

แผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ



นางสาวอภิวันท์ พัฒนสุขเกษม

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2127-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

QUALITY CONTROL CHARTS FOR DETECTING SHIFTS OF THE PROCESS MEAN



Miss Apiwan Patanasukasem

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

for the Degree of Master of Science Program in Statistics

Faculty of Commerce and Accountancy

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-14-2127-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย
ของกระบวนการ

โดย

นางสาวอภิวันท์ พัฒนสุขเกษม

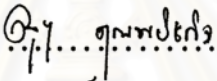
สาขาวิชา

สถิติ

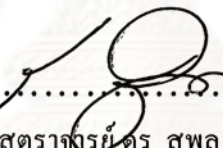
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์

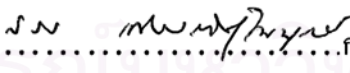
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..........ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ชุงศ์วัฒนา)

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

..........กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อภิวัฒน์ พัฒนสุขเกษม : แผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (QUALITY CONTROL CHARTS FOR DETECTING SHIFTS OF THE PROCESS MEAN) อ.ที่ปรึกษา: รศ. ร.อ. มานพ วรภักดิ์ : 107 หน้า. ISBN 974-14-2127-3

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ แผนภูมิควบคุมที่นำมาเปรียบเทียบคือ แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม(CUSUM Control Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-Combined \bar{X} and CUSUM Control Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA Control Chart) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป (GWMA Control Chart) โดยจะเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length : ARL) ภายใต้ตัวแบบอนุกรมเวลาคงที่ในค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ถ้าแผนภูมิใดให้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดจะถือว่าแผนภูมินั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยจะศึกษาภายใต้สถานการณ์ต่างๆดังนี้ เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมกำหนด $\mu_0 = 50$ ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม $\sigma^2 = 1$ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยหลังคาบเวลา $l = 100$ กระบวนการจะมีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไปจาก μ_0 เป็น $\mu_1 = \mu_0 + \gamma$ และขนาดตัวอย่างที่ศึกษา(n) เท่ากับ 1, 3, 4, 6, 7, 9, 12, 13, 15, 17, 20, 25, 27, 30 การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยเทคนิคมอนติคาร์โล และใช้โปรแกรมภาษาฟอร์แทรนในการจำลองข้อมูลให้มีลักษณะตามที่กำหนด

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.20% – 0.59% ขนาดตัวอย่าง 1 - 3 แผนภูมิควบคุม GWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด ขนาดตัวอย่าง 4 – 30 แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.60% – 2.59% ขนาดตัวอย่าง 1 – 30 แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.60% – 6.00% ขนาดตัวอย่าง 1 – 6 แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด ขนาดตัวอย่าง 7 – 12 แผนภูมิควบคุม FIR- \bar{X} -CUSUM, FIR-EWMA และ GWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด เท่ากันทั้ง 3 แผนภูมิ และขนาดตัวอย่าง 13 – 30 แผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากกว่า 6.00% แผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบจะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

แผนภูมิทั้ง 4 แบบจะมีค่า ARL น้อยลง เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยมากขึ้นหรือขนาดตัวอย่างมากขึ้น

นอกจากนี้ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ได้ค่าสอดคล้องกับค่า ARL กล่าวคือค่าความน่าจะเป็น จะมีค่าสูงขณะที่ ARL มีค่าต่ำ

ภาควิชา.....สถิติ.....

สาขาวิชา.....สถิติ.....

ปีการศึกษา.....2548.....

ลายมือชื่อนิติ.....อภิวัฒน์ พัฒนสุขเกษม.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ร.อ. มานพ วรภักดิ์.....

##4682509326: MAJOR STATISTICS

KEYWORDS: CONTROL CHART/ARL/CUSUM/FIR-EWMA/GWMA

APIWAN PATANASUKASEM: QUALITY CONTROL CHARTS FOR DETECTING SHIFTS OF THE PROCESS MEAN. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.CAPT. MANOP VARAPHAUDI, 107 pp. ISBN 974-14-2127-3

The objective of this research is to compare the efficiency of quality control charts for detecting shifts of the process mean. The control charts used in the research are Cumulative Sum Control Chart (CUSUM), Fast Initial Response Combined \bar{X} - Cumulative Sum Control Chart (FIR- \bar{X} -CUSUM), Fast Initial Response Exponential Weighted Moving Average Control Chart (FIR-EWMA), and Generally Weighted Moving Average Control Chart (GWMA) . These control charts are determined by comparing Average Run Length (ARL) under time series model (stationary in mean and variance).The control chart with the least ARL is considered to be the best efficiency. When the process is in control, the parameter are set as $\mu_0 = 50$, $\sigma^2 = 1$. After the period $\ell = 100$, the process mean to be differed from μ_0 with shift to $\mu_1 = \mu_0 + \gamma$ at n sample (n =1, 3, 4, 6, 7, 9, 12, 13, 15, 17, 20, 25, 27, 30). The ARL values in this research are obtained by Monte Carlo Simulation method, repeated 1,000 times in each case.

The conclusions of the research are as follows:

The mean shift 0.20%-0.59% the sample size 1-3 GWMA control chart is the best efficiency and the sample size 4-30 FIR-EWMA control chart is the best.

The mean shift 0.60%-2.59% FIR-EWMA control chart is the best efficiency at for all sample size.

The mean shift 2.60%-6.00% at the sample of 1-6 FIR-EWMA control chart is the best efficiency, The sample size 7-12 FIR- \bar{X} -CUSUM, FIR-EWMA and GWMA are the same efficiency and all control chart types are the same efficiency with the sample size 13-30.

The mean shift more than 6.00% the efficiency of all control chart types is the same.

The higher mean shift level, and the more sample size, the less ARL would be for all control chart types.

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

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

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

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

Student's signature.....อภิวัฒน์ นอมพงษ์เกษม

Advisor's signature.....ฟ.อ. Manop Varaphakdi

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ร้อยเอกมานพ วรภักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดี จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความรู้สึกซาบซึ้งและสำนึกในพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล คุรงค์วัฒนา และ อาจารย์ ดร. เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์ ในฐานะประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ครู-อาจารย์ ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

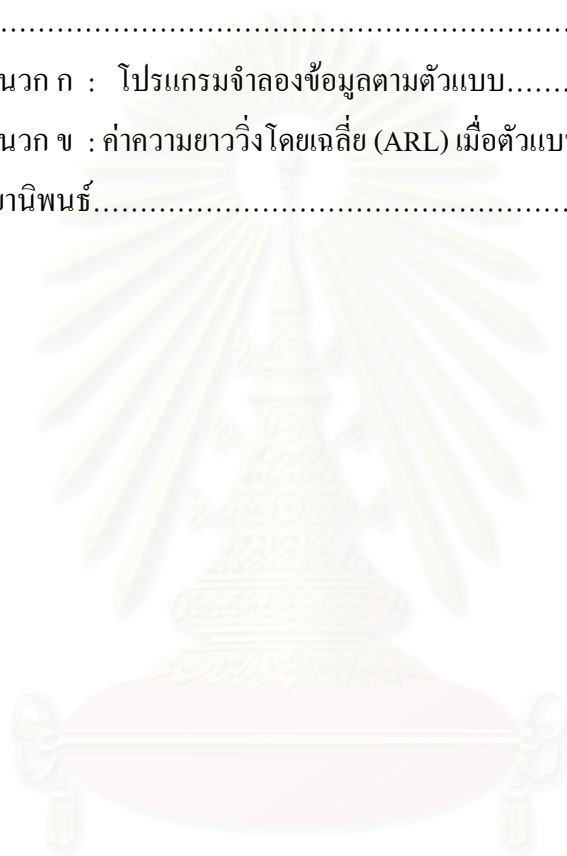
สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด และขอขอบคุณพี่ น้อง และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจในการวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
1.6 เกณฑ์การตัดสินใจ.....	5
1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	6
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
2 ทฤษฎีและตัวสถิติที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 การแจกแจงแบบปกติ.....	7
2.2 แผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการทดสอบ.....	8
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	16
3.1 การวางแผนการทดลอง.....	16
3.2 ขั้นตอนการวิจัย.....	18
4 ผลการวิจัย.....	31
4.1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ.....	32
4.2 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL).....	42
4.3 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test).....	70

บทที่		
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	84
	5.1 สรุปผลการวิจัย.....	84
	5.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
	รายการอ้างอิง.....	87
	บรรณานุกรม.....	88
	ภาคผนวก.....	90
	ภาคผนวก ก : โปรแกรมจำลองข้อมูลตามตัวแบบ.....	90
	ภาคผนวก ข : ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อตัวแบบมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 5.....	100
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	107



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงข้อมูล x_t เมื่อกำหนด $l = 100, \mu_0 = 50, \sigma^2 = 1, \varepsilon_t \sim (0,1)$ เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะปกติ.....	21
3.2	แสดงข้อมูล x_t เมื่อกำหนด $l = 100, \mu_0 = 50, \sigma^2 = 1, \varepsilon_t \sim (0,1)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย δ เท่ากับ 0.25, 0.75, 1.00.....	22
4.1	แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ CUSUM.....	33
4.2	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ..	36
4.3	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุม ของแผนภูมิควบคุม GWMA	39
4.4	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1 ...	42
4.5	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 3...	44
4.6	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4...	46
4.7	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 6...	48
4.8	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 7...	50
4.9	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 9...	52
4.10	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 12...	54
4.11	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 13...	56
4.12	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15...	58
4.13	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 17..	60
4.14	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20..	62
4.15	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 25..	64
4.16	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 27..	66
4.17	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30..	68
4.18	ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test) ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1.....	70

ตารางที่	หน้า
5.1 แสดงแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานการณ์.....	86
ข1 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อตัวแบบ มีค่าเฉลี่ย $\mu_0 = 5$ และความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$ ขนาดตัวอย่าง 1-30.....	100



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ x_t เมื่อกำหนด $l = 100$, $\mu_0 = 50, \sigma^2 = 1, \varepsilon_t \sim (0,1)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย δ เท่ากับ 0.25, 0.75, 1.00.....	23
3.2	แผนผังแสดงขั้นตอนการหาค่า ARL.....	27
3.3	แผนผังแสดงขั้นตอนการหาค่า power of the test.....	29
4.1	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1...	43
4.2	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 3...	45
4.3	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4...	47
4.4	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 6...	49
4.5	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 7...	51
4.6	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 9...	53
4.7	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 12..	55
4.8	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 13..	57
4.9	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15..	59
4.10	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 17..	61
4.11	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20..	63
4.12	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 25..	65
4.13	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 27..	67
4.14	ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30..	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การควบคุมคุณภาพเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญ ควบคู่กันไปกับกิจกรรมอุตสาหกรรม และธุรกิจ ประสิทธิภาพของระบบการควบคุมขึ้นอยู่กับทำให้การสนับสนุนทั้งในด้านวิชาการ ด้านการวิเคราะห์และความร่วมมือในการปฏิบัติงาน การควบคุมคุณภาพพัฒนาขึ้นจากระบบ ตรวจสอบและทดสอบง่าย ๆ มาเป็นระบบที่ทันสมัย มีความละเอียด ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ตามความเหมาะสมของแต่ละประเภทอุตสาหกรรม ซึ่งได้มีการนำวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้กับการ ควบคุมคุณภาพ เรียกว่าระบบการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statistical Quality Control: SQC)

ในปี ค.ศ. 1924 Walter A. Shewhart เป็นบุคคลแรกที่นำวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้กับการ ควบคุมคุณภาพ โดยได้คิดค้นแผนภูมิในการควบคุมคุณภาพ เรียกว่า Shewhart Control Chart ซึ่งแผนภูมิควบคุมคุณภาพนี้ เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความผันแปรของกระบวนการ ผลิต หรือของผลิตภัณฑ์โดยอาศัยหลักทางสถิติ แผนภูมิที่ดีนั้นจะต้องแยกความผันแปรของ กระบวนการผลิตออกจากกันได้ เมื่อใดกระบวนการผลิตมีปัญหา ต้องหยุดเพื่อทำการแก้ไข ซึ่งจะ สามารถแก้ไข ปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ทันทั่วทั้งที่เป็นการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทคนิควิธีการต่างๆ ขึ้นมากมาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุม คุณภาพ ให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตในสถานการณ์ต่างๆ

Roberts S.W. (1959) เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล (Exponential Weighted Moving Average Control Chart : EWMA) ใช้เมื่อข้อมูลมีการ เปลี่ยนแปลงไปทีละน้อย โดยเป็นการนำข้อมูลทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกันและจะให้น้ำหนักแก่ ข้อมูลซึ่งจะลดลงเรื่อยๆ กล่าวคือ จะให้น้ำหนักกับข้อมูลปัจจุบันมากกว่าน้ำหนักที่ให้กับข้อมูลใน อดีต นอกจากนี้ Roberts ได้ใช้วิธีการจำลองข้อมูลเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) ระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (\bar{x} - chart) กับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล (EWMA) ซึ่งพบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับ น้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในค่าเฉลี่ย ได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย

Page E.S. (1961) เสนอแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (Cumulative Sum Control Chart: CUSUM) โดยการนำข้อมูลตลอดช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลในกระบวนการผลิตมาทำการวิเคราะห์แทนข้อมูลในแต่ละคาบเวลา ซึ่งจะหาจากการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการด้วยการบวกสะสมค่าคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตกับค่าเฉลี่ยเป้าหมายที่กำหนดขึ้น จึงทำให้แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมสามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยได้เร็วขึ้น

Lucas J.M. (1982) เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (Combined \bar{x} - Cumulative Sum Control Chart) ซึ่งพัฒนาจากแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม โดยรวมขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมไว้ในแผนภูมิควบคุมเดียวกัน ทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ นอกจากนี้ยังได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (A Fast Initial Response Combined \bar{x} - Cumulative Sum Control Chart) ซึ่งทำให้แผนภูมิมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยได้เร็วขึ้น

Lucas J.M. และ Saccuci M.S. (1990) ทำการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม ระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล พบว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล มีประสิทธิภาพมากกว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย

นอกจากนี้ยังได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (A Fast Initial Response Exponential Weighted Moving Average Control Chart: FIR-EWMA) ซึ่งจะมีขอบเขตควบคุมที่แคบลงจากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลในช่วงข้อมูลแรกๆ

Steiner S.H. (1999) ทำการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลซึ่งมีขอบเขตควบคุมคงที่ กับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลซึ่งมีขอบเขตควบคุมเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Exponential Weighted Moving Average Control Chart with Time Varying Control Limit) พบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลซึ่งมีขอบเขตควบคุมเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดเมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลซึ่งมีขอบเขตควบคุมคงที่

นอกจากนี้ Steiner ได้พัฒนาแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA) ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อใช้ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการด้วย

Sheu and Griffith (1996) และ Sheu (1998; 1999) นำแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลมาประยุกต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลง โดยได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป (Generally Weighted Moving Average Control Chart: GWMA) ซึ่งมีประสิทธิภาพมากในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในค่าเฉลี่ย

จากการศึกษาแผนภูมิควบคุมต่างๆข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษาแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยในระดับต่างๆ โดยใช้แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม(CUSUM Control Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว(FIR-Combined \bar{x} and CUSUM Control Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว(FIR-EWMA Control Chart) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป (GWMA Control Chart) โดยจากการศึกษาพบว่ายังไม่มีมีการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมเหล่านี้ภายใต้สถานการณ์ของกระบวนการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยพร้อมกันทั้ง 4 แบบ โดยจะทำการทดลองในระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยและขนาดตัวอย่างที่แตกต่างกันและทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมด้วยค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length : ARL)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ คือ

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม สำหรับกระบวนการที่ค่าเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงในระดับต่างๆ โดยพิจารณาแผนภูมิควบคุม ดังนี้

- 1) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม ในการวิจัยนี้จะเรียกว่าแผนภูมิ CUSUM
- 2) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ในการวิจัยนี้จะเรียกว่าแผนภูมิ FIR- \bar{x} -CUSUM
- 3) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ในการวิจัยนี้จะเรียกว่าแผนภูมิ FIR-EWMA

4) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป ในการวิจัยนี้จะเรียกว่า แผนภูมิ GWMA

2. เพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ ภายใต้สถานการณ์ที่ศึกษา

3. เพื่อเสนอแนะการใช้แผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ ภายใต้สถานการณ์ต่างๆ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

สมมติฐานของการวิจัยครั้งนี้ คือ

ภายใต้การตรวจสอบกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย แผนภูมิควบคุม GWMA และแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากกว่าแผนภูมิควบคุม CUSUM และแผนภูมิ FIR- \bar{x} - CUSUM

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้คือ

1) ตัวแบบที่ใช้ในการจำลองข้อมูลเป็นแบบอนุกรมเวลา เมื่อค่าเฉลี่ยคงที่ โดยมีตัวแบบดังนี้

$$x_t = \mu_0 + \gamma I_t + \varepsilon_t \quad , t = 1, 2, 3, \dots$$

$$I_t = \begin{cases} 0 & , t \leq \ell \\ 1 & , t > \ell \end{cases}$$

เมื่อ x_t คือ อนุกรมเวลา ณ เวลา t
 μ_0 คือ ระดับค่าเฉลี่ยของกระบวนการ โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 50¹
 γ คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\delta\sigma$ โดยที่ δ มีค่าเท่ากับ 0.10 , 0.20 , 0.25 , 0.30 , 0.40 , 0.50 , 0.75 , 1.00 , 1.50 , 2.00 , 3.00 และ 4.00 เมื่อ σ เท่ากับ 1
 I_t คือ ตัวแปรบ่งชี้ (indicator variable) ณ เวลา t

¹ การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (μ_0) อื่นๆ เช่น $\mu_0 = 5$ ปรากฏว่าผลสรุปไม่แตกต่างกัน ดังที่แสดงในภาคผนวก ข

ε_t คือ ค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t กำหนด $\varepsilon_t \sim N(0,1)$

l คือ จำนวนคาบเวลาหรือจำนวนค่าสังเกตเริ่มต้น (run-in period) ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนระดับค่าเฉลี่ย กำหนด l เท่ากับ 100

2) กำหนดขนาดตัวอย่าง (n) ที่ใช้ในการศึกษาเท่ากับ 1, 3, 4, 6, 7, 9, 12, 13, 15, 17, 20, 25, 27 และ 30

3) ค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม (ε_t) ณ เวลา t เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระต่อกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และความแปรปรวนเป็น 1

4) ในการศึกษาครั้งนี้จะจำลองข้อมูลให้มีสถานการณ์ต่างๆข้างต้น และใช้เทคนิคการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Technique) ในการหาค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิภายใต้สถานการณ์ต่างๆ โดยใช้โปรแกรมภาษาฟอร์แทรน (FORTRAN) ซึ่งจะทำการทดลองซ้ำ 1,000 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์ของการทดลอง

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัยครั้งนี้ คือ

1) ประชากรที่นำมาศึกษาจะมีการแจกแจงแบบปกติ และมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยเมื่อเริ่มกระบวนการที่เวลา $t = 0$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_0 ความแปรปรวนคงที่เท่ากับ σ^2 ซึ่งสมมติว่าทราบค่าพารามิเตอร์ และที่เวลา $t > l$ กระบวนการจะมีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไปจาก μ_0 เป็น $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$

2) การวิจัยครั้งนี้จะมีการเลือกค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุมแต่ละแผนภูมิ ซึ่งจะทำให้การเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมเท่ากับ 370

1.6 เกณฑ์การตัดสินใจ

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจว่าแผนภูมิใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด ภายใต้สถานการณ์ต่างๆที่กำหนดคือ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมด้วยค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ซึ่งวิธีใดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยที่

$$ARL = \frac{\sum_{t=1}^r w_t}{r}$$

ซึ่ง r คือ จำนวนรอบของการจำลอง ในการวิจัยครั้งนี้กำหนด $r = 1,000$

w_i คือ ค่าความยาววิ่ง ซึ่งเป็นจำนวนหน่วยตัวอย่างค่าเฉลี่ย \bar{x}_i ที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม

นอกจากนี้ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการหาค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของแผนภูมิทั้ง 4 แบบ ซึ่งวัดจากสัดส่วนของจำนวนครั้งที่ \bar{x}_i ออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมอีกทางหนึ่งควบคู่ไปกับ ARL

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ

- 1) เส้นกลาง (Central Line: CL) คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ
- 2) เส้นขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit: UCL) คือ ขอบเขตการควบคุมสูงสุดที่ยอมรับได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม
- 3) เส้นขอบเขตควบคุมล่าง (Lower Control Limit: LCL) คือ ขอบเขตการควบคุมต่ำสุดที่ยอมรับได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม
- 4) ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) คือ จำนวนค่าเฉลี่ยตัวอย่าง \bar{x}_i โดยเฉลี่ยที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้คือ

- 1) ทราบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมแต่ละแบบ ภายใต้สถานการณ์ต่างๆ
- 2) เป็นแนวทางในการเลือกใช้แผนภูมิให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตต่างๆ
- 3) เป็นแนวทางในการศึกษาเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบอื่นๆ หรือพัฒนาแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยภายใต้สถานการณ์ต่างๆต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและตัวสถิติที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ซึ่งจะเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม 4 แบบ คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (CUSUM CHART) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR- \bar{x} -CUSUM CHART) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA CHART) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป (GWMA CHART) สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงการแจกแจงที่ใช้ในการจำลองข้อมูล และแผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

ในงานวิจัยนี้จะจำลองความคลาดเคลื่อนสุ่ม (ε_t) ให้มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) โดยรูปแบบฟังก์ชันความหนาแน่นของการแจกแจงปกติเป็นดังนี้

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

ตัวแปรสุ่ม ε เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 เขียนแทนด้วย $\varepsilon \sim N(\mu, \sigma^2)$

โดยที่ $f(\varepsilon)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

μ คือ ค่าเฉลี่ยของ ε

σ^2 คือ ความแปรปรวน ε

π คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 3.14159...

e คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 2.71828...

2.2 แผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการทดสอบ

ให้ x_1, x_2, \dots แทนค่าวัดลักษณะเฉพาะของผลิตผลของกระบวนการผลิต แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยกลุ่มละ n โดยภายในกลุ่มเดียวกันควรมีความเหมือนกันมากที่สุด เช่น ผลิตจากเครื่องจักรเครื่องเดียวกัน นิยามให้ $\bar{x}_t = \frac{x_{t1} + x_{t2} + \dots + x_{tn}}{n}$; $t=1,2,\dots$ โดยที่ \bar{x}_t แทนค่าเฉลี่ยตัวอย่างกลุ่มที่ t ซึ่งเป็นข้อมูลที่น่าไปใช้ในการตรวจสอบควบคุมคุณภาพในแต่ละเทคนิควิธีการ

2.2.1 แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (CUSUM Control Chart)

Page E.S. (1961) เสนอแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ โดยจะนำข้อมูลตลอดช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ ด้วยการบวกสะสมค่าคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง (\bar{x}_i) กับค่าเฉลี่ยกระบวนการเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม μ_0 โดยแผนภูมิควบคุมชนิดนี้เป็นแผนภูมิที่สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของกระบวนการได้ดีแผนภูมิหนึ่ง ผลรวมสะสมของค่าคลาดเคลื่อนจากตัวอย่างกลุ่มที่ i (C_i) คือ

$$\begin{aligned} C_i &= \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j - \mu_0) \\ &= (\bar{x}_i - \mu_0) + \sum_{j=1}^{i-1} (\bar{x}_j - \mu_0) \\ &= (\bar{x}_i - \mu_0) + C_{i-1} \end{aligned}$$

ในกระบวนการที่กำหนดค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ μ_0 ถ้ากระบวนการอยู่ในการควบคุม ค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าเฉลี่ยจะมีการกระจายอย่างสุ่ม แต่ถ้าค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มขึ้น ค่าผลรวมสะสมของความคลาดเคลื่อนจะมีค่ามากขึ้น แต่ถ้าค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลง ค่าผลรวมสะสมของความคลาดเคลื่อนจะมีค่าลดลง ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} C_i^+ &= \max[0, \bar{x}_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+] \\ C_i^- &= \max[0, (\mu_0 - K) - \bar{x}_i + C_{i-1}^-] \end{aligned}$$

ซึ่งค่าเริ่มต้นของ $C_i^+ = C_i^- = 0$

K คือค่าอ้างอิง (reference value) ในทางปฏิบัตินิยมใช้ $k = \frac{1}{2}$ โดยที่ $K = k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

- μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยเป้าหมาย เมื่อกระบวนการยังไม่มีเปลี่ยนแปลง
- μ_1 คือ ค่าเฉลี่ย เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยที่ $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$
- H คือ ความกว้างของช่วงควบคุม ซึ่งจะเลือกค่า H โดยการจำลองข้อมูลตามตัวแบบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า H ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมเท่ากับ 370 จะเลือกค่า H นั้นมาใช้ในการวิจัย

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้า C_i^+ หรือ C_i^- มีค่ามากกว่า $H \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ จะถือว่ากระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม ซึ่ง H แทนความกว้างของช่วงควบคุม

2.2.2 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-Combined \bar{x} and CUSUM Control Chart)

Lucas J.M. (1982) เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ซึ่งพัฒนามาจากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (Combined \bar{x} and CUSUM Control Chart) เป็นการนำขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมมารวมกันในแผนภูมิเดียวและเพิ่มค่าเริ่มต้นของตัวสถิติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ

(1) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย

แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยซึ่งมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ ค่าเฉลี่ย μ_0 ความแปรปรวน σ^2 มีขอบเขตควบคุมดังนี้

$$UCL = \mu_0 + L \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - L \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

โดย L แทนสัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม ซึ่งจะเลือกค่า L โดยการจำลองข้อมูลตามตัวแบบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่ง

โดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า L ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมเท่ากับ 370 จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย

(2) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม

ผลรวมสะสมสำหรับแผนภูมินี้ คือ

$$C_i = \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j - \mu_0) \\ = (\bar{x}_i - \mu_0) + C_{i-1}$$

และ

$$C_i^+ = \max[0, \bar{x}_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+] \\ C_i^- = \max[0, (\mu_0 - K) - \bar{x}_i + C_{i-1}^-]$$

เมื่อค่าเริ่มต้นของ $C_i^+ = C_i^- = 0$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ มีลักษณะเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวไว้ในข้อที่ (1)

(3) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว

แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว เป็นการนำขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมมารวมกันในแผนภูมิเดียว โดยจะมีใช้การแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ 1 จะได้ว่าสถิติคือ

$$z_i = \frac{\bar{x}_i - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

ค่าผลรวมสะสมของความคลาดเคลื่อนของตัวแปรสุ่ม z_i ที่คลาดเคลื่อนไปทางด้านบวกและที่คลาดเคลื่อนไปทางด้านลบ คือ

$$C_i^+ = \max[0, z_i - K + C_{i-1}^+] \\ C_i^- = \max[0, -K - z_i + C_{i-1}^-]$$

การกำหนดค่าเริ่มต้นของ $C_i^+ = C_i^- = \frac{H}{2}$

ขอบเขตควบคุม

จาก $z_i \sim N(0,1)$ จะได้ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย เท่ากับ $\pm L$ และความกว้างของช่วงควบคุมของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม H ซึ่งจะเลือกค่า L และค่า H โดยการ

จำลองข้อมูลตามตัวแบบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า L และค่า H ได้ที่ทำให้ได้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมเท่ากับ 370 จะเลือกค่า L และค่า H นั้นมาใช้ในการวิจัย

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้าค่าสถิติ $|z_i|$ ตกอยู่นอกขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($|z_i| > L$) หรือค่าสถิติ C_i^+ หรือ C_i^- มีค่ามากกว่า H จะถือว่ากระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม โดยที่ L แทนสัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม และ H แทนความกว้างของช่วงควบคุม

2.2.3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA Control Chart)

Steiner S.H. (1999) ได้พัฒนาแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็วโดยขอบเขตควบคุมจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และแผนภูมิชนิดนี้จะมีขอบเขตควบคุมที่แคบลงจากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลในช่วงข้อมูลแรกๆ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยของกระบวนการ

ตัวสถิติของแผนภูมิ คือ

$$z_i = \lambda \bar{x}_i + (1 - \lambda)z_{i-1}$$

เมื่อ z_i คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของทุกค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

\bar{x}_i คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกลุ่มที่ i

λ คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ โดยที่ $0 < \lambda \leq 1$

กำหนดค่าเริ่มต้น $z_0 = \mu_0$

ขอบเขตควบคุม

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

$$CL = \mu_0$$

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

เมื่อ L แทนสัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม ซึ่งจะเลือกค่า L โดยการจำลองข้อมูลตามตัวแบบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า L ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมเท่ากับ 370 จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย

f คือ พารามิเตอร์ในการปรับ f เป็นค่าคงที่ $0 \leq f \leq 1$

$$\text{และ } a = \frac{-2/(\log_{10}(f)-1)}{19}$$

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

$$\lambda = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$$

$$f = 0.5 \text{ (เพื่อให้สอดคล้องกับแผนภูมิควบคุม FIR-}\bar{X}\text{-CUSUM ที่กำหนดค่า}$$

เริ่มต้น เท่ากับ $\frac{H}{2}$)

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

ทั้งนี้ในแต่ละชุดของพารามิเตอร์จะหาค่า L โดยการจำลองข้อมูลตามตัวแบบ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมและหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ค่า L ใดที่ให้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม เท่ากับ 370 จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย

จากนั้นเมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในสถานการณ์ต่างๆ จะเลือกพารามิเตอร์ (λ, f, L) ที่ได้จากข้างต้น ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ซึ่งก็หมายความว่า พารามิเตอร์ (λ, f, L) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด จะมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการได้ดีที่สุด

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้าค่าสถิติ z_i ตกอยู่นอกขอบเขตควบคุม จะถือว่ากระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม

2.2.4 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป (Generally Weighted Moving Average Control Chart: GWMA)

Sheu and Griffith (1996) และ Sheu (1998; 1999) เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป ซึ่งพัฒนามาจากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล โดยมีการเพิ่มพารามิเตอร์ในการปรับ α และให้ขอบเขตควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ดังนั้นแผนภูมินี้จึงเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้อย่างรวดเร็ว

ให้ เหตุการณ์ A คือ เหตุการณ์ที่ตัวอย่างตกอยู่นอกขอบเขตควบคุม
 q_i แทนความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ A ณ ตัวอย่างที่ i
 M แทนจำนวนตัวอย่างนับจากมีเหตุการณ์ A เกิดขึ้นครั้งหนึ่งจนกระทั่งเกิด
 เหตุการณ์ A ขึ้นอีกครั้งหนึ่ง
 \bar{P}_i แทนความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ A จะไม่เกิดใน i ตัวอย่างแรก
 โดย $\bar{P}_1 = P(M > 1)$ และ $1 = \bar{P}_0 \geq \bar{P}_1 \geq \dots$

และให้

$$p_i = P(M = i) = \bar{P}_{i-1} - \bar{P}_i \\ = \bar{P}_{i-1} \left(1 - \frac{\bar{P}_i}{\bar{P}_{i-1}} \right)$$

ซึ่งความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ A ณ ตัวอย่างที่ i คือ $q_i = 1 - \left(\frac{\bar{P}_i}{\bar{P}_{i-1}} \right)$

ดังนั้นจะได้

$$\sum_{m=1}^{\infty} P(M = m) = P(M = 1) + P(M = 2) + \dots + P(M = i) + P(M > i) \\ = (\bar{P}_0 - \bar{P}_1) + (\bar{P}_1 - \bar{P}_2) + \dots + (\bar{P}_{i-1} - \bar{P}_i) + \bar{P}_i \\ = 1$$

$(\bar{P}_0 - \bar{P}_1) > (\bar{P}_1 - \bar{P}_2) > \dots > (\bar{P}_{i-1} - \bar{P}_i)$ เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกันและให้น้ำหนัก
 แก่ข้อมูลซึ่งจะลดลงเรื่อยๆ กล่าวคือ จะให้น้ำหนักกับข้อมูลปัจจุบันมากกว่าน้ำหนักที่ให้กับข้อมูล
 ในอดีต ซึ่งน้ำหนักของข้อมูลล่าสุด คือ $P(M = 1)$ น้ำหนักของข้อมูลก่อนหน้าคือ $P(M = 2)$
 และ $P(M > i)$ คือน้ำหนักที่ให้กับ μ_0 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยเป้าหมาย

ให้ y_i แทนตัวสถิติ ณ เวลา i เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots$

\bar{x}_i แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูล ณ เวลา i ซึ่งเป็นอิสระต่อกันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_0 และ

ความแปรปรวนคงที่เท่ากับ $\frac{\sigma^2}{n}$

และให้ $\bar{P}_1 = q^a$ โดยที่ พารามิเตอร์ในการปรับ q เป็นค่าคงที่ $0 \leq q \leq 1$

และ พารามิเตอร์ในการปรับ α เป็นค่าคงที่ $0 < \alpha \leq 1$

ตัวสถิติของแผนภูมิคือ

$$\begin{aligned}
 y_i &= P(M=1)\bar{x}_i + P(M=2)\bar{x}_{i-1} + \dots + P(M=i)\bar{x}_1 + P(M>i)\mu_0 \\
 &= (\bar{P}_0 - \bar{P}_1)\bar{x}_i + (\bar{P}_1 - \bar{P}_2)\bar{x}_{i-1} + \dots + (\bar{P}_{i-1} - \bar{P}_i)\bar{x}_1 + \bar{P}_i\mu_0 \\
 &= (q^{0^\alpha} - q^{1^\alpha})\bar{x}_i + (q^{1^\alpha} - q^{2^\alpha})\bar{x}_{i-1} + \dots + (q^{(i-1)^\alpha} - q^{i^\alpha})\bar{x}_1 + q^{i^\alpha}\mu_0 \\
 &= (1-q)\bar{x}_i + (q - q^{2^\alpha})\bar{x}_{i-1} + \dots + (q^{(i-1)^\alpha} - q^{i^\alpha})\bar{x}_1 + q^{i^\alpha}\mu_0
 \end{aligned}$$

ค่าเริ่มต้น $y_0 = \mu_0$

โดยมีค่าคาดหวัง คือ

$$\begin{aligned}
 E(y_i) &= E[(\bar{P}_0 - \bar{P}_1)\bar{x}_i + (\bar{P}_1 - \bar{P}_2)\bar{x}_{i-1} + \dots + (\bar{P}_{i-1} - \bar{P}_i)\bar{x}_1 + \bar{P}_i\mu_0] \\
 &= E[(q^{0^\alpha} - q^{1^\alpha})\bar{x}_i + (q^{1^\alpha} - q^{2^\alpha})\bar{x}_{i-1} + \dots + (q^{(i-1)^\alpha} - q^{i^\alpha})\bar{x}_1 + q^{i^\alpha}\mu_0] \\
 &= [(1-q) + (q - q^{2^\alpha}) + \dots + (q^{(i-1)^\alpha} - q^{i^\alpha})]E(\bar{x}) + q^{i^\alpha}\mu_0 \\
 &= (1 - q^{i^\alpha})E(\bar{x}) + q^{i^\alpha}\mu_0 \\
 &= \mu_0
 \end{aligned}$$

และความแปรปรวน คือ

$$\begin{aligned}
 \text{Var}(y_i) &= [(\bar{P}_0 - \bar{P}_1)^2 + (\bar{P}_1 - \bar{P}_2)^2 + \dots + (\bar{P}_{i-1} - \bar{P}_i)^2] \text{Var}(\bar{x}) \\
 &= [(\bar{P}_0 - \bar{P}_1)^2 + (\bar{P}_1 - \bar{P}_2)^2 + \dots + (\bar{P}_{i-1} - \bar{P}_i)^2] \frac{\sigma^2}{n} \\
 &= [(q^{0^\alpha} - q^{1^\alpha})^2 + (q^{1^\alpha} - q^{2^\alpha})^2 + \dots + (q^{(i-1)^\alpha} - q^{i^\alpha})^2] \frac{\sigma^2}{n} \\
 &= [(1-q)^2 + (q - q^{2^\alpha})^2 + \dots + (q^{(i-1)^\alpha} - q^{i^\alpha})^2] \frac{\sigma^2}{n} \\
 &= Q_i \frac{\sigma^2}{n}
 \end{aligned}$$

เมื่อ $Q_i = (q^{0^\alpha} - q^{1^\alpha})^2 + (q^{1^\alpha} - q^{2^\alpha})^2 + \dots + (q^{(i-1)^\alpha} - q^{i^\alpha})^2$

ขอบเขตควบคุม

$$UCL = \mu_0 + L\sigma\sqrt{\frac{Q_i}{n}}$$

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\frac{Q_i}{n}}$$

$$\text{เมื่อ } Q_i = (q^{0^\alpha} - q^{1^\alpha})^2 + (q^{1^\alpha} - q^{2^\alpha})^2 + \dots + (q^{(i-1)^\alpha} - q^{i^\alpha})^2$$

L แทนสัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม ซึ่งจะเลือกค่า L โดยการจำลองข้อมูลตามตัวแบบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า L ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมเท่ากับ 370 จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

$$q = 0.50, 0.75, 0.80, 0.90$$

$$\alpha = 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90$$

ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิ (q, α, L) ที่นำมาเปรียบเทียบ คือ $(0.50, 0.50, L)$, $(0.50, 0.60, L)$, $(0.50, 0.70, L)$, $(0.50, 0.80, L)$, $(0.50, 0.90, L)$, $(0.75, 0.50, L)$, $(0.75, 0.60, L)$, $(0.75, 0.70, L)$, $(0.75, 0.80, L)$, $(0.75, 0.90, L)$, $(0.80, 0.50, L)$, $(0.80, 0.60, L)$, $(0.80, 0.70, L)$, $(0.80, 0.80, L)$, $(0.80, 0.90, L)$, $(0.90, 0.50, L)$, $(0.90, 0.60, L)$, $(0.80, 0.70, L)$, $(0.90, 0.80, L)$, $(0.90, 0.90, L)$

ทั้งนี้ในแต่ละชุดของพารามิเตอร์จะหาค่า L โดยการจำลองข้อมูลตามตัวแบบ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมและหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ค่า L ใดที่ให้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม เท่ากับ 370 จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย

จากนั้นเมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในสถานการณ์ต่างๆ จะเลือกพารามิเตอร์ (q, α, L) ที่ได้จากข้างต้น ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ซึ่งก็หมายความว่า พารามิเตอร์ (q, α, L) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด จะมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการได้ดีที่สุด

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้าค่าสถิติ y_i ตกอยู่นอกขอบเขตควบคุม จะถือว่ากระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ซึ่งแผนภูมินำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการมี 4 แบบ คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (CUSUM Control Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-Combined \bar{x} and CUSUM Control Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA Control Chart) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป (GWMA Control Chart) โดยใช้วิธีการตรวจสอบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เป็นเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพของแผนภูมิทั้ง 4 แบบ กล่าวคือ ถ้าแผนภูมิต่างใดให้ค่า ARL น้อยที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ แสดงว่าแผนภูมิควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในการวิจัยนี้จะมีลักษณะเป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Technique) เพื่อหาผลสรุปในการเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ โดยวิธีดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวางแผนการทดลอง

- 1) ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยอยู่ในรูปแบบอนุกรมเวลา ค่าเฉลี่ยคงที่ โดยมีตัวแบบดังนี้

$$x_t = \mu + \gamma I_t + \varepsilon_t, t = 1, 2, 3, \dots \quad \text{----- (3.1)}$$

โดยที่

$$I_t = \begin{cases} 0, & t \leq \ell \\ 1, & t > \ell \end{cases}$$

เมื่อ x_t คือ อนุกรมเวลา ณ เวลา t

μ_0 คือ ระดับค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่ออยู่ภายใต้การควบคุม กำหนดเท่ากับ 50

γ คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\delta\sigma$ โดยที่ δ มีค่าเท่ากับ 0.10, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50, 2.00, 3.00, 4.00 เมื่อ σ เท่ากับ 1

I_t คือ ตัวแปรบ่งชี้ (indicator variable) ณ เวลา t

ε_t คือ ค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t กำหนด $\varepsilon_t \sim N(0,1)$

ℓ คือ จำนวนคาบเวลาหรือจำนวนค่าสังเกตเริ่มต้น (run-in period) ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนระดับค่าเฉลี่ย กำหนด ℓ เท่ากับ 100

2) กำหนดขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเท่ากับ 1, 3, 4, 6, 7, 9, 12, 13, 15, 17, 20, 25, 27 และ 30

3) กำหนดค่าพารามิเตอร์ และหาค่าความกว้างของขอบเขตควบคุม H และค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม L ดังนี้

3.1) แผนภูมิควบคุม CUSUM

หาค่า H โดยการจำลองข้อมูลตามตัวแบบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า H ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมเท่ากับ 370 จะเลือกค่า H นั้นมาใช้ในการวิจัย

3.2) แผนภูมิควบคุม FIR- \bar{x} -CUSUM

หาค่า L และ H โดยการจำลองข้อมูลตามตัวแบบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ซึ่งค่า L และค่า H ใดที่ทำให้ได้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมเท่ากับ 370 จะเลือกค่า L และค่า H นั้นมาใช้ในการวิจัย

3.3) แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA

กำหนดค่าพารามิเตอร์ (λ, f, L) ดังนี้ $(0.1, 0.5, L)$, $(0.2, 0.5, L)$, $(0.3, 0.5, L)$, $(0.4, 0.5, L)$, $(0.5, 0.5, L)$, $(0.6, 0.5, L)$, $(0.7, 0.5, L)$, $(0.8, 0.5, L)$, $(0.9, 0.5, L)$

ทั้งนี้ในแต่ละชุดของพารามิเตอร์จะหาค่า L โดยการจำลองข้อมูลตามตัวแบบ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมและหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ค่า L ใดที่ให้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม เท่ากับ 370 จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย

3.4) แผนภูมิควบคุม GWMA

กำหนดค่าพารามิเตอร์ (q, α, L) ดังนี้ $(0.50, 0.50, L)$, $(0.50, 0.60, L)$, $(0.50, 0.70, L)$, $(0.50, 0.80, L)$, $(0.50, 0.90, L)$, $(0.75, 0.50, L)$, $(0.75, 0.60, L)$, $(0.75, 0.70, L)$, $(0.75, 0.80, L)$, $(0.75, 0.90, L)$, $(0.80, 0.50, L)$, $(0.80, 0.60, L)$, $(0.80, 0.70, L)$, $(0.80, 0.80, L)$, $(0.80, 0.90, L)$, $(0.90, 0.50, L)$, $(0.90, 0.60, L)$, $(0.80, 0.70, L)$, $(0.90, 0.80, L)$, $(0.90, 0.90, L)$

ทั้งนี้ในแต่ละชุดของพารามิเตอร์จะหาค่า L โดยการจำลองข้อมูลตามตัวแบบ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมและหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการ

ควบคุม ค่า L ใดที่ให้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม เท่ากับ 370 จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย

- 4) ในการวิจัยนี้กำหนดให้ค่าเฉลี่ย μ_0 และค่าความแปรปรวน σ^2 เป็นค่าคงที่ ที่ทราบค่า เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม $t \leq \ell$ ค่า $\mu_0 = 50$ และค่า $\sigma^2 = 1$
- 5) การหาค่า ARL โดยทดลองซ้ำ 1,000 รอบ ในแต่ละสถานการณ์
- 6) สำหรับแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA และแผนภูมิควบคุม GWMA ที่หาค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม เท่ากับ 370 แล้ว เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในสถานการณ์ต่างๆ จะเลือกพารามิเตอร์ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดมาใช้ในการเปรียบเทียบ

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนหลักในการวิจัยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนคือ

- 1 สร้างโปรแกรมย่อย (subroutines) สำหรับการจำลองค่าผิดพลาดสุ่ม (ε_t) ตามที่กำหนด
- 2 สร้างข้อมูล (X_t, t) ที่มีความสัมพันธ์กันตามตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ ตามสมการ (3.1)
- 3 หาขอบเขตควบคุมของแต่ละแผนภูมิควบคุม ภายใต้ตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ โดยมีค่า (ℓ, γ) ต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ข้างต้น
- 4 หาความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแต่ละแผนภูมิควบคุม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับแนวโน้มของข้อมูล (X_t, t) ที่มีความสัมพันธ์กันตามสมการ (3.1) โดยใช้ขอบเขตควบคุมที่ได้จากข้อ 3 มาเป็นขอบเขตควบคุมสำหรับแต่ละแผนภูมิ
- 5 หาค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับแนวโน้มของข้อมูล (X_t, t) ที่มีความสัมพันธ์กันตามสมการ (3.1) โดยใช้ขอบเขตควบคุมที่ได้จากข้อ 3 มาเป็นขอบเขตควบคุมสำหรับแต่ละแผนภูมิ

รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนนี้ ดังนี้

1. การสร้างโปรแกรมย่อย (subroutines) สำหรับการจำลองค่าคลาดเคลื่อนสุ่มตามที่กำหนด
การสร้างลักษณะการแจกแจงค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม (ε_t) ให้มีการแจกแจงแบบปกติ จะต้องใช้ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วง $(0,1)$ (Uniform Distribution : $U(0,1)$) เป็นพื้นฐานในการจำลองตัวแปรสุ่มอื่นๆ

1.1 การจำลองเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วง $U(0, 1)$ ¹

ตัวเลขสุ่มที่ผลิตขึ้น (r_1, r_2, \dots) ต้องมีคุณสมบัติทางสถิติ 2 ประการ คือ มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ $U(0, 1)$ และเป็นอิสระซึ่งกันและกันในเชิงสถิติ (statistical independent) วิธีการในการจำลองเลขสุ่มที่ใช้ คือ วิธีสมภาค (congruential method) ซึ่งมีตัวแบบดังนี้

$$R_i = (c + aR_{i-1}) \bmod m, i = 1, 2, \dots \quad \text{----- (3.2)}$$

โดยที่ a คือ ค่าคงที่จำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

c คือ ค่าส่วนเพิ่ม (increment)

R_0 คือ ค่าเริ่มต้นของการผลิตเลขสุ่ม (starting value)

m คือ ค่าคงที่จำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

\bmod คือ Modulus

ดังนั้นความหมายของตัวแบบนี้ คือ R_i เป็นเศษเหลือที่เป็นจำนวนเต็มที่ได้จากการหาร

$$(c + aR_{i-1}) \text{ ด้วย } m \text{ นั่นคือ } R_i = c + aR_{i-1} - mk_i \text{ ซึ่ง } k_i = \left\lfloor \frac{c + aR_{i-1}}{m} \right\rfloor$$

ดังนั้นค่าที่เป็นไปได้ของ R_i คือ $0, 1, 2, \dots, m-1$ และก่อนที่จะได้ค่าของ R_1, R_2, \dots นั้นต้องทำการกำหนดค่าของ c, a, m และ R_0 จากนั้นค่า R_i ที่ได้จะนำมาหาค่า U_i ซึ่ง

$$U_i = \frac{R_i}{m}, i = 1, 2, \dots \quad \text{----- (3.3)}$$

จะได้ U_i มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1)$

ทั้งนี้ในการกำหนดค่า c, a, m และ R_0 มีความสำคัญมาก เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางสถิติและความยาวของชุดตัวเลขสุ่ม จากสมการ $U_i = \frac{R_i}{m}$ จะได้ว่า U_i มีค่าอยู่ในเซตของ $\left\{0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, \frac{m-1}{m}\right\}$ เพราะค่าของ R_i เป็นจำนวนเต็มที่อยู่ในเซตของ $\{0, 1, 2, \dots, m-1\}$ ฉะนั้นค่า U_i จึงมีค่าไม่ต่อเนื่อง แทนที่จะเป็นค่าต่อเนื่องที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วง $(0, 1)$ อย่างไรก็ตามสามารถประมาณความต่อเนื่องได้ โดยการกำหนดให้ m มีค่ามากๆ จะส่งผลทำให้ช่องว่าง $U_i, i = 1, 2, \dots$ มีค่าเล็กลง ทำให้ได้ค่า U_i ที่มีความต่อเนื่องโดยประมาณ ลักษณะการกระทำดังกล่าวเป็นการสร้างความหนาแน่น (density) ในกลุ่มตัวเลขสุ่มให้มีความหนาแน่นสูงในช่วง $(0, 1)$ และเพื่อหลีกเลี่ยงชุดตัวเลขสุ่มซ้ำ ในการใช้งานครั้งหนึ่งๆ ตัวผลิตควรมีความยาวของชุดตัวเลขสุ่มมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

¹ ที่มา มานพ วราภักดิ์ การจำลองเบื้องต้น กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547

จากการทดสอบคุณสมบัติแล้ว พบว่าสำหรับคอมพิวเตอร์ 32 บิตต่อ 1 คำ (32-bit word) กำหนด $a = 7^5 = 16807$ และ กำหนดค่า m ให้มีขนาดใหญ่หลายๆ และเป็นเลขคู่ที่สามารถคำนวณได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเลขจำนวนเต็มที่ใหญ่ที่สุดใน 1 คำ (1 word) และเป็นเลขคู่ที่คอมพิวเตอร์รับได้ คือ $2^b - 1 = 2^{31} - 1$ นั่นคือ $m = 2147483647$

โปรแกรมย่อยที่ใช้ผลิตตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วง $U(0,1)$ คือ FUNCTION $U(IX)$ ดังแสดงในภาคผนวก ก

1.2 การจำลองเลขสุ่มให้มีการแจกแจงแบบปกติ

George E.P. Box และ Mervin E. Muller (1958) ได้คิดค้นวิธีการจำลองตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐาน $N(0, 1)$ โดยใช้ตัวผลิต (generator)

$$Z = (-2 \ln U_1)^{1/2} \cos(2\pi U_2)$$

โดยที่ U_1 และ U_2 เป็นอิสระกันและมีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วง $(0,1)$ ซึ่ง U_1 และ U_2 จำลองจากโปรแกรมย่อย FUNCTION $U(IX)$ เมื่อได้ตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานแล้ว จะทำการแปลงตัวเลขสุ่มดังกล่าวโดยอาศัยฟังก์ชัน

$$\varepsilon = \mu + \sigma Z$$

ซึ่งจะได้ว่า ε มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2

โปรแกรมย่อยที่ใช้ผลิตตัวเลขสุ่มให้มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 คือ FUNCTION $EPS(IX, EMEAN, EVAR)$ ดังแสดงในภาคผนวก ก

2. สร้างข้อมูล (X_t, t) ที่มีความสัมพันธ์กันตามตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่

การสร้างข้อมูล (X_t, t) ที่มีความสัมพันธ์กันตามตัวแบบค่าเฉลี่ยคงที่ กำหนดให้ $t = 1, 2, \dots$ แล้วสร้างค่า X_t ตามรูปแบบความสัมพันธ์ในสมการ (3.1) และ ε_t เป็นค่าผิดพลาดสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1 โดยในการจำลองข้อมูลจะมีการกำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยตามที่ได้ระบุไว้ในข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย

ตัวอย่างข้อมูลจากการจำลองภายใต้ตัวแบบอนุกรมเวลาค่าเฉลี่ยคงที่ เฉพาะช่วงเวลา (X_t)
 ตารางที่ 3.1 ข้อมูล X_t เมื่อกำหนด $\ell = 100, \mu_0 = 50, \sigma^2 = 1, \varepsilon_t \sim N(0,1)$ เมื่อกระบวนการ
 อยู่ในภาวะปกติ

	$\delta = 0$		$\delta = 0$		$\delta = 0$		$\delta = 0$
t	X_t	t	X_t	t	X_t	t	X_t
1	48.68	26	51.34	51	49.39	76	49.81
2	50.12	27	49.36	52	49.59	77	50.05
3	50.70	28	49.94	53	48.52	78	50.57
4	49.78	29	51.67	54	51.41	79	49.71
5	49.22	30	50.81	55	51.56	80	48.83
6	50.17	31	49.75	56	51.99	81	49.74
7	50.64	32	49.92	57	49.50	82	50.15
8	48.92	33	51.86	58	49.06	83	49.74
9	50.26	34	50.25	59	48.75	84	50.41
10	50.45	35	50.22	60	49.28	85	50.09
11	50.72	36	50.35	61	51.21	86	49.30
12	49.93	37	49.14	62	49.15	87	51.48
13	51.18	38	50.98	63	50.05	88	49.45
14	50.44	39	50.50	64	51.17	89	49.63
15	50.38	40	50.79	65	49.98	90	51.15
16	48.68	41	49.46	66	48.97	91	50.81
17	48.94	42	49.94	67	49.67	92	50.39
18	50.64	43	50.07	68	50.22	93	49.11
19	50.75	44	51.69	69	49.47	94	50.85
20	50.57	45	51.01	70	49.74	95	51.24
21	48.81	46	51.24	71	51.08	96	49.33
22	51.43	47	47.14	72	51.00	97	50.21
23	51.64	48	51.23	73	51.41	98	50.81
24	49.45	49	49.73	74	49.55	99	51.44
25	49.65	50	50.54	75	50.59	100	50.71

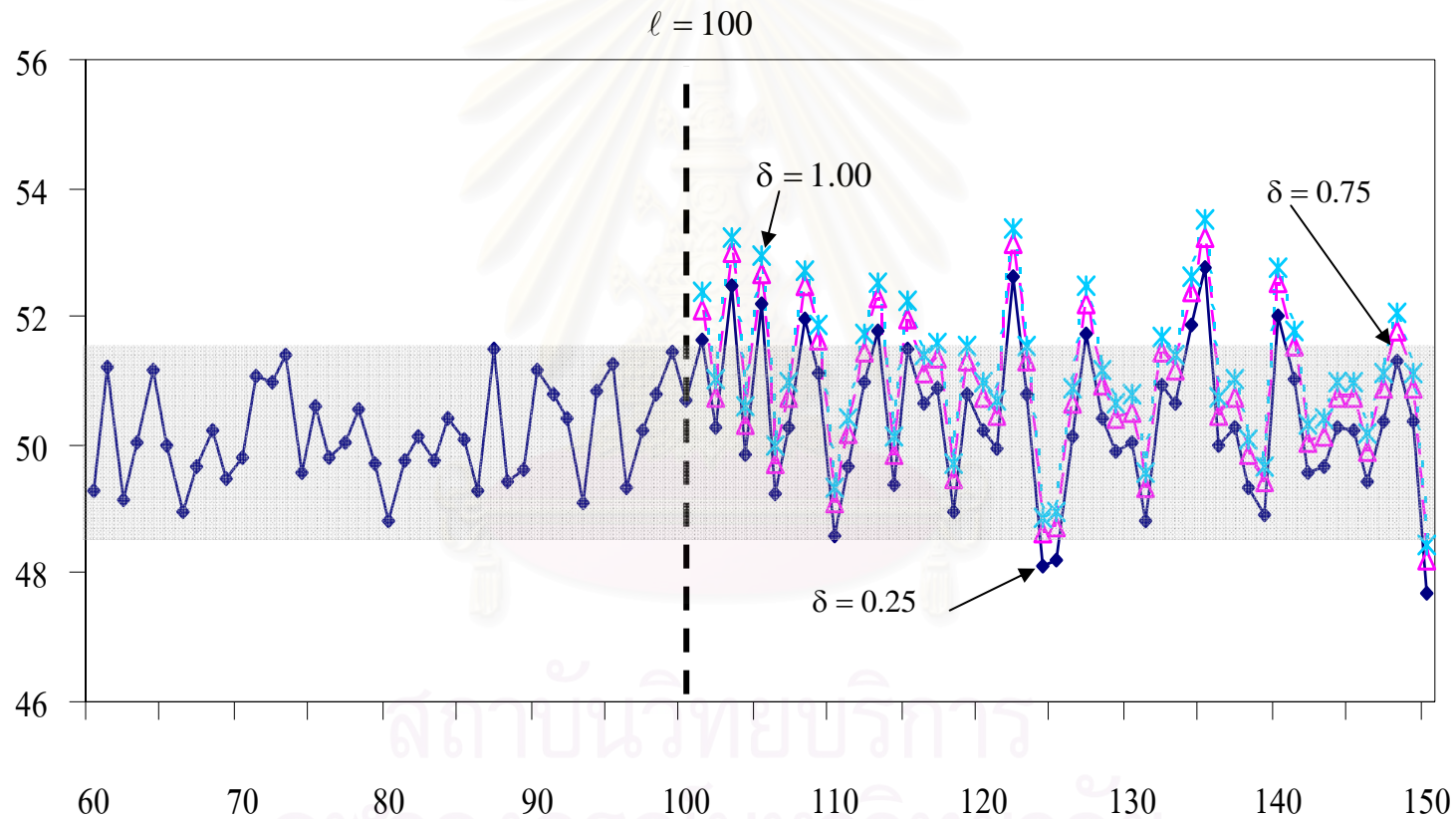
สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ข้อมูล X_t เมื่อกำหนด $l = 100, \mu_0 = 50, \sigma^2 = 1, \varepsilon_t \sim N(0,1)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย δ เท่ากับ 0.25, 0.75, 1

	$\delta = 0.25$	$\delta = 0.75$	$\delta = 1.00$		$\delta = 0.25$	$\delta = 0.75$	$\delta = 1.00$
t	X_t	X_t	X_t	t	X_t	X_t	X_t
101	51.62	52.12	52.37	126	50.13	50.63	50.88
102	50.26	50.76	51.01	127	51.72	52.22	52.47
103	52.48	52.98	53.23	128	50.42	50.92	51.17
104	49.84	50.34	50.59	129	49.91	50.41	50.66
105	52.19	52.69	52.94	130	50.02	50.52	50.77
106	49.22	49.72	49.97	131	48.81	49.31	49.56
107	50.25	50.75	51.00	132	50.93	51.43	51.68
108	51.96	52.46	52.71	133	50.65	51.15	51.40
109	51.12	51.62	51.87	134	51.89	52.39	52.64
110	48.59	49.09	49.34	135	52.75	53.25	53.50
111	49.68	50.18	50.43	136	49.98	50.48	50.73
112	50.96	51.46	51.71	137	50.26	50.76	51.01
113	51.77	52.27	52.52	138	49.34	49.84	50.09
114	49.36	49.86	50.11	139	48.91	49.41	49.66
115	51.48	51.98	52.23	140	52.01	52.51	52.76
116	50.63	51.13	51.38	141	51.02	51.52	51.77
117	50.86	51.36	51.61	142	49.55	50.05	50.30
118	48.96	49.46	49.71	143	49.65	50.15	50.40
119	50.79	51.29	51.54	144	50.25	50.75	51.00
120	50.24	50.74	50.99	145	50.24	50.74	50.99
121	49.95	50.45	50.70	146	49.41	49.91	50.16
122	52.63	53.13	53.38	147	50.36	50.86	51.11
123	50.79	51.29	51.54	148	51.29	51.79	52.04
124	48.11	48.61	48.86	149	50.36	50.86	51.11
125	48.20	48.70	48.95	150	47.69	48.19	48.44

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.1 แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ X_t เมื่อกำหนด $\ell = 100$, $\mu_0 = 50, \sigma^2 = 1, \varepsilon_t \sim N(0,1)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย δ เท่ากับ 0.25, 0.75, 1.00



3. การกำหนดขอบเขตควบคุม

การกำหนดขอบเขตควบคุมสำหรับแต่ละแผนภูมิควบคุม มีดังนี้

3.1 แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม(CUSUM Control Chart)

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมเท่ากับ $H \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ โดยค่า H มีวิธีการหาดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2.1

3.2 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-Combined \bar{x} and CUSUM Control Chart)

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็วเป็นการรวมขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม 2 แผนภูมิไว้ด้วยกัน คือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ซึ่งมีขอบเขตควบคุมเท่ากับ $\pm L$ และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม ซึ่งมีขอบเขตควบคุมเท่ากับ H โดยค่า L และค่า H มีวิธีการหาดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2.2

3.3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA Control Chart)

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว เท่ากับ

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

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

เมื่อ λ คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ กำหนด $\lambda = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$

L แทนสัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม

f คือ พารามิเตอร์ในการปรับ f เป็นค่าคงที่ กำหนด $f = 0.5$

และ $a = \frac{-2/(\log_{10}(f)-1)}{19}$

โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีวิธีการหาดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2.3

3.4 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป (Generally Weighted Moving Average Control Chart: GWMA)

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป เท่ากับ

$$UCL = \mu + L\sigma\sqrt{\frac{Q_i}{n}}$$

$$LCL = \mu - L\sigma\sqrt{\frac{Q_i}{n}}$$

เมื่อ L แทนสัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม

$$Q_i = (q^{0\alpha} - q^{1\alpha})^2 + (q^{1\alpha} - q^{2\alpha})^2 + \dots + (q^{(i-1)\alpha} - q^{i\alpha})^2$$

พารามิเตอร์ในการปรับ q เป็นค่าคงที่ กำหนด $q = 0.50, 0.75, 0.80, 0.90$

พารามิเตอร์ในการปรับ α เป็นค่าคงที่ กำหนด $\alpha = 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90$

โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีวิธีการหาดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2.4

4. กำหนดหาความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแต่ละแผนภูมิควบคุม

ขั้นตอนการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยนี้จะนำค่าขอบเขตควบคุมที่ได้จาก ขั้นตอนที่ 3 มาใช้กับตัวสถิติทดสอบแต่ละตัวในแต่ละสถานการณ์ เพื่อหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1 จำลองเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสมมาตรในช่วง $U(0, 1)$

4.2 จำลองค่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t โดยกำหนดให้มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1

4.3 กำหนดพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากร (μ_0) เท่ากับ 50

4.4 กำหนดคาบเวลาที่เริ่มต้น (ℓ) เท่ากับ 100

4.5 จำลองข้อมูลให้มีลักษณะตามตัวแบบในสมการ (3.1)

4.6 กำหนดพารามิเตอร์ของแต่ละแผนภูมิควบคุม โดยจะเลือกพารามิเตอร์ที่ให้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม มีค่าสอดคล้องกันทุกแผนภูมิ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้กำหนดให้ มีค่าเท่ากับ 370

4.7 กำหนดค่าตัวสถิติของแต่ละแผนภูมิควบคุม และเริ่มนับค่าความยาววิ่งตั้งแต่วันที่ $t = \ell + 1$ ซึ่งค่าเฉลี่ยของประชากรจะเปลี่ยนแปลงจาก μ_0 เป็น $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ โดยจะทำการเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุม ถ้าค่าสถิติมีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบน หรือน้อยกว่าขอบเขตควบคุมล่างให้ไปทำขั้นตอนที่ (4.8) ต่อ แต่ถ้าค่าสถิติมีค่าน้อย

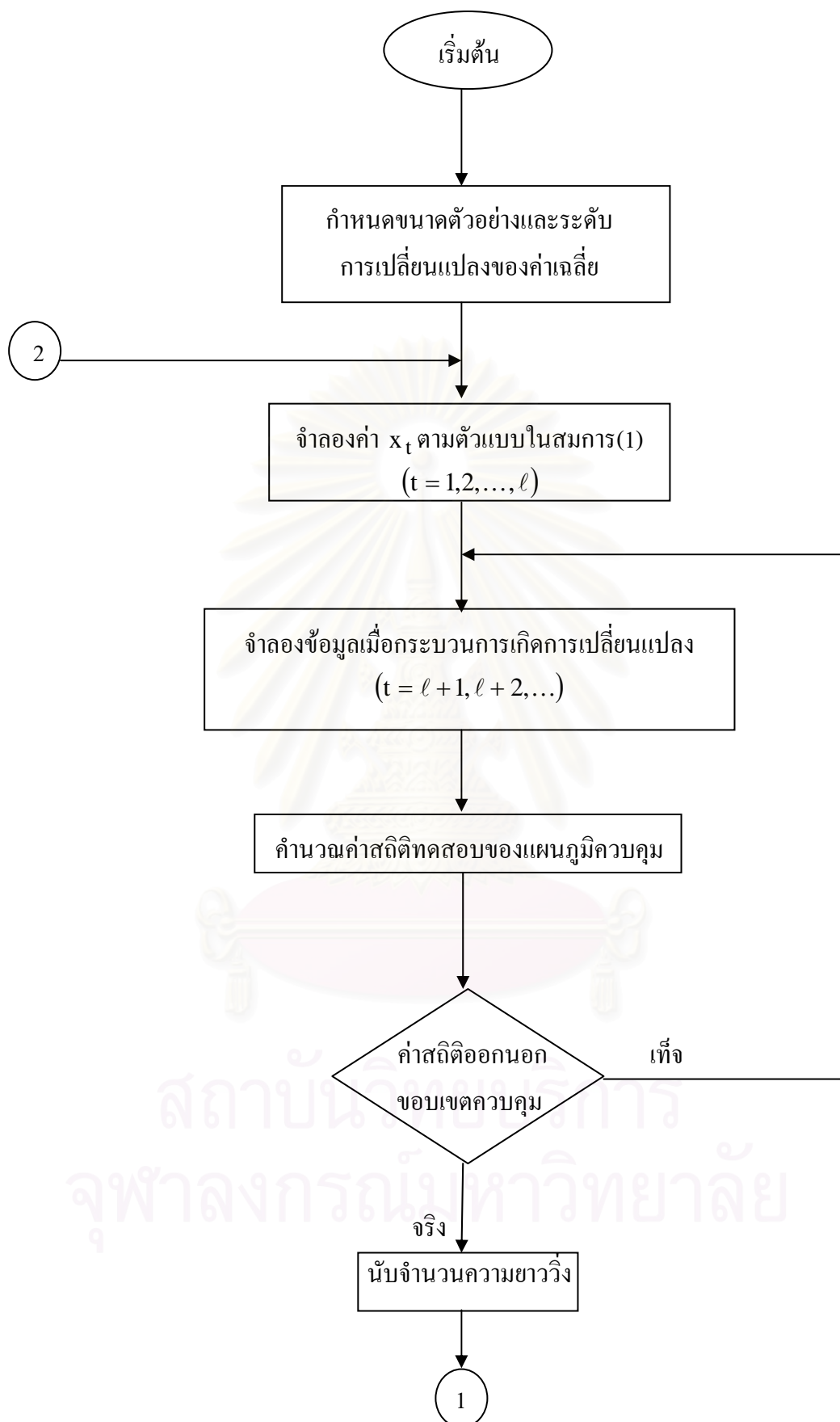
กว่าขอบเขตควบคุมบนหรือมากกว่าขอบเขตควบคุมล่างให้เปรียบเทียบตัวสถิติตัว
ถัดไปจนกว่าจะมีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือน้อยกว่าขอบเขตควบคุมล่าง

- 4.8 ทำขั้นตอนที่ (4.6)-(4.7) ซ้ำ 1,000 รอบ จากนั้นจะหาค่า ARL ของแต่ละสถานการณ์
โดยคำนวณจากผลรวมของค่าความยาววิ่งทั้งหมดหารด้วยจำนวนรอบที่ทดลองซ้ำ
- 4.9 หลังจากที่ได้ค่า ARL ของแต่ละสถานการณ์แล้ว จะทำการเปรียบเทียบ โดยแผนภูมิใด
ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด จะเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

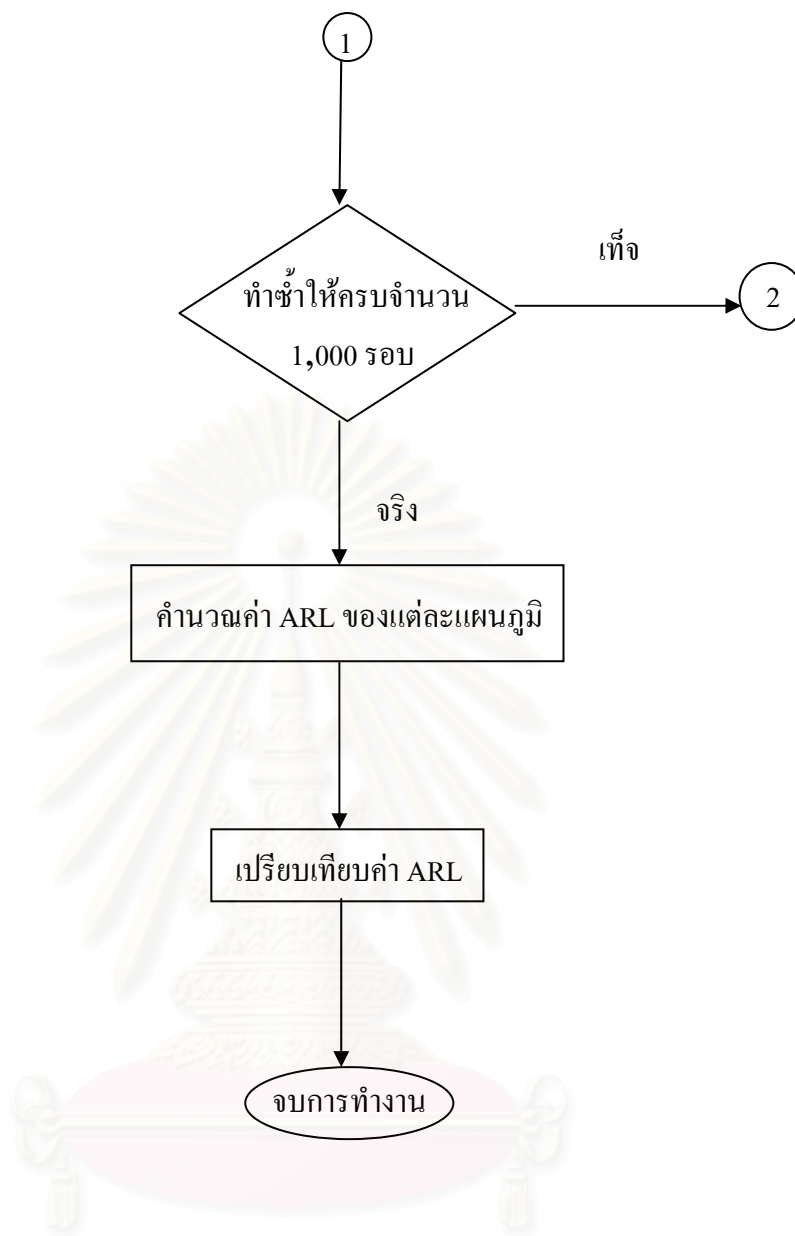
5. หาค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม ของแต่ละแผนภูมิควบคุม มี
ขั้นตอนดังนี้

- 5.1 จ้างเลขสุ่มที่มีการแจกแบบสม่ำเสมอในช่วง $U(0, 1)$
- 5.2 จ้างค่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t โดยกำหนดให้มีการแจกแจงแบบปกติมี
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1
- 5.3 กำหนดพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยของประชากร (μ_0) เท่ากับ 50
- 5.4 กำหนดคาบเวลาที่เริ่มต้น (ℓ) เท่ากับ 100
- 5.5 จ้างข้อมูลให้มีลักษณะตามตัวแบบในสมการ (3.1)
- 5.6 คำนวณค่าตัวสถิติของแต่ละแผนภูมิควบคุม และเริ่มนับจำนวนครั้งของเฉลี่ยตัวอย่างที่
ออกนอกขอบเขตควบคุม ตั้งแต่เวลาที่ $t = \ell + 1$ ซึ่งค่าเฉลี่ยของประชากรจะ
เปลี่ยนแปลงจาก μ_0 เป็น $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ โดยจะทำการเปรียบเทียบกับขอบเขต
ควบคุมเช่นเดียวกับกรณีหาค่าความยาววิ่ง ซึ่งจะทำซ้ำ 5,000 ค่าสังเกต
- 5.7 หาค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมของแต่ละสถานการณ์
โดยคำนวณจากผลรวมของจำนวนครั้งของค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ออกนอกขอบเขตควบคุม
ทั้งหมดหารด้วยจำนวนค่าสังเกตที่ทดลอง
- 5.8 หลังจากที่ได้ค่า power of the test ของแต่ละสถานการณ์แล้ว จะทำการเปรียบเทียบ
โดยแผนภูมิใดให้ค่า power of the test มากที่สุด จะเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพมาก
ที่สุด

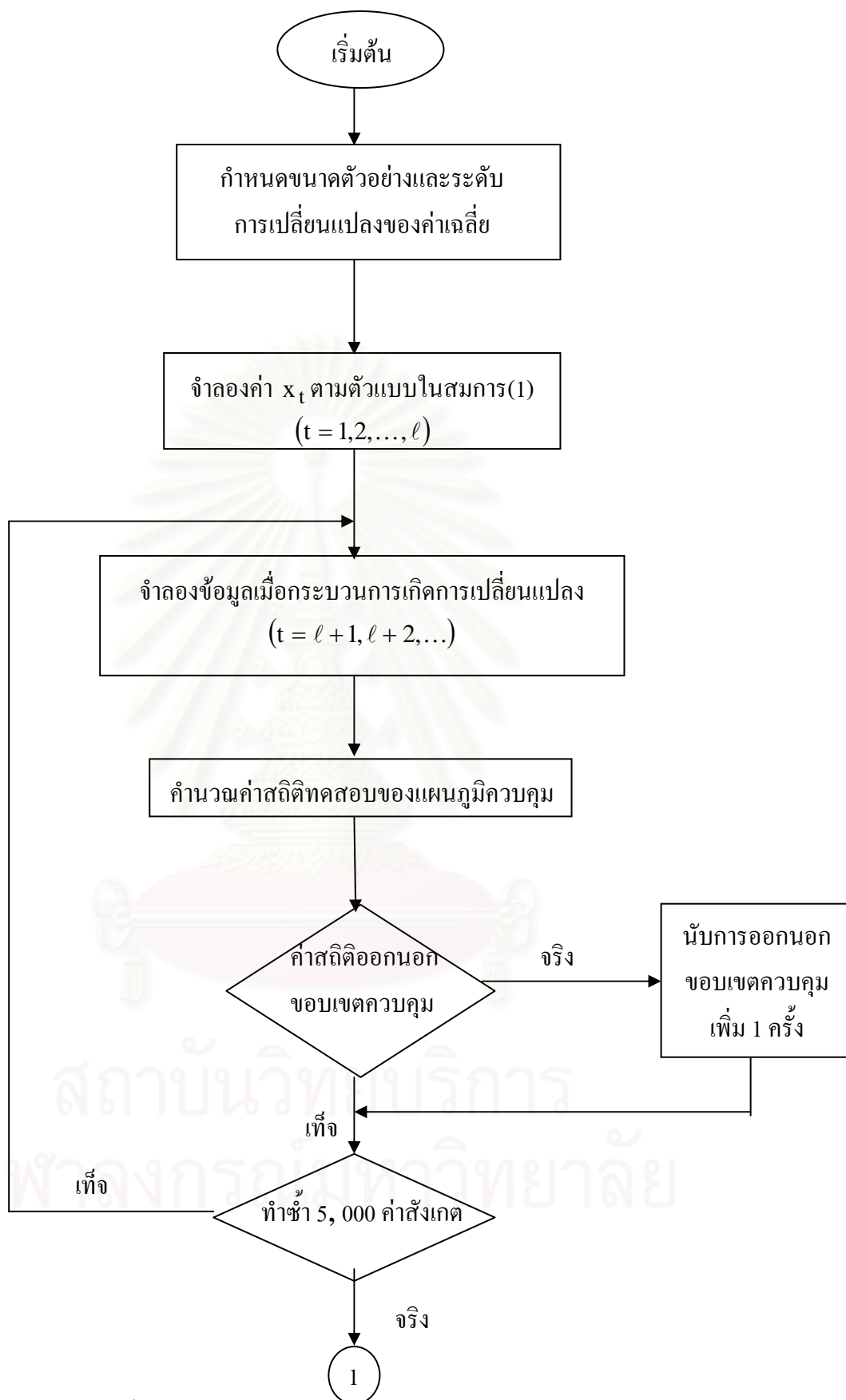
ขั้นตอนการดำเนินงานข้างต้นของการคำนวณหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อ
กระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย และค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอก
ขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test) ซึ่งแสดงดังรูป
ที่ 3.2 และรูปที่ 3.3



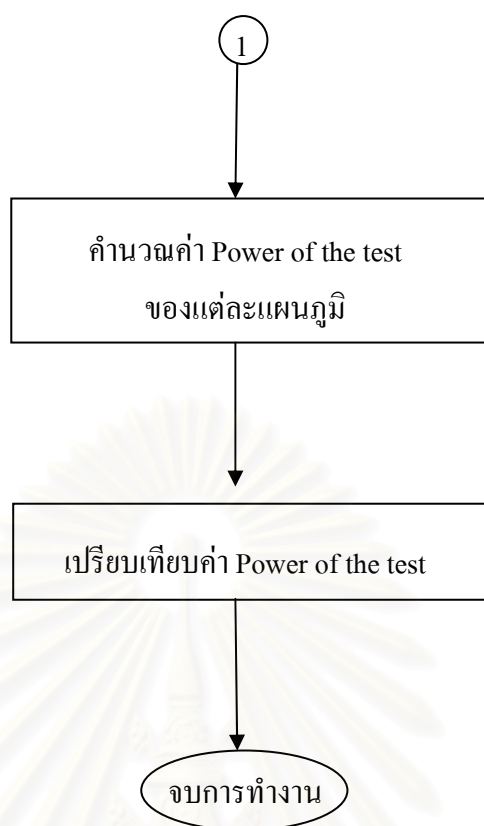
รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการหาค่า ARL



สถาบันวิจัยบริการ
รูปที่ 3.2 (ต่อ)
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการหาค่า power of the test



รูปที่ 3.3 (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจวัดกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ของแผนภูมิควบคุม 4 แบบ คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (CUSUM Control Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-Combined \bar{x} and CUSUM Control Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA Control Chart) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป (GWMA Control Chart) โดยวิธีหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ซึ่งถ้าแผนภูมิชนิดใดให้ค่า ARL น้อยที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ แสดงว่าแผนภูมิควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในบทนี้จะเสนอผลการวิจัย โดยจำแนกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกจะแสดงขอบเขตควบคุมและพารามิเตอร์ต่างๆของแต่ละแผนภูมิควบคุม ส่วนที่ 2 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมในสถานการณ์ต่างๆ และส่วนที่ 3 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test) ของแผนภูมิควบคุมในสถานการณ์ต่างๆ ทั้งนี้จะนำเสนอในรูปแบบตารางและกราฟเพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบ โดยกำหนดสัญลักษณ์ต่อไปนี้ แทนความหมายต่าง คือ

CUSUM	หมายถึง วิธีการตรวจวัดด้วยแผนภูมิควบคุม CUSUM
FIR- \bar{X} -CUSUM	หมายถึง วิธีการตรวจวัดด้วยแผนภูมิควบคุม FIR- \bar{X} -CUSUM
FIR-EWMA	หมายถึง วิธีการตรวจวัดด้วยแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
GWMA	หมายถึง วิธีการตรวจวัดด้วยแผนภูมิควบคุม GWMA
ARL	หมายถึง ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย
γ หรือ shift	หมายถึง ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย
n	หมายถึง ขนาดตัวอย่าง
l	หมายถึง จำนวนคาบเวลา หรือจำนวนค่าสังเกตเริ่มต้น (run-in period) ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย
H	หมายถึง ความกว้างของขอบเขตควบคุม CUSUM และ FIR- \bar{X} -CUSUM

L	หมายถึง สัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม FIR- \bar{X} -CUSUM , FIR-EWMA , GWMA
λ	หมายถึง พารามิเตอร์ ซึ่งเป็นค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
f	หมายถึง พารามิเตอร์ ซึ่งเป็นค่าคงที่ ของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
q	หมายถึง พารามิเตอร์ ซึ่งเป็นค่าคงที่ของแผนภูมิควบคุม GWMA
α	หมายถึง พารามิเตอร์ ซึ่งเป็นค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม GWMA

โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

γ	=	0.10 σ , 0.20 σ , 0.25 σ , 0.30 σ , 0.40 σ , 0.50 σ , 0.75 σ , 1.00 σ , 1.50 σ , 2.00 σ , 3.00 σ , 4.00 σ เมื่อ $\sigma = 1$
n	=	1 , 3 , 4 , 6 , 7 , 9 , 12 , 13 , 15 , 17 , 20 , 25 , 27 , 30
ℓ	=	100
μ_0	=	50
λ	=	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9
f	=	0.5
q	=	0.5, 0.75, 0.8, 0.9
α	=	0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9

4.1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม

4.1.1 แผนภูมิควบคุม CUSUM

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการคัดเลือกค่าความกว้างของขอบเขตควบคุม H โดยการพิจารณาเลือกค่า H ที่ทำให้ได้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม เท่ากับ 370 เพื่อนำค่า H มาใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ

จากการวิจัย ทำให้ได้ค่า H = 4.77 และสามารถสร้างขอบเขตควบคุมได้ดังนี้

$$\text{ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ} = 4.77 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

จึงสามารถอธิบายได้ว่า ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CUSUM ขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง จึงทำให้ขอบเขตควบคุมมีขนาดลดลง เมื่อขนาดตัวอย่างมากขึ้น และในทางกลับกัน ขอบเขตควบคุมจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อขนาดตัวอย่างน้อยลง

ตารางที่ 4.1 แสดงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ CUSUM

ขนาดตัวอย่าง	ขอบเขตควบคุม
1	4.77
3	2.75
4	2.39
6	1.95
7	1.80
9	1.59
12	1.38
13	1.32
15	1.23
17	1.16
20	1.07
25	0.95
27	0.92
30	0.87

4.1.2 แผนภูมิควบคุม FIR- \bar{X} -CUSUM

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการคัดเลือกค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม L และค่าความกว้างของขอบเขตควบคุม H โดยการพิจารณาเลือกค่า L และ H ที่ทำให้ได้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม เท่ากับ 370 เพื่อนำมาใช้เป็นขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ

จากการวิจัยครั้งนี้ ทำให้ได้ค่า L = 3.5 และ H = 5 สำหรับทุกขนาดตัวอย่าง (n) ดังนั้นจะได้ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ

$$\begin{aligned} L &= 3.50 \\ H &= 5.00 \end{aligned}$$

จึงสามารถอธิบายได้ว่า ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ FIR- \bar{X} -CUSUM ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง (n)

4.1.3 แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ (λ, f, L) โดยการพิจารณาเลือกค่าพารามิเตอร์ (λ, f, L) ที่ทำให้ได้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม เท่ากับ 370

หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ (λ, f, L) ที่ทำให้ได้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม เท่ากับ 370 แล้วสามารถสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมในสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

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

เมื่อ $a = \frac{-2/(\log_{10}(f)-1)}{19}$

ทั้งนี้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของกระบวนการ จะเลือกพารามิเตอร์ (λ, f, L) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดในแต่ละสถานการณ์ มาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

จึงสามารถอธิบายได้ว่า ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะขึ้นอยู่กับระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยและขนาดตัวอย่าง นั่นคือที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเท่ากัน ขนาดตัวอย่างมากขึ้น ขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ (λ, f, L) ที่ใช้ในการคำนวณหาขอบเขตควบคุมจะเลือกพารามิเตอร์ (λ, f, L) ที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดในแต่ละสถานการณ์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ (λ, f, L) นี้ จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยและขนาดตัวอย่าง ดังนั้นที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเท่ากันขนาดตัวอย่างมากขึ้น ขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่แน่นอน ในทำนองเดียวกัน ที่ขนาดตัวอย่างเดียวกัน ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยมากขึ้น ขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่แน่นอน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุม ของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จำแนกตามขนาดตัวอย่าง และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย

N \ SHIFT	1		3		4		6		7		9		12	
	ALPHA	L	ALPHA	L	ALPHA	L	ALPHA	L	ALPHA	L	ALPHA	L	ALPHA	L
0.10	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82
0.20	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82
0.25	0.1	2.81	0.1	2.81	0.2	2.95	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82
0.30	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.82	0.1	2.82	0.2	2.95	0.1	2.82
0.40	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82
0.50	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.81	0.2	2.96	0.7	3.08	0.1	2.82	0.1	2.82
0.75	0.1	2.81	0.2	2.94	0.2	2.95	0.8	3.08	0.2	2.95	0.2	2.95	0.1	2.82
1.00	0.2	2.95	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.82	0.2	2.95	0.2	2.95	0.1	2.82
1.50	0.1	2.81	0.1	2.81	0.2	2.95	0.2	2.96	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82
2.00	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82
3.00	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82
4.00	0.3	3.01	0.1	2.81	0.1	2.81	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82	0.1	2.82

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

N SHIFT	13		15		17		20		25		27		30	
	ALPHA	L	ALPHA	L	ALPHA	L	ALPHA	L	ALPHA	L	ALPHA	L	ALPHA	L
0.10	0.1	2.83	0.1	2.82	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.82
0.20	0.1	2.83	0.1	2.82	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.2	2.96
0.25	0.1	2.83	0.3	3.02	0.1	2.83	0.1	2.83	0.3	3.02	0.1	2.83	0.1	2.82
0.30	0.3	3.01	0.2	2.96	0.2	2.96	0.1	2.83	0.4	3.04	0.3	3.02	0.1	2.82
0.40	0.3	3.01	0.4	3.04	0.3	3.01	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.5	3.06
0.50	0.1	2.83	0.1	2.82	0.7	3.07	0.1	2.83	0.1	2.83	0.2	2.96	0.1	2.82
0.75	0.1	2.83	0.1	2.82	0.4	3.05	0.4	3.05	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.82
1.00	0.1	2.83	0.1	2.82	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.82
1.50	0.1	2.83	0.1	2.82	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.82
2.00	0.1	2.83	0.1	2.82	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.82
3.00	0.1	2.83	0.1	2.82	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.82
4.00	0.1	2.83	0.1	2.82	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.83	0.1	2.82

4.1.4 แผนภูมิควบคุม GWMA

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ (α, q, L) โดยการพิจารณาเลือกค่าพารามิเตอร์ (α, q, L) ที่ทำให้ได้ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม เท่ากับ 370

หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ (α, q, L) ที่ทำให้ได้ค่า ARL เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม เท่ากับ 370 แล้ว สามารถสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมในสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

$$UCL = \mu + L\sigma\sqrt{\frac{Q_i}{n}}$$

$$CL = \mu$$

$$LCL = \mu - L\sigma\sqrt{\frac{Q_i}{n}}$$

$$\text{เมื่อ } Q_i = (q^{0\alpha} - q^{1\alpha})^2 + (q^{1\alpha} - q^{2\alpha})^2 + \dots + (q^{(i-1)\alpha} - q^{i\alpha})^2$$

ทั้งนี้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของกระบวนการ จะเลือกพารามิเตอร์ (α, q, L) ชุดที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดในแต่ละสถานการณ์ มาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

จึงสามารถอธิบายได้ว่า ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม GWMA จะขึ้นอยู่กับระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยและขนาดตัวอย่าง นั่นคือที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเท่ากัน ขนาดตัวอย่างมากขึ้น ขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ (α, q, L) ที่ใช้ในการคำนวณหาขอบเขตควบคุมจะเลือกพารามิเตอร์ (α, q, L) ที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดในแต่ละสถานการณ์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ (α, q, L) นี้ จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยและขนาดตัวอย่าง ดังนั้นที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเท่ากันขนาดตัวอย่างมากขึ้น ขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่แน่นอน ในทำนองเดียวกัน ที่ขนาดตัวอย่างเดียวกัน ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยมากขึ้น ขอบเขตควบคุมอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่แน่นอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุม ของแผนภูมิควบคุม GWMA จำแนกตามขนาดตัวอย่าง และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย

SHIFT \ N	1			3			4			6			7		
	Q	ALPHA	L	Q	ALPHA	L	Q	ALPHA	L	Q	ALPHA	L	Q	ALPHA	L
0.10	0.90	0.50	2.89	0.90	0.60	2.84	0.90	0.50	2.89	0.90	0.60	2.85	0.90	0.80	2.76
0.20	0.90	0.70	2.79	0.50	0.70	2.99	0.90	0.70	2.79	0.80	0.50	2.95	0.90	0.80	2.76
0.25	0.90	0.70	2.79	0.80	0.60	2.93	0.90	0.70	2.79	0.90	0.50	2.90	0.90	0.90	2.73
0.30	0.90	0.60	2.84	0.90	0.50	2.90	0.90	0.90	2.72	0.90	0.80	2.75	0.90	0.80	2.76
0.40	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.72	0.90	0.80	2.75	0.90	0.80	2.75	0.90	0.90	2.73
0.50	0.80	0.80	2.89	0.90	0.70	2.79	0.90	0.90	2.72	0.90	0.60	2.85	0.90	0.90	2.73
0.75	0.90	0.80	2.75	0.90	0.90	2.72	0.90	0.90	2.72	0.90	0.80	2.75	0.90	0.80	2.76
1.00	0.90	0.90	2.73	0.75	0.70	2.93	0.90	0.90	2.72	0.90	0.90	2.73	0.90	0.60	2.84
1.50	0.90	0.90	2.73	0.80	0.90	2.87	0.90	0.80	2.75	0.90	0.90	2.73	0.90	0.60	2.84
2.00	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.72	0.90	0.70	2.79	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73
3.00	0.90	0.80	2.75	0.90	0.90	2.72	0.90	0.90	2.72	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73
4.00	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.72	0.90	0.90	2.72	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

SHIFT \ N	9			12			13			15			17		
	Q	ALPHA	L	Q	ALPHA	L	Q	ALPHA	L	Q	ALPHA	L	Q	ALPHA	L
0.10	0.90	0.70	2.79	0.90	0.80	2.76	0.90	0.80	2.75	0.90	0.70	2.80	0.90	0.70	2.79
0.20	0.90	0.60	2.84	0.90	0.70	2.79	0.90	0.80	2.75	0.90	0.90	2.73	0.80	0.60	2.93
0.25	0.90	0.80	2.76	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.80	2.76	0.90	0.80	2.76
0.30	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.70	2.79	0.50	0.70	2.98	0.90	0.80	2.76
0.40	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.80	2.76
0.50	0.90	0.80	2.76	0.90	0.90	2.73	0.80	0.90	2.87	0.90	0.70	2.80	0.90	0.80	2.76
0.75	0.90	0.70	2.79	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.80	2.76
1.00	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.80	2.76
1.50	0.50	0.50	2.99	0.90	0.60	2.84	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73
2.00	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73
3.00	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73
4.00	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73	0.90	0.90	2.73

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

SHIFT \ N	20			25			27			30		
	Q	ALPHA	L	Q	ALPHA	L	Q	ALPHA	L	Q	ALPHA	L
0.10	0.90	0.70	2.80	0.90	0.80	2.76	0.90	0.80	2.76	0.90	0.90	2.74
0.20	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.80	2.76
0.25	0.90	0.80	2.77	0.90	0.90	2.74	0.90	0.80	2.76	0.80	0.90	2.80
0.30	0.90	0.90	2.74	0.90	0.80	2.76	0.90	0.80	2.76	0.90	0.90	2.74
0.40	0.90	0.90	2.74	0.90	0.80	2.76	0.90	0.80	2.76	0.90	0.60	2.85
0.50	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.70	2.80	0.90	0.90	2.74
0.75	0.90	0.90	2.74	0.90	0.80	2.76	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74
1.00	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74
1.50	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74
2.00	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74
3.00	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74
4.00	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74	0.90	0.90	2.74

4.2 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุม

ค่า ARL ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4 ถึงตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.4 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1

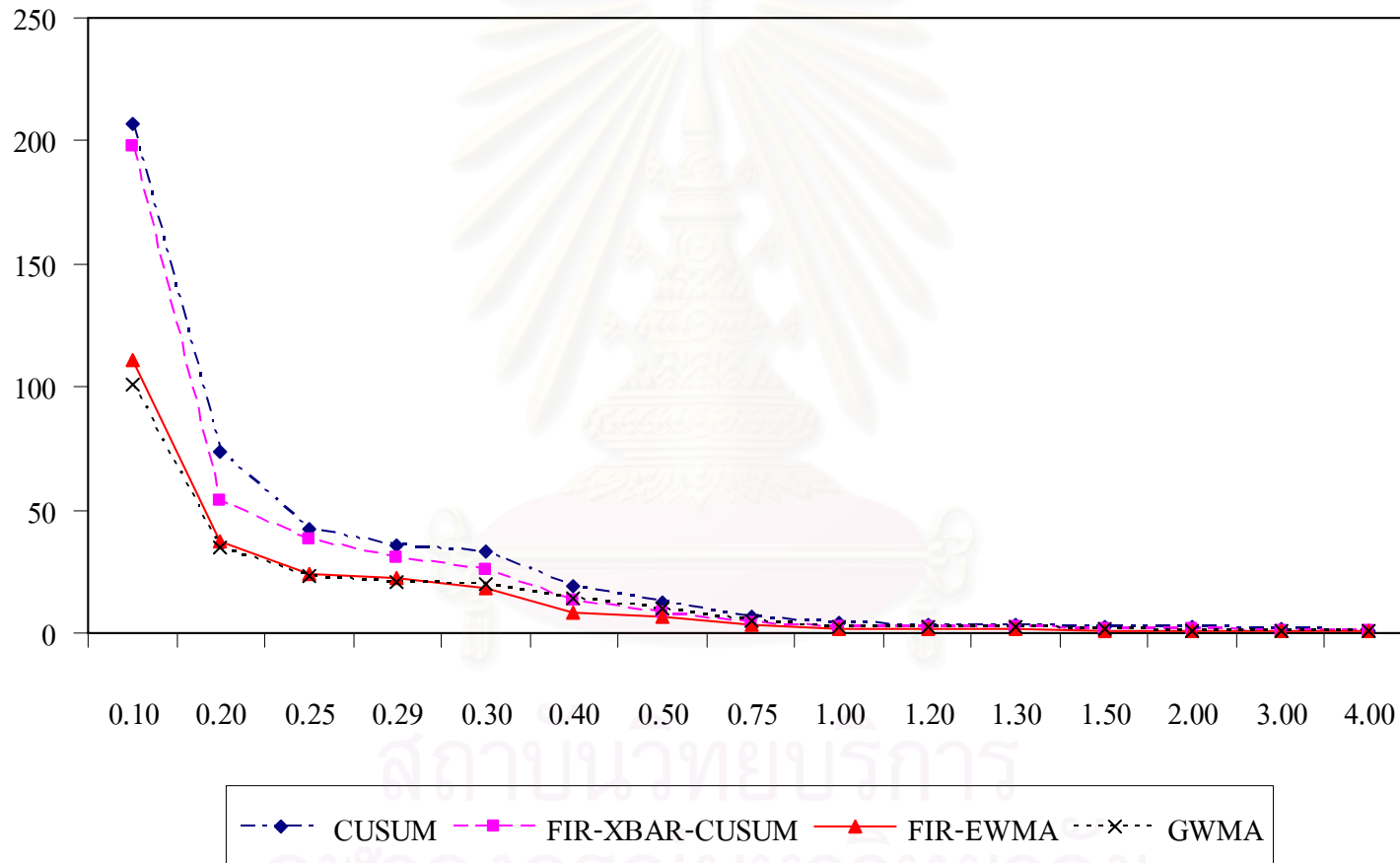
N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
1	0.10	291.69	278.20	217.76	190.16*
	0.20	182.80	162.20	109.54	93.33*
	0.25	123.88	112.42	71.62	69.69*
	0.29	98.59	94.25	57.75	51.19*
	0.30	86.95	82.32	53.90*	55.27
	0.40	62.66	46.43	30.58*	31.80
	0.50	33.96	26.55	16.14*	22.26
	0.75	15.56	11.27	8.24*	12.09
	1.00	9.75	6.24	3.26*	7.57
	1.20	7.67	4.50	3.21*	5.09
	1.30	6.99	4.00	2.67*	3.75
	1.50	5.63	4.12	1.68*	3.68
	2.00	3.84	2.63	1.39*	2.51
	3.00	2.48	1.54	1.05*	1.43
4.00	1.95	1.28	1.00*	1.11	

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.4 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 1 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 0.29\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.30\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด

รูปที่ 4.1 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1



ตารางที่ 4.5 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 3

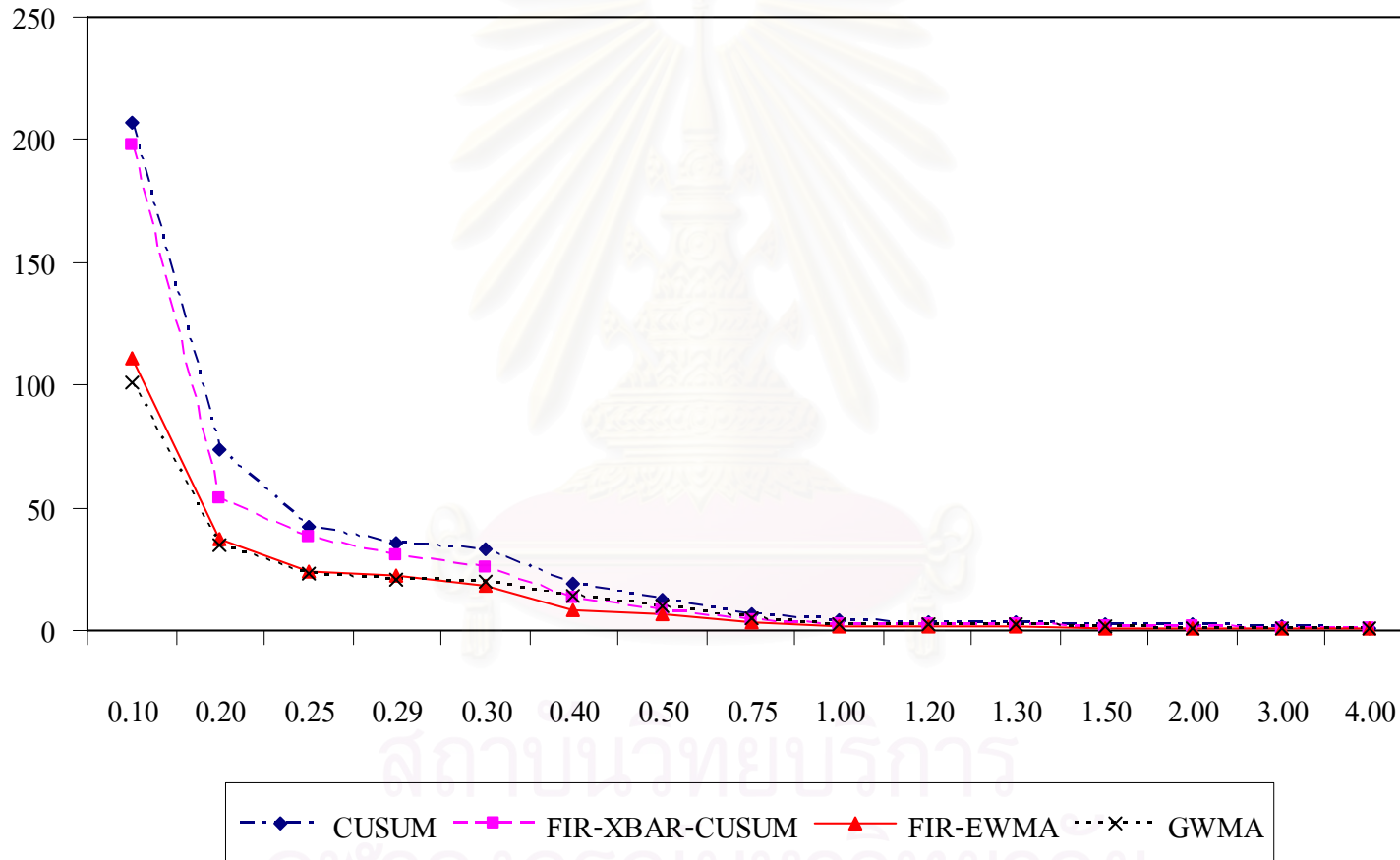
N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
3	0.10	207.01	197.98	111.17	100.93*
	0.20	74.08	54.06	37.48	34.62*
	0.25	42.39	38.08	24.26	23.56*
	0.29	35.68	31.04	22.59	20.43*
	0.30	32.86	25.80	18.04*	19.53
	0.40	18.80	13.05	8.44*	13.91
	0.50	12.50	8.35	6.39*	9.61
	0.75	6.69	4.21	2.96*	4.84
	1.00	4.44	2.81	1.49*	2.83
	1.20	3.72	2.23	1.45*	2.41
	1.30	3.50	2.11	1.29*	2.09
	1.50	2.86	1.81	1.10*	1.65
	2.00	2.15	1.35	1.04*	1.24
	3.00	1.51	1.19	1.00*	1.16
	4.00	1.09	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.5 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 3 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 0.29\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.30\sigma - 3.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 4.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.2 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 3



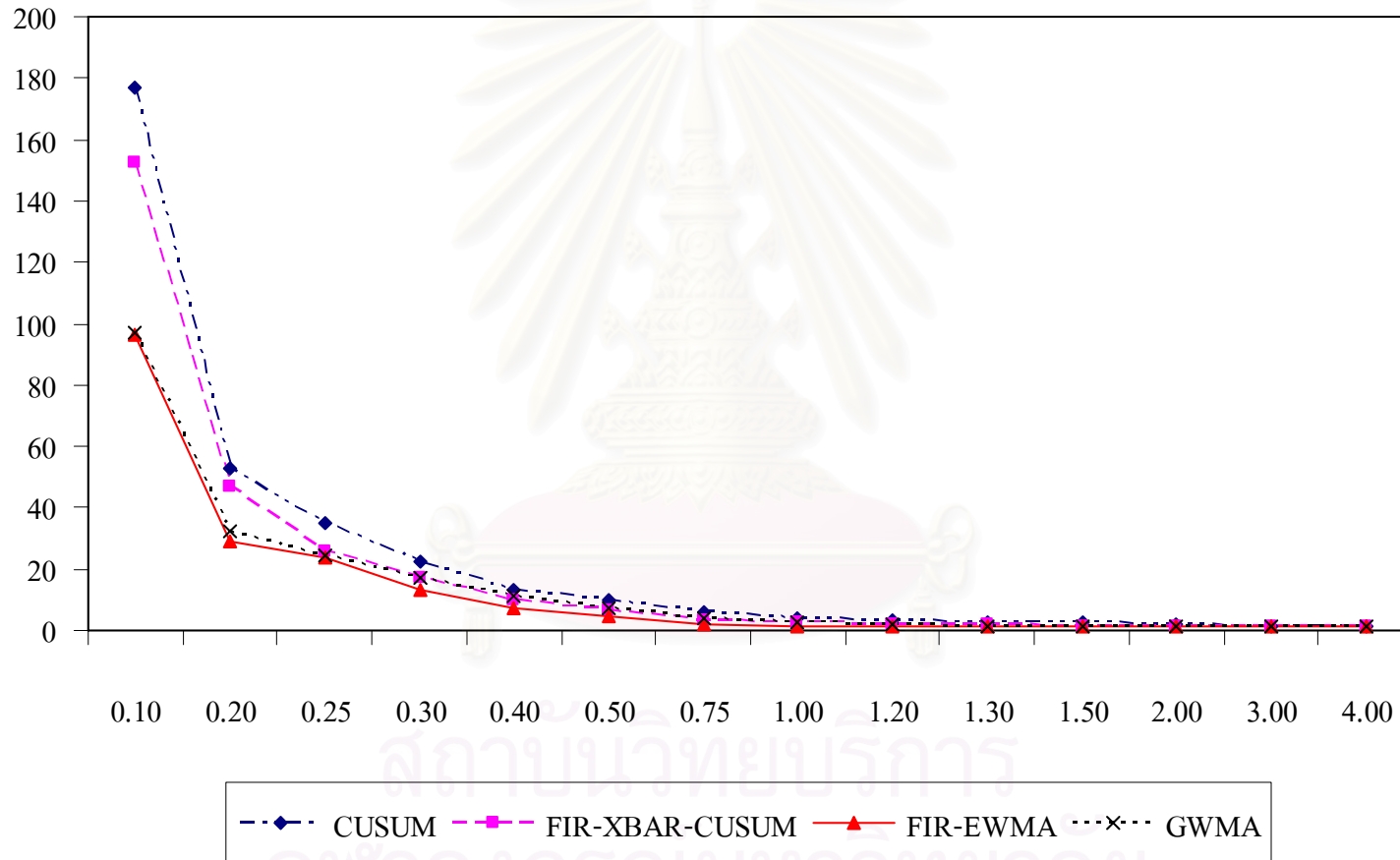
ตารางที่ 4.6 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
4	0.10	177.08	152.69	96.42*	97.28
	0.20	52.68	47.05	29.25*	32.47
	0.25	34.93	25.62	23.83*	24.14
	0.30	22.60	17.34	12.95*	17.09
	0.40	12.91	9.61	7.19*	11.00
	0.50	9.79	6.64	4.45*	7.07
	0.75	5.62	3.50	1.93*	3.85
	1.00	3.69	2.32	1.39*	2.39
	1.20	3.14	2.05	1.15*	2.15
	1.30	2.91	1.76	1.13*	1.63
	1.50	2.49	1.58	1.03*	1.47
	2.00	1.97	1.16	1.00*	1.12
	3.00	1.25	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.6 สามารถอธิบายได้ดังนี้
ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 4 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 2.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 3.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิ
ควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับ
การเปลี่ยนแปลง 4.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม
FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.3 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4



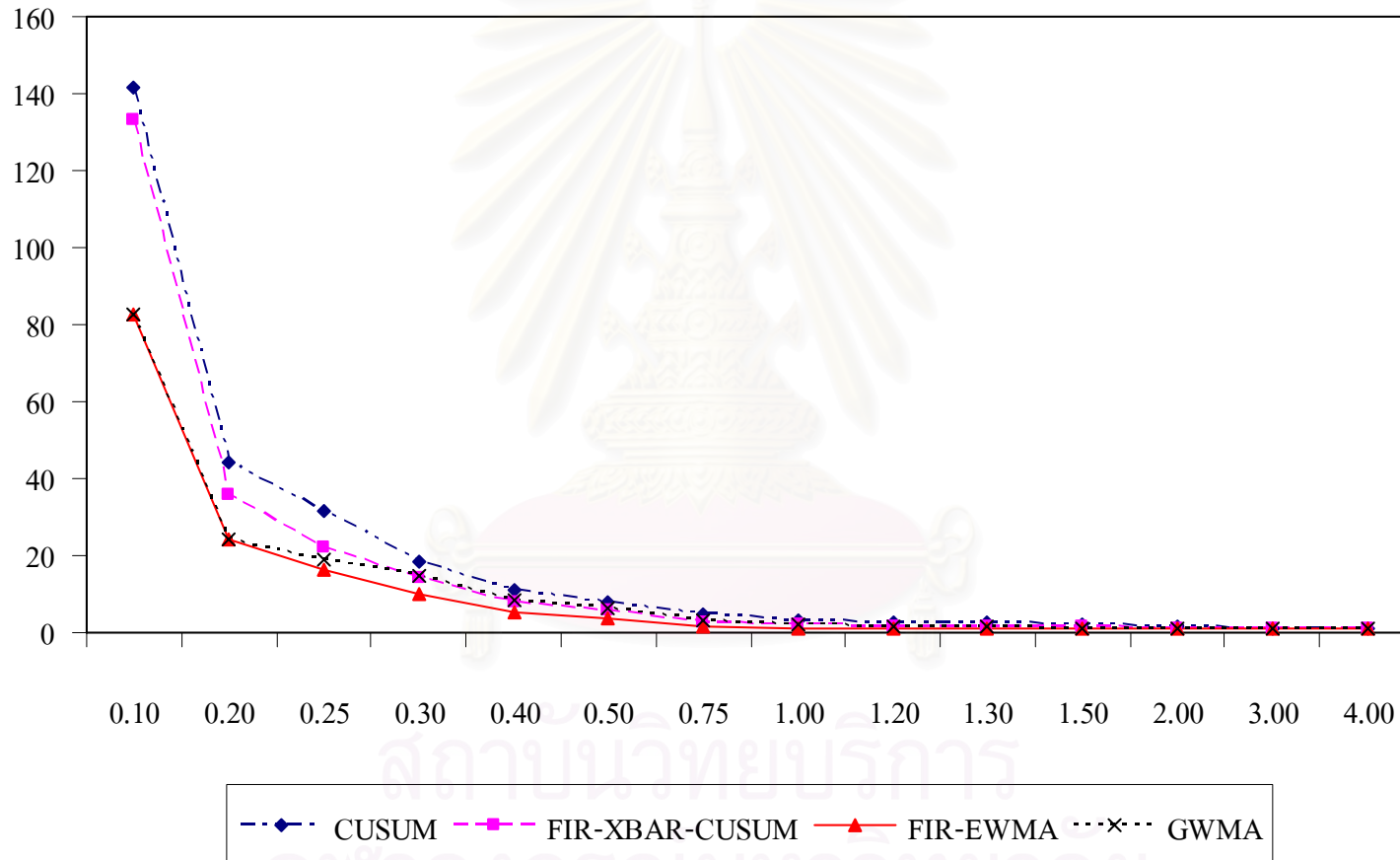
ตารางที่ 4.7 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 6

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
6	0.10	141.40	133.28	82.55*	82.61
	0.20	44.07	35.92	24.01*	24.31
	0.25	31.62	22.28	16.33*	18.86
	0.30	18.46	13.99	10.05*	14.70
	0.40	11.08	7.75	5.19*	8.42
	0.50	7.91	5.60	3.48*	6.28
	0.75	4.75	2.85	1.76*	3.27
	1.00	3.16	2.13	1.31*	2.20
	1.20	2.75	1.75	1.13*	1.84
	1.30	2.55	1.61	1.08*	1.49
	1.50	2.23	1.36	1.02*	1.26
	2.00	1.84	1.07	1.00*	1.04
	3.00	1.09	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.7 สามารถอธิบายได้ดังนี้
ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 6 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 2.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 3.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิ
ควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับ
การเปลี่ยนแปลง 4.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม
FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.4 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 6



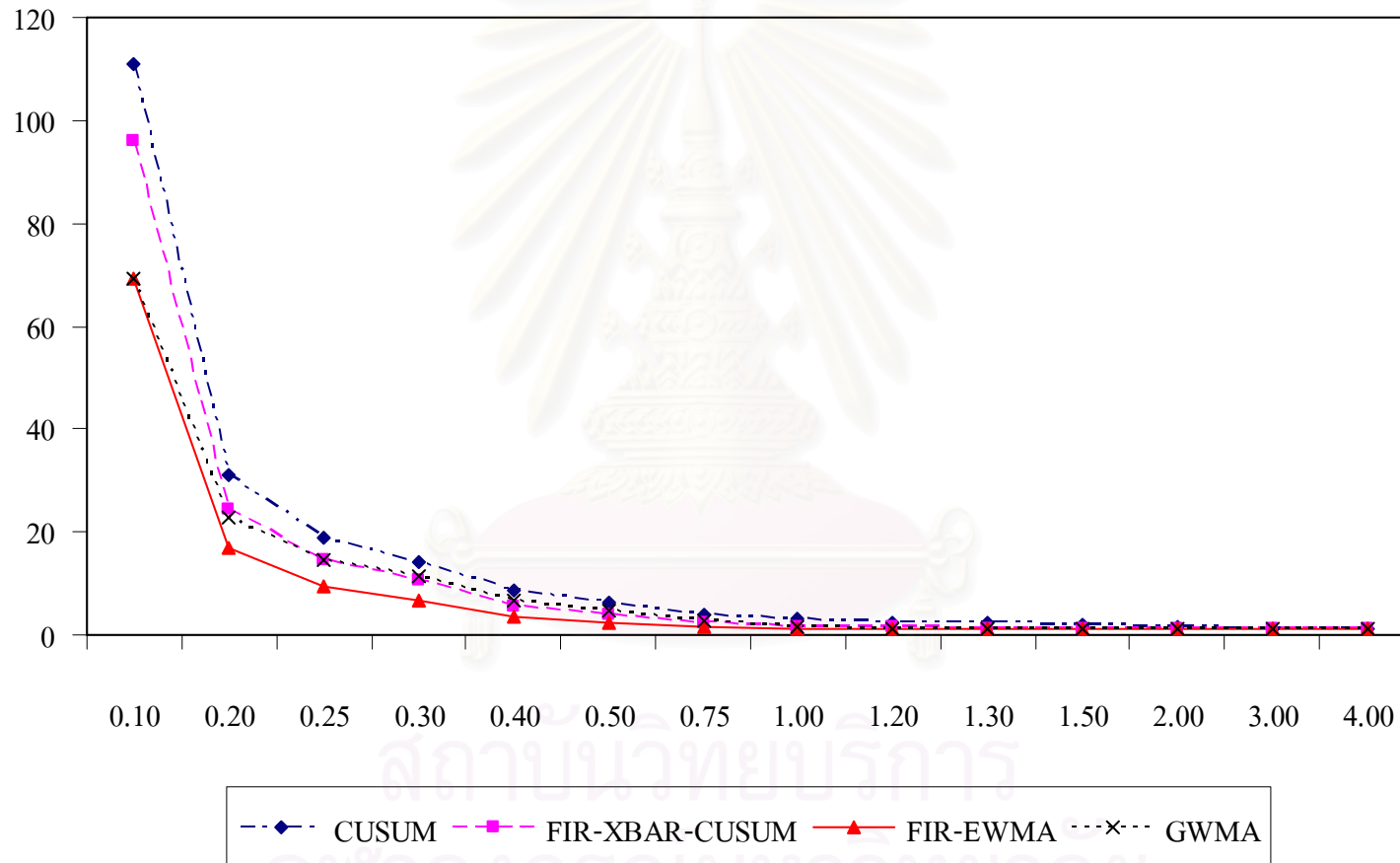
ตารางที่ 4.8 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 7

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
7	0.10	111.00	96.00	69.06*	69.41
	0.20	31.00	24.48	16.82*	22.66
	0.25	18.80	14.59	9.40*	14.53
	0.30	14.20	10.62	6.76*	11.48
	0.40	8.60	5.47	3.71*	6.73
	0.50	6.39	4.10	2.43*	4.92
	0.75	3.90	2.51	1.40*	2.56
	1.00	3.00	1.71	1.10*	1.70
	1.20	2.32	1.57	1.04*	1.37
	1.30	2.22	1.35	1.02*	1.25
	1.50	1.99	1.19	1.00*	1.12
	2.00	1.50	1.00*	1.00*	1.00*
	3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.8 สามารถอธิบายได้ดังนี้
ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 7 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 2.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิ
ควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับ
การเปลี่ยนแปลง $3.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิ
ควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.5 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 7



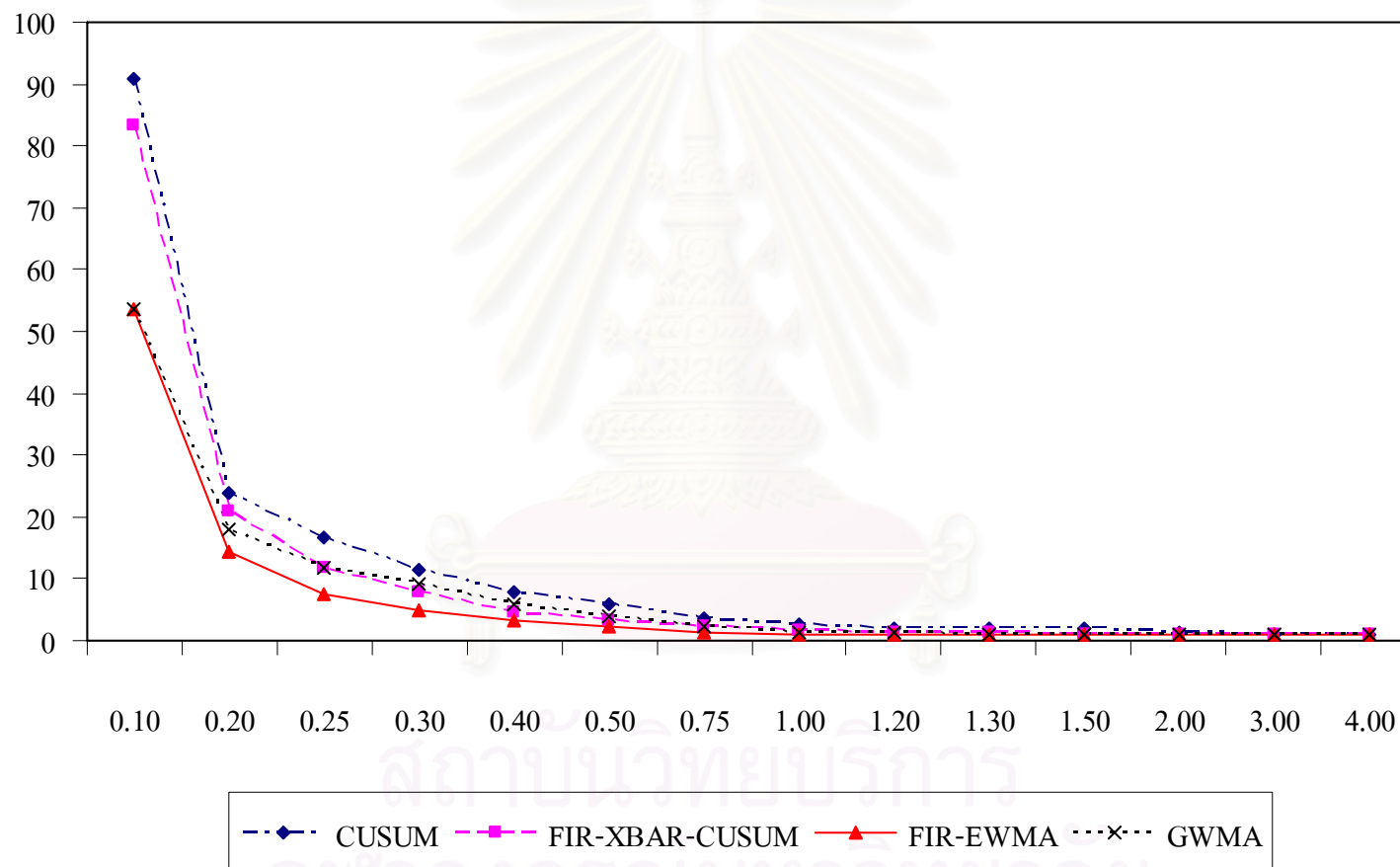
ตารางที่ 4.9 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 9

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
9	0.10	90.96	83.31	53.45*	53.50
	0.20	23.70	20.76	14.39*	18.03
	0.25	16.55	11.66	7.66*	11.81
	0.30	11.56	7.74	4.87*	9.01
	0.40	7.72	4.56	3.15*	5.77
	0.50	5.84	3.30	2.25*	3.79
	0.75	3.54	2.13	1.25*	2.15
	1.00	2.58	1.51	1.04*	1.38
	1.20	2.01	1.30	1.02*	1.20
	1.30	2.00	1.17	1.01*	1.11
	1.50	1.80	1.04	1.00*	1.03
	2.00	1.26	1.00*	1.00*	1.00*
	3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.9 สามารถอธิบายได้ดังนี้
ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 9 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 2.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิ
ควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับ
การเปลี่ยนแปลง $3.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิ
ควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.6 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 9



ตารางที่ 4.10 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม

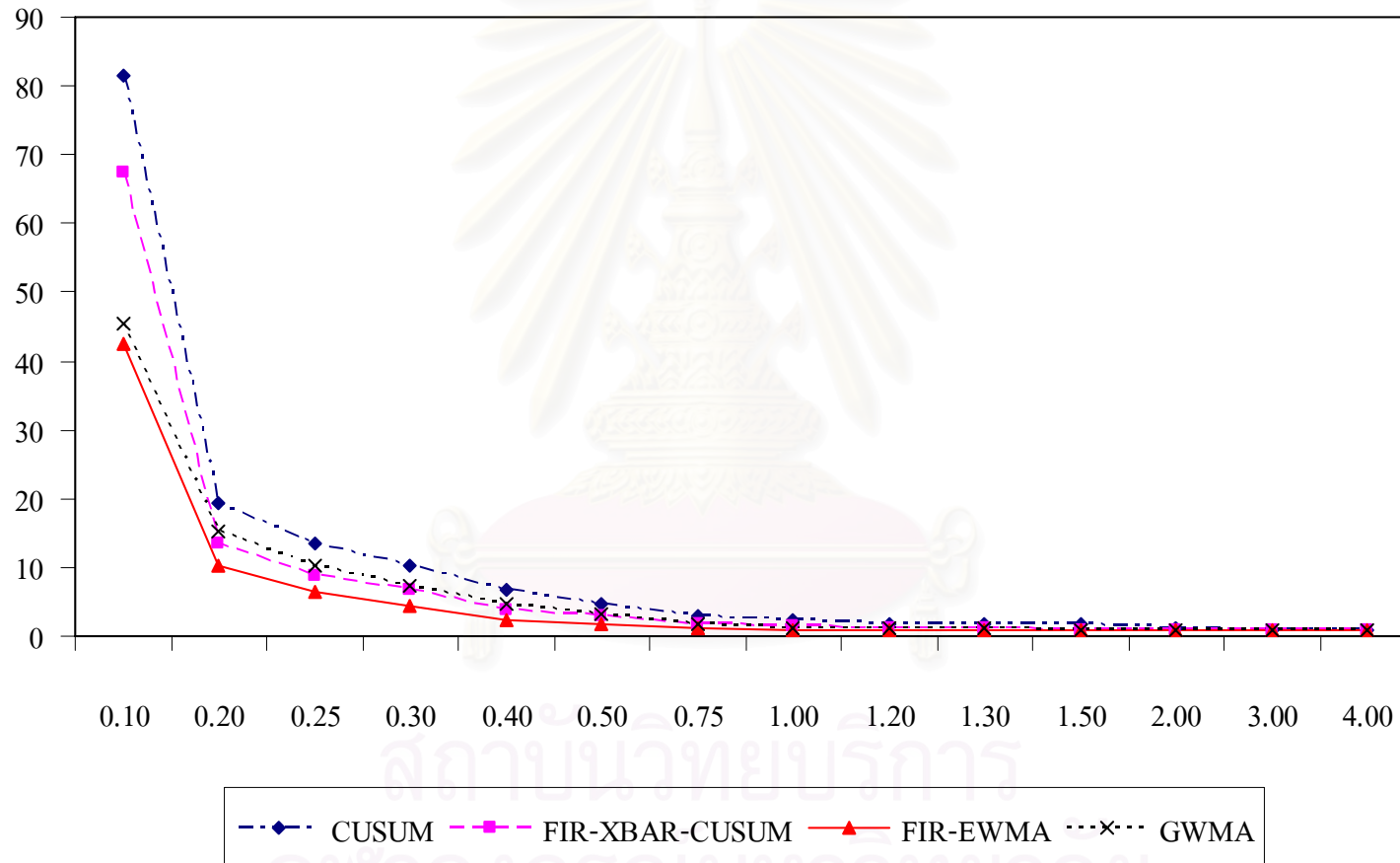
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 12

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
12	0.10	81.59	67.29	42.55*	45.30
	0.20	19.40	13.63	10.31*	15.17
	0.25	13.38	8.91	6.32*	10.33
	0.30	10.22	6.73	4.42*	7.35
	0.40	6.86	3.84	2.41*	4.69
	0.50	4.80	2.96	1.79*	3.37
	0.75	2.99	1.82	1.16*	1.83
	1.00	2.29	1.41	1.00*	1.27
	1.20	1.90	1.25	1.00*	1.11
	1.30	1.81	1.10	1.00*	1.04
	1.50	1.62	1.02	1.00*	1.01
	2.00	1.10	1.00*	1.00*	1.00*
	3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.10 สามารถอธิบายได้ดังนี้
 ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 12 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 2.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $3.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.7 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 12



ตารางที่ 4.11 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม

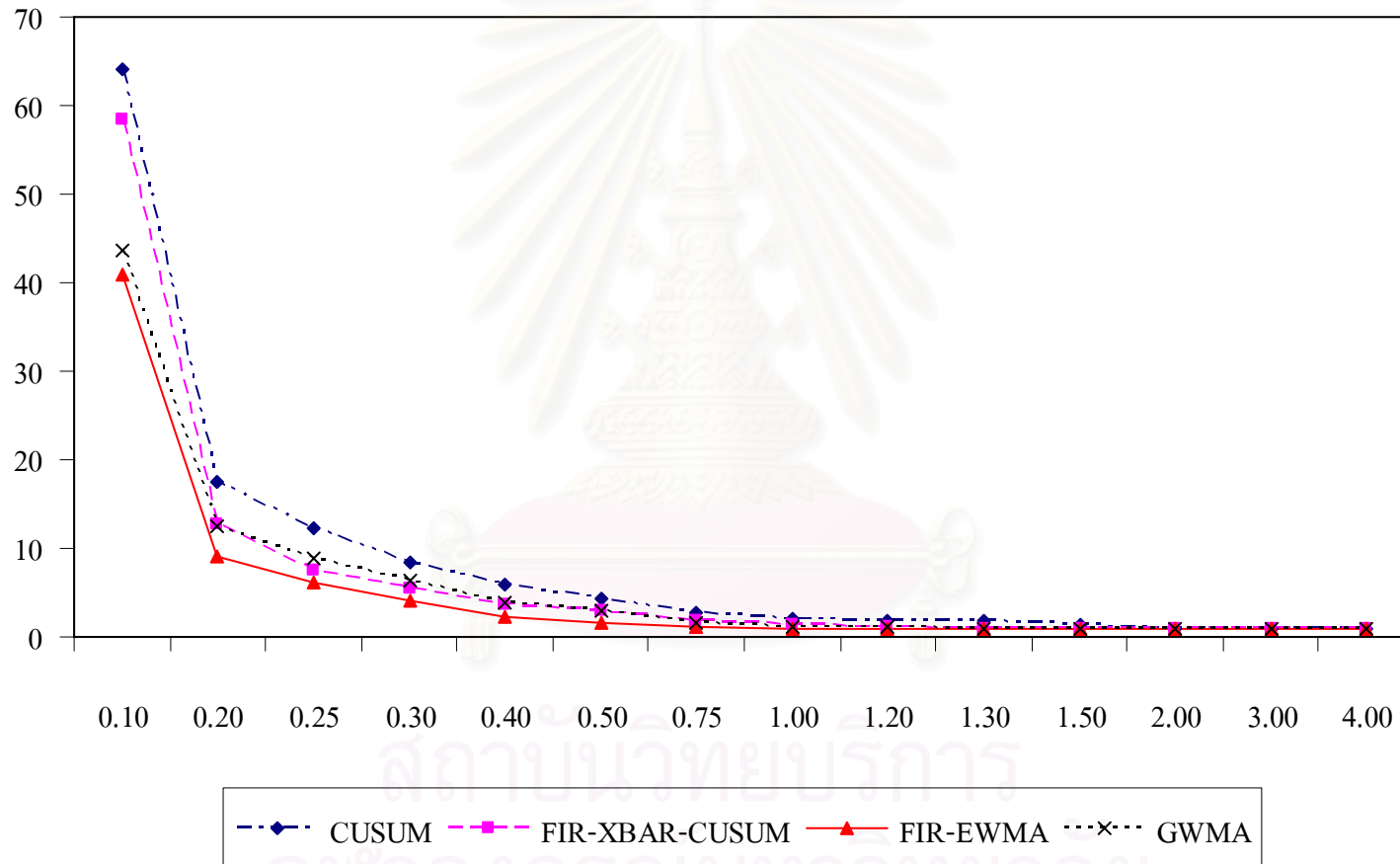
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 13

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
13	0.10	64.19	58.40	40.81*	43.53
	0.20	17.53	12.64	9.17*	12.43
	0.25	12.26	7.59	6.03*	8.93
	0.30	8.46	5.49	4.05*	6.46
	0.40	6.01	3.62	2.23*	3.84
	0.50	4.33	2.86	1.58*	3.02
	0.75	2.80	1.71	1.14*	1.66
	1.00	2.15	1.33	1.00*	1.22
	1.20	1.86	1.18	1.00*	1.09
	1.30	1.72	1.00*	1.00*	1.00*
	1.50	1.44	1.00*	1.00*	1.00*
	2.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.11 สามารถอธิบายได้ดังนี้
 ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 13 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.20\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.30\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $2.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.8 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 13



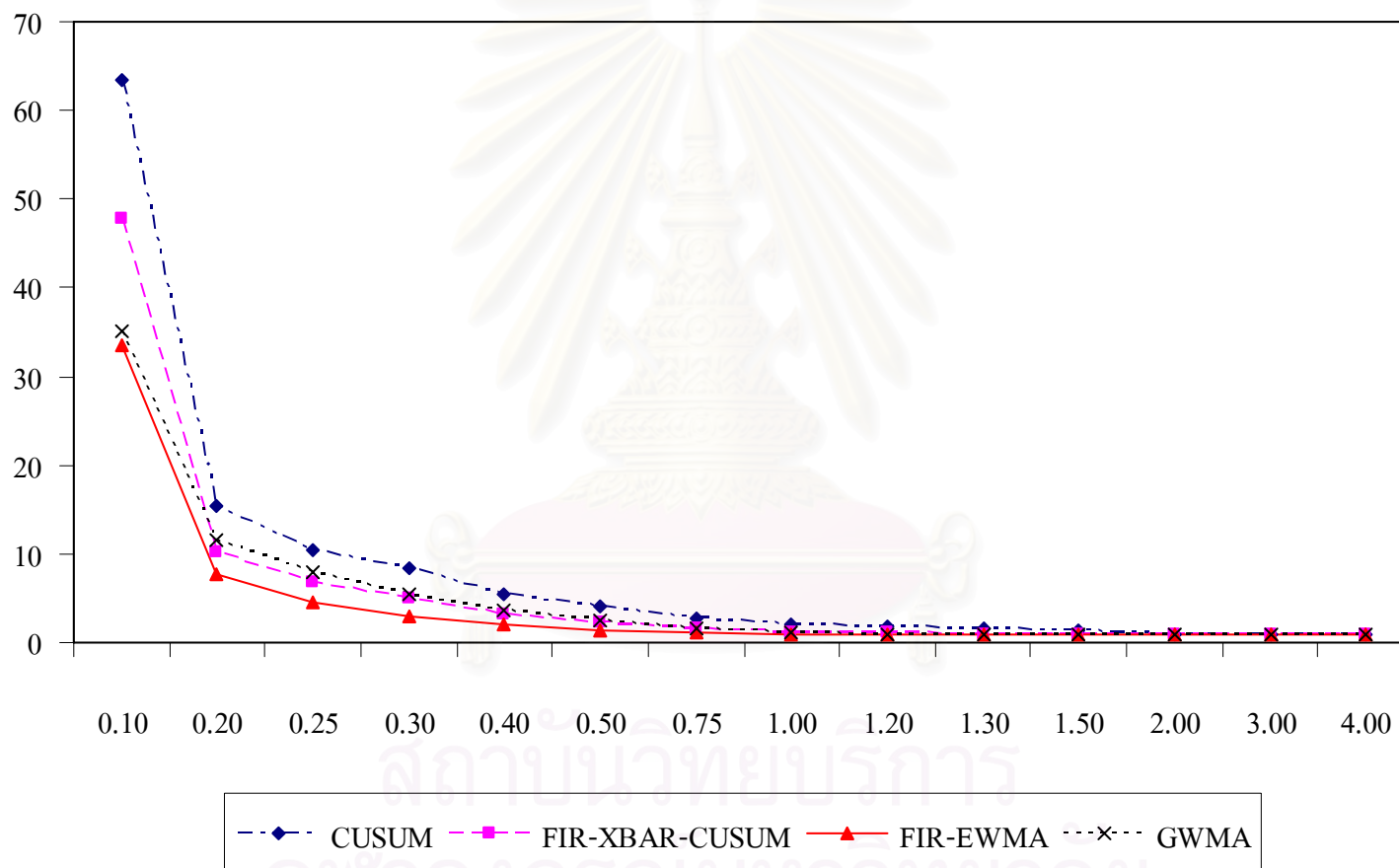
ตารางที่ 4.12 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
15	0.10	63.33	47.91	33.57*	35.05
	0.20	15.44	10.11	7.64*	11.48
	0.25	10.36	6.80	4.50*	7.88
	0.30	8.42	4.93	3.00*	5.44
	0.40	5.35	3.23	2.01*	3.54
	0.50	4.12	2.35	1.41*	2.59
	0.75	2.63	1.63	1.06*	1.53
	1.00	1.98	1.20	1.01*	1.12
	1.20	1.79	1.05	1.00*	1.02
	1.30	1.60	1.00*	1.00*	1.00*
	1.50	1.27	1.00*	1.00*	1.00*
	2.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.12 สามารถอธิบายได้ดังนี้
ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 15 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.20\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.30\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $2.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.9 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15



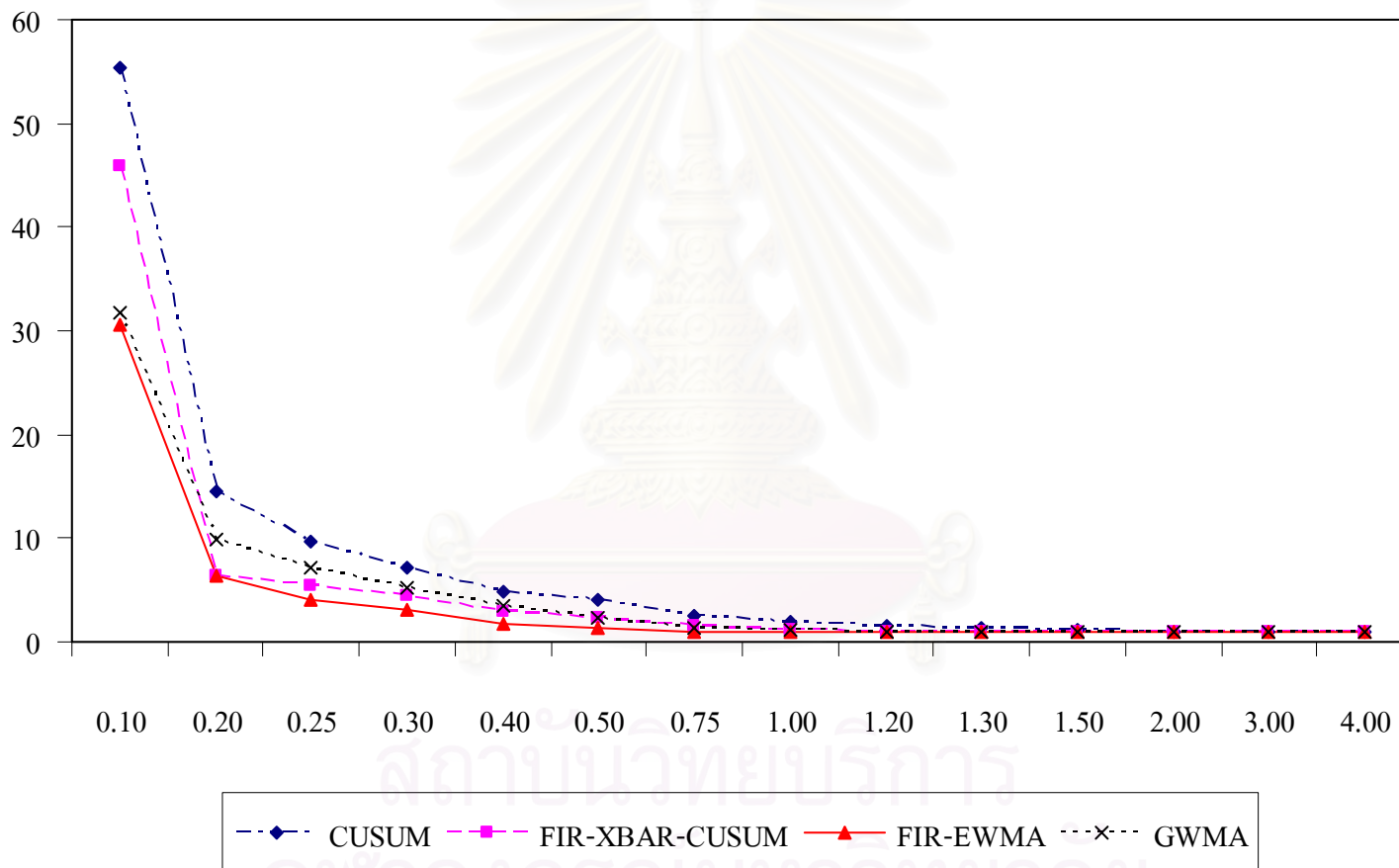
ตารางที่ 4.13 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 17

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
17	0.10	55.40	45.80	30.55*	31.66
	0.20	14.57	6.44	6.41*	9.89
	0.25	9.60	5.43	4.00*	7.22
	0.30	7.08	4.44	3.04*	5.27
	0.40	4.89	2.96	1.69*	3.47
	0.50	3.99	2.38	1.38*	2.35
	0.75	2.47	1.52	1.06*	1.39
	1.00	1.91	1.12	1.00*	1.10
	1.20	1.57	1.03	1.00*	1.01
	1.30	1.45	1.00*	1.00*	1.00*
	1.50	1.22	1.00*	1.00*	1.00*
	2.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.13 สามารถอธิบายได้ดังนี้
ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 17 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.20\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.30\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $2.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.10 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 17



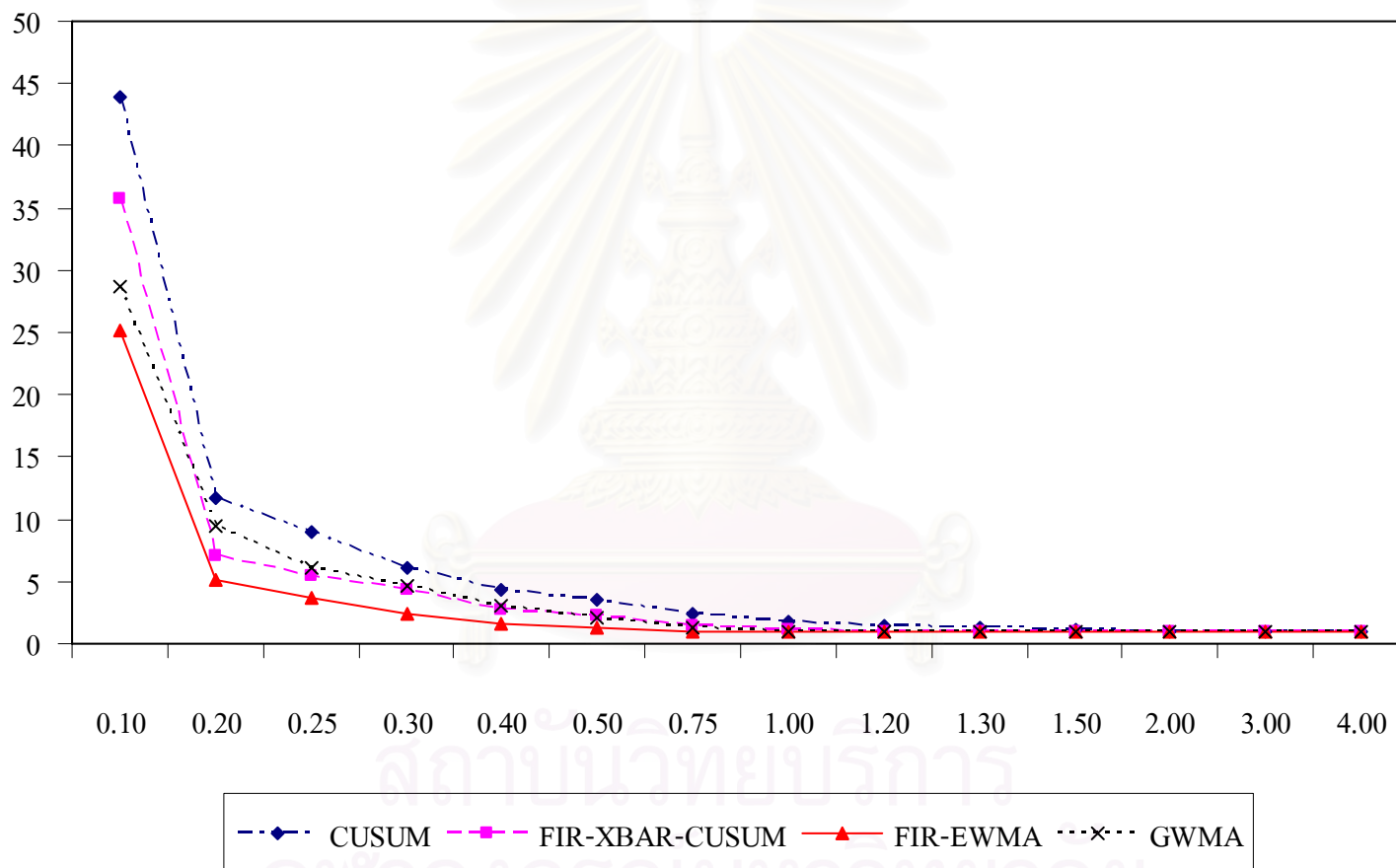
ตารางที่ 4.14 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
20	0.10	43.97	35.79	25.22*	28.72
	0.20	11.74	7.02	5.06*	9.40
	0.25	9.01	5.39	3.62*	6.13
	0.30	6.16	4.38	2.45*	4.62
	0.40	4.39	2.74	1.54*	3.07
	0.50	3.48	2.18	1.24*	2.14
	0.75	2.35	1.38	1.02*	1.26
	1.00	1.82	1.06	1.00*	1.03
	1.20	1.45	1.00*	1.00*	1.00*
	1.30	1.30	1.00*	1.00*	1.00*
	1.50	1.08	1.00*	1.00*	1.00*
	2.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.14 สามารถอธิบายได้ดังนี้
ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 20 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.20\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $2.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.11 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20



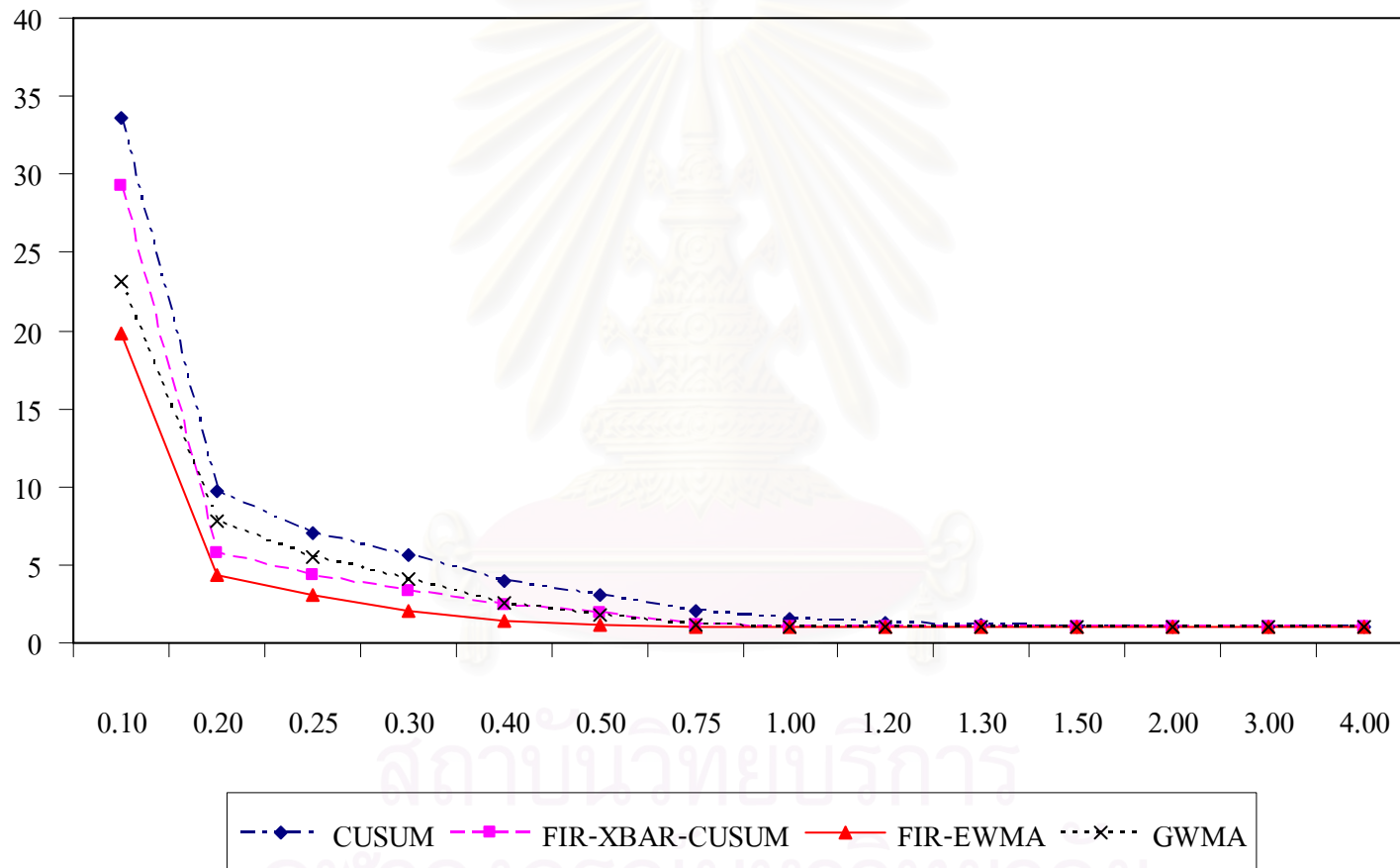
ตารางที่ 4.15 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 25

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
25	0.10	33.63	29.31	19.87*	23.12
	0.20	9.76	5.76	4.36*	7.82
	0.25	7.01	4.34	3.12*	5.43
	0.30	5.58	3.38	2.02*	4.08
	0.40	3.92	2.38	1.44*	2.57
	0.50	3.02	1.87	1.12*	1.80
	0.75	2.03	1.21	1.01*	1.16
	1.00	1.56	1.02	1.00*	1.01
	1.20	1.24	1.00*	1.00*	1.00*
	1.30	1.12	1.00*	1.00*	1.00*
	1.50	1.01	1.00*	1.00*	1.00*
	2.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.15 สามารถอธิบายได้ดังนี้
ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 25 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.20\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $2.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.12 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 25



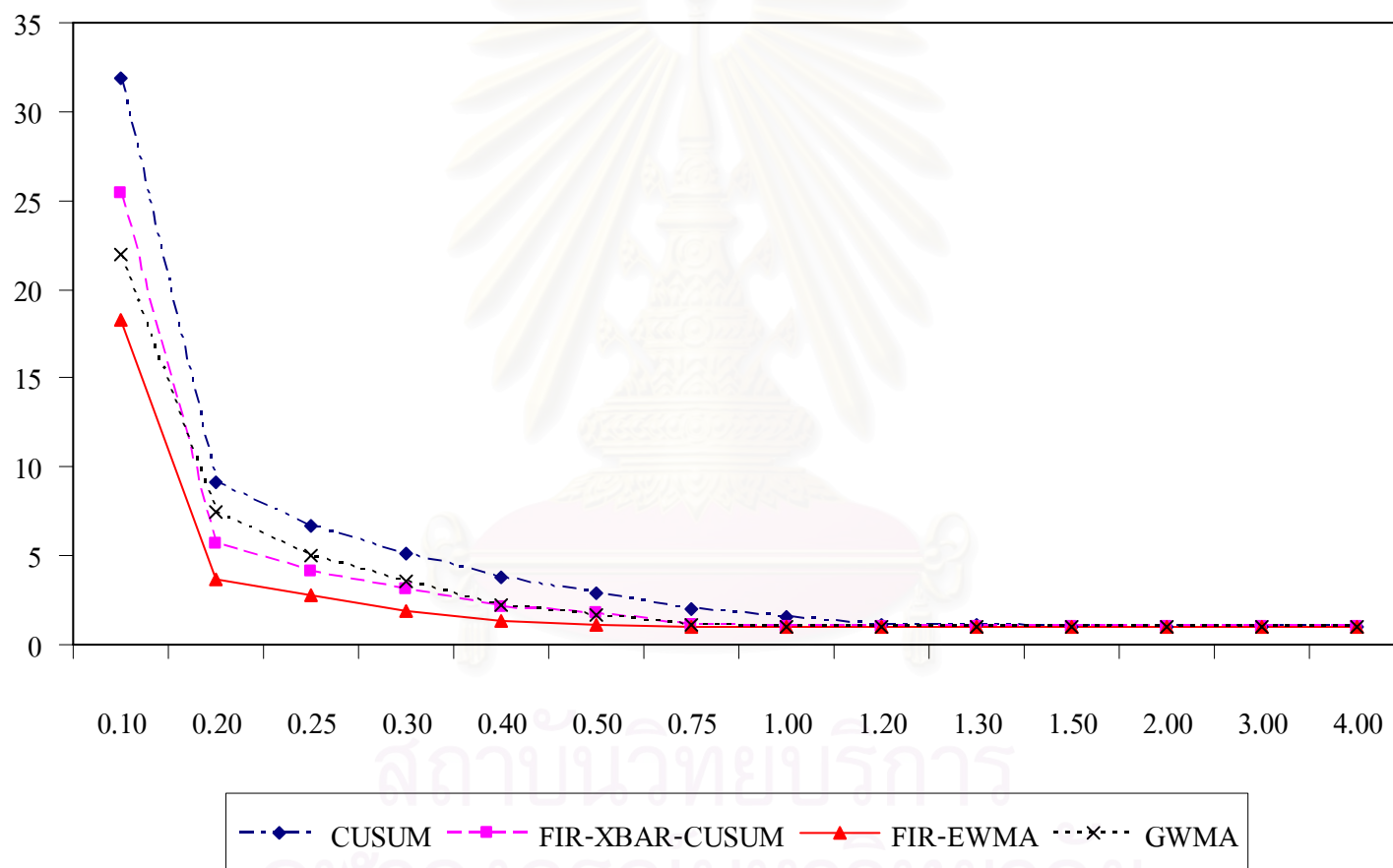
ตารางที่ 4.16 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 27

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
27	0.10	31.84	25.40	18.33*	21.94
	0.20	9.12	5.68	3.69*	7.47
	0.25	6.67	4.07	2.76*	4.98
	0.30	5.10	3.08	1.86*	3.61
	0.40	3.74	2.14	1.35*	2.27
	0.50	2.94	1.77	1.12*	1.70
	0.75	1.97	1.17	1.00*	1.13
	1.00	1.51	1.02	1.00*	1.00*
	1.20	1.17	1.00*	1.00*	1.00*
	1.30	1.07	1.00*	1.00*	1.00*
	1.50	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	2.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.16 สามารถอธิบายได้ดังนี้
ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 27 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 0.75\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.00\sigma - 1.30\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA
แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง
 $1.50\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-
XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.13 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 27



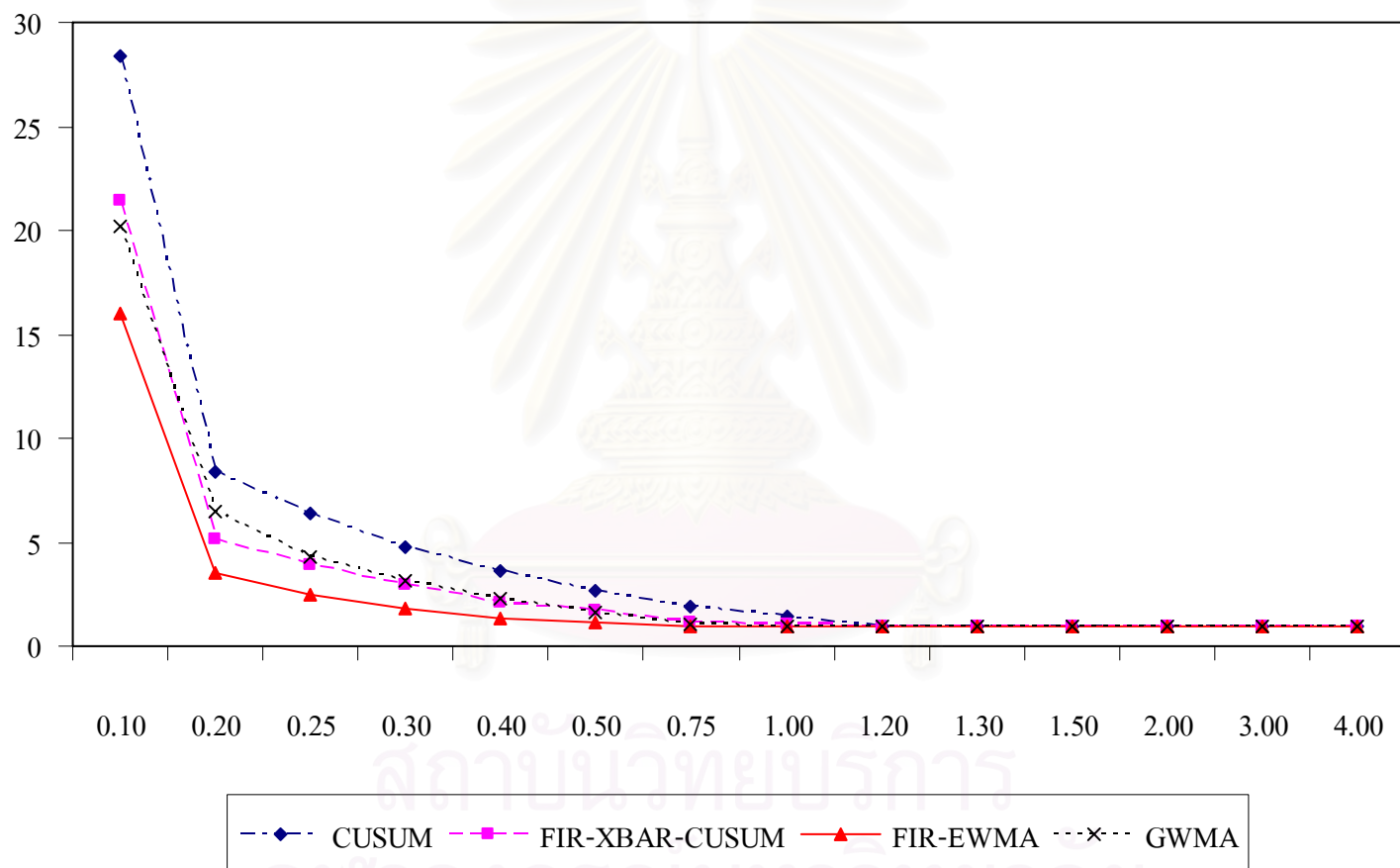
ตารางที่ 4.17 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR- CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
30	0.10	28.43	21.40	16.02*	20.17
	0.20	8.38	5.18	3.52*	6.52
	0.25	6.34	3.93	2.44*	4.27
	0.30	4.81	2.94	1.82*	3.18
	0.40	3.59	2.07	1.32*	2.26
	0.50	2.71	1.71	1.10*	1.59
	0.75	1.89	1.13	1.00*	1.09
	1.00	1.42	1.00*	1.00*	1.00*
	1.20	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	1.30	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	1.50	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	2.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
	4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.17 สามารถอธิบายได้ดังนี้
ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 30 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 0.75\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.00\sigma - 1.30\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA
แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง
 $1.50\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-
XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

รูปที่ 4.14 แสดงค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30



4.3 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test) ของแผนภูมิควบคุม

ค่า power of the test ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.18 ถึงตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.18 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)

ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1

N	SHIFT	FIR-XBAR-			
		CUSUM	CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
1	0.10	0.003	0.003	0.004	0.005*
	0.20	0.005	0.006	0.009	0.011*
	0.25	0.009	0.009	0.013	0.014*
	0.30	0.011	0.014	0.018*	0.017
	0.40	0.017	0.024	0.049*	0.032
	0.50	0.031	0.035	0.060*	0.039
	0.75	0.068	0.091	0.121*	0.086
	1.00	0.098	0.155	0.305*	0.129
	1.50	0.174	0.252	0.597*	0.261
	2.00	0.266	0.387	0.714*	0.393
	3.00	0.403	0.654	0.955*	0.697
	4.00	0.511	0.797	0.998*	0.904

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.18 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 1 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 0.29\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.30\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ตารางที่ 4.19 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 3

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
3	0.10	0.005	0.005	0.008	0.009*
	0.20	0.014	0.017	0.021	0.022*
	0.25	0.022	0.028	0.039	0.040*
	0.30	0.030	0.036	0.056*	0.051
	0.40	0.049	0.078	0.117*	0.070
	0.50	0.078	0.117	0.165*	0.101
	0.75	0.150	0.229	0.342*	0.212
	1.00	0.214	0.357	0.666*	0.349
	1.50	0.348	0.553	0.909*	0.587
	2.00	0.463	0.743	0.964*	0.807
	3.00	0.659	0.992	1.000*	0.994
	4.00	0.919	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.19 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 3 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 0.29\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.30\sigma - 3.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 4.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.20 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
4	0.10	0.006	0.007	0.011*	0.010
	0.20	0.020	0.022	0.035*	0.031
	0.25	0.026	0.039	0.042*	0.040
	0.30	0.044	0.055	0.075*	0.059
	0.40	0.075	0.102	0.164*	0.091
	0.50	0.100	0.152	0.224*	0.139
	0.75	0.177	0.288	0.499*	0.256
	1.00	0.269	0.420	0.717*	0.417
	1.50	0.403	0.638	0.976*	0.688
	2.00	0.508	0.867	1.000*	0.888
	3.00	0.799	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.20 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 4 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 2.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 3.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 4.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.21 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)

ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 6

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
6	0.10	0.007	0.008	0.013*	0.012
	0.20	0.022	0.025	0.043*	0.033
	0.25	0.027	0.046	0.061*	0.047
	0.30	0.053	0.069	0.101*	0.066
	0.40	0.088	0.128	0.186*	0.121
	0.50	0.126	0.178	0.287*	0.146
	0.75	0.206	0.345	0.505*	0.308
	1.00	0.315	0.470	0.767*	0.455
	1.50	0.447	0.729	0.981*	0.794
	2.00	0.543	0.934	0.999*	0.960
	3.00	0.923	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.21 สามารถอธิบายได้ดังนี้
 ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 6 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 2.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 3.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 4.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.22 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 7

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-	FIR-EWMA	GWMA
			CUSUM		
7	0.10	0.008	0.009	0.015*	0.014
	0.20	0.033	0.037	0.054*	0.045
	0.25	0.051	0.074	0.103*	0.065
	0.30	0.072	0.101	0.147*	0.088
	0.40	0.113	0.181	0.264*	0.147
	0.50	0.158	0.247	0.392*	0.203
	0.75	0.257	0.402	0.701*	0.385
	1.00	0.334	0.575	0.905*	0.579
	1.50	0.502	0.838	1.000*	0.891
	2.00	0.662	1.000*	1.000*	1.000*
	3.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.22 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 7 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 2.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $3.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.23 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)

ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 9

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
9	0.10	0.011	0.010	0.018*	0.017
	0.20	0.041	0.050	0.068*	0.057
	0.25	0.065	0.089	0.128*	0.087
	0.30	0.081	0.128	0.200*	0.113
	0.40	0.128	0.218	0.319*	0.174
	0.50	0.172	0.298	0.442*	0.262
	0.75	0.289	0.478	0.802*	0.457
	1.00	0.393	0.661	0.962*	0.724
	1.50	0.554	0.961	1.000*	0.973
	2.00	0.792	1.000*	1.000*	1.000*
	3.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.23 สามารถอธิบายได้ดังนี้
 ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 9 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 2.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $3.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.24 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)

ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 12

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
12	0.10	0.012	0.013	0.021*	0.020
	0.20	0.052	0.076	0.107*	0.067
	0.25	0.079	0.115	0.158*	0.097
	0.30	0.100	0.152	0.227*	0.138
	0.40	0.147	0.269	0.400*	0.218
	0.50	0.207	0.333	0.560*	0.292
	0.75	0.336	0.555	0.859*	0.551
	1.00	0.434	0.714	0.971*	0.788
	1.50	0.617	0.982	1.000*	0.988
	2.00	0.910	1.000*	1.000*	1.000*
	3.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.24 สามารถอธิบายได้ดังนี้
 ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 12 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง 2.00σ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $3.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.25 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)

ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 13

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
13	0.10	0.014	0.014	0.027*	0.020
	0.20	0.058	0.079	0.110*	0.078
	0.25	0.080	0.128	0.167*	0.111
	0.30	0.117	0.179	0.252*	0.151
	0.40	0.173	0.271	0.446*	0.243
	0.50	0.229	0.362	0.617*	0.328
	0.75	0.353	0.574	0.876*	0.603
	1.00	0.465	0.762	0.998*	0.816
	1.50	0.680	1.000*	1.000*	1.000*
	2.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	3.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.25 สามารถอธิบายได้ดังนี้
 ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 13 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.20\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.30\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $2.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.26 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)

ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 15

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
15	0.10	0.015	0.019	0.032*	0.028
	0.20	0.067	0.099	0.124*	0.086
	0.25	0.093	0.146	0.222*	0.125
	0.30	0.122	0.197	0.314*	0.150
	0.40	0.190	0.313	0.466*	0.275
	0.50	0.248	0.414	0.710*	0.385
	0.75	0.380	0.617	0.939*	0.653
	1.00	0.498	0.833	1.000*	0.887
	1.50	0.785	1.000*	1.000*	1.000*
	2.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	3.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.26 สามารถอธิบายได้ดังนี้
 ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 15 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.20\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.30\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $2.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.27 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)

ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 17

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
17	0.10	0.018	0.021	0.033*	0.030
	0.20	0.071	0.104	0.159*	0.093
	0.25	0.105	0.180	0.250*	0.139
	0.30	0.139	0.224	0.328*	0.191
	0.40	0.195	0.332	0.583*	0.290
	0.50	0.252	0.418	0.726*	0.428
	0.75	0.404	0.657	0.946*	0.716
	1.00	0.524	0.890	1.000*	0.910
	1.50	0.818	1.000*	1.000*	1.000*
	2.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	3.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.27 สามารถอธิบายได้ดังนี้
 ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 17 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.20\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.30\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $2.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.28 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)

ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-	FIR-EWMA	GWMA
			CUSUM		
20	0.10	0.023	0.031	0.041*	0.034
	0.20	0.079	0.141	0.197*	0.103
	0.25	0.113	0.188	0.273*	0.162
	0.30	0.161	0.253	0.411*	0.227
	0.40	0.216	0.356	0.634*	0.338
	0.50	0.289	0.460	0.802*	0.464
	0.75	0.427	0.724	0.984*	0.792
	1.00	0.548	0.942	1.000*	0.971
	1.50	0.924	1.000*	1.000*	1.000*
	2.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	3.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.28 สามารถอธิบายได้ดังนี้
 ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 20 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.20\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $2.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.29 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 25

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
25	0.10	0.025	0.035	0.047*	0.042
	0.20	0.103	0.167	0.235*	0.129
	0.25	0.139	0.228	0.322*	0.185
	0.30	0.177	0.297	0.440*	0.244
	0.40	0.255	0.423	0.683*	0.394
	0.50	0.331	0.534	0.895*	0.543
	0.75	0.492	0.817	0.991*	0.858
	1.00	0.642	0.982	1.000*	0.991
	1.50	0.991	1.000*	1.000*	1.000*
	2.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	3.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.29 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 25 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 1.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.20\sigma - 1.50\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $2.00\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.30 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 27

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
27	0.10	0.031	0.039	0.059*	0.044
	0.20	0.109	0.170	0.271*	0.132
	0.25	0.153	0.240	0.364*	0.203
	0.30	0.192	0.322	0.528*	0.276
	0.40	0.270	0.469	0.737*	0.431
	0.50	0.346	0.561	0.892*	0.605
	0.75	0.505	0.854	1.000*	0.894
	1.00	0.662	0.983	1.000*	1.000*
	1.50	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	2.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	3.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.30 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 27 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 0.75\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.00\sigma - 1.30\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.50\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 4.31 ค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test)
ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30

N	SHIFT	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
30	0.10	0.037	0.046	0.060*	0.050
	0.20	0.118	0.191	0.282*	0.152
	0.25	0.154	0.251	0.410*	0.230
	0.30	0.206	0.340	0.559*	0.308
	0.40	0.288	0.473	0.755*	0.443
	0.50	0.370	0.581	0.908*	0.629
	0.75	0.528	0.887	1.000*	0.920
	1.00	0.704	0.990	1.000*	1.000*
	1.50	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	2.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	3.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*
	4.00	1.000*	1.000*	1.000*	1.000*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า power of the test มากที่สุด

จากตารางที่ 4.31 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขนาดตัวอย่าง n เท่ากับ 30 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $0.10\sigma - 0.75\sigma$ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.00\sigma - 1.30\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน และที่ระดับการเปลี่ยนแปลง $1.50\sigma - 4.00\sigma$ แผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม FIR-XBAR-CUSUM และแผนภูมิควบคุม CUSUM จะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจวัดกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ของแผนภูมิควบคุม 4 แบบ คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม(CUSUM Control Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-Combined \bar{x} and CUSUM Control Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว(FIR-EWMA Control Chart) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบทั่วไป (GWMA Control Chart) โดยศึกษาจากค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยเทคนิคมอนติคาร์โล และใช้โปรแกรมภาษาฟอร์แทรนจำลองข้อมูลให้มีลักษณะตามสถานการณ์ที่กำหนด

5.1 สรุปผลการวิจัย

การเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) และค่าความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย (power of the test) สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- 1) ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.20% – 0.59%
ขนาดตัวอย่าง 1 - 3 แผนภูมิควบคุม GWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด
ขนาดตัวอย่าง 4 – 30 แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด
- 2) ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.60% – 2.59% ขนาดตัวอย่าง 1 – 30 แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด
- 3) ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.60% – 6.00%
ขนาดตัวอย่าง 1 – 6 แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด
ขนาดตัวอย่าง 7 – 12 แผนภูมิควบคุม FIR- \bar{X} -CUSUM, FIR-EWMA และ GWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด เท่ากันทั้ง 3 แผนภูมิ
ขนาดตัวอย่าง 13 – 30 แผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบมีประสิทธิภาพเท่ากัน
- 4) ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากกว่า 6.00% แผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบจะมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ผลสรุปข้างต้น แสดงเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสถานการณ์

ขนาดตัวอย่าง	ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย θ			
	0.20%-0.59%	0.60%-2.59%	2.60%-6.00%	> 6.00%
1-3	GWMA	FIR-EWMA	FIR-EWMA	4
4-6	FIR-EWMA		3	
7-12			4	
13-25				
27-30				

* 3 แทน แผนภูมิควบคุม FIR- \bar{x} -CUSUM, FIR-EWMA, GWMA

4 แทน แผนภูมิควบคุม CUSUM, FIR- \bar{x} -CUSUM, FIR-EWMA, GWMA

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้มีข้อเสนอแนะ 2 ด้าน คือ

5.2.1 ด้านการนำไปใช้ประโยชน์

ในการเลือกใช้แผนภูมิควบคุม เมื่อข้อมูล หรือค่าสังเกตแจกแจงแบบปกติ มีตัวแบบอนุกรมเวลาคงที่ในค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ควรเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสม เพื่อให้มีค่า ARL ต่ำที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง พารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุม และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย (γ) แต่ในทางปฏิบัติผู้ใช้จะไม่สามารถทราบขนาดของ γ ดังนั้นถ้าต้องการตรวจสอบกระบวนการด้วยความละเอียดมาก ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุมที่สามารถตรวจวัดกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยได้ดี ซึ่งเกณฑ์ในการเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมมีดังนี้

- 1) ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.20% – 0.59% ขนาดตัวอย่าง 1 - 3 ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุม GWMA ขนาดตัวอย่าง 4 – 30 ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
- 2) ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.60% – 2.59% ขนาดตัวอย่าง 1 – 30 ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
- 3) ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.60% – 6.00% ขนาดตัวอย่าง 1 – 6 ควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ขนาดตัวอย่าง 7 – 12 สามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุม FIR- \bar{X} -CUSUM, FIR-EWMA หรือ GWMA ได้ทั้ง 3 แบบ และขนาดตัวอย่าง 13 – 30 สามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมได้ทั้ง 4 แบบ
- 4) ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากกว่า 6.00% สามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมได้ทั้ง 4 แบบ

5.2.2 ด้านการศึกษาวิจัย

ในการทำวิจัยเพื่อศึกษาต่อ สามารถทำได้ในเรื่องต่อไปนี้

- 1) ในการทำวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาภายใต้การแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ดังนั้นอาจเกิดประโยชน์มากขึ้นถ้าได้ศึกษาภายใต้การแจกแจงแบบอื่นๆ เช่น การแจกแจงแบบแกมมา (Gamma distribution)
- 2) สามารถนำไปศึกษา เปรียบเทียบกับแผนภูมิควบคุมแบบอื่นๆ เช่น แผนภูมิ Klein's composite Shewhart-EWMA ของ Klein M.

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

- Shey-Huei Sheu , Tse-Chieh Lin. “The Generally Weighted Moving Average Control Chart for Detecting Small Shifts in the Process Mean”, Quality Engineering. 16 (2003) : 209-231.
- Steiner S.H. “EWMA control charts with time-varying control limits and fast initial response”, Journal of Quality Technology. 31 (1999) : 75-86.
- Stephen V. Crowder “Design of Exponentially Weighted Moving Average Schemes”, Journal of Quality Technology . 21 (1989) : 155-162.
- Crosier,R.B. “A New Two-Sided Cumulative Sum Quality Control Scheme”, Technometrics. 28 (1986) : 187-194.
- Lucas,J.M.“Combined Shewhart-CUSUM Quality Control Schemes”, Journal of Quality Technology. 14 (1982) : 51-59.
- Lucas,J.M. , Crosier,R.B. “Fast Initial Response for CUSUM Quality Control Schemes”, Technometrics. 24 (1982) :199-205.

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ธรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัย. ภาษาคอมพิวเตอร์ฟอร์แทรน 77. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์
ประกายพริก, 2527.

นิยม สุขโสภณ. การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการที่มีการเปลี่ยนแปลง
ในค่าเฉลี่ย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2545.

มานพ วรภักดิ์. การจำลองเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.

ภาษาต่างประเทศ

Montgomery D.C., Introduction to Statistical Quality Control. 4th Edition, New York : John Wiley
& Sons , 2001

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

โปรแกรมจำลองข้อมูลตามตัวแบบอนุกรมเวลา ค่าเฉลี่ยคงที่ และแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ

```

REAL MUO,CP(0:100000),CM(0:100000),XXBAR,N,SUMRL,ZZ,CL(100000),
UCL(100000),LCL(100000),B(100000),Z(0:100000),EL,Y(100000),A(100000),
SUMY(100000),YY(100000),XBAR(100000),QUE(100000),SUMQ(100000),
QQ(100000),CL(100000),GUCL(100000),GLCL(100000)
INTEGER IX
! OPEN(800,FILE='C:\THESIS\ALL\CONTROL CHART.DAT')
WRITE(*,1)
1  FORMAT(//,2X,'NROUND:')
   READ(*,*)NROUND
   WRITE(*,2)
2  FORMAT(//,2X,'MEAN:')
   READ(*,*)MUO
   WRITE(*,3)
3  FORMAT(//,2X,'EMEAN:')
   READ(*,*)EMEAN
   WRITE(*,4)
4  FORMAT(//,2X,'VARIANCE:')
   READ(*,*)EVAR
   WRITE(*,5)
5  FORMAT(//,2X,'SEED:')
   READ(*,*)SEED
   WRITE(*,6)
6  FORMAT(//,2X,'SIZEN:')
   READ(*,*)N
   WRITE(*,7)
7  FORMAT(//,2X,'ETA:')
   READ(*,*)ETA
   IF(ETA .GT. 5)GOTO 100

```

```

555  WRITE(*.8)
8    FORMAT(//,2X,'ENTER CONTROL CHART: 1) CUSUM 2) FIR-XBAR-CUSUM 3)
FIR-EWMA 4) GWMA')
      READ(*,*)MODEL
      IF(MODEL .EQ. 1) GOTO 111
      IF(MODEL .EQ. 2) GOTO 222
      IF(MODEL .EQ. 3) GOTO 333
      IF(MODEL .EQ. 4) THEN
          GOTO 444
      ELSE
          GOTO 555
      END IF
!*****CUSUM CONTROL CHART*****!
111  WRITE(*,911)
911  FORMAT(//,2X,'HH:')
      READ(*,*)HH
      IF(HH .LE.0) GOTO 100

      H=HH/SQRT(N)
      SUMRL=0.0
      CP(0)=0.0
      CM(0)=0.0
      RK=0.5/SQRT(N)
      IX=SEED
      DO 5011 M=1,NROUND
          R=U(IX)
          IX=R*100000
          IF(IX .GT. 99999) GOTO 100
      DO 2111 L=1,100
      DO 2011 I=1,N
          X=MUO+EPS(IX,EMEAN,EVAR)
          SUMX=SUMX+X

```



```

2011 CONTINUE
2111 CONTINUE
      K=0
      RL=0
2911 K=K+1
      SUMX=0.0
      DO 1911 I=1,N
          X=MUO+ETA+EPS(IX,EMEAN,EVAR)
          SUMX=SUMX+X
1911 CONTINUE
      XXBAR=SUMX/N
      CP(K)=XXBAR-(MUO+RK)+CP(K-1)
      CM(K)=(MUO-RK)-XXBAR+CM(K-1)
          IF(CP(K) .LT. 0.0) CP(K)=0.0
          IF(CM(K) .LT. 0.0) CM(K)=0.0
!      WRITE(*,2811)K,XXBAR,CP(K),CM(K)
!2811 FORMAT(I7,4(5X,F9.2))
      RL=RL+1
      IF(CP(K) .GT. H .OR. CM(K) .GT. H)THEN
          SUMRL=SUMRL+RL
          GOTO 5011
      ELSE
          GOTO 2911
      ENDIF
5011 CONTINUE
      ARL=SUMRL/NROUND
      WRITE(*,1711) N,H,RK,ARL
1711 FORMAT(/,' CUSUM OUTPUT : ', ' N = ',F4.1, ' H = ',F5.2, ' RK = ',F5.2, ' ARL = ',F9.3)

      GOTO 555

```

!*****FIR-XBAR-CUSUM CONTROL CHART*****!

```

222  WRITE(*,822)
822  FORMAT(//,2X,'XL:')
      READ(*,*)XL
      WRITE(*,922)
922  FORMAT(//,2X,'HH:')
      READ(*,*)HH
      IF(HH .LE.0) GOTO 100

      XCL=XL
      H=HH
      SUMRL=0.0
      CP(0)=H/2.0
      CM(0)=H/2.0
      RK=0.5
      IX=SEED
      DO 5022 M=1,NROUND
      R=U(IX)
      IX=R*100000
      IF(IX .GT. 99999) GOTO 100

      DO 2122 L=1,100
      DO 2022 I=1,N
          X=MUO+EPS(IX,EMEAN,EVAR)
          SUMX=SUMX+X
2022  CONTINUE
2122  CONTINUE
      K=0
      RL=0
2922  K=K+1
      SUMX=0.0

```

```

DO 1922 I=1,N
      X=MUO+ETA+EPS(IX,EMEAN,EVAR)
      SUMX=SUMX+X
1922  CONTINUE
      XXBAR=SUMX/N
      ZZ=(XXBAR-MUO)*SQRT(N)
      CP(K)=ZZ-RK+CP(K-1)
      CM(K)=-ZZ-RK+CM(K-1)
           IF(CP(K) .LT. 0.0) CP(K)=0.0
           IF(CM(K) .LT. 0.0) CM(K)=0.0
!      WRITE(*,2722)K,XXBAR,CP(K),CM(K),ZZ
!2722  FORMAT(I5,4(2X,F7.3))
      RL=RL+1
      IF(ABS(ZZ) .GT. XCL .OR. CP(K) .GT. H .OR. CM(K) .GT. H)THEN
      SUMRL=SUMRL+RL
           GOTO 5022
      ELSE
           GOTO 2922
      END IF
5022  CONTINUE
      ARL=SUMRL/NROUND
      WRITE(*,1722)N,XCL,H,CP(0),RK,ARL
1722  FORMAT(/,' CUSUM OUTPUT : ',F4.1,' XCL = ',F5.2,' H = ',F5.2,/,15X,'
CP(0) = ',F5.2,' RK = ',F5.2,' ARL = ',F9.3)
           GOTO 555
!*****FIR-EWMA CONTROL CHART*****!
333  WRITE(*,933)
933  FORMAT(//,2X,'PARAMETER F:')
      READ(*,*)F
      IF(F .GE.1) GOTO 100
      WRITE(*,833)

```

```

833  FORMAT(//,2X,'ALPHA:')
      READ(*,*)ALPHA
      IF(ALPHA .GE. 1) GOTO 100
      WRITE(*,1033)
1033  FORMAT(//,2X,'BAND:')
      READ(*,*)EL
      IF(EL .GE. 5.00) GOTO 100

      IX=SEED
      SUMRL=0.0
      Z(0)=MUO
      DO 5033 M=1,NROUND
      R=U(IX)
      IX=R*100000
      IF(IX .GT. 99999) GOTO 100

      DO 2133 L=1,100
      DO 2033 I=1,N
          X=MUO+EPS(IX,EMEAN,EVAR)
          SUMX=SUMX+X
2033  CONTINUE
2133  CONTINUE
      K=0
      RL=0
1133  K=K+1
      SUMX=0.0
      !***CONTRIL LIMIT***!
      A=((-2.0)/ALOG10(F))-1/19.0
      B(K)=1.0-((1.0-ALPHA)**(2.0*K))
      D=N*(2.0-ALPHA)
      E=(1-F)**(1+A*(K-1))
      G=1-E

```

```

CL(K)=EL*G*SQRT(ALPHA*B(K)/D)
UCL(K)=MUO+CL(K)
LCL(K)=MUO-CL(K)

!***OBSERVATION***!

DO 1933 I=1,N
      X=MUO+ETA+EPS(IX,EMEAN,EVAR)
      SUMX=SUMX+X
1933  CONTINUE
      XXBAR=SUMX/N
      Z(K)=(ALPHA*XXBAR)+((1-ALPHA)*Z(K-1))
!     WRITE(*,2733)UCL(K),LCL(K),Z(K),XXBAR
!2733  FORMAT(4(2X,F9.3))
      RL=RL+1
      IF(Z(K) .GT. UCL(K) .OR. Z(K) .LT. LCL(K))THEN
      SUMRL=SUMRL+RL
      GOTO 5033
      ELSE
      GOTO 1133
      ENDIF
5033  CONTINUE
      ARL=SUMRL/NROUND
      WRITE(*,1533)N,EL,ALPHA,F,ARL
1533  FORMAT(/,' EWMA OUTPUT : ',' N = ',F4.1,' BAND = ',F5.2,' ALPHA = ',F5.2,' F =
',F5.2,' ARL = ',F9.3)
      GOTO 555

!*****GWMA CONTROL CHART*****!
444  WRITE(*,844)
844  FORMAT(//,2X,'PARAMETER Q:')
      READ(*,*)Q

```

```

IF(Q .GE. 1) GOTO 100
WRITE(*,744)
744  FORMAT(//,2X,'ALPHA:')
      READ(*,*)ALPHA
      IF(ALPHA .GE. 1) GOTO 100
      WRITE(*,944)
944  FORMAT(//,2X,'BAND:')
      READ(*,*)EL
      IF(EL .GE. 5) GOTO 100

      YY(0)=MUO
      SUMRL=0.0
      IX=SEED
      DO 5044 M=1,NROUND
      R=U(IX)
      IX=R*100000
      IF(IX .GT. 99999) GOTO 100

      DO 2144 L=1,100
      DO 2044 I=1,N
          X=MUO+EPS(IX,EMEAN,EVAR)
          SUMX=SUMX+X
2044  CONTINUE
2144  CONTINUE
          K=0
          RL=0
1144  K=K+1
          SUMX=0.0
          DO 1944 I=1,N
              X=MUO+ETA+EPS(IX,EMEAN,EVAR)
              SUMX=SUMX+X
1944  CONTINUE

```

```

XBAR(K)=SUMX/N
SUMY(K)=0.0
SUMQ(K)=0.0
A(K)=(Q**(K**ALPHA))*MUO

DO 2244 J=1,K

!***CONTROL LIMIT***!

QUE(K)=((Q**((J-1)**ALPHA))-(Q**(J**ALPHA)))**2
SUMQ(K)=SUMQ(K)+QUE(K)
QQ(K)=SUMQ(K)

!***OBSERVATIONS***!

Y(K)=((Q**((J-1)**ALPHA))-(Q**(J**ALPHA)))*XBAR(K-J+1)
SUMY(K)=SUMY(K)+Y(K)
2244 CONTINUE
CL(K)=EL*SQRT(QQ(K)/N)
GUCL(K)=MUO+CL(K)
GLCL(K)=MUO-CL(K)
YY(K)=SUMY(K)+A(K)
! WRITE(800,2744)K,XBAR(K),Y(K),SUMY(K),A(K),YY(K),GUCL(K),GLCL(K)
!2744 FORMAT(I3,7(2X,F7.3))

RL=RL+1
IF(YY(K) .GT. GUCL(K) .OR. YY(K) .LT. GLCL(K)) THEN
SUMRL=SUMRL+RL
GOTO 5044
ELSE
GOTO 1144
END IF

```


5044 CONTINUE

ARL=SUMRL/NROUND

WRITE(*,1844) N,ALPHA,Q,EL,ARL

1844 FORMAT(/, ' GWMA OUTPUT : ', N = 'F4.1,' ALPHA = 'F5.2,' Q = 'F5.2,' EL = 'F5.2,' ARL = 'F9.4)

GOTO 555

! CLOSE(800)

100 END

! FUNCTION FOR GENERATING RANDOM NUMBER U(0,1)

FUNCTION U(IX)

REAL U

IX=DMOD(16807.0D0*IX,2147483647.0D0)

FLT=IX

U=FLT/2147483647.0

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

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ที่ใช้ในการตรวจสอบแผนภูมิควบคุม เมื่อตัวแบบมีค่าเฉลี่ย $\mu_0 = 5$ และความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$

SHIFT	1				3			
	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
0.10	291.69	278.20	217.76	190.16*	207.01	197.98	111.17	100.93*
0.20	182.80	162.20	109.54	93.33*	74.08	54.06	37.48	34.62*
0.25	123.88	112.42	71.62	69.69*	42.39	38.08	24.26	23.56*
0.30	86.95	82.32	53.90*	55.27	32.86	25.80	18.04*	19.53
0.40	62.66	46.43	30.58*	31.80	18.80	13.05	8.44*	13.91
0.50	33.96	26.55	16.14*	22.26	12.50	8.35	6.39*	9.61
0.75	15.56	11.27	8.24*	12.09	6.69	4.21	2.96*	4.84
1.00	9.75	6.24	3.26*	7.57	4.44	2.81	1.49*	2.83
1.50	5.63	4.12	1.68*	3.68	2.86	1.81	1.10*	1.65
2.00	3.84	2.63	1.39*	2.51	2.15	1.35	1.04*	1.24
3.00	2.48	1.54	1.05*	1.43	1.51	1.19	1.00*	1.16
4.00	1.95	1.28	1.00*	1.11	1.09	1.00*	1.00*	1.00*

*หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

SHIFT	4				6			
	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
0.10	177.08	152.69	96.42*	97.28	141.40	133.28	82.55*	82.61
0.20	52.68	47.05	29.25*	32.47	44.07	35.92	24.01*	24.31
0.25	34.93	25.62	23.83*	24.14	31.62	22.28	16.33*	18.86
0.30	22.60	17.34	12.95*	17.09	18.46	13.99	10.05*	14.70
0.40	12.91	9.61	7.19*	11.00	11.08	7.75	5.19*	8.42
0.50	9.79	6.64	4.45*	7.07	7.91	5.60	3.48*	6.28
0.75	5.62	3.50	1.93*	3.85	4.75	2.85	1.76*	3.27
1.00	3.69	2.32	1.39*	2.39	3.16	2.13	1.31*	2.20
1.50	2.49	1.58	1.03*	1.47	2.23	1.36	1.02*	1.26
2.00	1.97	1.16	1.00*	1.12	1.84	1.07	1.00*	1.04
3.00	1.25	1.00*	1.00*	1.00*	1.09	1.00*	1.00*	1.00*
4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

SHIFT	7				9			
	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
0.10	111.00	96.00	69.06*	69.41	90.96	83.31	53.45*	53.50
0.20	31.00	24.48	16.82*	22.66	23.70	20.76	14.39*	18.03
0.25	18.80	14.59	9.40*	14.53	16.55	11.66	7.66*	11.81
0.30	14.20	10.62	6.76*	11.48	11.56	7.74	4.87*	9.01
0.40	8.60	5.47	3.71*	6.73	7.72	4.56	3.15*	5.77
0.50	6.39	4.10	2.43*	4.92	5.84	3.30	2.25*	3.79
0.75	3.90	2.51	1.40*	2.56	3.54	2.13	1.25*	2.15
1.00	3.00	1.71	1.10*	1.70	2.58	1.51	1.04*	1.38
1.50	1.99	1.19	1.00*	1.12	1.80	1.04	1.00*	1.03
2.00	1.50	1.00*	1.00*	1.00*	1.26	1.00*	1.00*	1.00*
3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

* หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

SHIFT	12				13			
	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
0.10	81.59	67.29	42.55*	45.30	64.19	58.40	40.81*	43.53
0.20	19.40	13.63	10.31*	15.17	17.53	12.64	9.17*	12.43
0.25	13.38	8.91	6.32*	10.33	12.26	7.59	6.03*	8.93
0.30	10.22	6.73	4.42*	7.35	8.46	5.49	4.05*	6.46
0.40	6.86	3.84	2.41*	4.69	6.01	3.62	2.23*	3.84
0.50	4.80	2.96	1.79*	3.37	4.33	2.86	1.58*	3.02
0.75	2.99	1.82	1.16*	1.83	2.80	1.71	1.14*	1.66
1.00	2.29	1.41	1.00*	1.27	2.15	1.33	1.00*	1.22
1.50	1.62	1.02	1.00*	1.01	1.44	1.00*	1.00*	1.00*
2.00	1.10	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

*หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

SHIFT	15				17			
	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
0.10	63.33	47.91	33.57*	35.05	55.40	45.80	30.545*	31.66
0.20	15.44	10.11	7.64*	11.48	14.57	6.44	6.41*	9.89
0.25	10.36	6.80	4.50*	7.88	9.60	5.43	4.00*	7.22
0.30	8.42	4.93	3.00*	5.44	7.08	4.44	3.04*	5.27
0.40	5.35	3.23	2.01*	3.54	4.89	2.96	1.69*	3.47
0.50	4.12	2.35	1.41*	2.59	3.99	2.38	1.38*	2.35
0.75	2.63	1.63	1.06*	1.53	2.47	1.52	1.06*	1.39
1.00	1.98	1.20	1.01*	1.12	1.91	1.12	1.00*	1.10
1.50	1.27	1.00*	1.00*	1.00*	1.22	1.00*	1.00*	1.00*
2.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

*หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

SHIFT	20				25			
	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
0.10	43.97	35.79	25.22*	28.72	33.63	29.31	19.87*	23.12
0.20	11.74	7.02	5.06*	9.40	9.76	5.76	4.36*	7.82
0.25	9.01	5.39	3.62*	6.13	7.01	4.34	3.12*	5.43
0.30	6.16	4.38	2.45*	4.62	5.58	3.38	2.02*	4.08
0.40	4.39	2.74	1.54*	3.07	3.92	2.38	1.44*	2.57
0.50	3.48	2.18	1.24*	2.14	3.02	1.87	1.12*	1.80
0.75	2.35	1.38	1.02*	1.26	2.03	1.21	1.01*	1.16
1.00	1.82	1.06	1.00*	1.03	1.56	1.02	1.00*	1.01
1.50	1.08	1.00*	1.00*	1.00*	1.01	1.00*	1.00*	1.00*
2.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

*หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

SHIFT	27				30			
	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA	CUSUM	FIR-XBAR-CUSUM	FIR-EWMA	GWMA
0.10	31.84	25.40	18.33*	21.94	28.43	21.40	16.02*	20.17
0.20	9.12	5.68	3.69*	7.47	8.38	5.18	3.52*	6.52
0.25	6.67	4.07	2.76*	4.98	6.34	3.93	2.44*	4.27
0.30	5.10	3.08	1.86*	3.61	4.81	2.94	1.82*	3.18
0.40	3.74	2.14	1.35*	2.27	3.59	2.07	1.32*	2.26
0.50	2.94	1.77	1.12*	1.70	2.71	1.71	1.10*	1.59
0.75	1.97	1.17	1.00*	1.13	1.89	1.13	1.00*	1.09
1.00	1.51	1.02	1.00*	1.00*	1.42	1.01	1.00*	1.00*
1.50	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
2.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
3.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*
4.00	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*	1.00*

*หมายถึงวิธีการตรวจสอบที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอภิวันท์ พัฒนสุขเกษม เกิดเมื่อวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2524 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) เกียรตินิยมอันดับที่ 2 สาขาวิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2545 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิต (สศ.ม.) ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย