205 FORMAT(/,2X,'**I HAVE FINISHED YOUR WORK.',/)
      GO TO 4
  209 CLOSE(800)
      END
!
!   ***FUNCTION FOR GENERATING RANDOM NUMBERS U(0,1)
!
      FUNCTION U(IX)
            REAL U
            IX = IX*16807
            IF(IX .LE. 0.0) IX = IX+2147483647+1
            FLT = IX
            U = FLT/2147483647
            RETURN
            END

!
!  ***FUNCTION FOR GENERATING NORMAL RANDOM ERRORS N(MEAN,VAR)
!
            FUNCTION EPS(IX,EMEAN,EVAR)
            REAL*8 A,B
            U1 = U(IX)
            U2 = U(IX)
            A = -2.0*ALOG(U1)
            B = 6.283185*U2
            ZSCORE = DSQRT(A)*DCOS(B)
            EPS = SQRT(EVAR)*ZSCORE + EMEAN
            RETURN
            END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
!
!     ***FUNCTION FOR COMPUTING CDF VALUE OF N(0,1)
!
      FUNCTION CDFZ(Z)
            DIMENSION A(6)
            A(1) = 0.0705230784
            A(2) =0.0422820123
            A(3) =0.0092705272
            A(4) =0.0001520143
            A(5) =0.0002765672
            A(6) =0.0000430838
            B = 1.0
            DO 5 I =1,6
              B = B + (A(I)*(ABS(Z)/SQRT(2.0))**I)
    5 CONTINUE
      F = B**(-16)
            IF (Z) 10,10,20
   10 CDFZ = F/2.0
      RETURN
   20 CDFZ = 1.0 - F/2.0
      RETURN
            END
!
!     ***SUBROUTINES FOR FINDING CONTROL LIMITS
!

SUBROUTINE CLEW(IXI,SIZEN,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,ALPHA,CUL,CLL)
            REAL ARL(100),MUO
            DATA NROUND/500/
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
      N = SIZEN
      NALP = 0
      ALPHA = 0.01
5 IF(ALPHA .GT. 0.99)GO TO 30
  NALP = NALP + 1
      SDE = 3.0*SQRT(EVAR*ALPHA/(SIZEN*(2.0-ALPHA)))
      CUL = MUO + SDE
      CLL = MUO - SDE
      RL = 0
      SUM = 0
      WO = MUO
      SUMX = 0.0
      IX = IXI
      DO 20 K = 1,NROUND
9 CONTINUE
  DO 19 I = 1,N
       X = MUO + ETAI + EPS(IX,EMEAN,EVAR)
       SUMX = SUMX+X
19 CONTINUE
  XBAR = SUMX/N
      SUMX = 0.0
      RL = RL + 1
      W1 = ALPHA*XBAR + (1.0-ALPHA)*WO
      WO = W1
      IF(W1 .GT. CUL .OR. W1 .LT. CLL)THEN
        SUM = SUM + RL
        RL = 0
            WO = MUO
      ELSE
        GO TO 9
      END IF
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
  20 CONTINUE
ARL(NALP) = SUM/NROUND
          ALPHA = ALPHA + 0.01
          GO TO 5
  30 CONTINUE
    ARLMIN = ARL(1)
          ALPHA = 0.01
          DO 40 K = 2,NALP
          IF (ARL(K) .GE. ARLMIN)GO TO 40
          ARLMIN = ARL(K)
          AK = K
          ALPHA = AK/100.0
  40 CONTINUE
    SDE = 3.0*SQRT(EVAR*ALPHA/(SIZEN*(2.0-ALPHA)))
          CUL = MUO + SDE
          CLL = MUO - SDE
          RETURN
          END

!*****
    SUBROUTINE CLSYN(SIZEN,ETAI,ARLO,SK,L)
          REAL*8 DEN,FFZ,NUM,PDFZ
          DATA MAX/15/
          L = 1
          NC = 1
          ARLS = 1000.0
          SKS = 1.0
          LS = 1
          SKO = 1.0
   9 DSKO = -1.0*SKO
    FZ = CDFZ(DSKO)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            FFZ = 1.0 - (1.0-2.0*FZ)**L
            PDFZ = (1.0/2.50662828)*(2.7182818**(-1.0*(SKO*SKO/2.0)))
            NUM = FZ*FFZ - (1.0/(2.0*ARLO))
            DEN = (-1.0*PDFZ*FFZ)-(2.0*L*((1.0-2.0*FZ)**(L-1))*PDFZ*FZ)
            SK1 = SKO - (NUM/DEN)
            Y =ABS(SK1 - SKO)
            IF(Y .LE. 0.0001)GO TO 90
            SKO = SK1
            IF(NC .GT. MAX) GO TO 80
            NC = NC + 1
            GO TO 9
   80 PRINT*,'**NEWTON does not coverge,redetermine Ko.'
      STOP
   90 CONTINUE
      ELEM1 = SK1-ETAI*SQRT(SIZEN)
            ELEM2 = -1.0*SK1-ETAI*SQRT(SIZEN)
            P = 1.0-CDFZ(ELEM1)+CDFZ(ELEM2)
            ARLE = (1.0/P)*(1.0/(1.0-(1.0-P)**L))
IF(ARLE .GE. ARLS) GO TO 100
            IF(L .GT. 100) THEN
              PRINT*,'**SYNTHETIC METHOD fails,redetermine ETA.'
              STOP
            END IF
            ARLS = ARLE
            SKS = SK1
            LS = L
            L = L + 1
            NC = 1
            GO TO 9
  100 SK = SKS
      L = LS
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
RETURN
      END
!
 !    ***SUBROUTINES FOR CALCULATING ARL'S
!*****
      SUBROUTINE
ARLXBAR(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ARL)
            REAL*8 SUM
            REAL  MUO
            N = SIZEN
            RL = 0.0
            SUM = 0.0
            DO 50 K = 1,NROUND
    9 RL = RL + 1
       SUMX = 0.0
            DO 15 I = 1,N
             X = MUO + ETAI + EPS(IXI,EMEAN,EVAR)
             SUMX = SUMX + X
   15 CONTINUE
      XBAR = SUMX/N
            IF(XBAR .LE. CLL .OR. XBAR .GE. CUL .OR. RL .GT. 500)THEN
              SUM = SUM + RL
              RL = 0
            ELSE
              GO TO 9
            END IF
   50 CONTINUE
      ARL = SUM/NROUND
            RETURN
            END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
!*****
      SUBROUTINE
ARLEW(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ALPHA,ARL)
            REAL*8 SUM
            REAL   MUO

            N = SIZEN
            RL = 0.0
            SUM = 0.0
            WO = MUO
            DO 50 K = 1,NROUND
    9 RL = RL + 1
      SUMX = 0.0
            DO 15 I = 1,N
      X = MUO + ETAI + EPS(IXI,EMEAN,EVAR)
      SUMX = SUMX + X
   15 CONTINUE
      XBAR = SUMX/N
      W1 = ALPHA*XBAR + (1.0-ALPHA)*WO
      WO = W1
            IF (W1 .LE. CLL .OR. W1 .GE. CUL .OR. RL .GT. 500)THEN
              SUM = SUM + RL
                  RL = 0
                  WO = MUO
            ELSE
              GO TO 9
            END IF
   50 CONTINUE
      ARL = SUM/NROUND
            RETURN
            END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
!*****
      SUBROUTINE
ARLSYN(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,CRL,ARL)
            REAL*8 SUM
            REAL  MUO
            INTEGER CRL,CRLI

            N = SIZEN
            CRLI = 0
            RL = 0
            SUM = 0
            DO 50 K = 1,NROUND
   9 RL = RL + 1
     SUMX = 0.0
            DO 15 I = 1,N
             X = MUO + ETAI +EPS(IXI,EMEAN,EVAR)
             SUMX = SUMX + X
  15 CONTINUE
     XBAR = SUMX/N
            CRLI = CRLI + 1
            IF(XBAR .LE. CLL .OR. XBAR .GE. CUL) GO TO 20
            GO TO 9
  20 IF(CRLI .LE. CRL .OR. RL .GT. 500)THEN
        SUM = SUM + RL
              RL = 0
                    CRLI = 0
            ELSE
              CRLI = 0
                    GO TO 9
            END IF
  50 CONTINUE
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
   ARL = SUM/NROUND
         RETURN
         END

!*****
   SUBROUTINE ARLRS(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ARL)

         REAL*8 SUM
         REAL   MUO
         ESD=SQRT(EVAR)
         N = SIZEN
         RS = 0.0
         RL = 0.0
         SUM = 0.0
         A=1
         DO 50 K = 1,NROUND
 9 RL = RL + 1
   SUMX = 0.0
         DO 15 I = 1,N
   X = MUO + ETAI + EPS(IXI,EMEAN,EVAR)
   SUMX = SUMX + X
15 CONTINUE
   XBAR = SUMX/N
         SIGM=ESD/SQRT(SIZEN)
         P1CL=MUO+1.0*SIGM
         P2CL=MUO+2.0*SIGM
         P3CL=MUO+3.0*SIGM
         P4CL=MUO+4.0*SIGM
         P5CL=MUO+5.0*SIGM
         M1CL=MUO-1.0*SIGM
         M2CL=MUO-2.0*SIGM
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
M3CL=MUO-3.0*SIGM
M4CL=MUO-4.0*SIGM
M5CL=MUO-5.0*SIGM

IF(XBAR .GE. MUO .AND. XBAR .LT.P1CL)THEN
RUNSUM = 0
PM = 1

ELSE IF(XBAR .GE. P1CL .AND. XBAR .LT.P2CL)THEN
RUNSUM = 1
PM = 1

ELSE IF(XBAR .GE. P2CL .AND. XBAR .LT.P3CL)THEN
RUNSUM = 2
PM = 1

ELSE IF(XBAR .GE. P3CL .AND. XBAR .LT.P4CL)THEN
RUNSUM = 3
PM = 1

ELSE IF(XBAR .GE. P4CL .AND. XBAR .LT.P5CL)THEN
RUNSUM = 4
PM = 1

ELSE IF(XBAR .GE. P5CL)THEN
RUNSUM = 5
PM = 1

ELSE IF(XBAR .LT. MUO .AND. XBAR .GT.M1CL)THEN
RUNSUM = 0
PM = 0
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
ELSE IF(XBAR .LE. M1CL .AND. XBAR .GT.M2CL)THEN
RUNSUM = -1
PM = 0

ELSE IF(XBAR .LE. M2CL .AND. XBAR .GT.M3CL)THEN
RUNSUM = -2
PM = 0

ELSE IF(XBAR .LE. M3CL .AND. XBAR .GT.M4CL)THEN
RUNSUM = -3
PM = 0

ELSE IF(XBAR .LE. M4CL .AND. XBAR .GT.M5CL)THEN
RUNSUM = -4
PM = 0

ELSE IF(XBAR .LE. M5CL)THEN
RUNSUM = -5
PM = 0
END IF

X1=PM

IF(A .LT. 2) X2=PM
IF(X1 .EQ. X2)THEN
RS = RS + RUNSUM
ELSE
RS = RUNSUM
END IF
X2 = X1
A = A + 1
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
      IF (RS .LE. -3 .OR. RS .GE. 3 .OR. RL .GT. 500)THEN
        SUM = SUM + RL
              RL = 0
              RS = 0
              A = 1
      ELSE
        GO TO 9
      END IF
50 CONTINUE
   ARL = SUM/NROUND
      RETURN
      END
```

!!!

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>โปรแกรมแสดงการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ สำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย</u>

```
!
!     TITLE: QUALITY CONTROL FOR THE CONSTANT MEAN PROCESS
!            AUTHOR:
!
            DIMENSION
ALPHA(30,10),ARLX(10),ARLE(10),ARLS(10),ARLR(10),ETA(30),ELL(30,10),EUL(30,10),
N(10),SXLL(30,10),SXUL(30,10),XLL(30,10),XUL(30,10),RUL(30,10),RLL(30,10)
      INTEGER SEED,CRL,SCRL(30,10)
            REAL  MUO,XBAR,SDIF,DIF,S,SBAR,XBARS,CN,R(10)
            CHARACTER ANS*1,LINE(150)*1,NAME*20,STLINEA(5)*30,STLINEC
           (5)*35,STNAMEA(5)*29,STNAMEC(5)*34
            DATA LINE/150*'_'/
            DATA STNAMEA/5*'X-BAR  EWMA  SYNTHE  RS'/,STNAMEC/5*'X-BAR  EWMA
           SYNTHE  RS'/
            DATA
          STLINEA/5*'______________________________'/,STLINEC/5*'_____________________
           _______'/


    1 WRITE(*,2)
    2 FORMAT(///,13X,'#*#*# WELCOME TO QUALITY CONTROL #*#*#')
      WRITE(*,35)
   35 FORMAT(///,2X,'ENTER AN OUT-PUT FILE NAME:')
      READ(*,37)NAME
   37 FORMAT(A20)
!           open(3,file='a:arl.dat')
      OPEN(800,FILE=NAME)
4 WRITE(*,5)
```

```
    5 FORMAT(//,23X,'**CONSTANT MEAN PROCESS**',//,23X,'  OPERATION',//,23X,'1)
ANALYZE',/,23X,'2)  EXIT',/,23X,'_________________')
    7 WRITE(*,8)
    8 FORMAT(/,23X,'ENTER YOUR CHOICE:')
      READ(*,11)KANS
      IF(KANS .LT. 1 .OR. KANS .GT. 2)THEN
              PRINT*,'**SORRY,YOU HAVE TO ENTER 1 OR 2 RE-ENTER.'
              GO TO 7
            END IF
            IF (KANS .EQ. 1)GO TO 301
            WRITE(*,9)
    9 FORMAT(//,13X,'   ## END OF QUALITY CONTROL  ##',/,13X,'   ####   GOOD - BYE
####',///)
            GO TO 209


  301 WRITE(*,10)
    10 FORMAT(//,2X,'ENTER A RUN-IN PERIOD L:(6-200)')
      READ(*,11)L
    11 FORMAT(I4)
      IF(L .LT. 6 .OR. L .GT. 200)THEN
              PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
              GO TO 301
      END IF


  303 WRITE(*,12)
    12 FORMAT(/,2X,'ENTER A PROCESS MEAN,MUO:(0.0-999.9)')
      READ(*,13)MUO
    13 FORMAT(F6.0)
      IF(MUO .LT. 0 .OR. MUO .GT. 999.9)THEN
              PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
              GO TO 303
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            END IF

  307 WRITE(*,16)
   16 FORMAT(/,2X,'ENTER A VARIANCE OF RANDOM ERROR:(0.0-999.9)')
      READ(*,13)EVAR
      IF(EVAR .LT. 0 .OR. EVAR .GT. 999.9)THEN
               PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
               GO TO 307
            END IF

      WRITE(*,18)
   18 FORMAT(/,2X,'ENTER SIZE OF THE SHIFT IN STANDARD DEVIATION
UNITS,ETA:(-99.99,99.99)')

  309 WRITE(*,19)
   19 FORMAT(/,2X,'HOW MANY ETAS?(1-30)')
            READ(*,11)NETA
      IF(NETA .LT. 1 .OR. NETA .GT. 30)THEN
               PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
               GO TO 309
            END IF

            DO 21 K = 1, NETA
  311 WRITE(*,20)K
   20 FORMAT(/,1X,'ETA(',I2,')=')
      READ(*,13)ETA(K)
      IF(ETA(K) .LT. -99.99 .OR. ETA(K) .GT. 99.99)THEN
               PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE(-99.99,99.99).RE-ENTER.'
               GO TO 311
            END IF
   21 CONTINUE
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
WRITE(*,22)
 22 FORMAT(/,2X,'ENTER SAMPLE SIZE?N:(INTERGER:1-100)')
313 WRITE(*,23)
 23 FORMAT(/,2X,'HOW MANY SAMPLE SIZE?(1-3)')
        READ(*,11)NSAM
   IF(NSAM .LT. 1 .OR. NSAM .GT. 3)THEN
          PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
          GO TO 313
        END IF

        DO 25 K = 1, NSAM
315 WRITE(*,24)K
 24 FORMAT(/,1X,'N(',I2,')=')
   READ(*,11)N(K)
   IF(N(K) .LT. 1 .OR. N(K) .GT. 100)THEN
          PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE(INTEGER:1-100).RE-ENTER.'
          GO TO 315
        END IF
 25 CONTINUE

317 WRITE(*,26)
26 FORMAT(/,2X,'ENTER THE VALUE ARL(0) FOR THE SYNTHETIC CHART:(100.0-
999.9)')
   READ(*,13)ARLO
   IF(ARLO .LT. 100.0 .OR. ARLO .GT. 999.9)THEN
          PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
          GO TO 317
        END IF


321 WRITE(*,29)
```

```
 29 FORMAT(/,2X,'ENTER A SEED:(INTEGER:1-9999999)')
   READ(*,11)SEED
   IF(SEED .LT. 1 .OR. SEED .GT. 9999999)THEN
            PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
            GO TO 321
          END IF

323 WRITE(*,32)
 32 FORMAT(/,2X,'ENTER NUMBER OF SIMULATION RUNS:(1-100000)')
   READ(*,11)NROUND
   IF(NROUND .LT. 1 .OR. NROUND .GT. 100000)THEN
            PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
            GO TO 323
          END IF

 40 ANS=''
   WRITE(*,43)
 43 FORMAT(///,2X,'RE-ENTER(Y/N)?')
   READ(*,44)ANS
 44 FORMAT(A1)
   IF(ANS .EQ. 'Y' .OR. ANS .EQ. 'y')THEN
        GO TO 4
         ELSE IF(ANS .EQ. 'N' .OR. ANS .EQ. 'n')THEN
          GO TO 50
         ELSE
                PRINT*,'**SORRY,IT IS OUT OF RANGE.RE-ENTER.'
          GO TO 40
          END IF

 50 CONTINUE
   WRITE(*,52)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 52 FORMAT(//,2X,'***PLEASE WAIT,YOUR JOB IS IN PROCESS.')

   ESD=SQRT(EVAR)
         DO 55 K = 1,30
          ETA(K)=ETA(K)*ESD
 55 CONTINUE

   WRITE(800,59)
 59 FORMAT(///,40X,'***CONSTANT MEAN PROCESS****')

   IS = SEED
         DO 61 K =1,L
           DUMMY = MUO + EPS(IS,EMEAN,EVAR)
 61 CONTINUE
         IX=IS
         IXI=IS
         RL = 0.0
   SUM = 0.0
   SUMX = 0.0
  DO 917 M=1,25
         SUMX=0.0
         SDIF=0.0
  DO 915 I = 1,5
          X = MUO + EPS(IXI,EMEAN,EVAR)
          SUMX = SUMX + X
         R(I)=X
915 CONTINUE
   XBAR = SUMX/5
  DO 916 J=1,5
        DIF = (R(J)-XBAR)**2
        SDIF = SDIF+DIF
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
916 CONTINUE
          S= SQRT(SDIF/4)
          SXBAR=SXBAR+XBAR
          SUMS=SUMS+S
917 CONTINUE
          XBARS=SXBAR/25
          SBAR=SUMS/25
          CN=(3*SQRT(2*3.141592654)/8)
          ZIG=SBAR/CN
          MUO=XBARS
    ESD=ZIG
!
!     ***FIND CONTROL LIMITS
!
           DO 99 I = 1, NETA
            ETAI = ETA(I)
           DO 99 J = 1, NSAM
           SIZEN = N(J)

!***  X-BAR CHART
     XSD = 3.0*ESD/SQRT(SIZEN)
           XUL(I,J) = MUO + XSD
           XLL(I,J) = MUO - XSD

!***  EWMA CHART
     IXI = IX
           CALL CLEW(IXI,SIZEN,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,ALPH,CUL,CLL)
           EUL(I,J) = CUL
           ELL(I,J) = CLL
           ALPHA(I,J) = ALPH
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
!***  SYNTHETIC CHART
      CALL CLSYN(SIZEN,ETAI,ARLO,SK,CRL)
            SSD = SK*ESD/SQRT(SIZEN)
            SXUL(I,J) = MUO + SSD
            SXLL(I,J) = MUO - SSD
            SCRL(I,J) = CRL

!***  RUNSUM CHART
            RSD=3*ESD/SQRT(SIZEN)
            RUL(I,J)=MUO+RSD
            RLL(I,J)=MUO-RSD

   99 CONTINUE


     ***PRINT CONTROL LIMITS

            WRITE(800,105)
  105 FORMAT(///,40X,'+++TABLE OF CONTROL LIMITS+++')
            WRITE(800,107)MUO,EVAR,L
  107 FORMAT(/,20X,'PROCESS MEAN=',F7.2,'PROCESS VARIANCE=', F7.2,'RUN-IN
PERIOD = ',I3)
            NDASH = 38*NSAM + 9
            WRITE(800,109)(LINE(K),K = 1,NDASH)
  109 FORMAT(128A1)
            WRITE(800,111)(N(K),K = 1,NSAM)
  111 FORMAT(2X,'SHIFT\N',19X,3(I3,35X))
      WRITE(800,113)(STLINEC(K),K = 1,NSAM)
  113 FORMAT(9X,3(3X,A35))
      WRITE(800,115)(STNAMEC(K),K = 1,NSAM)
  115 FORMAT(9X,3(4X,A34))
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            WRITE(800,109)(LINE(K),K = 1,NDASH)
            DO 130 I = 1,NETA
            WRITE(800,117)ETA(I),(XUL(I,J),EUL(I,J),SXUL(I,J),RUL(I,J),J = 1,NSAM)
  117 FORMAT(/,1X,F6.2,4X,3(F7.2,1X,F7.2,2X,F7.2,7X,F7.2,2X))
            WRITE(800,118)(XLL(I,J),ELL(I,J),SXLL(I,J),RLL(I,J),SCRL(I,J),J = 1,NSAM)
  118 FORMAT(9X,3(4X,F7.2,2X,F7.2,2X,F7.2,2X,F7.2,2X,I3))
  130 CONTINUE

!           ***PRINT HEADING OF THE TABLE OF ARL VALUES
!
     WRITE(800,135)
  135 FORMAT(///,40X,'***TABLE OF ARL VALUES***')
     WRITE(800,107)MUO,EVAR,L
            NDASH = 33*NSAM+9
            WRITE(800,137)(LINE(K),K=1,NDASH)
  137 FORMAT(125A1)
            WRITE(800,139)(N(K),K=1,NSAM)
  139 FORMAT(2X,'SHIFT\N',17X,3(I3,30X))
     WRITE(800,141)(STLINEA(K),K = 1,NSAM)
  141 FORMAT(9X,3(3X,A30))
     WRITE(800,142)(STNAMEA(K),K = 1,NSAM)
  142 FORMAT(9X,3(4X,A29))
     WRITE(800,137)(LINE(K),K = 1,NDASH)
!
!    ***COMPUTE ARL OF EACH CONTROL CHART
!
     DO 180 I = 1,NETA
          ETAI = ETA(I)
            DO 155 J = 1,NSAM
            SIZEN = N(J)
```

```
            IXI = IX
            CUL = XUL(I,J)
            CLL = XLL(I,J)
            CALL ARLXBAR(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ARL)
            ARLX(J) = ARL

            IXI = IX
            CUL = EUL(I,J)
            CLL = ELL(I,J)
            ALPH = ALPHA(I,J)
CALL ARLEW(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ALPH,ARL)
            ARLE(J) = ARL

            IXI = IX
            CUL = SXUL(I,J)
            CLL = SXLL(I,J)
            CRL = SCRL(I,J)
CALL ARLSYN(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,CRL,ARL)
            ARLS(J) = ARL

            IXI = IX
            CUL = RUL(I,J)
            CLL = RLL(I,J)
            CALL ARLRS(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ARL)
            ARLR(J) = ARL
  155 CONTINUE

            WRITE(800,173)ETA(I),(ARLX(K),ARLE(K),ARLS(K),ARLR(K),K=1,NSAM)
  173 FORMAT(/,1X,F6.2,2X,3(2X,F6.2,1X,F6.2,1X,F6.2,1X,F6.2))
  180 CONTINUE
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
      WRITE(*,205)
  205 FORMAT(/,2X,'**I HAVE FINISHED YOUR WORK.',/)
      GO TO 4
  209 CLOSE(800)
      END
!
!   ***FUNCTION FOR GENERATING RANDOM NUMBERS U(0,1)
!
      FUNCTION U(IX)
            REAL U
            IX = IX*16807
            IF(IX .LE. 0.0) IX = IX+2147483647+1
            FLT = IX
            U = FLT/2147483647
            RETURN
            END

!
!  ***FUNCTION FOR GENERATING NORMAL RANDOM ERRORS N(MEAN,VAR)
!
            FUNCTION EPS(IX,EMEAN,EVAR)
            REAL*8 A,B
            U1 = U(IX)
            U2 = U(IX)
            A = -2.0*ALOG(U1)
            B = 6.283185*U2
            ZSCORE = DSQRT(A)*DCOS(B)
            EPS = SQRT(EVAR)*ZSCORE + EMEAN
            RETURN
            END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
!
!     ***FUNCTION FOR COMPUTING CDF VALUE OF N(0,1)
!
      FUNCTION CDFZ(Z)
            DIMENSION A(6)
            A(1) = 0.0705230784
            A(2) =0.0422820123
            A(3) =0.0092705272
            A(4) =0.0001520143
            A(5) =0.0002765672
            A(6) =0.0000430838
            B = 1.0
            DO 5 I =1,6
              B = B + (A(I)*(ABS(Z)/SQRT(2.0))**I)
    5 CONTINUE
      F = B**(-16)
            IF (Z) 10,10,20
   10 CDFZ = F/2.0
      RETURN
   20 CDFZ = 1.0 - F/2.0
      RETURN
            END
!
!     ***SUBROUTINES FOR FINDING CONTROL LIMITS
!
           !*****
      SUBROUTINE CLEW(IXI,SIZEN,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,ALPHA,CUL,CLL)
            REAL ARL(100),MUO
            DATA NROUND/500/
```

```
      N = SIZEN
      NALP = 0
      ALPHA = 0.01
5 IF(ALPHA .GT. 0.99)GO TO 30
  NALP = NALP + 1
      SDE = 3.0*SQRT(EVAR*ALPHA/(SIZEN*(2.0-ALPHA)))
      CUL = MUO + SDE
      CLL = MUO - SDE
      RL = 0
      SUM = 0
      WO = MUO
      SUMX = 0.0
      IX = IXI
      DO 20 K = 1,NROUND
9 CONTINUE
  DO 19 I = 1,N
       X = MUO + ETAI + EPS(IX,EMEAN,EVAR)
       SUMX = SUMX+X
19 CONTINUE
  XBAR = SUMX/N
      SUMX = 0.0
      RL = RL + 1
      W1 = ALPHA*XBAR + (1.0-ALPHA)*WO
      WO = W1
      IF(W1 .GT. CUL .OR. W1 .LT. CLL)THEN
        SUM = SUM + RL
        RL = 0
            WO = MUO
      ELSE
        GO TO 9
      END IF
```

```
  20 CONTINUE
ARL(NALP) = SUM/NROUND
          ALPHA = ALPHA + 0.01
          GO TO 5
  30 CONTINUE
    ARLMIN = ARL(1)
          ALPHA = 0.01
          DO 40 K = 2,NALP
          IF (ARL(K) .GE. ARLMIN)GO TO 40
          ARLMIN = ARL(K)
          AK = K
          ALPHA = AK/100.0
  40 CONTINUE
    SDE = 3.0*SQRT(EVAR*ALPHA/(SIZEN*(2.0-ALPHA)))
          CUL = MUO + SDE
          CLL = MUO - SDE
          RETURN
          END

!*****
    SUBROUTINE CLSYN(SIZEN,ETAI,ARLO,SK,L)
          REAL*8 DEN,FFZ,NUM,PDFZ
          DATA MAX/15/
          L = 1
          NC = 1
          ARLS = 1000.0
          SKS = 1.0
          LS = 1
          SKO = 1.0
   9 DSKO = -1.0*SKO
    FZ = CDFZ(DSKO)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            FFZ = 1.0 - (1.0-2.0*FZ)**L
            PDFZ = (1.0/2.50662828)*(2.7182818**(-1.0*(SKO*SKO/2.0)))
            NUM = FZ*FFZ - (1.0/(2.0*ARLO))
            DEN = (-1.0*PDFZ*FFZ)-(2.0*L*((1.0-2.0*FZ)**(L-1))*PDFZ*FZ)
            SK1 = SKO - (NUM/DEN)
            Y =ABS(SK1 - SKO)
            IF(Y .LE. 0.0001)GO TO 90
            SKO = SK1
            IF(NC .GT. MAX) GO TO 80
            NC = NC + 1
            GO TO 9
   80 PRINT*,'**NEWTON does not coverge,redetermine Ko.'
      STOP
   90 CONTINUE
      ELEM1 = SK1-ETAI*SQRT(SIZEN)
            ELEM2 = -1.0*SK1-ETAI*SQRT(SIZEN)
            P = 1.0-CDFZ(ELEM1)+CDFZ(ELEM2)
            ARLE = (1.0/P)*(1.0/(1.0-(1.0-P)**L))
IF(ARLE .GE. ARLS) GO TO 100
            IF(L .GT. 100) THEN
              PRINT*,'**SYNTHETIC METHOD fails,redetermine ETA.'
              STOP
            END IF
            ARLS = ARLE
            SKS = SK1
            LS = L
            L = L + 1
            NC = 1
            GO TO 9
  100 SK = SKS
      L = LS
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
RETURN
      END

!
 !    ***SUBROUTINES FOR CALCULATING ARL'S
!

!*****
      SUBROUTINE
ARLXBAR(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ARL)
            REAL*8 SUM
            REAL  MUO
            N = SIZEN
            SUM = 0.0
            DO 50 K = 1,NROUND
      SUMX = 0.0
            DO 15 I = 1,N
             X = MUO + ETAI + EPS(IXI,EMEAN,EVAR)
             SUMX = SUMX + X
   15 CONTINUE
      XBAR = SUMX/N
            IF(XBAR .LE. CLL .OR. XBAR .GE. CUL)THEN
              SUM = SUM + 1
            END IF
   50 CONTINUE
      ARL = SUM/NROUND
            RETURN
            END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
!*****
      SUBROUTINE
ARLEW(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ALPHA,ARL)



            REAL*8 SUM
            REAL   MUO


            N = SIZEN
            SUM = 0.0
            WO = MUO
            DO 50 K = 1,NROUND
      SUMX = 0.0
            DO 15 I = 1,N
      X = MUO + ETAI + EPS(IXI,EMEAN,EVAR)
      SUMX = SUMX + X
   15 CONTINUE
      XBAR = SUMX/N
      W1 = ALPHA*XBAR + (1.0-ALPHA)*WO
      WO = W1
            IF (W1 .LE. CLL .OR. W1 .GE. CUL)THEN
              SUM = SUM + 1
                  WO = MUO
            END IF
   50 CONTINUE
      ARL = SUM/NROUND
            RETURN
            END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
!*****
      SUBROUTINE
ARLSYN(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,CRL,ARL)
            REAL*8 SUM
            REAL  MUO
            INTEGER CRL,CRLI,SUMRL

            N = SIZEN
            CRLI = 0
            SUMRL=0
            SUM = 0
            DO 50 K = 1,NROUND
     SUMX = 0.0
            DO 15 I = 1,N
             X = MUO + ETAI +EPS(IXI,EMEAN,EVAR)
             SUMX = SUMX + X
   15 CONTINUE
     XBAR = SUMX/N
            CRLI = CRLI + 1
            IF(XBAR .LE. CLL .OR. XBAR .GE. CUL) GO TO 20
            GO TO 50
   20 IF(CRLI .LE. CRL)THEN
        SUM = SUM + 1
                  CRLI = 0
            ELSE
            CRLI=0
            END IF
   50 CONTINUE
     ARL = SUM/NROUND
            RETURN
            END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
!*****
      SUBROUTINE ARLRS(IXI,SIZEN,NROUND,MUO,EMEAN,EVAR,ETAI,CUL,CLL,ARL)

            REAL*8 SUM
            REAL   MUO
            ESD=SQRT(EVAR)
            N = SIZEN
            RS = 0.0
            SUM = 0.0
            A=1
            DO 50 K = 1,NROUND
     SUMX = 0.0
            DO 15 I = 1,N
     X = MUO + ETAI + EPS(IXI,EMEAN,EVAR)
     SUMX = SUMX + X
   15 CONTINUE
     XBAR = SUMX/N
            SIGM=ESD/SQRT(SIZEN)
            P1CL=MUO+1.0*SIGM
            P2CL=MUO+2.0*SIGM
            P3CL=MUO+3.0*SIGM
            P4CL=MUO+4.0*SIGM
            P5CL=MUO+5.0*SIGM
            M1CL=MUO-1.0*SIGM
            M2CL=MUO-2.0*SIGM
            M3CL=MUO-3.0*SIGM
            M4CL=MUO-4.0*SIGM
            M5CL=MUO-5.0*SIGM

            IF(XBAR .GE. MUO .AND. XBAR .LT.P1CL)THEN
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
RUNSUM = 0
PM = 1

ELSE IF(XBAR .GE. P1CL .AND. XBAR .LT.P2CL)THEN
RUNSUM = 1
PM = 1

ELSE IF(XBAR .GE. P2CL .AND. XBAR .LT.P3CL)THEN
RUNSUM = 2
PM = 1

ELSE IF(XBAR .GE. P3CL .AND. XBAR .LT.P4CL)THEN
RUNSUM = 3
PM = 1

ELSE IF(XBAR .GE. P4CL .AND. XBAR .LT.P5CL)THEN
RUNSUM = 4
PM = 1

ELSE IF(XBAR .GE. P5CL)THEN
RUNSUM = 5
PM = 1

ELSE IF(XBAR .LT. MUO .AND. XBAR .GT.M1CL)THEN
RUNSUM = 0
PM = 0

ELSE IF(XBAR .LE. M1CL .AND. XBAR .GT.M2CL)THEN
RUNSUM = -1
PM = 0
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
ELSE IF(XBAR .LE. M2CL .AND. XBAR .GT.M3CL)THEN
RUNSUM = -2
PM = 0

ELSE IF(XBAR .LE. M3CL .AND. XBAR .GT.M4CL)THEN
RUNSUM = -3
PM = 0

ELSE IF(XBAR .LE. M4CL .AND. XBAR .GT.M5CL)THEN
RUNSUM = -4
PM = 0

ELSE IF(XBAR .LE. M5CL)THEN
RUNSUM = -5
PM = 0
END IF

X1=PM

IF(A .LT. 2) X2=PM
IF(X1 .EQ. X2)THEN
RS = RS + RUNSUM
ELSE
RS = RUNSUM
END IF
X2 = X1
A = A + 1

IF (RS .LE. -3 .OR. RS .GE. 3)THEN
  SUM = SUM + 1
        RS = 0
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
              A = 1
          END IF
50 CONTINUE
   ARL = SUM/NROUND
          RETURN
          END
```

!!!

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนิยม เจริญสุขโสภณ เกิดวันที่ 16 ตุลาคม 2519 ที่บางแค กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(วท.บ.) สาขาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย