การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่เกิดอัตสหสัมพันธ์

นางสาวปิยวรรณ ทีปประสาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1533-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON ON EFFICIENCY OF CONTROL CHARTS FOR AUTOCORRELATED PROCESS

Miss Piyawan Theepprasan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Statistics

Department of Statistics

Faculty of Commerce and Accountancy

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1533-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่เกิดอัตสหสัมพันธ์
โดย	นางสาวปิยวรรณ ทีปประสาน
สาขาวิชา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

………………………………… คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดนุชา คุณพนิชกิจ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……………………………………ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ผกาวดี ศิริรังษี)

……………………………………..อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์)

………………………………………กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปิยวรรณ ทีปประสาน : การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่เกิดอัตสหสัมพันธ์. (A COMPARISON ON EFFICIENCY OF CONTROL CHARTS FOR AUTOCORRELATED PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ร.อ. มานพ วราภักดิ์ : 130 หน้า. ISBN 974-53-1533-8

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่เกิดอัตสหสัมพันธ์ แผนภูมิควบคุมได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลเมื่อกระบวนการสเตชันนารี (EWMAST) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลโดยใช้การเคลื่อนที่เส้นกลาง (MCEWMA) โดยใช้เกณฑ์ควบคุมค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (α) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ในกรณีที่ควบคุมค่า α ได้ จะเปรียบเทียบจำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length : ARL) ภายใต้ตัวแบบอนุกรมเวลา 3 ตัวแบบ คือ AR(1) AR(2) และ ARMA(1,1) ลักษณะอนุกรมเวลาคงที่ในค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ถ้าแผนภูมิควบคุมใดให้จำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด จะถือว่าแผนภูมิควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยศึกษาภายใต้สถานการณ์ต่างๆ ดังนี้ เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมกำหนด $\mu_0 = 10$ ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม $\sigma_a^2 = 5$ หากเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยหลังจำนวนคาบเวลา $\ell = 100$ กระบวนการจะมีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไปจาก μ_0 เป็น $\mu_1 = \mu_0(1 + \delta/_{100})$ โดยกำหนดระดับของการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $(\gamma = \mu_0 \, \delta/_{100})$ มีค่าตั้งแต่ 0.5, 1.0, 1.5,..., 6.0 ค่า ARL ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล ทำการทดลองซ้ำ ๆ กัน 1,000 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์ของการทดลอง

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

ตัวแบบ AR(1) เมื่อค่าสัมประสิทธิ์อัตถดถอย (ϕ_1) มีค่า $0 < \phi_1 < 0.5$ ในทุกระดับ γ และ $0.5 \le \phi_1 < 0.7$ ที่ระดับ $2.5 \le \gamma \le 6.0$ แผนภูมิ EWMAST มีประสิทธิภาพมากที่สุด ส่วนแผนภูมิ MCEWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อ $0.5 \le \phi_1 < 0.7$ ที่ระดับ $0.5 \le \gamma < 2.5$ และ $0.7 \le \phi_1 < 1$ ที่ระดับ $2.5 \le \gamma \le 6.0$

ตัวแบบ MA(1) ทุกค่าสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (θ_1) และทุกระดับ γ แผนภูมิ EWMAST มีประสิทธิภาพมากที่สุด ส่วนแผนภูมิ EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อ $0 < \theta_1 < 1$ ที่ระดับ $4.5 \le \gamma \le 6.0$

ตัวแบบ ARMA(1,1) เมื่อค่าสัมประสิทธิ์อัตถดถอยและสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (ϕ_1, θ_1) มีค่า ϕ_1 และ θ_1 ทำให้ $2\phi_1 - \theta_1 < 1.3$ เป็นจริง ในทุกระดับ γ แผนภูมิ EWMAST มีประสิทธิภาพมากที่สุด ค่า ϕ_1 และ θ_1 ทำให้ $2\phi_1 - \theta_1 \ge 1.3$ เป็นจริง แผนภูมิ MCEWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในทุกระดับ γ ส่วนแผนภูมิ EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อ $(\phi_1 \le \theta_1)$ ในทุกระดับ γ ยกเว้นที่ระดับ $0.5 \le \gamma < 2.5$

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

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

ปีการศึกษา...........2547…..………......

#4482317026 : MAJOR STATISTICS

KEYWORD : CONTROL CHART / AUTOCORRELATION / ARL / EWMA / EWMAST / MCEWMA

PIYAWAN THEEPPRASAN : A COMPARISON ON EFFICIENCY OF CONTROL CHARTS FOR AUTOCORRELATED PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.CAPT.MANOP VARAPHAKDI, 130 pp.ISBN 974-53-1533-8

The objective of this study is to compare the effciency of control chart for autocorrelated process. The control charts used in the study are Exponentially Weighted Moving Average Control Chart (EWMA), Exponentially Weighted Moving Average Control Chart for Stationary Processes (EWMAST), and Moving Centerline Exponentially Weighted Moving Average Control Chart (MCEWMA). The charts that are in type- I error (α) control will be compared their efficiency. The control charts are determined by comparing Average Run Length (ARL) under time series models. The time series models are AR(1), MA(1), and ARMA(1,1). The characteristics of time series are stationary. The control chart with the least ARL is considered to be the best efficient. When the process is in control, the parameter are set as μ_0 = 10, σ_a^2 = 5. After the period ℓ =100, we set the process mean to be differed from μ_0 with shift to $\mu_1 = \mu_0 (1+ \delta/_{100})$ with the levels of shift $\gamma = \mu_0 \delta/_{100}$, set $\gamma =$ 0.5, 1.0, 1.5, ..., 6.0. The ARL values in this study are obtained by the Monte Carlo Simulation method, repeated 1,000 times in each case.

The conclusion of the study are as follows:

For the AR(1) model, the EWMAST control chart is the best efficient when $0 < \phi_1 < 0.5$ in all levels of γ, and when $0.5 \le \phi_1 < 0.7$ at $2.5 \le \gamma \le 6.0$. The MCEWMA control chart is the best efficient when $0.5 \le \phi_1 < 0.7$ at $0.5 \le \gamma < 2.5$, and when $0.7 \le \phi_1 < 1$ at $2.5 \le \gamma \le 6.0$.

For the MA(1) model, the EWMAST control chart in all level of θ_1 and γ is the best efficient. The EWMA control chart is the best efficient when $0 < \theta_1 < 1$ at $4.5 \le \gamma \le 6.0$.

For the ARMA(1,1) model, the EWMAST control chart is the best efficient when value of ϕ_1, θ_1 make $\phi_1 > \theta_1, 2\phi_1 - \theta_1 < 1.3$ is true in all levels of γ, the MCEWMA control chart is the best efficient when value of ϕ_1, θ_1 make $\phi_1 > \theta_1, 2\phi_1 - \theta_1 \ge 1.3$ is true in all levels of γ, the EWMA control chart is the best efficient when $\phi_1 \le \theta_1$ in all levels of γ, excepts in levels $0.5 \le \gamma < 2.4$.

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

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

Academic year ....2004..........

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของ รศ.ร.อ.มานพ วราภักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดี จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความรู้สึกซาบซึ้งและสำนึกในพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ผกาวดี ศิริรังษี และ ดร.เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์ ในฐานะประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาสถิติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและคณาจารย์ประจำภาควิชาสถิติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้โอกาสทางการศึกษาและประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด และขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโทสาขาสถิติ ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ฌ
สารบัญรูป		ญ
บทที่		
1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
	1.3 สมมติฐานของการวิจัย	4
	1.4 ขอบเขตการวิจัย	4
	1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น	6
	1.6 เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม	6
	1.7 คำจำกัดความ	8
	1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
2	ทฤษฎีและตัวสถิติที่ใช้ในการวิจัย	10
	2.1 การแจกแจงปกติ	10
	2.2 ลักษณะทั่วไปของอนุกรมเวลา	11
	2.3 แผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการทดสอบ	13
3	วิธีดำเนินการวิจัย	25
	3.1 วิธีการจำลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล	25
	3.2 การวางแผนการทดลอง	26
	3.3 ขั้นตอนของการวิจัย	28
	3.4 การสร้างการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)	35
	3.5 การจำลองข้อมูลอนุกรมเวลาตามตัวแบบ AR(1)	36
	3.6 การจำลองข้อมูลอนุกรมเวลาตามตัวแบบ MA(1)	40
	3.7 การจำลองข้อมูลอนุกรมเวลาตามตัวแบบ ARMA(1,1)	44

หน้า

บทที่

4 ผลของการวิจัย.. 48

4.1 ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมและค่าคงที่ปรับให้เรียบ………………….. 49

4.2 ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1........................ 54

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL.. 55

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ... 82

5.1 สรุปผลการวิจัย.. 82

5.2 ข้อเสนอแนะ.. 86

รายการอ้างอิง.. 89

บรรณานุกรม.. 90

ภาคผนวก... 91

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.. 130

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ AR(1) โดยที่ ϕ_1=0.5, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวการณ์ปกติ..................	37
3.2	แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ AR(1) โดยที่ ϕ_1=0.5, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma = \mu_0\,\delta\%$ โดย $\delta\%$ = 10%, 30% และ 50%...	38
3.3	แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ MA(1) โดยที่ θ_1=0.7, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวการณ์ปกติ................	41
3.4	แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ MA(1) โดยที่ θ_1=0.7, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma = \mu_0\,\delta\%$ โดย $\delta\%$ = 10%, 30% และ 50%...	42
3.5	แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ ARMA(1,1) โดยที่ ϕ_1 = -0.2, θ_1 = 0.7, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวการณ์ปกติ.....	45
3.6	แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ ARMA(1,1) โดยที่ ϕ_1 = -0.2, θ_1 = 0.7, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma = \mu_0\,\delta\%$ โดย $\delta\%$ = 10%, 30% และ 50%...	46
4.1	ตารางแสดงขีดจำกัดควบคุมและค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุมเมื่อกระบวนการมีรูปแบบเป็นอนุกรมเวลา AR(1), MA(1), ARMA(1,1) จำแนกตาม ϕ_1, θ_1..	53
4.2	แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อกระบวนการมีรูปแบบเป็นอนุกรมเวลา AR(1), MA(1), ARMA(1,1) จำแนกตามค่า ϕ_1, θ_1..	54
4.3	แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสำหรับตัวแบบอนุกรมเวลา AR(1) เมื่อ γ = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.0................................	55
4.4	แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสำหรับตัวแบบอนุกรมเวลา MA(1) เมื่อ γ = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.0................................	63
4.5	แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสำหรับตัวแบบอนุกรมเวลา ARMA(1,1) เมื่อ γ = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.0....................	71
5.1	ตารางแสดงแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละตัวแบบอนุกรมเวลา...........	85

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
3.1	แผนผังแสดงวิธีการประมาณค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภท ที่ 1 เมื่อกระบวนการ อยู่ในภาวะการณ์ปกติ...........................	30
3.2	แผนผังแสดงวิธีการหาจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1..................................	33
3.3	แสดงตัวผลิต z_1 และ z_2	35
3.4	แผนภาพ SACF และแผนภาพ SPACF จากข้อมูลอนุกรมเวลาในตารางที่ 3.1	39
3.5	แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ AR(1) โดยที่ ϕ_1=0.5, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma=\mu_0\delta\%$ โดย $\delta\%$ = 10%, 30% และ 50%..............................	39
3.6	แผนภาพ SACF และแผนภาพ SPACF จากข้อมูลอนุกรมเวลาในตารางที่ 3.2	41
3.7	แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ MA(1) โดยที่ θ_1=0.2, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma=\mu_0\,\delta\%$ โดย $\delta\%$ = 10%, 30% และ 50%..............................	41
3.8	แผนภาพ SACF และแผนภาพ SPACF จากข้อมูลอนุกรมเวลาในตารางที่ 3.3	47
3.9	แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ ARMA(1,1) โดยที่ ϕ_1= -0.5, θ_1= -0.2, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma=\mu_0\,\delta\%$ โดย $\delta\%$ = 10%, 30% และ 50%......................	47
4.1	แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย $\phi_1 = 0.1$	57
4.2	แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST, MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย $\phi_1 = 0.3$	58
4.3	แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย $\phi_1 = 0.5$	59
4.4	แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย $\phi_1 = 0.7$	60
4.5	แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย $\phi_1 = 0.8$	61

ภาพประกอบ หน้า

4.6 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย $\phi_1 = 0.9$ 62

4.7 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย $\phi_1 = 0.1$ 65

4.8 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย $\phi_1 = 0.3$ 66

4.9 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย $\phi_1 = 0.5$ 67

4.10 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย $\phi_1 = 0.7$ 68

4.11 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย $\phi_1 = 0.8$ 69

4.12 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย $\phi_1 = 0.9$ 70

4.13 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย $(\phi_1, \theta_1) = (0.1, 0.3)$ 73

4.14 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย $(\phi_1, \theta_1) = (0.1, 0.5)$ 74

4.15 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย $(\phi_1, \theta_1) = (0.1, 0.9)$ 75

4.16 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย $(\phi_1, \theta_1) = (0.5, 0.2)$ 76

4.17 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย $(\phi_1, \theta_1) = (0.5, 0.5)$ 77

4.18 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย $(\phi_1, \theta_1) = (0.5, 0.9)$ 78

4.19 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย $(\phi_1, \theta_1) = (0.9, 0.2)$ 79

4.20 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย $(\phi_1, \theta_1) = (0.9, 0.5)$ 80

ภาพประกอบ หน้า

4.21 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมของ EWMA,EWMAST,MCEWMA สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย $(\phi_1, \theta_1) = (0.9, 0.1)$...................... 81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการผลิตมีองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดผลผลิตที่ดีอาทิเช่น คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และกรรมวิธีผลิต เป็นต้น ถ้าองค์ประกอบเหล่านี้ไม่มีความบกพร่อง สินค้าที่ผลิตมาได้ก็จะอยู่ในระดับมาตรฐานเป็นที่น่าเชื่อถือแก่ผู้บริโภค แต่ในความเป็นจริงกระบวนการผลิตนั้นมักจะเกิดความผันแปรอยู่เสมอตั้งแต่คน เครื่องจักร วัตถุดิบและอื่น ๆ ความผันแปรเหล่านี้จะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่คงที่ เกิดความผันแปรตามสาเหตุดังกล่าว การที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีจะต้องมีการควบคุมความผันแปรที่เกิดขึ้นในองค์ประกอบ

การควบคุมความผันแปรหรือการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธีและวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กัน คือ การควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมิควบคุมเชิงสถิติ (Statistical Control Charts)

แผนภูมิควบคุมคุณภาพนั้น เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือของผลิตภัณฑ์โดยอาศัยหลักและวิธีการทางสถิติ แผนภูมิที่ดีจะต้องแยกความผันแปรของกระบวนการผลิตออกจากกันได้ ว่าเมื่อใดกระบวนการผลิตมีปัญหาต้องหยุดเพื่อทำการแก้ไข เพื่อที่จะสามารถแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างทันท่วงที สามารถลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง

แผนภูมิควบคุมคุณภาพได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะเป็นแผนภูมิควบคุมคุณภาพที่อาศัยข้อมูลหรือค่าสังเกตมาหาขีดจำกัดควบคุม ซึ่งสมมติฐานในโครงสร้างของแผนภูมิควบคุมโดยปกติที่ใช้กันทั่วไป คือ ค่าสังเกตหรือข้อมูลจากกระบวนการจะต้องมีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน ณ เวลาที่แตกต่างกัน แต่หลายกรณีพบว่าข้อมูลส่วนใหญ่ในทางอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเภสัชกรรม ข้อมูลที่ได้มาส่วนใหญ่เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีลักษณะอัตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) ถ้าข้อมูลมีอัตสหสัมพันธ์มากก็จะส่งผลกระทบต่อแผนภูมิที่นำมาตรวจสอบ ดังนั้นได้มีผู้คิดค้นและศึกษา

แผนภูมิควบคุมต่าง ๆ ที่พัฒนาเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่อมีอัตสหสัมพันธ์ อาทิเช่น

Roberts, S.W. (1959) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียล (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart : EWMA) เหมาะสำหรับใช้ในกรณีที่ข้อมูลมีการปรับเปลี่ยนไปทีละน้อย เป็นการให้น้ำหนักกับข้อมูลปัจจุบันมากกว่าข้อมูลในอดีตซึ่งลดลงเรื่อย ๆ

Montgomery, D.C. และ Mastrangelo, C.M. (1991) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลโดยใช้การเคลื่อนที่เส้นกลาง (Moving Centerline Exponentially Weighted Moving Average Control Chart : MCEWMA) ขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยจากกระบวนการผลิตที่มีอัตสหสัมพันธ์กัน โดยใช้ตัวสถิติ EWMA มาเป็นพื้นฐานในการสร้างขีดจำกัดควบคุม แล้วนำแผนภูมิควบคุม MCEWMA มาประยุกต์กับข้อมูลทางด้านเคมี ซึ่งเป็นค่าสังเกตจากกระบวนการผลิตที่มีรูปแบบอนุกรมเวลาเป็น AR(1) และ AR(2) พบว่าแผนภูมิควบคุม MCEWMA มีความเหมาะสมในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยจากกระบวนการผลิต

Zhang, N.F. (1998) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียลเมื่อกระบวนการสเตชันนารี (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart for Stationary Processes : EWMAST) เป็นแผนภูมิที่คล้ายแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักแบบเอกซโพเนนเชียล (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart : EWMA) แต่ต่างกันที่ขีดจำกัดของแผนภูมิควบคุม EWMAST จะขึ้นอยู่กับค่าอัตสหสัมพันธ์ของกระบวนการจากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุม MCEWMA พบว่ากระบวนการที่มีอนุกรมเวลาแบบ AR (1) ค่าสัมประสิทธิอัตถดถอย (ϕ_1) เท่ากับ 0.5 และ 0.75 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยดีกว่าการใช้แผนภูมิควบคุม MCEWMA เมื่อค่าสัมประสิทธิอัตถดถอย (ϕ_1) เท่ากับ 0.95 แผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยดีกว่าการใช้แผนภูมิควบคุม EWMAST

Lu, C. W. และ Reynolds, M.R., Jr. (1999) ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EWMA โดยใช้ค่าสังเกตและค่าเศษตกค้างในการตรวจสอบ พบว่าเมื่อกระบวนการมีรูปแบบอนุกรมเป็น AR (1) ค่าสัมประสิทธิอัตถดถอย (ϕ_1) อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง แผนภูมิควบคุม EWMA ที่ใช้ค่าสังเกตและค่าเศษตกค้างในการตรวจสอบมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อค่าสัมประสิทธิอัตถดถอย (ϕ_1) อยู่ในระดับสูง แผนภูมิควบคุม EWMA โดยใช้ค่าเศษตกค้างจะมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยมากกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA ที่ใช้ค่าสังเกตในการตรวจสอบ

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมต่าง ๆ ระหว่างแผนภูมิควบคุม EWMA แผนภูมิควบคุม EWMAST และแผนภูมิควบคุม MCEWMA ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ยังไม่มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพร่วมกันของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ กรณีที่ข้อมูลเกิดอัตสหสัมพันธ์ในอนุกรมเวลา 3 ตัวแบบ ได้แก่ อนุกรมเวลาที่มีตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่ง (AR(1)) อนุกรมเวลาที่มีตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง (MA(1)) และอนุกรมเวลาที่มีตัวแบบตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่งและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง (ARMA(1,1)) ทำการจำลองข้อมูลซ้ำกัน 1,000 ครั้ง โดยทำการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมโดยพิจารณาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length : ARL) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ เพื่อหาแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากสุดในแต่ละสถานการณ์

1.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

ในการวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม ในกรณีที่ข้อมูลเกิดอัตสหสัมพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลา ซึ่งได้แก่

1.1. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียล (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart : EWMA)

1.2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียล เมื่อกระบวนการสเตชันนารี (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart for Stationary Processes : EWMAST)

1.3. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียล โดยใช้การเคลื่อนที่เส้นกลาง (Moving Centerline Exponentially Weighted Moving Average Control Chart : MCEWMA)

2. เพื่อหาข้อสรุปประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ ของการศึกษาทดลอง

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

สมมติฐานของการวิจัย มีดังนี้

เมื่อข้อมูลมีลักษณะอัตสหสัมพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลาคงที่ในค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1) ภายใต้ลักษณะการตรวจสอบกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม MCEWMA

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ได้กำหนดขอบเขตของการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม ในกรณีที่ข้อมูลเกิดอัตสหสัมพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลา ดังนี้

1. อนุกรมเวลา (z_t) เป็นอนุกรมแบบหนึ่งตัวแปร (Univariate Time Series) โดยที่ในแต่ละตัวแบบจะมีลักษณะของอนุกรมเวลาคงที่ในค่าเฉลี่ยและคงที่ในความแปรปรวน โดยมีตัวแบบดังนี้

1.1 ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่ง AR(1)

$$z_t = (1-\phi_1)(\mu_0 + \gamma I_t) + \phi_1 z_{t-1} + a_t \text{ , } t = 1,2,3,\ldots$$

1.2 ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง MA(1)

$$z_t = \mu_0 + \gamma I_t - \theta_1 a_{t-1} + a_t \text{ , } t = 1,2,3,\ldots$$

1.3 ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่งและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง ARMA(1,1)

$$z_t = (1-\phi_1)(\mu_0 + \gamma I_t) + \phi_1 z_{t-1} - \theta_1 a_{t-1} + a_t \text{ , } t = 1,2,3,\ldots$$

โดยที่ z_t คือ อนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t (แทนค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต)

μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ $\{z_t\}$ ซึ่งกำหนดให้ μ_0 =10

γ คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยซึ่งเท่ากับ $\mu_0\delta\%$ โดยที่ μ_0 =10, $\delta\%$ = 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55% และ 60%

I_t คือ ตัวแปรบ่งชี้ (Indicator Variable) ณ เวลาที่ t, คือ $I_t = \begin{cases} 0 & ,t \le \ell \\ 1 & ,t > \ell \end{cases}$

ℓ คือ จำนวนคาบเวลา หรือจำนวนค่าสังเกตเริ่มต้น (Run-in period) ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับค่าเฉลี่ย โดยกำหนดให้ ℓ = 100

a_t คือ ค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t กำหนด $a_t \sim N(0,\sigma_a^2), \sigma_a^2$ = 5 และเป็นอิสระกัน

ϕ_1 คือ สัมประสิทธิ์อัตถดถอย (Autoregressive Coefficients) อันดับที่ 1

θ_1 คือ สัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving-Average Coefficients) อันดับที่ 1

2. กำหนดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละตัวแบบของข้อมูลที่เกิดอัตสหสัมพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลาที่จะศึกษา โดยมีหลักการกำหนดให้เป็นไปตามคุณสมบัติของการเป็นกระบวนการคงที่ (สเตชันนารี (Stationary) และอินเวอร์ติเบิล (Invertible))

2.1 ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่ง AR(1) มีเงื่อนไขคือ $|\phi_1| < 1$

กำหนดค่าพารามิเตอร์ (ϕ_1) 6 ระดับคือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.8 และ 0.9

2.2 ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง MA(1) มีเงื่อนไขคือ $|\theta_1| < 1$

กำหนดค่าพารามิเตอร์ (θ_1) 6 ระดับคือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.8 และ 0.9

2.3 ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่งและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง ARMA(1,1) มีเงื่อนไขคือ $|\phi_1| < 1, |\theta_1| < 1$

กำหนดค่าพารามิเตอร์ (ϕ_1, θ_1) 9 ระดับ คือ (0.1,0.3), (0.1,0.5), (0.1,0.9), (0.5,0.2), (0.5,0.5), (0.5,0.9), (0.9,0.1), (0.9,0.5) และ (0.9,0.8)

3. ค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม (a_t) ณ เวลา t เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแจกแบบปกติและเป็นอิสระต่อกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 ความแปรปรวนเป็น 5 ($a_t \sim N(0,\sigma_a^2)$, $\sigma_a^2 = 5$)

4. ข้อมูลที่นำมาศึกษาจะมีลักษณะอัตสหสัมพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลา โดยเมื่อเริ่มต้นกระบวนการที่เวลา t = 0 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_0 และความแปรปรวนเท่ากับ σ_z^2 และที่เวลา $t > \ell$ กระบวนการจะมีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไปจาก μ_0 เป็น $\mu_1 = \mu_0(1 + \frac{\delta}{100})$

5. ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาฟอร์แทรน (Fortran Power Station) จำลองการทดลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล และกำหนดจำนวนรอบทำซ้ำ 1,000 รอบ ในแต่ละสถานการณ์

1.5 **ข้อตกลงเบื้องต้น**

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัยมีดังนี้

ในงานวิจัยครั้งนี้การกำหนดค่าพารามิเตอร์ ในตัวแบบอนุกรมเวลา AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1)

1.6 **เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม**

การประเมินประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมในกรณีที่ข้อมูลเกิดอัตสหสัมพันธ์ รูปแบบอนุกรมเวลาของแต่ละแผนภูมิควบคุม โดยจะพิจารณาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) และจำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบจนกว่าจะพบการออกนอกการควบคุม (Average Run Length : ARL) ของแผนภูมิควบคุมในแต่ละกรณีมาเปรียบเทียบกัน โดยมีหลักพิจารณาดังนี้

1. พิจารณาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$)

ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 หมายถึง ความน่าจะเป็นอันเกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม แต่ความเป็นจริงกระบวนการยังคงอยู่ภายใต้การควบคุม แทนด้วย α = P(ค่าตัวอย่าง < ขีดจำกัดล่างของแผนภูมิควบคุม (LCL) หรือค่าตัวอย่าง > ขีดจำกัดล่างของแผนภูมิควบคุม (UCL) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม) ประมาณ α ด้วย $\hat{\alpha}$ ในการทดสอบแผนภูมิควบคุมสามารถควบคุม α ได้หรือไม่ จะใช้การทดสอบทวินาม โดยทำการทดสอบ α ของแต่ละแผนภูมิ ในแต่ละสถานการณ์ที่มีค่าไม่เกินความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนที่กำหนด (α_0) หรือไม่ ภายใต้ระดับนัยสำคัญ α^* โดยมีรูปแบบการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐานการทดสอบ คือ

$$H_0 : \ \alpha \le \alpha_0$$

$$H_1 : \ \alpha > \alpha_0$$

ตัวสถิติทดสอบ คือ

$$Z = \frac{\hat{\alpha} - \alpha_0}{\sqrt{\frac{\alpha_0(1-\alpha_0)}{n^*}}}$$

โดยใช้ทฤษฎีบทค่าจำกัดสู่ส่วนกลาง (The Central Limit Theorem) ได้ว่า

$$P\left(\frac{\hat{\alpha} - \alpha_0}{\sqrt{\frac{\alpha_0(1-\alpha_0)}{n^*}}} < Z_{\alpha^*} \right) = 1 - \alpha^*$$

หรือ

$$P\left(\hat{\alpha} < \alpha_0 + Z_{\alpha^*}\sqrt{\frac{\alpha_0(1-\alpha_0)}{n^*}} \right) = 1 - \alpha^*$$

ดังนั้น ช่วงของการยอมรับความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 คือ

$$\left(0, \alpha_0 + Z_{\alpha^*}\sqrt{\frac{\alpha_0(1-\alpha_0)}{n^*}} \right)$$

โดยที่ α คือ ค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

$\hat{\alpha}$ คือ ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

α_0 คือ ค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ที่กำหนด

α^* คือ ระดับนัยสำคัญของการทดสอบทวินาม

n^* คือ จำนวนซ้ำของการตรวจสอบ

เนื่องจากการวิจัยนี้กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบทวินามเท่ากับ 0.05 จำนวนซ้ำของการตรวจสอบเท่ากับ 50,000 ครั้ง และความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่สอดคล้องกับขีดจำกัดควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.00270 ดังนั้น ช่วงของการยอมรับความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 คือ (0 , 0.00308)

2. ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length : ARL)

ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length : ARL) คือ จำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการตรวจสอบจนกว่าจะพบการออกนอกการควบคุม เมื่อกระบวนการเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย การประเมินประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมในกรณีที่ข้อมูลเกิดอัตสหสัมพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลาของแต่ละแผนภูมิควบคุมจะประเมินด้วยค่า ARL เมื่อกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม (เมื่อค่า μ_0 เปลี่ยนเป็น μ_1) ถ้าแผนภูมิใดที่มีค่า ARL ต่ำกว่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่า ค่า ARL คำนวณได้ดังนี้

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

เมื่อ k คือ จำนวนครั้งของการทดลองในแต่ละสถานการณ์ (k = 1,000)

L_t คือ จำนวนหน่วยตัวอย่างที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบค่าสถิติทดสอบออกนอกขอบเขตควบคุมในครั้งที่ t

ในขั้นตอนนี้ จะทำการพิจารณาเฉพาะแผนภูมิควบคุมที่ผ่านการตรวจสอบว่าสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้เท่านั้น

1.7 **คำจำกัดความ**

ในการวิจัยครั้งนี้ มีคำจำกัดความที่ใช้ ดังนี้

1. ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit ; UCL) คือ ค่าสูงสุดที่ยอมรับว่ากระบวนการผลิตอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุม
2. ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit ; LCL) คือ ค่าต่ำสุดที่ยอมรับว่ากระบวนการผลิตอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุม
3. เส้นกลาง (Central line ; CL) คือ ค่าเฉลี่ยในกระบวนการ

4. ความน่าจะเป็นของคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I error) คือความน่าจะเป็นของคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม (Out of Control) แต่ความจริงกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (In control)

5. ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length ; ARL) คือ จำนวนหน่วยตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้ คือ

1. เพื่อทราบว่าแผนภูมิชนิดใดเหมาะสมกับการตรวจวัดข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1) ณ ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยต่าง ๆ กัน
2. เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้แผนภูมิควบคุมให้เหมาะสมสำหรับกระบวนการที่เกิดอัตสหสัมพันธ์
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมอื่น ๆ สำหรับกระบวนการที่เกิดอัตสหสัมพันธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและตัวสถิติที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมในกรณีที่ข้อมูลเกิดอัตสหสัมพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลา ซึ่งจะเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม 3 แบบ คือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลเมื่อกระบวนการสเตชันนารี (EWMAST) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลโดยใช้การเคลื่อนที่เส้นกลาง (MCEWMA) ในที่นี้จะกล่าวถึงการแจกแจงที่ใช้ในการจำลองข้อมูล ลักษณะทั่วไปของอนุกรมเวลา และแผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 การแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

ในงานวิจัยนี้จะจำลองความคลาดเคลื่อนสุ่ม (a_t) ให้มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) โดยรูปแบบฟังก์ชันความหนาแน่นของการแจกแจงปกติ เป็นดังนี้

ตัวแปรสุ่ม a เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_a และค่าความแปรปรวนเท่ากับ σ_a^2 เขียนแทนด้วย $a \sim N(\mu_a, \sigma_a^2)$ จะมีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ดังนี้

$$f(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_a^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{a-\mu_a}{\sigma_a}\right)^2} \quad , -\infty < a < \infty,\ -\infty < \mu_a < \infty,\ 0 < \sigma_a^2 < \infty$$

โดยที่ $f(a)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

π คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 3.14159...

e คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 2.71828...

μ_a คือ ค่าเฉลี่ยของ a กำหนดให้ $\mu_a = 0$

σ_a^2 คือ ความแปรปรวนของ a กำหนดให้ $\sigma_a^2 = 5$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ลักษณะทั่วไปของอนุกรมเวลา

ข้อมูลอนุกรมเวลาที่จำลองขึ้นสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ สามารถเขียนตัวแบบได้ดังนี้

สมมติให้ $z_1, z_2, ..., z_t$ คืออนุกรมเวลา $a_t, a_2, ..., a_t$ ความคลาดเคลื่อนสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และค่าความแปรปรวนคงที่กับ σ_a^2

2.2.1 ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่ง AR(1) มีตัวแบบเป็น

$$z_t = k_1 + \phi_1 z_{t-1} + a_t \text{ , } t = 1,2,3,\ldots$$

โดยที่ $k_1 = (1 - \phi_1)(\mu_0 + \gamma I_t)$

μ_0, ϕ_1 เป็นค่าคงที่

และ $|\phi_1| < 1$ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ทำให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัติสเตชันนารี (Stationary) และสมมติ a_t เป็นอิสระกันและต่างมีการแจกแจงแบบปกติ $a_t \sim N(0, \sigma_a^2)$

ตัวสถิติ z_t มีค่าเฉลี่ย μ_z และความแปรปรวน σ_z^2 ดังนี้

$$\mu_z = \frac{k_1}{(1 - \phi_1)} , \sigma_z^2 = \frac{\sigma_a^2}{(1 - \phi_1^2)}$$

ฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ของตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่ง AR(1) มีฟังก์ชันดังนี้

$$\rho_k = \phi_1 \rho_{k-1} = \phi_1^k, \quad k \geq 1$$

เมื่อ $\rho_0 = 1$

2.2.2 ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง MA(1) มีตัวแบบเป็น

$$z_t = k_2 - \theta_1 a_{t-1} + a_t \text{ , } t = 1,2,3,\ldots$$

โดยที่ $k_2 = (\mu_0 + \gamma I_t)$

μ_0, θ_1 เป็นค่าคงที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และ $|\theta_1| < 1$ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ทำให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัติเป็นอินเวอร์ติเบิล (Invertible) และสมมติ a_t เป็นอิสระกันและต่างมีการแจกแจงปกติ $a_t \sim N(0, \sigma_a^2)$

ตัวสถิติ z_t มีค่าเฉลี่ย μ_z และความแปรปรวน σ_z^2 ดังนี้

$$\mu_z = k_2, \sigma_z^2 = \sigma_a^2(1+\theta_1^2)$$

ฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ของตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง MA(1) มีฟังก์ชันดังนี้

$$\rho_k = \begin{cases} \dfrac{-\theta_1}{1+\theta_1^2}, & k = 1, \\ 0, & k > 1. \end{cases}$$

2.2.3 ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่งและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง ARMA(1,1) มีตัวแบบเป็น

$$z_t = k_1 + \phi_1 z_{t-1} - \theta_1 a_{t-1} + a_t \ , t = 1,2,3,\ldots$$

โดยที่ $k_1 = (1-\phi_1)(\mu_0 + \gamma I_t)$

μ_0, ϕ_1 และ θ_1 เป็นค่าคงที่

และ $|\phi_1| < 1$ เป็นเงื่อนไขที่ทำให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัติสเตชันนารี (Stationary) และ $|\theta_1| < 1$ เป็นเงื่อนไขที่ทำให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัติเป็นอินเวอร์ติเบิล (Invertible) และสมมติ a_t เป็นอิสระกันและต่างมีการแจกแจงปกติ $a_t \sim N(0, \sigma_a^2)$

ตัวสถิติ z_t มีค่าเฉลี่ย μ_z และความแปรปรวน σ_z^2 ดังนี้

$$\mu_z = \frac{k_1}{(1-\phi_1)}, \sigma_z^2 = \frac{\sigma_a^2(1+\theta_1^2 - 2\phi_1\theta_1)}{(1-\phi_1^2)}$$

ฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ของตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่งและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง ARMA(1,1) มีฟังก์ชันดังนี้

$$\rho_k = \begin{cases} 1, & k = 0, \\ \dfrac{(\phi_1 - \theta_1)(1 - \phi_1\theta_1)}{1 + \theta_1^2 - 2\phi_1\theta_1}, & k = 1, \\ \phi_1\rho_{k-1}, & k \geq 2. \end{cases}$$

ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ค่าเฉลี่ย μ_0 และค่าความแปรปรวน σ_z^2 เป็นค่าคงที่ที่ทราบค่าเมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติ โดยค่า μ_0=10 และค่า σ_z^2 สามารถคำนวณได้ตามตัวแบบอนุกรมเวลา AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1) ดังที่กล่าวมาข้างต้น

2.3 แผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการทดสอบ

แผนภูมิควบคุมที่นำมาเปรียบเทียบในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลเมื่อกระบวนการสเตชันนารี (EWMAST) แผนภูมิควบคุม ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลโดยใช้การเคลื่อนที่เส้นกลาง (MCEWMA) มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียล (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart : EWMA)

แผนภูมิควบคุมนี้จะใช้ค่าวัดผลิตภัณฑ์ที่ผ่านมา โดยจะให้น้ำหนักกับค่าวัดผลิตภัณฑ์แต่ละค่าไม่เท่ากัน จะให้น้ำหนักมากกับค่าวัดผลิตภัณฑ์ล่าสุดและลดหลั่งลงไปแบบเอกซโพเนนเชียลสำหรับค่าวัดผลิตภัณฑ์ที่อยู่ห่างออกไป

ค่าสถิติทดสอบ

$$x_t = \lambda z_t + (1-\lambda)x_{t-1} \text{ , t = 1,2,3,... , } 0 < \lambda \leq 1 \qquad \text{..........(2.1)}$$

เมื่อ x_t เป็นค่าของตัวสถิติ EWMA

z_t เป็นอนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t (แทนค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต)

λ เป็นค่าคงที่ของพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ $0 < \lambda \le 1$

x_0 เป็นค่าเริ่มต้น ในที่นี้ให้เท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้ภาวะการณ์ปกติ (μ_0)

เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม $z_t \sim N(\mu_0, \sigma_z^2)$

จากสมการ (2.1) สามารถกระจายได้ดังนี้

$$x_t = \lambda z_t + \lambda(1-\lambda)z_{t-1} + \lambda(1-\lambda)^2 z_{t-2} + \ldots + \lambda(1-\lambda)^{t-1} z_1 + (1-\lambda)^t x_0$$

เมื่อ $x_0 = \mu_0$ จะได้ว่า

$$E(x_t) = \mu_0 \left[\lambda + \lambda(1-\lambda) + \lambda(1-\lambda)^2 + \ldots + \lambda(1-\lambda)^{t-1} + (1-\lambda)^t \right]$$

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

$$= \mu_0$$

$$V(x_t) = \sigma_z^2 \left[\lambda^2 + (\lambda(1-\lambda))^2 + \left(\lambda(1-\lambda)^2\right)^2 + \ldots + \left(\lambda(1-\lambda)^{t-1}\right)^2 \right]$$

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

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

$$= \frac{\sigma_z^2 \lambda \left(1-(1-\lambda)^{2t}\right)}{2-\lambda} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(2.2)$$

เมื่อ t มีค่าใหญ่ และกระบวนการยังอยู่ในเขตควบคุมจะได้

$$V(x_t) \approx \frac{\sigma_z^2 \lambda}{2-\lambda} \qquad \text{..........(2.3)}$$

เนื่องจาก z_t มีการแจกแจงแบบปกติ ตัวสถิติ EWMA(x_t) จึงมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_0 และความแปรปรวนเท่ากับ σ_x^2 จะได้

$$x_t \sim N(\mu_0, \sigma_x^2)\ ,\ t = 0, 1,2,...$$

และ $$z^* = \frac{(x_t - \mu_0)}{\sigma_x} \sim N(0,1)$$

โดยส่วนใหญ่ ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบ $N(0,1)$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง -3 ถึง 3 P(-3 < z^* < 3) = 0.9973 ฉะนั้น

$$P\left(-3 < \frac{x_t - \mu_0}{\sigma_x} < 3\right) = 0.9973$$

$$P(-3\sigma_x < x_t - \mu_0 < 3\sigma_x) = 0.9973$$

$$P(\mu_0 - 3\sigma_x < x_t < \mu_0 + 3\sigma_x) = 0.9973$$

ในงานวิจัยนี้จะใช้ขีดจำกัดควบคุมเมื่อ t มีค่ามาก จากสมการ (2.3) จะได้ขีดจำกัดควบคุม ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขีดจำกัดควบคุม

เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม $z_t \sim N(\mu_0, \sigma_z^2)$ ดังนั้น

$$UCL = \mu_0 + 3\sigma_z\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}$$

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - 3\sigma_z\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}$$

ค่า λ ที่นำมาใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม จะกระทำภายใต้กระบวนการที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย จากสมการ (2.1) จะเลือกค่า λ ที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) มีค่าต่ำสุด สูตรที่ใช้มีดังนี้

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n}(z_t - \hat{z}_t(t-1))^2}{n}$$

เมื่อ z_t คือ อนุกรมเวลา ณ เวลา t

$\hat{z}_t(t-1)$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t+1

n ขนาดอนุกรมเวลาเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (n = 100)

เมื่อทำการแปรเปลี่ยนค่า λ โดยจะกำหนดค่าเริ่มต้น $\lambda = 0.01$ และจากนั้นเพิ่มค่า λ ครั้งละ 0.01 จนถึงค่า $\lambda = 0.99$ ในแต่ละค่า λ จะคำนวณหาค่า MSE ค่า λ ที่ให้ค่า MSE ต่ำสุดจะเป็นค่าที่นำไปใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมเมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยต่อไป

เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการใช้แผนภูมิควบคุม

ถ้าค่า x_t มากกว่าขีดจำกัดควบคุมบน หรือน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง กระบวนการจะไม่อยู่ภายใต้การควบคุมหรือกระบวนการผิดปกติ

2.3.2 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลเมื่อกระบวนการสเตชันนารี (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart for Stationary Processes : EWMAST)

Zhang, N.F. (1998) ได้เสนอแผนภูมิควบคุม EWMAST เป็นแผนภูมิที่คล้ายแผนภูมิ EWMA ส่วนที่แตกต่างกันของแผนภูมิทั้ง 2 ชนิดนี้ คือ ขีดจำกัดควบคุม โดยที่ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีส่วนที่แสดงถึงการมีอัตสหสัมพันธ์กันของค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต

ค่าสถิติทดสอบ

$$x_t = \alpha z_t + (1-\alpha)\, x_{t-1} \;,\; t = 1,2,3,\ldots \;,\; 0 < \alpha \le 1 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(2.4)$$

เมื่อ x_t เป็นค่าของตัวสถิติ EWMAST

z_t เป็นอนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t (แทนค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต)

α เป็นค่าคงที่ของพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ $0 < \alpha \le 1$

x_0 เป็นค่าเริ่มต้น ในที่นี้เท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้ภาวะการณ์ปกติ (μ_0)

เนื่องจาก z_t เป็นอนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t มีค่าเฉลี่ย $E(z_t) = \mu_0$ และมีฟังก์ชันความแปรปรวมร่วมระหว่าง z_t และ $z_{t+\tau}$ คือ

$$R(\tau) = \mathrm{Cov}[z_t, z_{t+\tau}] = E[(z_t - \mu_0)(z_{t+\tau} - \mu_0)] \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(2.5)$$

เมื่อ $R(\tau)$ เป็นฟังก์ชันความแปรปรวมร่วมที่ขึ้นอยู่กับแล็ก τ ตัวสถิติ EWMAST (x_t) อธิบายได้จากสมการ (2.4) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย $E(x_t) = \mu_0$ และมีฟังก์ชันความแปรปรวมร่วมระหว่าง x_t และ $x_{t+\tau}$ เมื่อ t มีค่ามาก คือ

$$\mathrm{Cov}(x_t, x_{t+\tau}) = \mathrm{Cov}\left[\alpha \sum_{i=0}^{t-1} (1-\alpha)^i z_{t-i} \;,\; \alpha \sum_{j=0}^{t+\tau-1} (1-\alpha)^j z_{t+\tau-j}\right]$$

$$= \alpha^2 \sum_{i=0}^{t-1} \sum_{j=0}^{t+\tau-1} (1-\alpha)^{i+j} R(j-i-\tau)$$

ให้ $\tau \ge 0$, $k = j - i$ สามารถจัดรูปผลรวมข้างต้นได้ ดังนี้

$$\sum_{i=0}^{t-1} \sum_{j=0}^{t+\tau-1} (1-\alpha)^{i+j} R(j-i-\tau)$$

$$= \sum_{k=-(t-1)}^{0} \sum_{i=-k}^{t-1} (1-\alpha)^{2i+k} R(k-\tau) + \sum_{k=1}^{\tau} \sum_{i=0}^{t-1} (1-\alpha)^{2i+k} R(k-\tau)$$

$$+\sum_{k=\tau+1}^{t-1+\tau}\ \sum_{i=0}^{t-1+\tau-k}(1-\alpha)^{2i+k}R(k-\tau)$$

$$=\sum_{k=0}^{t-1}R(k+\tau)(1-\alpha)^{k}\left[1-(1-\alpha)^{2(t-k)}\right]/\left[1-(1-\alpha)^{2}\right]$$

$$+\sum_{k=1}^{\tau}R(k-\tau)(1-\alpha)^{k}\left[1-(1-\alpha)^{2t}\right]/\left[1-(1-\alpha)^{2}\right]$$

$$+\sum_{k=\tau+1}^{t-1+\tau}R(k-\tau)(1-\alpha)^{k}\left[1-(1-\alpha)^{2(t+\tau-k)}\right]/\left[1-(1-\alpha)^{2}\right]$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}Cov(x_t,x_{t+\tau}) &= [\alpha/(2-\alpha)]\left\{\sum_{k=0}^{t-1}R(k+\tau)(1-\alpha)^{k}\left[1-(1-\alpha)^{2(t-k)}\right]\right.\\ &+\sum_{k=1}^{\tau}R(k-\tau)(1-\alpha)^{k}\left[1-(1-\alpha)^{2t}\right]\\ &\left.+\sum_{k=\tau+1}^{t-1+\tau}R(k-\tau)(1-\alpha)^{k}\left[1-(1-\alpha)^{2(t+\tau-k)}\right]\right\}\end{aligned}$$

ความแปรปรวนร่วมระหว่าง x_t และ $x_{t+\tau}$ สามารถเขียนได้ในรูปของฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ในตัวเอง $\rho(k)$

$$\begin{aligned}Cov(x_t,x_{t+\tau}) &= [\alpha/(2-\alpha)]\sigma_z^2\left\{\sum_{k=0}^{t-1}\rho(k+\tau)(1-\alpha)^{k}\left[1-(1-\alpha)^{2(t-k)}\right]\right.\\ &+\sum_{k=1}^{\tau}\rho(k-\tau)(1-\alpha)^{k}\left[1-(1-\alpha)^{2t}\right]\\ &\left.+\sum_{k=\tau+1}^{t-1+\tau}\rho(k-\tau)(1-\alpha)^{k}\left[1-(1-\alpha)^{2(t+\tau-k)}\right]\right\} \qquad \text{..........(2.6)}\end{aligned}$$

$\rho(k)$ เป็นค่าอัตสหสัมพันธ์ในตัวเองของตัวแบบอนุกรมเวลา z_t ณ แล็ก k และ $\rho(k) = R(k)/R(0) = R(k)/\sigma_z^2$ เมื่อ $\tau = 0$ จากสมการ (2.6) จะได้

$$Cov(x_t,x_{t+\tau}) = Cov(x_t,x_t) = Var(x_t) = \sigma_x^2$$

ดังนั้น

$$\sigma_x^2 = [\alpha/(2-\alpha)]\sigma_z^2\{1-(1-\alpha)^{2t}$$

$$+2\sum_{k=1}^{t-1}\rho(k)(1-\alpha)^k\left[1-(1-\alpha)^{2(t-k)}\right]\Bigg\} \qquad \text{..........(2.7)}$$

เมื่อ $t \to \infty$, $\mathrm{Cov}(x_t, x_{t+\tau})$ ลู่เข้าและค่าลิมิตไม่ขึ้นอยู่กับค่า t จากสมการ (2.6) เมื่อค่า t มีขนาดใหญ่สามารถใช้ค่า M แทนค่า t (M เป็นค่าคงที่ที่มีค่ามาก ๆ เมื่อ $t \to \infty$) การประมาณค่า $\mathrm{Cov}(x_t, x_{t+\tau})$ ได้ดังนี้

$$\mathrm{Cov}(x_t, x_{t+\tau}) = [\alpha/(2-\alpha)]\sigma_z^2\Bigg\{\sum_{k=0}^{M}\rho(k+\tau)(1-\alpha)^k\left[1-(1-\alpha)^{2(M-k)}\right]$$

$$+\sum_{k=1}^{\tau}\rho(k-\tau)(1-\alpha)^k\left[1-(1-\alpha)^{2M}\right]$$

$$+\sum_{k=\tau+1}^{M+\tau}\rho(k-\tau)(1-\alpha)^k\left[1-(1-\alpha)^{2(M+\tau-k)}\right]\Bigg\} \qquad \text{..........(2.8)}$$

จากสมการ (2.8) ความแปรปรวนของ x_t คือ

$$\sigma_x^2 \approx [\alpha/(2-\alpha)]\sigma_z^2\left\{1+2\sum_{k=1}^{M}\rho(k)(1-\alpha)^k\left[1-(1-\alpha)^{2(M-k)}\right]\right\} \qquad \text{..........(2.9)}$$

Box, G.E.P. และ Jenkins, G. M. (1976) แนะนำว่าการใช้ค่า $\rho(k)$ เพื่อประมาณ σ_x^2 สามารถคำนวณได้ถ้าขนาดของข้อมูล (N) มีขนาดตั้งแต่ 50 หรือมากกว่า และ $k \le N/4$ ดังนั้น M ควรมีขนาดใหญ่เพียงพอแต่ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่า k ในการประมาณ σ_x^2 จากสมการ (2.9) ในงานวิจัยนี้จะหาค่า $\rho(k)$ เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติ โดยกำหนดให้ N=100 และ M=25

เนื่องจาก z_t มีการแจกแจงแบบปกติ ตัวสถิติ EWMAST(x_t) จึงมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_0 และความแปรปรวนเท่ากับ σ_x^2 จะได้ $x_t \sim N(\mu_0, \sigma_x^2)$ ดังนั้นเกณฑ์ในการสร้างขีดจำกัดควบคุมของตัวสถิติ EWMAST จะเหมือน EWMA แต่ต่างกันที่ค่าความแปรปรวน

ของตัวสถิติ EWMAST ในงานวิจัยนี้จะใช้ขีดจำกัดควบคุมเมื่อ t มีค่ามาก เพราะฉะนั้นจะประมาณ σ_x^2 จากสมการ (2.9) และจะคำนวณค่า $\rho(k)$ จากหัวข้อ 2.2 ดังที่กล่าวมาข้างต้น

ขีดจำกัดควบคุม

เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม ดังนั้น

$$UCL = \mu_0 + 3\sigma_x$$

$$CL = \mu_0$$

$$LCL = \mu_0 - 3\sigma_x$$

ค่า α ที่นำมาใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม จะกระทำภายใต้กระบวนการที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย จากสมการ (2.4) จะเลือกค่า α ที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) มีค่าต่ำสุด สูตรที่ใช้มีดังนี้

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n}(z_t - \hat{z}_t(t-1))^2}{n}$$

เมื่อ z_t คือ อนุกรมเวลา ณ เวลา t

$\hat{z}_t(t-1)$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t+1

n ขนาดอนุกรมเวลาเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (n = 100)

เมื่อทำการแปรเปลี่ยนค่า α โดยจะกำหนดค่าเริ่มต้น $\alpha = 0.01$ และจากนั้นเพิ่มค่า α ครั้งละ 0.01 จนถึงค่า $\lambda = 0.99$ ในแต่ละค่า α จะคำนวณหาค่า MSE ค่า α ที่ให้ค่า MSE ต่ำสุดจะเป็นค่าที่นำไปใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมเมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยต่อไป

เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการใช้แผนภูมิควบคุม

ถ้าค่า x_t มากกว่าขีดจำกัดควบคุมบน หรือน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง กระบวนการจะไม่อยู่ภายใต้การควบคุมหรือกระบวนการผิดปกติ

2.3.3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลโดยใช้การเคลื่อนที่เส้นกลาง (Moving Centerline Exponentially Weighted Moving Average Control Chart : MCEWMA)

Montgomery, D.C. และ Mastrangelo, C.M. (1991) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยจากกระบวนการผลิต เมื่อค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตมีอัตสหสัมพันธ์กันโดยใช้ตัวสถิติ EWMA มาเป็นพื้นฐานในการสร้างขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม MCEWMA

ค่าสถิติทดสอบ คือ

$$x_t = \eta z_t + (1-\eta) x_{t-1} \text{ , } t = 1,2,3,\ldots \text{ , } 0 < \eta \leq 1 \qquad \ldots\ldots\ldots(2.10)$$

เมื่อ x_t เป็นค่าของตัวสถิติ EWMAST

z_t เป็นอนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t (แทนค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต)

η เป็นค่าคงที่ของพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ $0 < \eta \leq 1$

x_0 เป็นค่าเริ่มต้น ในที่นี้เท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้ภาวะการณ์ปกติ (μ_0)

ขั้นตอนในการสร้างขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม MCEWMA คือ

1. แปลงค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต (z_t) ให้เป็นตัวสถิติ MCEWMA(x_t) โดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการ (2.10) ค่าของ x_t ที่ได้จะนำไปใช้เป็นค่าพยากรณ์ไปข้างหน้า 1 ช่วงเวลาของค่าวัดผลิตภัณฑ์ จะได้ $\hat{z}_{t+1}(t) = x_t$

2. คำนวณค่าคลาดเคลื่อน ณ เวลา t คือ e_t ซึ่งคำนวณได้จากผลต่างของค่าวัดผลิตภัณฑ์และค่าพยากรณ์ ณ เวลาที่ t นั่นคือ $e_t = z_t - \hat{z}_t(t-1)$ ซึ่ง e_t มีการแจกแจงแบบปกติและอิสระซึ่งกันและกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น σ_e

3. ภายใต้ข้อกำหนดที่ว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติและอิสระซึ่งกันและกัน ดังนั้น

$$P\left[-z^*_{\alpha^*/2}\,\sigma_e \leq e_t \leq z^*_{\alpha^*/2}\,\sigma_e\right]$$

$$= 1 - \alpha^*$$

$$= P\left[-z^*_{\alpha^*/2}\ \sigma_e \le z_t - \hat{z}_t(t-1) \le z^*_{\alpha^*/2}\ \sigma_e \right]$$

$$= P\left[\hat{z}_t(t-1) - z^*_{\alpha^*/2}\ \sigma_e \le z_t \le \hat{z}_t(t-1) + z^*_{\alpha^*/2}\ \sigma_e \right]$$

$$= P\left[x_{t-1} - z^*_{\alpha^*/2}\ \sigma_e \le z_t \le x_{t-1} + z^*_{\alpha^*/2}\ \sigma_e \right] \quad ....(2.11)$$

เมื่อ σ_e คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

$1-\alpha^*$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของค่าคลาดเคลื่อนที่ตกในบริเวณของการยอมรับภายใต้การแจกแจงปกติ กำหนดให้ $(1-\alpha^*) = 0.9973$

z_t คือ อนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t (แทนค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต)

$\hat{z}_t(t-1)$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลาที่ t

$z^*_{\alpha^*/2}$ คือ ค่าคะแนนมาตรฐาน กำหนดให้ $\alpha^* = 0.0027$

การประมาณค่า σ_e

สามารถประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ณ เวลา t โดยใช้วิธีปรับให้เรียบ ดังนี้

$$\hat{\sigma}_e^2(t) = \sqrt{\eta^* e_t^2 + (1-\eta^*)\ \hat{\sigma}_e^2(t-1)}\ ,\ 0 < \eta^* \le 1 \quad ....(2.12)$$

ณ เวลาที่ t+1 จะใช้ $\hat{\sigma}_e(t)$ ที่ได้จากสมการ (2.12) มาประมาณ σ_e ในขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ MCEWMA โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของ $\hat{\sigma}_e^2(t)$ เป็นค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) นั่นคือ $\hat{\sigma}_e^2(0) = \text{MSE}$ จะได้

$$\hat{\sigma}_e^2(0) = \text{MSE} = \frac{\sum_{t=1}^{n} (z_t - \hat{z}_t(t-1))^2}{n}$$

เมื่อ z_t คือ อนุกรมเวลา ณ เวลา t

$\hat{z}_t(t-1)$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t+1

n คือ ขนาดอนุกรมเวลาเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (n = 100)

จากสมการ (2.14) ขีดจำกัด ณ เวลา t+1 สามารถนำตัวสถิติ x_t ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาใช้เป็นเส้นกลาง (Center Line) ของแผนภูมิควบคุม ซึ่งจะได้ขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่าง ดังนี้

$$LCL_{t+1} = x_t + z*_{\alpha^*/2}\,\sigma_e(t)$$

$$CL_{t+1} = x_t$$

$$LCL_{t+1} = x_t - z*_{\alpha^*/2}\,\sigma_e(t)$$

โดยส่วนใหญ่ ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบ $N(0,1)$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง -3 ถึง 3 P(-3 < z < 3) = 0.9973 ฉะนั้น

ขีดจำกัดควบคุม

เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม ดังนั้น

$$UCL_{t+1} = x_t + 3\sigma_e(t)$$

$$CL_{t+1} = x_t$$

$$LCL_{t+1} = x_t - 3\sigma_e(t)$$

จากสมการ (2.10) จะเลือก η ที่ทำให้ได้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ต่ำสุด โดยจะกำหนดค่าเริ่มต้น η=0.01 และจากนั้นเพิ่มค่า η ครั้งละ 0.01 จนถึงค่า η=0.99 แต่ละค่า η จะนำมาหาค่า MSE เมื่อได้ค่า MSE สำหรับทุกค่า η ที่กำหนดแล้ว จะเลือกค่า η ที่ให้ค่า MSE ต่ำสุด เป็นค่า η ที่จะใช้ในการตรวจสอบกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ต่อไป

จากสมการ (2.12) จะเลือก η^* ที่ให้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) มีค่าใกล้เคียงกับ 0.0027 มากที่สุด (0.0027 เป็นระดับความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ระดับเดียวกับแผนภูมิ MCEWMA) เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติ สามารถหาค่า η^* ได้ดังนี้ จะหาค่า $\hat{\alpha}$ ณ ค่า η^* หนึ่ง ๆ โดยจะกำหนด ค่าเริ่มต้น η^* =0.01 และจากนั้นเพิ่มค่า η^* ครั้งละ 0.01 จนถึงค่า η^* =0.99 แต่ละค่า η^* จะสร้างขีดจำกัดควบคุม UCL และ LCL ตามสูตรข้างต้น และหาค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อได้ค่า $\hat{\alpha}$ สำหรับทุกค่า η^* ที่กำหนดแล้ว จะเลือกค่า η^* ที่ให้ค่า $\hat{\alpha}$ ใกล้เคียงกับ 0.0027 มากที่สุด เป็นค่า η^* ที่จะใช้สร้างขีดจำกัดควบคุม UCL และ LCL เพื่อใช้ในการตรวจสอบกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ต่อไป

เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการใช้แผนภูมิควบคุม

ถ้าค่า z_{t+1} มากกว่าขีดจำกัดควบคุมบน หรือน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง กระบวนการจะไม่อยู่ภายใต้การควบคุมหรือกระบวนการผิดปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Technique) ซึ่งการจำลองข้อมูลได้โดยการเขียนโปรแกรมภาษาฟอร์แทรน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมภายใต้สถานการณ์ของกระบวนการผลิต ในกรณีที่ข้อมูลเกิดอัตสหสัมพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลา ซึ่งแผนภูมิควบคุมที่นำมาเปรียบเทียบมี 3 แผนภูมิ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลเมื่อกระบวนการสเตชันนารี (EWMAST) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลโดยใช้การเคลื่อนที่เส้นกลาง (MCEWMA) จะใช้วิธีการตรวจสอบจำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ถ้าแผนภูมิชนิดใดให้ค่า ARL น้อยที่สุดเมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย แสดงว่าแผนภูมิควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งวิธีดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 วิธีการจำลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล

เทคนิคที่ใช้แก้ปัญหาในการคำนวณทางสถิตินั้นมีหลายวิธี วิธีการจำลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โลเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้แก้ปัญหากันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งหลักการของการจำลองโดยใช้เทคนิคดังกล่าว จะใช้เลขสุ่ม (Random Numbers) มาช่วยในการหาคำตอบของปัญหาที่ต้องการศึกษา

ขั้นตอนของการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลที่ใช้กันในปัจจุบัน แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การจำลองตัวเลขสุ่ม การใช้ตัวเลขสุ่มเป็นสิ่งสำคัญมากในเทคนิคนี้ ทั้งนี้เพราะว่าหลักการของการจำลองแบบมอนติคาร์โลนั้น จะใช้ตัวเลขสุ่มมาช่วยในการหาคำตอบของปัญหาโดยลักษณะของตัวเลขสุ่มที่นำมาใช้ จะมีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ในช่วง (0,1) สำหรับวิธีการจำลองตัวเลขสุ่มมีผู้เสนอแนะไว้หลายวิธี แต่วิธีที่ดีนั้นลักษณะของเลขสุ่มที่ถูกจำลองขึ้น จะต้องมีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วง (0,1) ตัวเลขสุ่มแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน และมีช่วงยาวก่อนจะเกิดเลขสุ่มซ้ำ

2. การนำเลขสุ่มมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่ต้องการศึกษา ซึ่งขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่ศึกษา บางปัญหาอาจใช้เลขสุ่มได้โดยตรง ในขณะที่บางปัญหาอาจต้องใช้ขั้นตอนอื่นอีกหลายขั้นตอน โดยมีการใช้ตัวเลขสุ่มในบางขั้นตอนเท่านั้น

3. การทดลองกระทำ เมื่อประยุกต์ปัญหาที่สนใจให้ใช้กับตัวเลขสุ่มได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการทดลองโดยใช้กระบวนการสุ่ม (Random Process) มากระทำในลักษณะซ้ำ ๆ กัน (Replication) เพื่อหาคำตอบของปัญหาที่ต้องการศึกษา

3.2 การวางแผนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ มีขอบเขตของการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 3 แบบ ในกรณีที่ข้อมูลเกิดอัตสหสัมพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลา ซึ่งมีแผนการทดลองดังนี้

3.2.1 ศึกษาในกรณีที่ข้อมูลอนุกรมเวลามีตัวแบบดังนี้

(1) ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่ง AR(1)

$$z_t = (1-\phi_1)(\mu_0 + \gamma I_t) + \phi_1 z_{t-1} + a_t \qquad \text{.........(3.1)}$$

(2) ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง MA(1)

$$z_t = (\mu_0 + \gamma I_t) - \theta_1 a_{t-1} + a_t \qquad \text{.........(3.2)}$$

(3) ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่งค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง ARMA(1,1)

$$z_t = (1-\phi_1)(\mu_0 + \gamma I_t) + \phi_1 z_{t-1} - \theta_1 a_{t-1} + a_t \qquad \text{.........(3.3)}$$

โดยที่ z_t คือ อนุกรมเวลา ณ เวลาที่ t (แทนค่าวัดผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต) (t=1, 2,3,…)

μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ $\{z_t\}$ เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้ภาวะการณ์ปกติ โดยกำหนด μ_0 = 10

ϕ_1 คือ สัมประสิทธิ์อัตถดถอย (Autoregressive Coefficients) อันดับที่ 1

θ_1 คือ สัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving-Average Coefficients) อันดับที่ 1

a_t คือ ค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t กำหนด $a_t \sim N(0,\sigma_a^2)$, σ_a^2 = 5 และเป็นอิสระกัน

γ คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\mu_0\delta\%$ โดยที่ $\delta\%$ เท่ากับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55% และ 60%

I_t คือ ตัวแปรบ่งชี้ (Indicator Variable) ณ เวลาที่ t ; $I_t = \begin{cases} 0 & ,t \le \ell \\ 1 & ,t > \ell \end{cases}$

ℓ คือ จำนวนคาบเวลา หรือจำนวนค่าสังเกตเริ่มต้น (Run-in period) ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับค่าเฉลี่ย โดยกำหนดให้ ℓ = 100

3.2.2 กำหนดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละอนุกรมเวลาที่จะศึกษา โดยกำหนดให้เป็นไปตามคุณสมบัติของการเป็นกระบวนการสเตชันนารี (Stationary) และ อินเวอร์ติเบิล (Invertible) ดังนี้

(1) ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่ง AR(1) มีเงื่อนไขคือ $|\phi_1| < 1$

กำหนดค่าพารามิเตอร์ (ϕ_1) 6 ระดับคือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.8 และ 0.9

(2) ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง MA(1) มีเงื่อนไขคือ $|\theta_1| < 1$

กำหนดค่าพารามิเตอร์ (θ_1) 6 ระดับคือ 0.1, 0.3, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9

(3) ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่หนึ่งและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่หนึ่ง ARMA(1,1) มีเงื่อนไขคือ $|\phi_1| < 1, |\theta_1| < 1$

กำหนดค่าพารามิเตอร์ (ϕ_1, θ_1) 9 ระดับ คือ (0.1,0.3), (0.1,0.5), (0.1,0.9), (0.5,0.2), (0.5,0.5), (0.5,0.9), (0.9,0.1), (0.9,0.5) และ (0.9,0.8)

3.2.3 ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ค่าเฉลี่ย μ_0 และค่าความแปรปรวน σ_z^2 เป็นค่าคงที่ที่ทราบค่าเมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติ $t \le \ell$ โดยค่า μ_0=10 และค่า σ_z^2 สามารถคำนวณภายใต้ตัวแบบอนุกรมเวลา AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1)

3.2.4 การหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 $(\hat{\alpha})$ กำหนดจำนวนซ้ำของการตรวจสอบจำนวน 50,000 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์

3.2.5 หาค่า ARL โดยทดลองซ้ำ จำนวน 1,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 $(\hat{\alpha})$ และค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ เพื่อหาแผนภูมิที่ดีที่สุดในแต่ละสถานการณ์

3.3 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย

การวิจัยศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ ของประชากรที่มีรูปแบบอนุกรมเวลา 3 ตัวแบบ คือ AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1) ซึ่งขั้นตอนของการวิจัยมี 2 ขั้นตอน คือ การหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) และการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยดังนี้

ขั้นตอนแรก การหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) จะคำนวณ $\hat{\alpha}$ ภายใต้กระบวนปกติ มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดตัวแบบของอนุกรมเวลาที่ศึกษา เป็นกรณีๆ
2. จำลองเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบ U(0,1)
3. จำลองค่าของ $a_t \sim N(0,\sigma_a^2)$ (ภายใต้ค่า σ_a^2 ที่กำหนด)
4. กำหนดพารามิเตอร์ ϕ_1, θ_1, μ_0=10 ในตัวแบบอนุกรมเวลาในการหา z_t
5. จำลองข้อมูลเมื่อกระบวนการปกติ ให้มีลักษณะตามตัวแบบอนุกรมเวลาในข้อที่ 1
6. คำนวณค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม ในกรณีที่ค่าคงที่ปรับให้เรียบที่นำมาคำนวณเป็นค่าที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) มีค่าต่ำสุด
7. กำหนดขีดจำกัดควบคุมสำหรับแต่ละแผนภูมิตามสถานการณ์ที่กำหนด

(1) แผนภูมิควบคุม EWMA

ขีดจำกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิ EWMA เป็นดังนี้

$$UCL = \mu_0 + 3\sigma_z\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}$$

$$LCL = \mu_0 - 3\sigma_z\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}$$

(2) แผนภูมิควบคุม EWMAST

ขีดจำกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุม EWMAST เป็นดังนี้

$$UCL = \mu_0 + 3\sigma_x$$

$$LCL = \mu_0 - 3\sigma_x$$

(3) แผนภูมิควบคุม MCEWMA

ขีดจำกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุม MCEWMA เป็นดังนี้

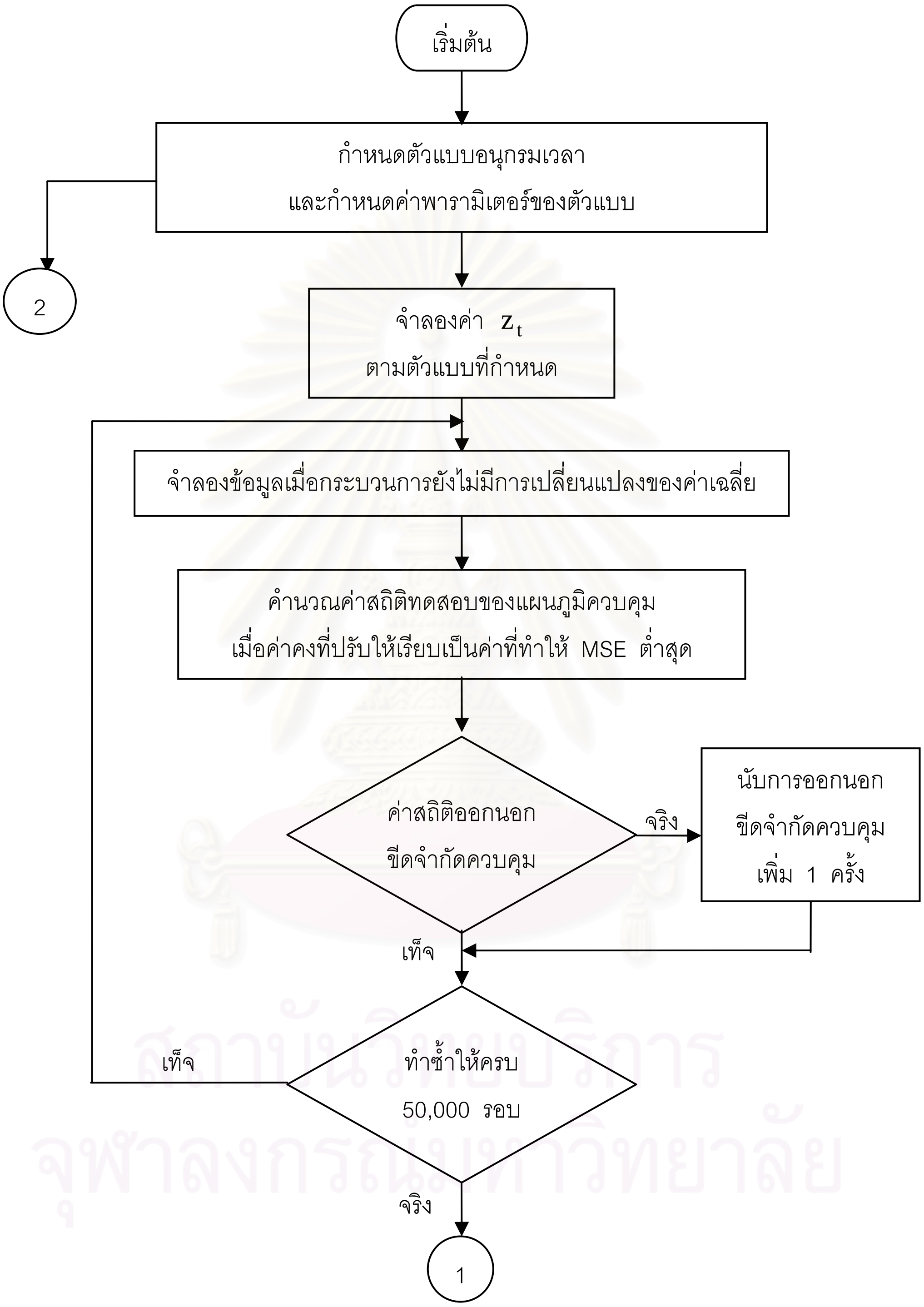
$$UCL_{t+1} = x_t + 3\sigma_e(t)$$

$$LCL_{t+1} = x_t - 3\sigma_e(t)$$

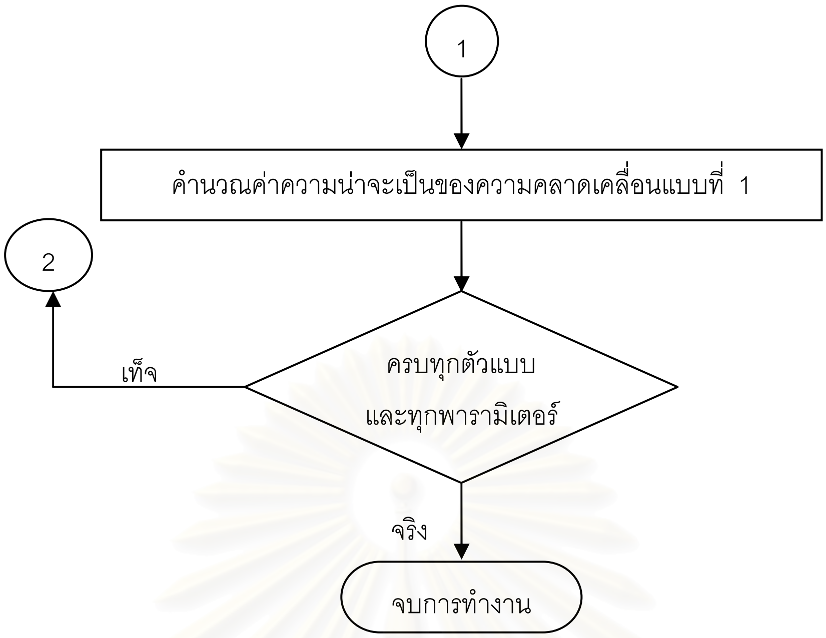
8. นำค่าสถิติเปรียบเทียบกับขีดจำกัดควบคุม ถ้าค่าสถิติมีค่ามากกว่าขีดจำกัดควบคุมบนหรือน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง แสดงว่าค่าสถิติออกนอกขอบเขตควบคุม แต่ถ้าค่าสถิติมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมบนหรือมากกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง แสดงว่าค่าสถิติอยู่ในขอบเขตควบคุม ทำซ้ำ 50,000 รอบ แล้วคำนวณค่า $\hat{\alpha}$ ซึ่งหาได้จากจำนวนครั้งของค่าสถิติที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุมทั้งหมดหารด้วยจำนวนรอบของการทดลองซ้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนในการประมาณค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 แสดงเป็นแผนผังได้ดังนี้



ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงวิธีการประมาณค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติ



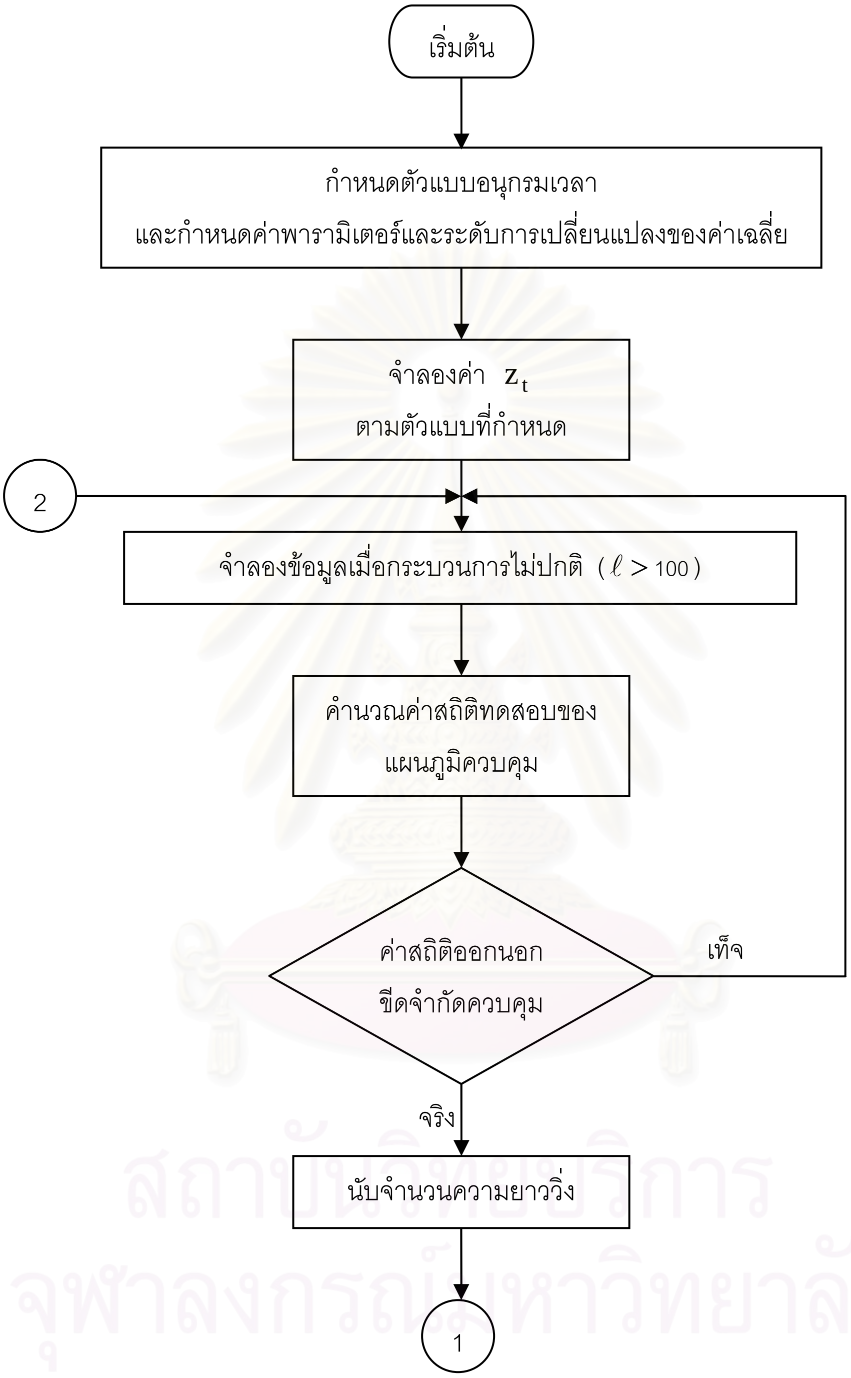
ภาพที่ 3.1 (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

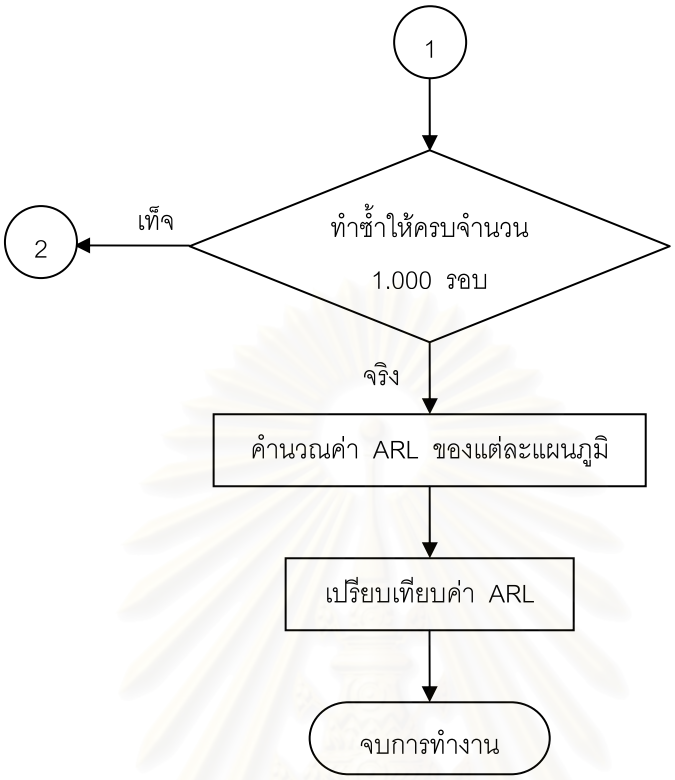
ขั้นตอนสอง การหาค่า ARL เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดตัวแบบของอนุกรมเวลาที่ศึกษา เป็นกรณีๆ
2. จำลองเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบ U(0,1)
3. จำลองค่าของ $a_t \sim N(0,\sigma_a^2)$ (ภายใต้ค่า σ_a^2 ที่กำหนด)
4. กำหนดพารามิเตอร์ ϕ_1, θ_1, μ_0=10 ในตัวแบบอนุกรมเวลาในการหา z_t
5. กำหนดคาบเวลาเริ่มต้น ℓ=100 ตั้งแต่คาบเวลา $(t > \ell)$ ทำการจำลอง z_t โดยให้มีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไปจาก μ_0 เป็น $\mu_1 = \mu_0(1+\frac{\delta}{100})$
6. จำลองข้อมูลให้มีลักษณะตามตัวแบบในข้อที่ 1
7. กำหนดขีดจำกัดควบคุมสำหรับแต่ละแผนภูมิตามสถานการณ์ที่กำหนดเหมือนกับขั้นตอนการหาค่า $\hat{\alpha}$
8. เริ่มใช้ตัวสถิติทดสอบตั้งแต่คาบเวลา ℓ+1 คำนวณค่าสถิติเปรียบเทียบกับขีดจำกัดควบคุม ถ้าค่าสถิติมีค่ามากกว่าขีดจำกัดควบคุมบนหรือน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง ให้ไปทำในข้อที่ 9 ต่อ แต่ถ้าค่าสถิติมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมบนหรือมากกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง ให้เปรียบเทียบตัวสถิติตัวต่อไปจนกว่าจะมีค่ามากกว่าขีดจำกัดควบคุมบนหรือน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง
9. ทำขั้นที่ 6 - 8 ซ้ำ 1,000 รอบ โดยในแต่ละรอบนับจำนวนความยาววิ่ง เมื่อทำครบ 1,000 รอบแล้ว หาจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL)
10. เปลี่ยนค่า ϕ_1, θ_1 และ δ ในตัวแบบอนุกรมเวลาที่กำหนด แล้วทำขั้นที่ 6 - 8 ให้ครบทุกค่าที่เปลี่ยนแปลงไป

ขั้นตอนในการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) แสดงเป็นแผนผังได้ดังนี้



ภาพที่ 3.2 แผนผังแสดงวิธีการหาจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมในกรณีที่กระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย

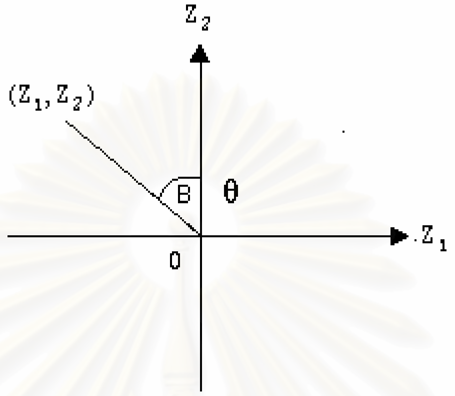


ภาพที่ 3.2 (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การสร้างการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

การผลิตเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติใช้วิธีของ Box และ Muller (1985) โดยผลิตเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน N(0,1) พร้อมกัน 2 ค่า และแต่ละค่าจะเป็นอิสระต่อกัน โดยใช้ตัวผลิต (Generator) z_1 และ z_2 พิจารณาดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 แสดงตัวผลิต z_1 และ z_2

พิจารณาจากรูปที่ 3.3 จะได้

$$z_1 = B\cos(\theta) \qquad \ldots\ldots.(1)$$

$$z_2 = B\sin(\theta) \qquad \ldots\ldots.(2)$$

เนื่องจาก $B = z_1^2 + z_2^2$ มีการแจกแจงแบบไคสแควร์ด้วยระดับความเป็นอิสระ 2 และเทียบเท่าการแจกแจงแบบเอกโปเนนเชียล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2 โดยวิธีแปลงผกผัน (Inverse Transformations) สามารถจำลองเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกโพเนนเชียลได้ดังนี้

$$B = (-2\ln R)^{1/2} \qquad \ldots\ldots.(3)$$

เมื่อ R เป็นเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในช่วง (0,1)

จากการสมมาตรของการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) จะได้ว่ามุม θ มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ ระหว่าง 0 ถึง 2π เรเดียน และมีรัศมี B กับมุม θ เป็นอิสระต่อกัน จากสมการ (1) , (2) และ (3) สามารถจำลองเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานจากตัวเลขสุ่ม 2 ชุด R_1 และ R_2 กล่าวคือ

$$z_1 = (-2\ln R_1)^{1/2}\cos(2\pi R_2)$$

$$z_2 = (-2\ln R_1)^{1/2}\sin(2\pi R_2)$$

ซึ่ง R_1 และ R_2 เป็นเลขสุ่มที่จำลองจากฟังก์ชัน FUNCTION RNUN(1,IX) เมื่อได้ตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานแล้ว จะทำการแปลงตัวเลขสุ่มดังกล่าวโดยอาศัยฟังก์ชัน

$$EX_1 = \mu + \sigma z_1$$

$$EX_2 = \mu + \sigma z_2$$

ซึ่งจะได้ว่า EX_1 และ EX_2 มีการแจกแจงแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และค่าความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 $EX_i \sim N(\mu, \sigma^2)$ $i = 1,2$

3.5 การจำลองข้อมูลอนุกรมเวลาตามตัวแบบ AR(1)

การวิจัยครั้งนี้ จะจำลองข้อมูลอนุกรมเวลาทิ้งไป 30 ค่าก่อนใช้ค่าจริง เพื่อแก้ปัญหาจากอิทธิพลของค่าเริ่มต้น ซึ่งจะส่งผลให้ได้ข้อมูลมีลักษณะตามตัวแบบที่ต้องการ

การจำลองตัวแปร z_t ตามตัวแบบ AR(1) มีขั้นตอนในการจำลองดังนี้

3.5.1 ในขณะที่กระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติ $(t \le \ell)$

จำลอง z_0 จากการแจกแจงแบบปกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\mu_0 = 10$ และความแปรปรวนเท่ากับ $\dfrac{\sigma_a^2}{(1-\phi_1^2)} = \dfrac{5}{(1-\phi_1^2)}$ และจำลอง $a_t : t = 1,2,\ldots,\ell$ จากการแจกแจงแบบปกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\mu_a = 0$ และความแปรปรวนเท่ากับ $\sigma_a^2 = 5$

จากนั้นจำลอง $z_t : t = 1,2,\ldots,\ell$ ให้มีรูปแบบความสัมพันธ์ คือ

$$z_t = (1-\phi_1)\,\mu_0 + \phi_1 z_{t-1} + a_t$$

3.5.2 เมื่อกระบวนการไม่อยู่ในภาวะการณ์ปกติ $(t > \ell)$ จะใช้ตัวแบบในการจำลองข้อมูล คือ

$$z_t = (1-\phi_1)\mu_1 + \phi_1 z_{t-1} + a_t, \quad \mu_1 = \mu_0(1 + \frac{\delta}{100})$$

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลอนุกรมเวลา z_t เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติตามสมการในหัวข้อ 3.5.1 ซึ่งได้ทำการตรวจสอบด้วยว่าข้อมูลในตารางมีตัวแบบ AR(1) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows แสดงให้เห็นภาพ SACF (Sample Autocorrelation Function) และแผนภาพ SPACF (Sample Partial Autocorrelation Function) ดังแสดงในรูปที่ 3.4

ส่วนตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างข้อมูลอนุกรมเวลา z_t เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย ตามสมการในหัวข้อ 3.5.2

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ AR(1) โดยที่ ϕ_1=0.5, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติ

	$\gamma = 0$		$\gamma = 0$		$\gamma = 0$		$\gamma = 0$
t	z_t	t	z_t	t	z_t	t	z_t
1	8.63	26	12.23	51	7.93	76	9.26
2	8.04	27	8.32	52	11.17	77	8.57
3	6.59	28	5.42	53	12.27	78	12.31
4	8.48	29	11.41	54	10.28	79	6.81
5	7.85	30	12.35	55	10.40	80	3.77
6	7.47	31	9.49	56	11.67	81	3.62
7	7.36	32	8.59	57	14.37	82	8.99
8	8.34	33	9.26	58	11.04	83	7.03
9	9.55	34	8.80	59	9.44	84	9.97
10	9.70	35	10.91	60	11.76	85	13.26
11	6.40	36	7.69	61	10.52	86	7.75
12	11.19	37	7.82	62	11.39	87	13.16
13	14.76	38	10.80	63	10.85	88	11.20
14	13.14	39	9.22	64	11.10	89	13.89
15	11.95	40	9.09	65	13.85	90	10.00
16	8.30	41	8.96	66	12.30	91	7.47
17	7.47	42	9.45	67	10.38	92	2.60
18	10.43	43	8.22	68	12.22	93	3.91
19	8.54	44	14.43	69	10.01	94	7.05
20	8.11	45	14.32	70	12.49	95	6.72
21	9.35	46	10.42	71	14.05	96	4.84
22	3.96	47	12.48	72	13.14	97	8.06
23	8.23	48	7.83	73	13.44	98	14.40
24	8.65	49	9.96	74	10.41	99	14.86
25	11.99	50	7.41	75	10.02	100	11.01

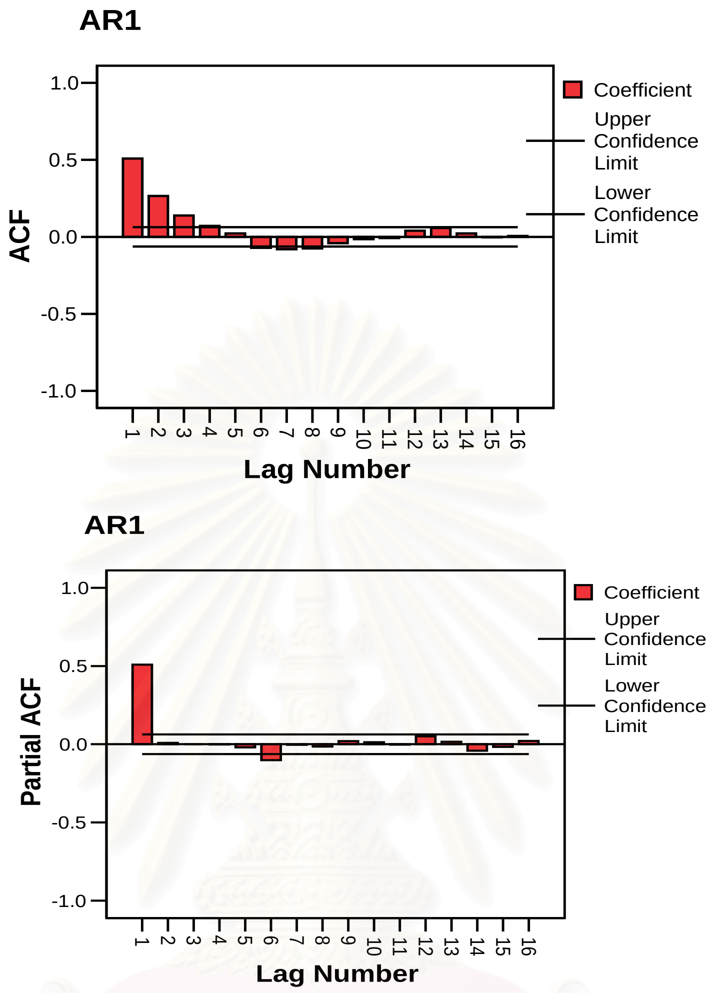
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ AR(1) โดยที่ ϕ_1=0.5, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma = \mu_0\,\delta\%$ โดย $\delta\%$ = 10%, 30% และ 50%

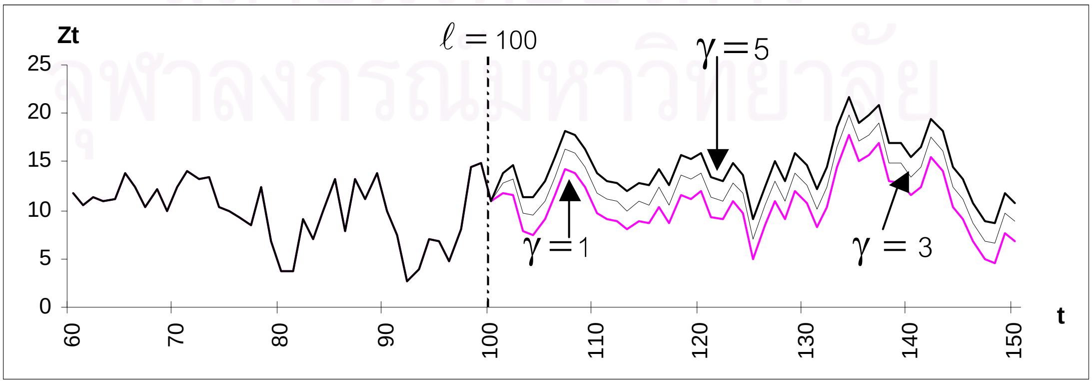
	$\gamma = 1$	$\gamma = 3$	$\gamma = 5$
t	z_t	z_t	z_t
101	11.87	12.87	13.87
102	11.67	13.17	14.67
103	7.87	9.62	11.37
104	7.54	9.41	11.29
105	9.10	11.04	12.97
106	11.56	13.53	15.50
107	14.29	16.27	18.26
108	13.82	15.81	17.80
109	12.36	14.36	16.35
110	9.75	11.75	13.74
111	9.07	11.07	13.06
112	8.90	10.90	12.90
113	7.97	9.97	11.97
114	8.85	10.85	12.85
115	8.62	10.62	12.62
116	10.31	12.31	14.31
117	8.62	10.62	12.62
118	11.63	13.63	15.63
119	11.25	13.25	15.25
120	11.93	13.93	15.93
121	9.36	11.36	13.36
122	9.03	11.03	13.03
123	10.90	12.90	14.90
124	9.72	11.72	13.72
125	5.06	7.06	9.06

	$\gamma = 1$	$\gamma = 3$	$\gamma = 5$
t	z_t	z_t	z_t
126	8.48	10.48	12.48
127	11.01	13.01	15.01
128	9.03	11.03	13.03
129	11.89	13.89	15.89
130	10.68	12.68	14.68
131	8.21	10.21	12.21
132	10.37	12.37	14.37
133	14.50	16.50	18.50
134	17.77	19.77	21.77
135	15.09	17.09	19.09
136	15.78	17.78	19.78
137	16.91	18.91	20.91
138	12.96	14.96	16.96
139	12.85	14.85	16.85
140	11.52	13.52	15.52
141	12.45	14.45	16.45
142	15.48	17.48	19.48
143	14.08	16.08	18.08
144	10.40	12.40	14.40
145	9.18	11.18	13.18
146	6.72	8.72	10.72
147	4.90	6.90	8.90
148	4.64	6.64	8.64
149	7.68	9.68	11.68
150	6.79	8.79	10.79

รูปที่ 3.4 แผนภาพ SACF และแผนภาพ SPACF จากข้อมูลอนุกรมเวลาในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.5 แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ AR(1) โดยที่ ϕ_1 =0.5, ℓ =100, μ_0 =10, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma = \mu_0 \delta\%$ โดย $\delta\%$ = 10%, 30% และ 50%



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 การจำลองข้อมูลอนุกรมเวลาตามตัวแบบ MA(1)

การวิจัยครั้งนี้ จะจำลองข้อมูลอนุกรมเวลาทิ้งไป 30 ค่าก่อนใช้ค่าจริง เพื่อแก้ปัญหาจากอิทธิพลของค่าเริ่มต้น ซึ่งจะส่งผลให้ได้ข้อมูลมีลักษณะตามตัวแบบที่ต้องการ

การจำลองตัวแปร z_t ตามตัวแบบ MA(1) มีขั้นตอนในการจำลองดังนี้

3.6.1 ในขณะที่กระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติ ปกติ $(t \le \ell)$

จำลอง $a_t : t = 0,1,...,\ell$ จากการแจกแจงแบบปกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\mu_a = 0$ และความแปรปรวนเท่ากับ $\sigma_a^2 = 5$ และกำหนดให้ $\mu_0 = 10$

จากนั้นจำลอง $z_t : t = 1,2,...,\ell$ ให้มีรูปแบบความสัมพันธ์ คือ

$$z_t = \mu_0 - \theta_1 a_{t-1} + a_t$$

3.6.2 เมื่อกระบวนการไม่อยู่ในภาวะการณ์ปกติ ปกติ $(t > \ell)$ จะใช้ตัวแบบในการจำลองข้อมูล คือ

$$z_t = \mu_1 - \theta_1 a_{t-1} + a_t, \quad \mu_1 = \mu_0 (1 + \frac{\delta}{100})$$

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างข้อมูลอนุกรมเวลา z_t เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติตามสมการในหัวข้อ 3.6.1 ซึ่งได้ทำการตรวจสอบด้วยว่าข้อมูลในตารางมีตัวแบบ MA(1) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows แสดงให้เห็นภาพ SACF (Sample Autocorrelation Function) และแผนภาพ SPACF (Sample Partial Autocorrelation Function) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ส่วนตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างข้อมูลอนุกรมเวลา z_t เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย ตามสมการในหัวข้อ 3.6.2

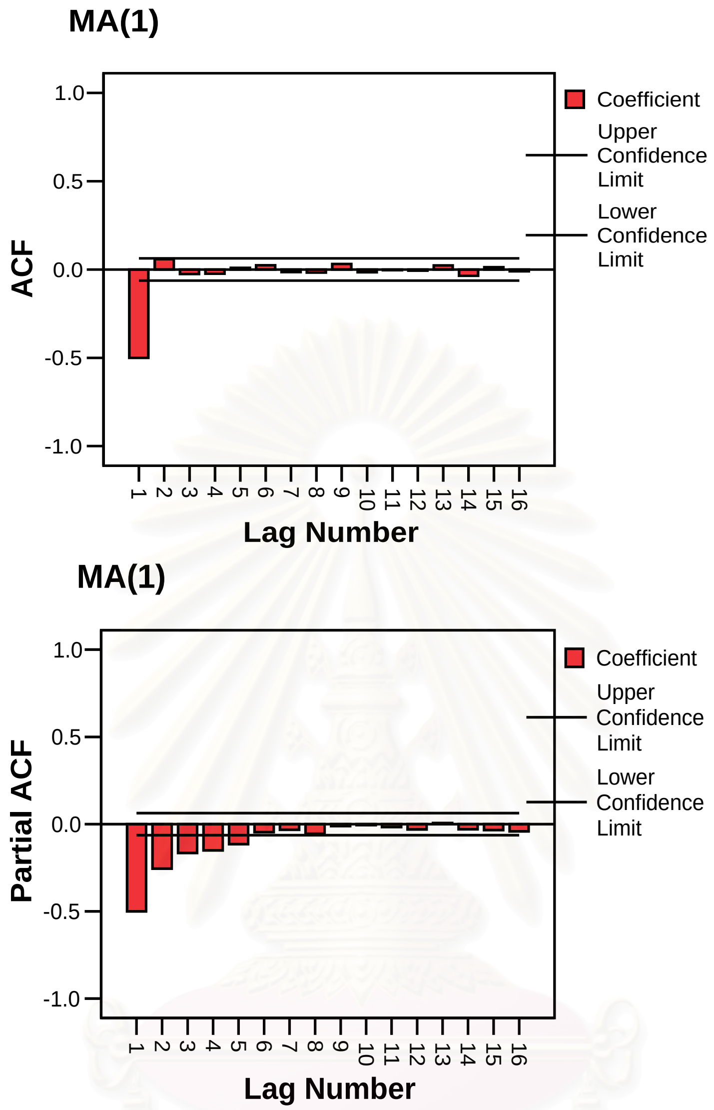
ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ MA(1) โดยที่ θ_1=0.7, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติ

	$\gamma = 0$		$\gamma = 0$		$\gamma = 0$		$\gamma = 0$
1	7.42	26	10.52	51	6.98	76	10.55
2	11.44	27	10.68	52	17.85	77	9.52
3	6.14	28	5.33	53	5.36	78	12.24
4	13.51	29	16.20	54	10.14	79	12.02
5	7.71	30	4.12	55	5.20	80	8.44
6	11.47	31	15.65	56	11.39	81	9.03
7	8.06	32	1.97	57	10.53	82	13.90
8	12.40	33	9.03	58	13.37	83	7.85
9	7.43	34	14.49	59	7.60	84	13.43
10	16.43	35	6.11	60	11.01	85	9.24
11	6.96	36	11.93	61	11.03	86	6.84
12	12.49	37	14.60	62	8.36	87	10.92
13	4.75	38	9.93	63	11.50	88	10.08
14	7.63	39	6.48	64	8.26	89	11.72
15	12.85	40	13.69	65	9.67	90	8.93
16	10.11	41	8.84	66	13.43	91	10.29
17	7.55	42	9.20	67	10.65	92	9.63
18	10.53	43	11.98	68	3.42	93	9.51
19	12.19	44	11.18	69	13.68	94	11.82
20	9.90	45	11.43	70	8.79	95	6.25
21	5.96	46	8.39	71	10.82	96	12.44
22	12.86	47	12.93	72	11.31	97	6.57
23	9.10	48	8.96	73	11.79	98	5.41
24	6.75	49	10.30	74	7.28	99	16.09
25	13.85	50	7.55	75	9.22	100	11.61

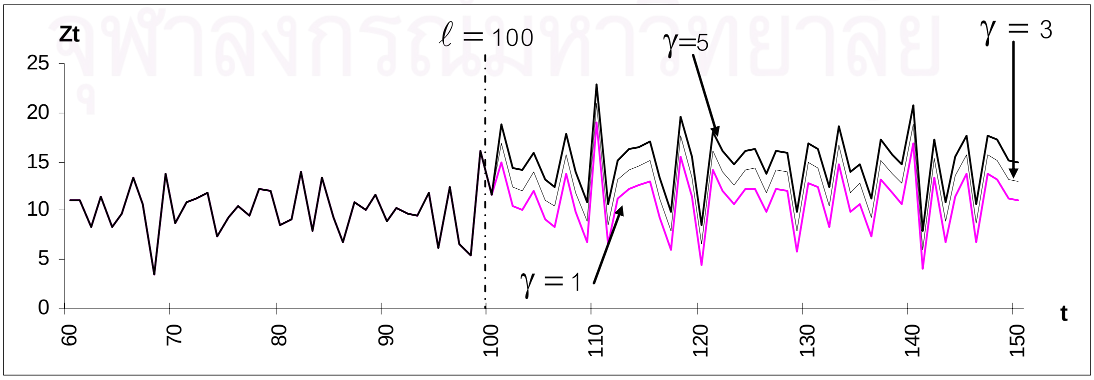
ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ MA(1) โดยที่ θ_1 =0.7, ℓ =100, μ_0 =10, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma = \mu_0\ \delta\%$ โดย $\delta\%$ = 10%, 30% และ 50%

	$\gamma = 1$	$\gamma = 3$	$\gamma = 5$		$\gamma = 1$	$\gamma = 3$	$\gamma = 5$
t	z_t	z_t	z_t	t	z_t	z_t	z_t
101	14.87	16.87	18.87	126	9.84	11.84	13.84
102	10.37	12.37	14.37	127	12.17	14.17	16.17
103	10.09	12.09	14.09	128	11.94	13.94	15.94
104	11.93	13.93	15.93	129	5.86	7.86	9.86
105	9.10	11.10	13.10	130	12.88	14.88	16.88
106	8.41	10.41	12.41	131	12.32	14.32	16.32
107	13.79	15.79	17.79	132	8.43	10.43	12.43
108	9.88	11.88	13.88	133	14.66	16.66	18.66
109	6.88	8.88	10.88	134	9.87	11.87	13.87
110	18.94	20.94	22.94	135	10.71	12.71	14.71
111	6.59	8.59	10.59	136	7.28	9.28	11.28
112	11.16	13.16	15.16	137	13.21	15.21	17.21
113	12.18	14.18	16.18	138	11.73	13.73	15.73
114	12.53	14.53	16.53	139	10.72	12.72	14.72
115	13.08	15.08	17.08	140	16.77	18.77	20.77
116	9.32	11.32	13.32	141	4.03	6.03	8.03
117	5.97	7.97	9.97	142	13.32	15.32	17.32
118	15.55	17.55	19.55	143	6.88	8.88	10.88
119	11.46	13.46	15.46	144	11.48	13.48	15.48
120	4.50	6.50	8.50	145	13.69	15.69	17.69
121	14.08	16.08	18.08	146	6.69	8.69	10.69
122	12.03	14.03	16.03	147	13.72	15.72	17.72
123	10.67	12.67	14.67	148	13.20	15.20	17.20
124	12.12	14.12	16.12	149	11.16	13.16	15.16
125	12.28	14.28	16.28	150	10.98	12.98	14.98

รูปที่ 3.6 แผนภาพ SACF และแผนภาพ SPACF จากข้อมูลอนุกรมเวลาในตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.7 แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ MA(1) โดยที่ θ_1=0.7, ℓ=100, μ_0=10, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma = \mu_0\,\delta\%$ โดย $\delta\%$ = 10%, 30% และ 50%



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7 การจำลองข้อมูลอนุกรมเวลาตามตัวแบบ ARMA(1,1)

การวิจัยครั้งนี้ จะจำลองข้อมูลอนุกรมเวลาทิ้งไป 30 ค่าก่อนใช้ค่าจริง เพื่อแก้ปัญหาจากอิทธิพลของค่าเริ่มต้น ซึ่งจะส่งผลให้ได้ข้อมูลมีลักษณะตามตัวแบบที่ต้องการ

การจำลองตัวแปร z_t ตามตัวแบบ ARMA(1,1) มีขั้นตอนในการจำลองดังนี้

3.7.1 ในขณะที่กระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติ ปกติ $(t \le \ell)$

จำลอง z_0 จากการแจกแจงแบบปกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_0=10 และความแปรปรวนเท่ากับ $\sigma_z^2 = \dfrac{\sigma_a^2(1+\theta_1^2-2\phi_1\theta_1)}{(1-\phi_1^2)} = \dfrac{1+\theta_1^2-2\phi_1\theta_1}{(1-\phi_1^2)}$ และจำลอง $a_t : t = 0,1,\ldots,\ell$ จากการแจกแจงแบบปกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\mu_a = 0$ และความแปรปรวนเท่ากับ $\sigma_a^2 = 5$

จากนั้นจำลอง $z_t : t = 1,2,\ldots,n$ ให้มีรูปแบบความสัมพันธ์ คือ

$$z_t = (1-\phi_1)\,\mu_0 + \phi_1 z_{t-1} - \theta_1 a_{t-1} + a_t$$

3.7.2 เมื่อกระบวนการไม่อยู่ในภาวะการณ์ปกติ ปกติ $(t > \ell)$ จะใช้ตัวแบบในการจำลองข้อมูล คือ

$$z_t = (1-\phi_1)\mu_1 + \phi_1 z_{t-1} - \theta_1 a_{t-1} + a_t, \quad \mu_1 = \mu_0(1+\frac{\delta}{100})$$

ตารางที่ 3.5 แสดงตัวอย่างข้อมูลอนุกรมเวลา z_t เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติตามสมการในหัวข้อ 3.7.1 ซึ่งได้ทำการตรวจสอบด้วยว่าข้อมูลในตารางมีตัวแบบ ARMA(1,1) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows แสดงให้เห็นภาพ SACF (Sample Autocorrelation Function) และแผนภาพ SPACF (Sample Partial Autocorrelation Function) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ส่วนตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างข้อมูลอนุกรมเวลา z_t เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย ตามสมการในหัวข้อ 3.7.2

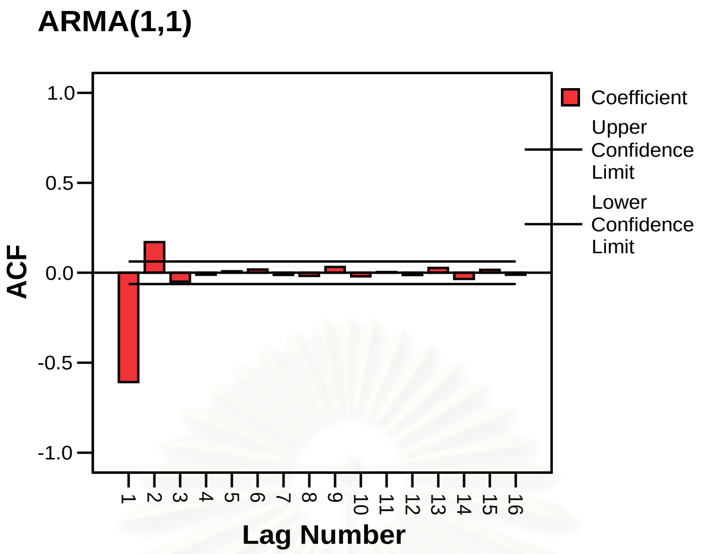
ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ ARMA(1,1) โดยที่ $\phi_1 = -0.2$, $\theta_1 = 0.7$, $\ell = 100$, $\mu_0 = 10$, $a_t \sim N(0,5)$ เมื่อกระบวนการอยู่ในภาวะการณ์ปกติ

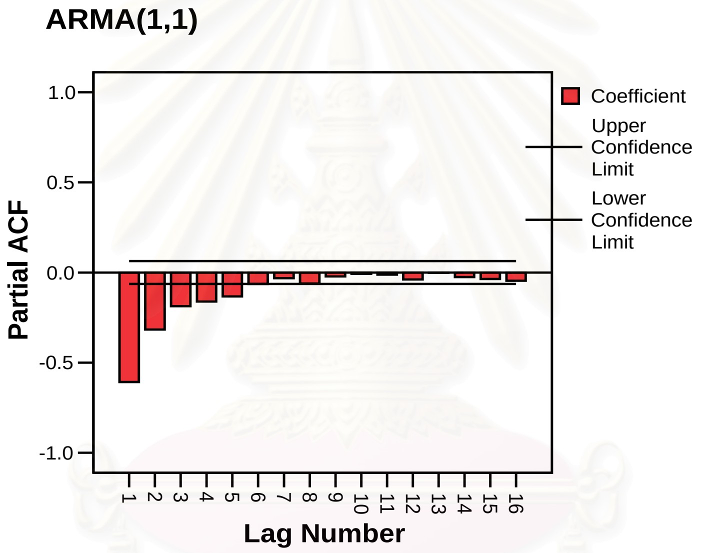
	$\gamma = 0$		$\gamma = 0$		$\gamma = 0$		$\gamma = 0$
t	z_t	t	z_t	t	z_t	t	z_t
1	11.79	26	10.75	51	18.35	76	9.40
2	5.79	27	5.18	52	3.69	77	12.35
3	14.35	28	17.17	53	11.40	78	11.55
4	6.84	29	2.68	54	4.91	79	8.13
5	12.10	30	17.12	55	12.41	80	9.41
6	7.64	31	0.54	56	10.05	81	14.01
7	12.87	32	10.92	57	13.36	82	7.05
8	6.86	33	14.31	58	6.93	83	14.02
9	17.06	34	5.25	59	11.62	84	8.44
10	5.55	35	12.88	60	10.71	85	7.16
11	13.38	36	14.03	61	8.22	86	11.48
12	4.08	37	9.13	62	11.86	87	9.78
13	8.82	38	6.66	63	7.89	88	11.76
14	13.09	39	14.36	64	10.09	89	8.58
15	9.50	40	7.97	65	13.41	90	10.58
16	7.65	41	9.60	66	9.97	91	9.52
17	11.00	42	12.06	67	3.43	92	9.61
18	11.99	43	10.77	68	15.00	93	11.90
19	9.50	44	11.28	69	7.79	94	5.87
20	6.06	45	8.13	70	11.26	95	13.26
21	13.65	46	13.30	71	11.06	96	5.92
22	8.37	47	8.30	72	11.58	97	6.23
23	7.08	48	10.64	73	6.97	98	16.84
24	14.44	49	7.42	74	9.82	99	10.24
25	9.63	50	7.49	75	10.58	100	10.35

ตารางที่ 3.6 แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ ARMA(1,1) โดยที่ $\phi_1 = -0.2$, $\theta_1 = 0.7$, $\ell = 100$, $\mu_0 = 10$, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma = \mu_0\ \delta\%$ โดย $\delta\% = 10\%, 30\%$ และ 50%

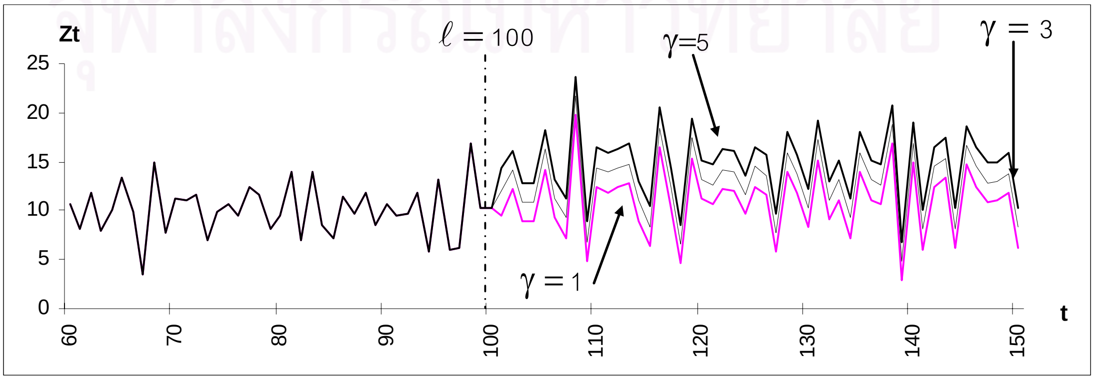
	$\gamma = 1$	$\gamma = 3$	$\gamma = 5$		$\gamma = 1$	$\gamma = 3$	$\gamma = 5$
t	z_t	z_t	z_t	t	z_t	z_t	z_t
101	9.55	11.95	14.35	126	11.65	13.65	15.65
102	12.22	14.14	16.06	127	5.73	7.73	9.73
103	8.85	10.87	12.88	128	13.93	15.93	17.93
104	8.84	10.83	12.83	129	11.73	13.73	15.73
105	14.23	16.23	18.23	130	8.28	10.28	12.28
106	9.23	11.23	13.23	131	15.21	17.21	19.21
107	7.23	9.23	11.23	132	9.03	11.03	13.03
108	19.69	21.69	23.69	133	11.10	13.10	15.10
109	4.86	6.86	8.86	134	7.26	9.26	11.26
110	12.38	14.38	16.38	135	13.96	15.96	17.96
111	11.91	13.91	15.91	136	11.14	13.14	15.14
112	12.34	14.34	16.34	137	10.69	12.69	14.69
113	12.81	14.81	16.81	138	16.83	18.83	20.83
114	8.96	10.96	12.96	139	2.86	4.86	6.86
115	6.38	8.38	10.38	140	14.95	16.95	18.95
116	16.47	18.47	20.47	141	6.09	8.09	10.09
117	10.36	12.36	14.36	142	12.47	14.47	16.47
118	4.62	6.62	8.62	143	13.39	15.39	17.39
119	15.36	17.36	19.36	144	6.22	8.22	10.22
120	11.15	13.15	15.15	145	14.68	16.68	18.68
121	10.64	12.64	14.64	146	12.46	14.46	16.46
122	12.19	14.19	16.19	147	10.86	12.86	14.86
123	12.04	14.04	16.04	148	11.01	13.01	15.01
124	9.63	11.63	13.63	149	11.80	13.80	15.80
125	12.44	14.44	16.44	150	6.24	8.24	10.24

รูปที่ 3.8 แผนภาพ SACF และแผนภาพ SPACF จากข้อมูลอนุกรมเวลาในตารางที่ 3.5





รูปที่ 3.9 แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยตัวแบบ ARMA(1,1) โดยที่ $\phi_1 = -0.2$, $\theta_1 = 0.7$, $\ell = 100$, $\mu_0 = 10$, $a_t \sim N(0,5)$ และระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย $\gamma = \mu_0\ \delta\%$ โดย $\delta\% = 10\%, 30\%$ และ 50%



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่เกิดอัตสหสัมพันธ์ เพื่อหาข้อสรุปแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แผนภูมิ คือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลเมื่อกระบวนการสเตชันนารี (EWMAST) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลโดยใช้การเคลื่อนที่เส้นกลาง (MCEWMA) ว่าแผนภูมิใดมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบเมื่อข้อมูลอนุกรมเวลาในตัวแบบต่าง ๆ โดยวิธีหาจำนวนค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ โดยแผนภูมิใดให้ค่า ARL น้อยที่สุด แสดงว่าแผนภูมิชนิดนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุดในกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยดังนั้นในบทนี้จึงเสนอผลการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกแสดงขีดจำกัดควบคุมและค่าคงที่ปรับให้เรียบของแต่ละแผนภูมิควบคุม ส่วนที่ 2 แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ของแต่ละแผนภูมิ และส่วนที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL ของแต่ละแผนภูมิควบคุมในแต่ละกรณีที่ศึกษา ซึ่งเสนอเป็นตารางและกราฟเพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบ โดยกำหนดสัญลักษณ์ต่อไปนี้แทนความหมายต่างๆ คือ

EWMA	หมายถึง	วิธีตรวจวัดด้วยแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนัก ด้วยเอกซโพเนนเชียล
EWMAST	หมายถึง	วิธีตรวจวัดด้วยแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลเมื่อกระบวนการสเตชันนารี
MCEWMA	หมายถึง	วิธีตรวจวัดด้วยแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลโดยใช้การเคลื่อนที่เส้นกลาง
AR(1)	หมายถึง	ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่ 1
MA(1)	หมายถึง	ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1
ARMA(1,1)	หมายถึง	ตัวแบบอัตถดถอยอันดับที่ 1 และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1
ϕ_1	หมายถึง	สัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1
θ_1	หมายถึง	สัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1
λ	หมายถึง	ค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม EWMA

α	หมายถึง	ค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม EWMAST
η	หมายถึง	ค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม MCEWMA
γ หรือ Shift	หมายถึง	ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย
ARL	หมายถึง	ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย
UCL	หมายถึง	ขีดจำกัดควบคุมบน
LCL	หมายถึง	ขีดจำกัดควบคุมล่าง

โดยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

γ	=	$\mu_0\delta\%$ เมื่อ $\mu_0 = 10$, δ %= 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55% และ 60%
ℓ	=	100
μ_0	=	10
ϕ_1	=	0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.8 และ 0.9
θ_1	=	0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.8 และ 0.9
(ϕ_1, θ_1)	=	(0.1,0.3), (0.1,0.5), (0.1,0.9), (0.5,0.2), (0.5,0.5), (0.5,0.9), (0.9,0.1), (0.9,0.5) และ (0.9,0.8)
λ	มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1	
α	มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1	
η	มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1	

4.1 ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมและค่าคงที่ปรับให้เรียบ

การวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการคัดเลือกค่าคงที่ปรับให้เรียบ โดยการพิจารณาเลือกคงที่ปรับให้เรียบที่ทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ต่ำสุด เพื่อใช้ในการสร้างขีดจำกัดควบคุมของแต่ละแผนภูมิ ตารางที่ 4.1 แสดงขีดจำกัดควบคุมและค่าคงที่ปรับให้เรียบของแต่ละแผนภูมิควบคุมเมื่อกระบวนการมีรูปแบบเป็นอนุกรมเวลา AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1) ในทุกสถานการณ์ที่ทำการศึกษา สรุปผลได้ดังนี้

4.1.1 ขีดจำกัดควบคุมของตัวแบบอนุกรมเวลา AR(1)

1. จากการคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แผนภูมิ สามารถสรุปเป็นกรณีต่าง ๆ ได้ดังนี้

ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม EWMA จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 (ϕ_1) และค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม (λ) โดยเพิ่มในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อค่า ϕ_1 หรือค่า λ มีค่าสูงขึ้น ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะมากขึ้น เมื่อค่า ϕ_1 หรือค่า λ มีค่าต่ำลง ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะน้อยลง

ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม EWMAST จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 (ϕ_1) และค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม (α) โดยเพิ่มในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อค่า ϕ_1 หรือค่า α มีค่าสูงขึ้น ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะมากขึ้น เมื่อค่า ϕ_1 หรือค่า α มีค่าต่ำลง ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะน้อยลง

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีลักษณะที่แตกต่างจากแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม EWMAST ตรงที่ขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีลักษณะเคลื่อนที่ขึ้น ๆ ลง ๆ ในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นจึงส่งผลให้ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม MCEWMA มีค่าไม่แน่นอน เมื่อค่าสัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 (ϕ_1) มีค่าสูงขึ้นระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะมากขึ้น เมื่อค่าสัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 (ϕ_1) มีค่าต่ำลงระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะน้อยลง เมื่อพิจารณาค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม (η) จะสังเกตได้ว่าเมื่อค่า η มีค่าต่ำ เส้นขีดจำกัดควบคุมบนและล่างจะมีลักษณะขึ้นๆ ลงๆ ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อ η มีค่าสูงขึ้น เส้นขีดจำกัดควบคุมบนและล่างจะมีลักษณะขึ้นๆ ลงๆ อย่างเห็นได้ชัด

4.1.2 ขีดจำกัดควบคุมของตัวแบบอนุกรมเวลา MA(1)

จากการคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แผนภูมิ สามารถสรุปเป็นกรณีต่าง ๆ ได้ดังนี้

ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม EWMA จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1 (θ_1) และค่าคงที่

ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม (λ) โดยเพิ่มในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อค่า θ_1 หรือค่า λ มีค่าสูงขึ้นระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะมากขึ้น เมื่อค่า θ_1 หรือค่า λ มีค่าต่ำลง ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะน้อยลง

ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม EWMAST จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1 (θ_1) และค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม (α) โดย เมื่อค่า α มีค่าสูงขึ้น ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็มากขึ้น เมื่อค่า α มีค่าต่ำลง ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะน้อยลง เมื่อค่า θ_1 มีค่าสูงขึ้น ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะน้อยลง ยกเว้นกรณีดังต่อไปนี้

1) $0.2 \le \alpha < 0.3,\ \theta_1 = 0.9$ 5) $0.6 \le \alpha < 0.7,\ 0.5 \le \theta_1 < 0.6$

2) $0.3 \le \alpha < 0.4,\ 0.8 \le \theta_1 < 0.9$ 6) $0.7 \le \alpha < 0.8,\ 0.4 \le \theta_1 < 0.5$

3) $0.4 \le \alpha < 0.5,\ 0.7 \le \theta_1 < 0.8$ 7) $0.8 \le \alpha < 0.9,\ 0.3 \le \theta_1 < 0.4$

4) $0.5 \le \alpha < 0.6,\ 0.6 \le \theta_1 < 0.7$ และ 8) $0.9 \le \alpha < 1.0,\ 0.2 \le \theta_1 < 0.3$

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีลักษณะที่แตกต่างจากแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม EWMAST ตรงที่ขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีลักษณะเคลื่อนที่ขึ้น ๆ ลง ๆ ในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นจึงส่งผลให้ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม MCEWMA มีค่าไม่แน่นอน เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1 (θ_1) มีค่าสูงขึ้นระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะมากขึ้น เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (θ_1) มีค่าต่ำลงระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะน้อยลง เมื่อพิจารณาค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม (η) จะสังเกตได้ว่าเมื่อค่า η มีค่าต่ำ เส้นขีดจำกัดควบคุมบนและล่างจะมีลักษณะขึ้นๆ ลงๆ ไม่ แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อ η มีค่าสูงขึ้น เส้นขีดจำกัดควบคุมบนและล่างจะมีลักษณะ ขึ้นๆ ลงๆ อย่างเห็นได้ชัด

4.1.3 **ขีดจำกัดควบคุมของตัวแบบอนุกรมเวลา** ARMA(1,1)

จากการคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แผนภูมิ สามารถสรุปเป็นกรณีต่าง ๆ ได้ดังนี้

ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม EWMA จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับ 1 และสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

อันดับ 1 (ϕ_1,θ_1) และค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม (λ) กล่าวคือ เมื่อ λ มีค่าสูงขึ้นระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะมากขึ้น เมื่อ λ มีค่าต่ำลงระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะน้อยลง เมื่อพิจารณาค่า(ϕ_1,θ_1) พบว่า 1) ค่าที่ทำให้เงื่อนไข $\phi_1=\theta_1$ เป็นจริงจะทำให้ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างมีค่าเท่ากันในทุกค่า λ และมีค่าต่ำสุด 2) ค่าที่ทำให้เงื่อนไข $\phi_1-\theta_1>0$ เป็นจริงและมีค่าห่างจากเส้น $\phi_1=\theta_1$ มากขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างมีค่ามากขึ้น 3) ค่าที่ทำให้เงื่อนไข $\phi_1-\theta_1<0$ เป็นจริงและมีค่าห่างจากเส้น $\phi_1=\theta_1$ มากขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัด ควบคุมล่างมีค่ามากขึ้น

ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม EWMAST จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับ 1 และสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับ 1 (ϕ_1,θ_1) และค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม (α) โดยเมื่อค่า α มีค่าสูงขึ้น ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็มากขึ้น เมื่อค่า α มีค่าต่ำลง ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะน้อยลง เมื่อค่า (ϕ_1,θ_1) มีค่าแปรเปลี่ยน ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปเนื่องจากค่า (ϕ_1,θ_1) มีผลทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานะของกระบวนการแปรเปลี่ยน

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีลักษณะที่แตกต่างจากแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม EWMAST ตรงที่ขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีลักษณะเคลื่อนที่ขึ้น ๆ ลง ๆ ในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นจึงส่งผลให้ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม MCEWMA มีค่าไม่แน่นอน เมื่อค่าสัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับ 1 และสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับ 1 (ϕ_1,θ_1) มีค่าแปรเปลี่ยน ระยะห่างระหว่างขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างก็จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปเนื่องจากค่า (ϕ_1,θ_1) มีผลทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการแปรเปลี่ยน เมื่อพิจารณาค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม (η) จะสังเกตได้ว่าเมื่อค่า η มีค่าต่ำ เส้นขีดจำกัดควบคุมบนและล่างจะมีลักษณะขึ้นๆ ลงๆ ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อ η มีค่าสูงขึ้น เส้นขีดจำกัด ควบคุมบนและล่างจะมีลักษณะขึ้นๆ ลงๆ อย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงขีดจำกัดควบคุมและค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม เมื่อกระบวนการมีรูปแบบเป็นอนุกรมเวลา AR(1), MA(1), ARMA(1,1) จำแนกตาม ϕ_1, θ_1

ตัวแบบ	ϕ_1	θ_1	EWMA			EWMAST			MCEWMA			
			λ	LCL	UCL	α	LCL	UCL	η	η^*	LCL	UCL
AR(1)	0.10	-	0.01	9.52	10.48	0.01	9.49	10.51	0.01	0.04	$x_t - 3\sigma_e(t)$	$x_t + 3\sigma_e(t)$
	0.30	-	0.01	9.51	10.49	0.01	9.38	10.62	0.01	0.04		
	0.50	-	0.56	5.17	14.83	0.56	3.96	16.04	0.56	0.04		
	0.70	-	0.80	2.33	17.67	0.80	1.17	18.83	0.80	0.04		
	0.80	-	0.88	0.09	19.91	0.88	-0.91	20.91	0.88	0.04		
	0.90	-	0.94	-4.49	24.49	0.94	-5.30	25.30	0.94	0.04		
MA(1)	-	0.10	0.01	9.52	10.48	0.01	9.54	10.46	0.01	0.03	$x_t - 3\sigma_e(t)$	$x_t + 3\sigma_e(t)$
	-	0.30	0.01	9.50	10.50	0.01	9.56	10.44	0.01	0.02		
	-	0.50	0.01	9.47	10.53	0.01	9.56	10.44	0.01	0.02		
	-	0.70	0.01	9.42	10.58	0.01	9.54	10.46	0.01	0.03		
	-	0.80	0.01	9.39	10.61	0.01	9.52	10.48	0.01	0.03		
	-	0.90	0.01	9.36	10.64	0.01	9.50	10.50	0.01	0.03		
ARMA(1,1)	0.10	0.30	0.01	9.51	10.49	0.01	9.58	10.42	0.01	0.03	$x_t - 3\sigma_e(t)$	$x_t + 3\sigma_e(t)$
	0.10	0.50	0.01	9.49	10.51	0.01	9.62	10.38	0.01	0.03		
	0.10	0.90	0.01	9.39	10.61	0.01	9.62	10.38	0.01	0.04		
	0.50	0.20	0.03	9.12	10.88	0.03	8.72	11.28	0.03	0.04		
	0.50	0.50	0.01	9.52	10.48	0.01	9.52	10.48	0.01	0.03		
	0.50	0.90	0.01	9.48	10.52	0.01	9.66	10.34	0.01	0.04		
	0.90	0.10	0.89	-2.55	22.55	0.89	-3.83	23.83	0.89	0.03		
	0.90	0.50	0.46	5.02	14.98	0.46	2.42	17.58	0.46	0.03		
	0.90	0.80	0.06	8.79	11.21	0.06	8.01	11.99	0.06	0.03		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

การวิจัยนี้ผู้วิจัยคำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อกระบวนการมีรูปแบบเป็นอนุกรมเวลา AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1) ในกรณีที่คัดเลือกค่าคงที่ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุม และทำการทดสอบความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 โดยใช้การทดสอบทวินาม ซึ่งแผนภูมิที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้จะมีค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 อยู่ในช่วง (0 , 0.00308) ดังแสดง ในตารางที่ 4.2 สรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เมื่อกระบวนการมีรูปแบบเป็นอนุกรมเวลา AR(1), MA(1), ARMA(1,1) จำแนกตามค่า ϕ_1, θ_1

ตัวแบบ	ϕ_1	θ_1	EWMA		EWMAST		MCEWMA		
			λ	$\hat{\alpha}$	α	$\hat{\alpha}$	η	η^*	$\hat{\alpha}$
AR(1)	0.10	-	0.01	0.00464*	0.01	0.00288	0.01	0.03	0.00278
	0.30	-	0.02	0.01770*	0.02	0.00288	0.02	0.02	0.00272
	0.50	-	0.71	0.00910*	0.71	0.00276	0.71	0.04	0.00254
	0.70	-	0.85	0.00596*	0.85	0.00284	0.85	0.04	0.00272
	0.80	-	0.90	0.00464*	0.90	0.00288	0.90	0.04	0.00282
	0.90	-	0.95	0.00304	0.95	0.00236	0.95	0.03	0.00272
MA(1)	-	0.10	0.01	0.00114	0.01	0.00290	0.01	0.03	0.00270
	-	0.30	0.01	0.00116	0.01	0.00296	0.01	0.02	0.00260
	-	0.50	0.01	0.00082	0.01	0.00290	0.01	0.02	0.00266
	-	0.70	0.01	0.00038	0.01	0.00274	0.01	0.03	0.00264
	-	0.80	0.01	0.00016	0.01	0.00266	0.01	0.03	0.00280
	-	0.90	0.01	0.00000	0.01	0.00260	0.01	0.03	0.00278
ARMA(1,1)	0.10	0.30	0.01	0.00043	0.01	0.00300	0.01	0.03	0.00260
	0.10	0.50	0.01	0.00032	0.01	0.00284	0.01	0.03	0.00256
	0.10	0.90	0.01	0.00026	0.01	0.00296	0.01	0.04	0.00288
	0.50	0.20	0.03	0.00886*	0.03	0.00291	0.03	0.04	0.00270
	0.50	0.50	0.01	0.00297	0.01	0.00297	0.01	0.03	0.00270
	0.50	0.90	0.01	0.00016	0.01	0.00290	0.01	0.04	0.00278
	0.90	0.10	0.89	0.00652*	0.89	0.00286	0.89	0.03	0.00254
	0.90	0.50	0.46	0.00528*	0.46	0.00286	0.46	0.03	0.00244
	0.90	0.80	0.06	0.00616*	0.06	0.00250	0.06	0.03	0.00250

* ไม่สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL

จากหัวข้อ 4.2 จะเลือกเฉพาะแผนภูมิควบคุมที่สามารถควบคุมค่า α ได้ตามสถานการณ์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.1 - ตารางที่ 4.2 เพื่อนำมาหาค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 4.3 - ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.1 – รูปที่ 4.21 โดยจำแนกตามระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยในระดับต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.1 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของตัวแบบอนุกรมเวลา AR(1)

ค่า ARL ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ โดยกำหนด ϕ_1 = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.8 และ 0.9 สามารถสรุปค่า ARL ได้ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสำหรับตัวแบบอนุกรมเวลา AR(1) เมื่อ γ = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.0

γ	ϕ_1 = 0.1			ϕ_1 = 0.3			ϕ_1 = 0.5		
	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA
0.5	-	118.16*	220.17	-	157.32*	238.84	-	277.11	205.21*
1.0	-	28.23*	134.70	-	44.83*	155.86	-	171.55	138.49*
1.5	-	8.09*	77.78	-	16.77*	89.83	-	98.21	87.20*
2.0	-	3.32*	47.58	-	6.36*	54.90	-	55.22	51.84*
2.5	-	1.79*	28.69	-	3.15*	32.79	-	32.50*	33.93
3.0	-	1.30*	17.74	-	1.86*	20.83	-	20.61*	21.79
3.5	-	1.12*	11.86	-	1.40*	13.43	-	13.66*	14.53
4.0	-	1.03*	8.30	-	1.17*	9.32	-	8.71*	10.12
4.5	-	1.01*	5.92	-	1.08*	6.80	-	5.96*	7.30
5.0	-	1.00*	4.41	-	1.02*	4.82	-	4.16*	5.43
5.5	-	1.00*	3.31	-	1.01*	3.73	-	3.15*	4.13
6.0	-	1.00*	2.56	-	1.00*	2.85	-	2.57*	3.24

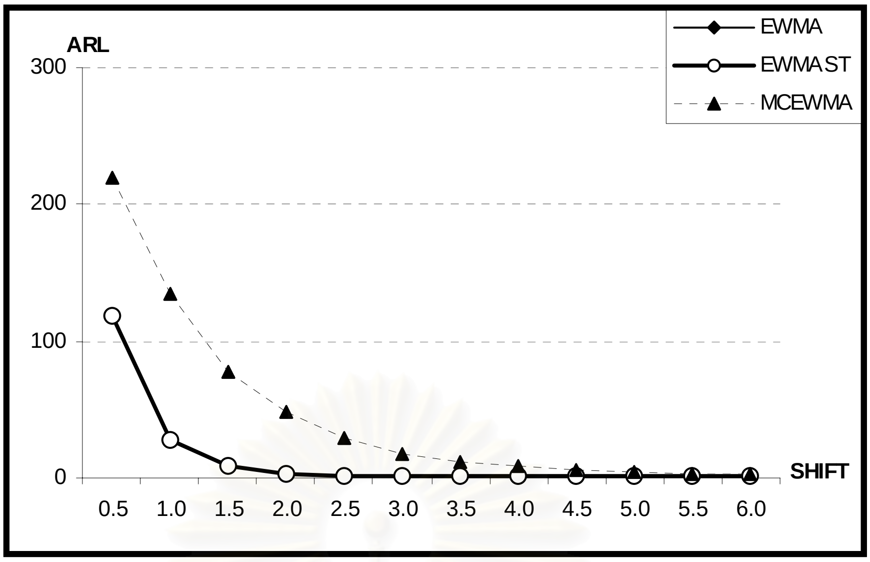
หมายเหตุ : * หมายถึงค่า ARL ต่ำสุด

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

γ	$\phi_1 = 0.7$			$\phi_1 = 0.8$			$\phi_1 = 0.9$		
	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA
0.5	-	292.84	205.62*	-	302.39	243.23*	209.71*	280.42	219.37
1.0	-	208.08	137.40*	-	298.65	200.89*	191.19	255.99	136.51*
1.5	-	139.27	84.64*	-	238.79	131.26*	169.49	222.47	83.12*
2.0	-	88.80	51.38*	-	192.50	80.01*	139.74	191.49	50.32*
2.5	-	54.57	32.43*	-	139.28	48.67*	122.36	157.32	29.36*
3.0	-	36.86	20.83*	-	99.62	31.05*	94.78	126.34	19.12*
3.5	-	24.98	13.98*	-	74.44	19.56*	75.99	105.38	12.79*
4.0	-	17.42	9.78*	-	47.58	12.97*	56.87	82.07	8.59*
4.5	-	12.51	7.07*	-	39.80	9.08*	45.72	64.05	6.36*
5.0	-	8.40	5.29*	-	28.23	6.67*	39.70	50.30	4.57*
5.5	-	6.31	3.99*	-	20.95	4.78*	29.76	42.10	3.56*
6.0	-	4.87	3.12*	-	16.68	3.69*	24.88	32.56	2.76*

หมายเหตุ : * หมายถึงค่า ARL ต่ำสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

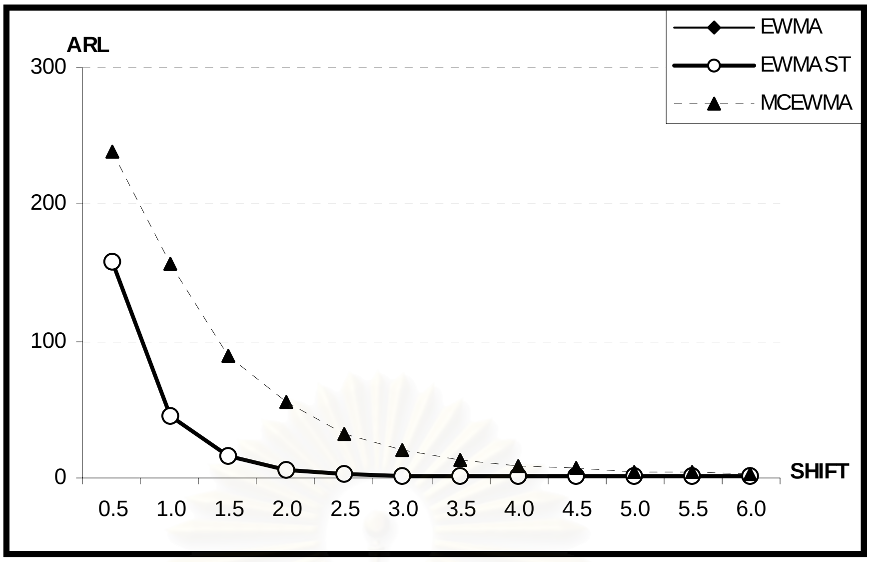


รูปที่ 4.1 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย $\phi_1 = 0.1$

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) กำหนดให้ $\phi_1 = 0.1$

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA ไม่สามารถควบคุม α ได้ที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

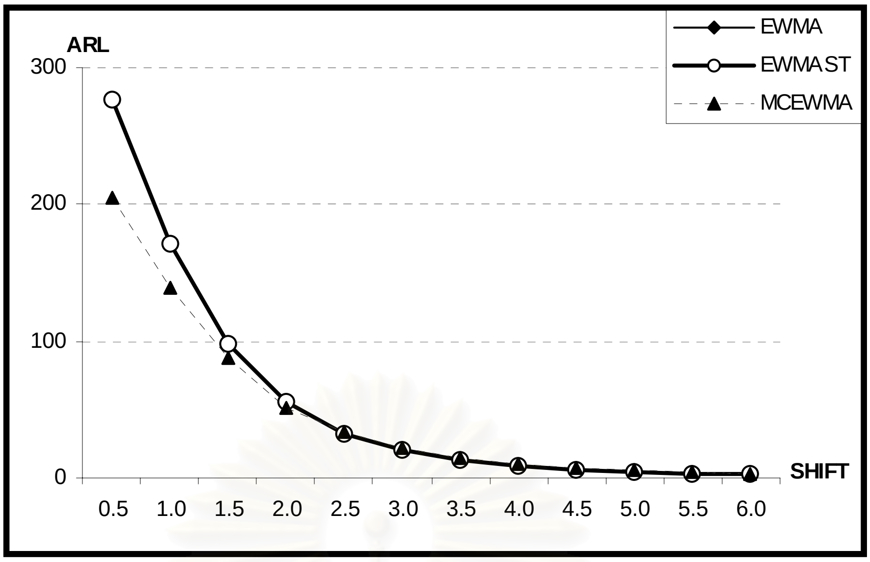


รูปที่ 4.2 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย $\phi_1 = 0.3$

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) กำหนดให้ $\phi_1 = 0.3$

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA ไม่สามารถควบคุม α ได้ที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

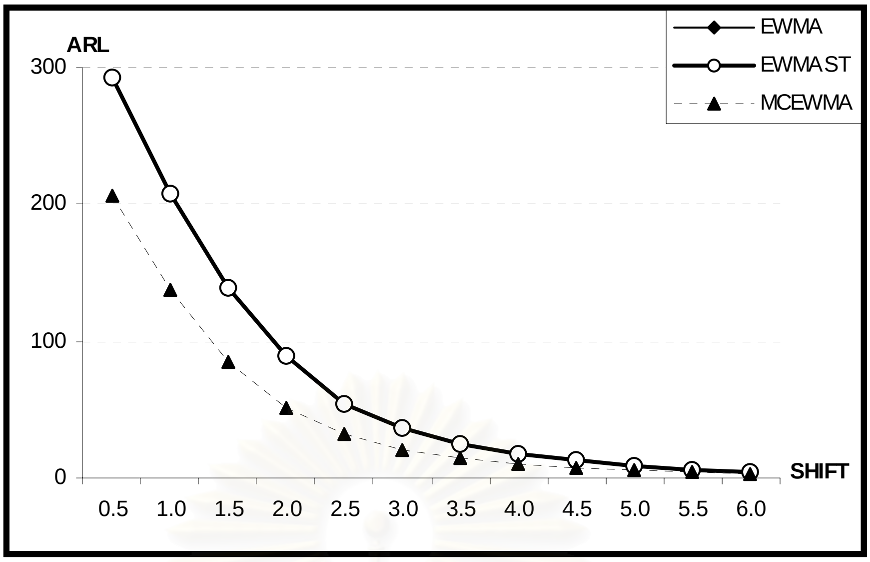


รูปที่ 4.3 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย $\phi_1 = 0.5$

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) กำหนดให้ $\phi_1 = 0.5$

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA ไม่สามารถควบคุม α ได้ที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 2.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 2.0

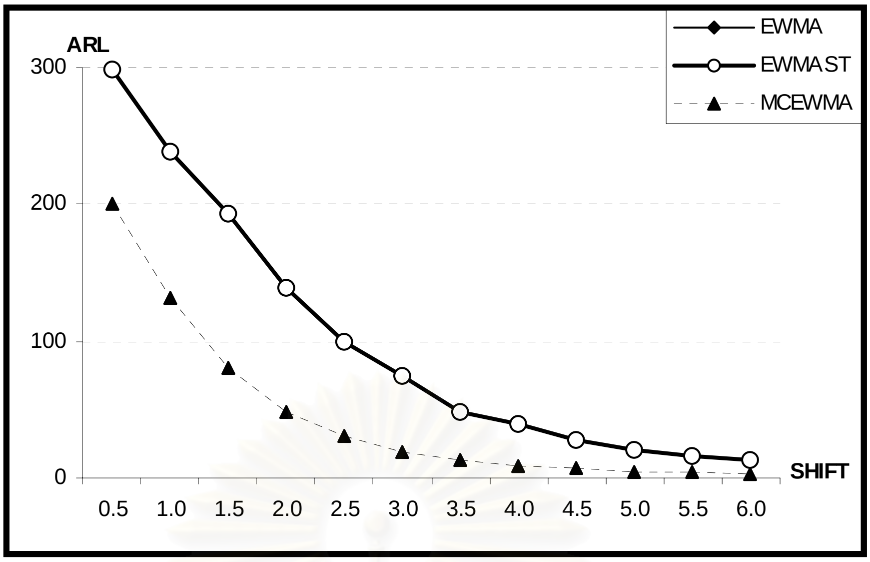


รูปที่ 4.4 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย $\phi_1 = 0.7$

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) กำหนดให้ $\phi_1 = 0.7$

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA ไม่สามารถควบคุม α ได้ที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

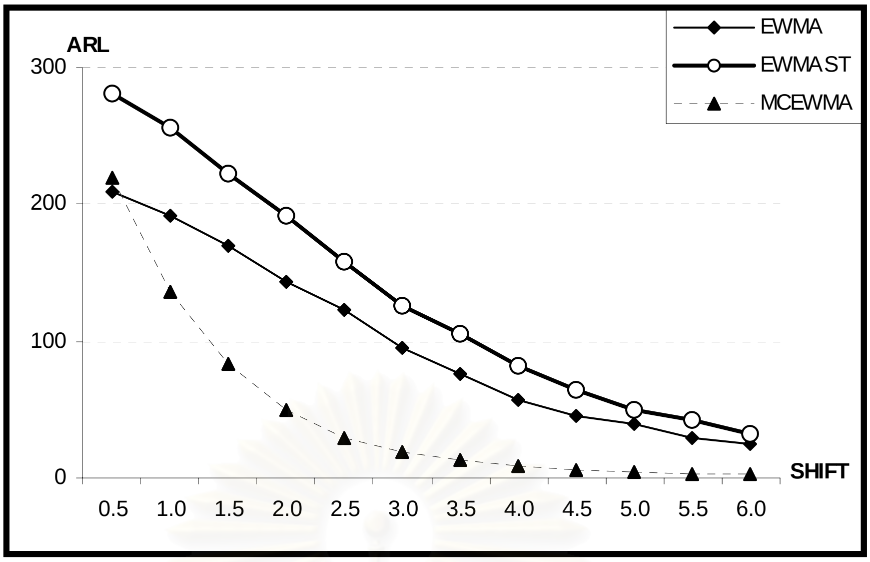


รูปที่ 4.5 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย ϕ_1 =0.8

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) กำหนดให้ ϕ_1 =0.8

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA ไม่สามารถควบคุม α ได้ที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0



รูปที่ 4.6 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) โดย ϕ_1=0.9

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.6 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) กำหนดให้ ϕ_1=0.9

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ γ ระดับ 0.5 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.0 – 6.0

4.3.2 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของตัวแบบอนุกรมเวลา MA(1)

ค่า ARL ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ โดยกำหนด θ_1 = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.8 และ 0.9 สามารถสรุปค่า ARL ได้ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7 – รูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสำหรับตัวแบบอนุกรมเวลา MA(1) เมื่อ γ = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.0

γ	θ_1 = 0.1			θ_1 = 0.3			θ_1 = 0.5		
	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA
0.5	247.45	131.34*	214.43	689.30	109.38*	248.88	960.10	87.64*	257.27
1.0	57.18	32.43*	139.70	164.45	22.69*	157.75	615.65	16.96*	170.17
1.5	16.72	10.31*	79.05	32.70	6.93*	93.15	112.18	5.12*	101.50
2.0	5.83	4.07*	46.16	9.23	2.86*	53.57	20.58	2.22*	62.25
2.5	2.80	2.25*	28.59	3.41	1.63*	32.42	5.71	1.37*	39.11
3.0	1.73	1.47*	18.16	1.84	1.22*	21.30	2.39	1.10*	25.52
3.5	1.26	1.18*	11.95	1.29	1.07*	14.28	1.43	1.02*	17.05
4.0	1.11	1.07*	8.30	1.09	1.01*	9.39	1.12	1.01*	11.92
4.5	1.03*	1.01*	6.04	1.02*	1.01*	6.86	1.02*	1.00*	8.16
5.0	1.01*	1.01*	4.42	1.00*	1.00*	5.05	1.00*	1.00*	6.13
5.5	1.00*	1.00*	3.40	1.00*	1.00*	3.87	1.00*	1.00*	4.62
6.0	1.00*	1.00*	2.60	1.00*	1.00*	2.95	1.00*	1.00*	3.63

หมายเหตุ : * หมายถึงค่า ARL ต่ำสุด

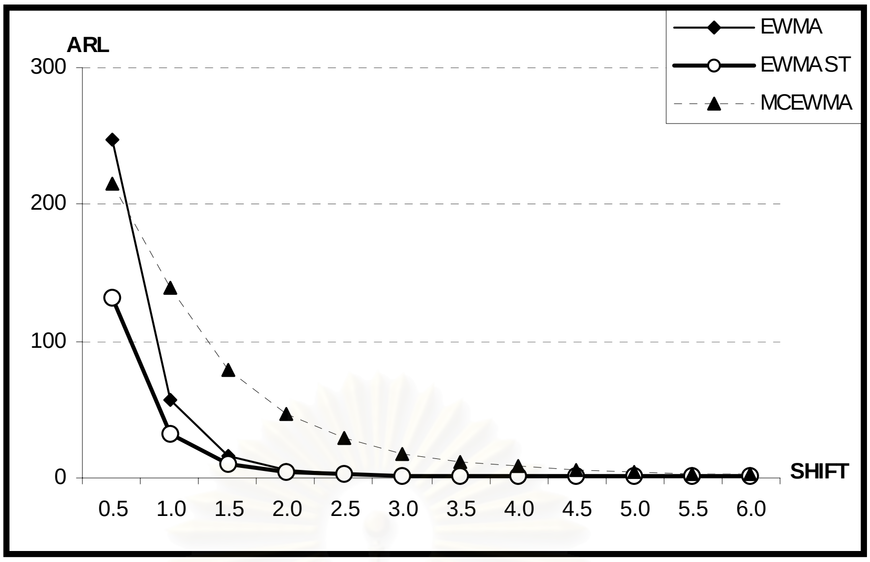
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

γ	$\theta_1 = 0.7$			$\theta_1 = 0.8$			$\theta_1 = 0.9$		
	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA
0.5	997.81	81.95*	241.91	998.81	81.10*	246.92	999.88	84.46*	251.76
1.0	938.08	15.01*	169.39	970.28	15.47*	175.24	983.95	16.58*	183.72
1.5	445.63	4.39*	110.09	645.35	4.54*	119.42	794.31	4.98*	126.91
2.0	62.25	2.04*	69.22	114.63	2.09*	76.49	199.19	2.22*	84.18
2.5	12.63	1.31*	45.12	19.12	1.31*	49.68	30.21	1.39*	55.64
3.0	3.78	1.07*	29.67	5.39	1.09*	33.77	7.73	1.10*	37.57
3.5	1.88	1.02*	20.03	2.28	1.02*	22.50	2.89	1.03*	25.76
4.0	1.26	1.00*	14.75	1.40	1.00*	16.30	1.63	1.00*	18.51
4.5	1.06	1.00*	10.49	1.10	1.00*	12.17	1.18	1.00*	13.69
5.0	1.01*	1.00*	7.52	1.02*	1.00*	8.59	1.05*	1.00*	10.04
5.5	1.00*	1.00*	5.81	1.00*	1.00*	6.67	1.01*	1.00*	7.51
6.0	1.00*	1.00*	4.55	1.00*	1.00*	5.23	1.00*	1.00*	5.90

หมายเหตุ : * หมายถึงค่า ARL ต่ำสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

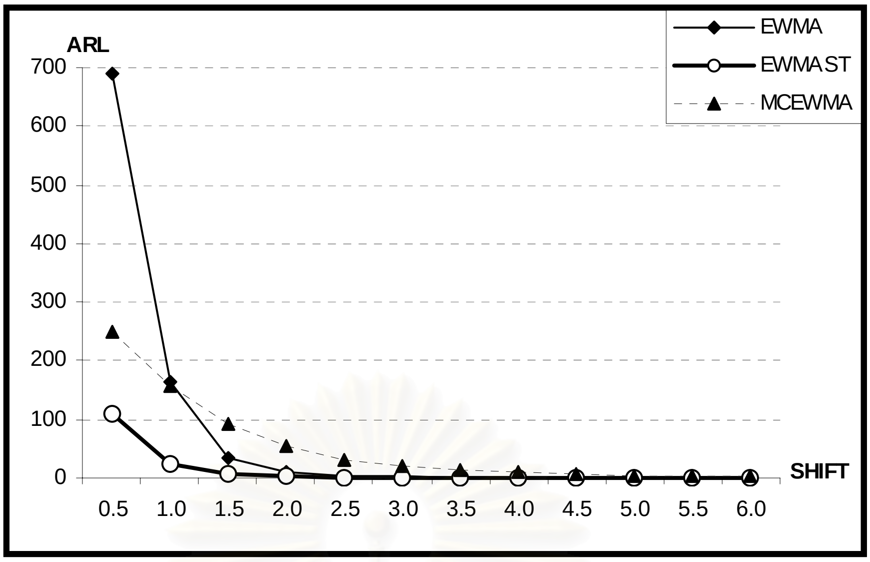


รูปที่ 4.7 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย $\theta_1 = 0.1$

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) กำหนดให้ $\theta_1 = 0.1$

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 4.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

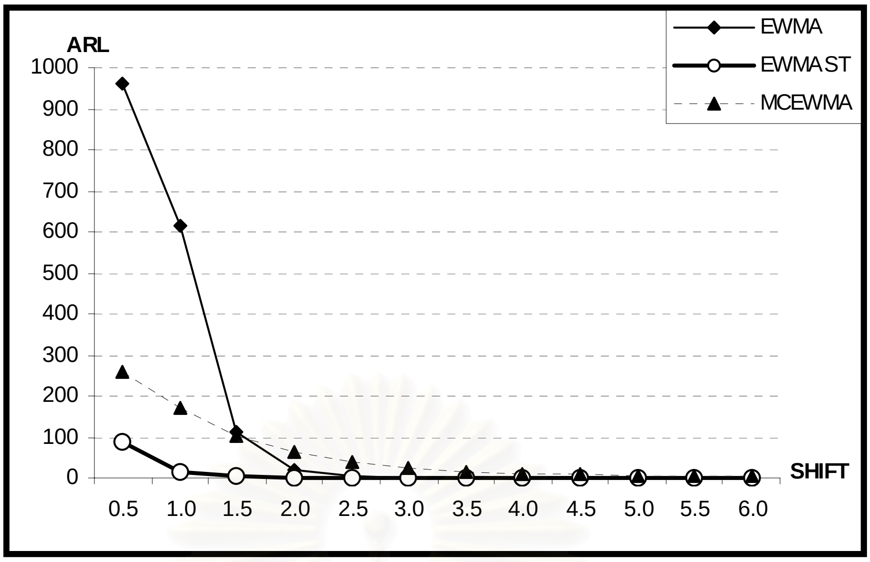


รูปที่ 4.8 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย $\theta_1 = 0.3$

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.8 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) กำหนดให้ $\theta_1 = 0.3$

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 4.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

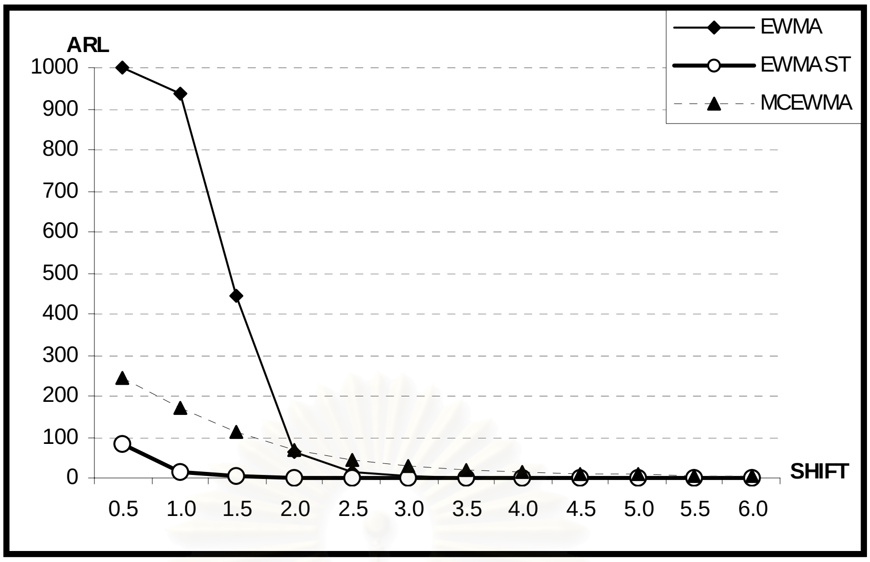


รูปที่ 4.9 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย $\theta_1 = 0.5$

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.9 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) กำหนดให้ $\theta_1 = 0.5$

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 4.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0



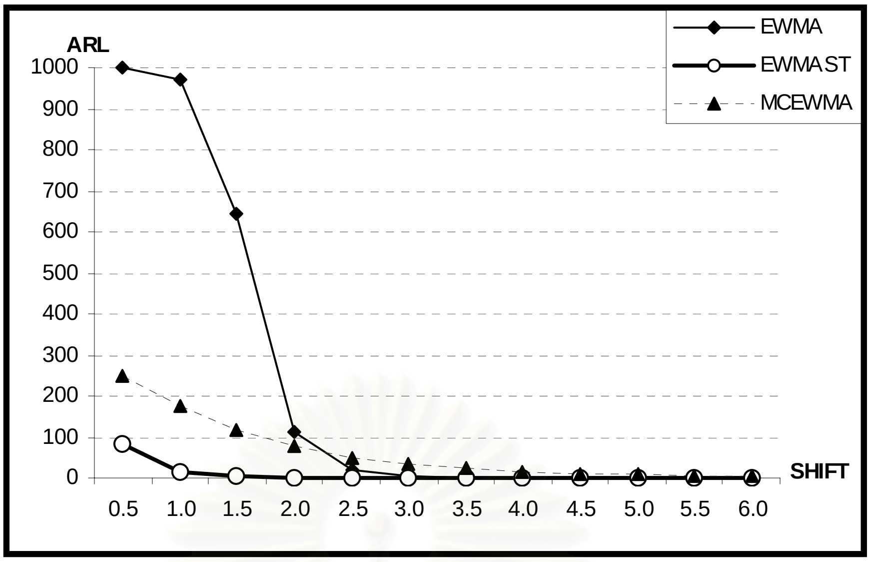
รูปที่ 4.10 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ

สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย $\theta_1 = 0.7$

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.10 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) กำหนดให้ $\theta_1 = 0.7$

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 5.0 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

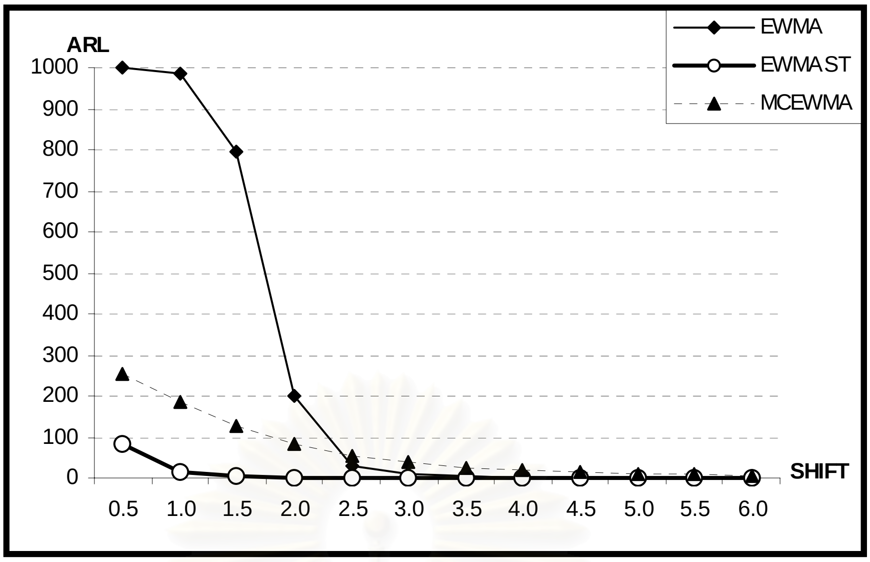


รูปที่ 4.11 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย $\theta_1 = 0.8$

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.11 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) กำหนดให้ $\theta_1 = 0.8$

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 5.0 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0



รูปที่ 4.12 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) โดย θ_1 = 0.9

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.12 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) กำหนดให้ θ_1 =0.9

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ γ ระดับ 5.0 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

4.3.2 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของตัวแบบอนุกรมเวลา ARMA(1,1)

จำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย(ARL) ที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แผนภูมิ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ (ϕ_1,θ_1) 9 ระดับคือ (0.1,0.3), (0.1,0.5), (0.1,0.9), (0.5,0.2), (0.5,0.5), (0.5,0.9), (0.9,0.1), (0.9,0.5), และ (0.9,0.8) สามารถสรุปจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย(ARL) ได้ดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.13 – 4.21

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสำหรับตัวแบบอนุกรมเวลา ARMA(1,1) เมื่อ $\gamma =$ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.0

γ	(ϕ_1,θ_1) = (0.1,0.3)			(ϕ_1,θ_1) = (0.1,0.5)			(ϕ_1,θ_1) = (0.1,0.9)		
	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA
0.5	412.15	76.01*	293.46	936.06	49.56*	308.92	999.88	34.00*	306.24
1.0	50.78	13.39*	180.83	270.16	7.46*	200.95	991.30	4.53*	217.93
1.5	9.90	3.52*	106.70	25.37	2.24*	119.42	566.93	1.59*	141.62
2.0	3.03	1.66*	60.46	4.58	1.25*	67.59	36.18	1.09*	93.53
2.5	1.52	1.18*	36.83	1.74	1.04*	42.18	4.78	1.01*	58.44
3.0	1.15	1.04*	23.63	1.15	1.01*	26.99	1.63	1.00*	39.34
3.5	1.02*	1.01*	15.20	1.02*	1.00*	17.83	1.09	1.00*	26.77
4.0	1.01*	1.00*	9.90	1.01*	1.00*	12.14	1.01*	1.00*	18.95
4.5	1.00*	1.00*	7.13	1.00*	1.00*	8.31	1.01*	1.00*	13.97
5.0	1.00*	1.00*	5.39	1.00*	1.00*	6.18	1.00*	1.00*	9.88
5.5	1.00*	1.00*	4.00	1.00*	1.00*	4.64	1.00*	1.00*	7.42
6.0	1.00*	1.00*	3.04	1.00*	1.00*	3.64	1.00*	1.00*	5.82

หมายเหตุ : * หมายถึงค่า ARL ต่ำสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

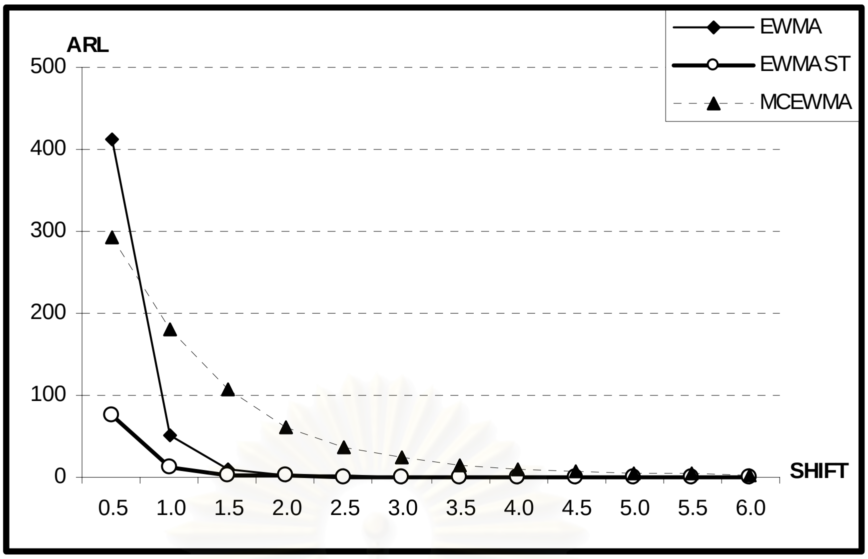
γ	(ϕ_1,θ_1) = (0.5,0.2)			(ϕ_1,θ_1) = (0.5,0.5)			(ϕ_1,θ_1) = (0.5,0.9)		
	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA
0.5	-	176.87*	277.41	109.18*	109.18*	293.46	980.12	45.60*	278.29
1.0	-	66.47*	169.72	24.12*	24.12*	172.55	528.86	6.65*	186.25
1.5	-	24.32*	99.83	6.96*	6.96*	99.36	44.59	2.13*	112.70
2.0	-	9.98*	61.84	2.82*	2.82*	58.47	6.49	1.25*	67.55
2.5	-	5.04*	37.04	1.62*	1.62*	35.11	2.10	1.04*	41.73
3.0	-	2.80*	23.66	1.21*	1.21*	21.34	1.25	1.00*	27.37
3.5	-	1.82*	15.55	1.07*	1.07*	14.00	1.04*	1.00*	18.34
4.0	-	1.42*	10.57	1.01*	1.01*	9.43	1.01*	1.00*	12.12
4.5	-	1.20*	7.45	1.01*	1.01*	6.81	1.00*	1.00*	8.62
5.0	-	1.10*	5.53	1.00*	1.00*	4.78	1.00*	1.00*	6.48
5.5	-	1.04*	4.15	1.00*	1.00*	3.79	1.00*	1.00*	4.93
6.0	-	1.02*	3.20	1.00*	1.00*	2.80	1.00*	1.00*	3.79

หมายเหตุ : * หมายถึงค่า ARL ต่ำสุด

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

γ	(ϕ_1,θ_1) = (0.9,0.1)			(ϕ_1,θ_1) = (0.9,0.5)			(ϕ_1,θ_1) = (0.9,0.8)		
	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA	EWMA	EWMAST	MCEWMA
0.5	-	299.70	289.05*	-	274.02*	291.03	-	248.75*	294.74
1.0	-	268.17	176.93*	-	194.36	176.93*	-	118.65*	182.39
1.5	-	219.43	107.85*	-	127.15	106.36*	-	54.28*	99.47
2.0	-	178.27	62.60*	-	80.41	61.58*	-	26.78*	59.90
2.5	-	140.29	36.75*	-	48.42	36.69*	-	14.92*	36.08
3.0	-	117.02	23.34*	-	32.17	23.32*	-	8.08*	22.03
3.5	-	88.80	15.42*	-	20.56	15.19*	-	5.16*	14.36
4.0	-	67.07	9.94*	-	14.80	9.91*	-	3.33*	9.68
4.5	-	50.34	7.08*	-	9.97	7.03*	-	2.48*	6.89
5.0	-	41.32	5.31*	-	7.01	5.31*	-	1.84*	5.12
5.5	-	31.55	4.05*	-	5.19	3.99*	-	1.51*	3.90
6.0	-	24.99	3.02*	-	3.73	2.98*	-	1.32*	2.95

หมายเหตุ : * หมายถึงค่า ARL ต่ำสุด



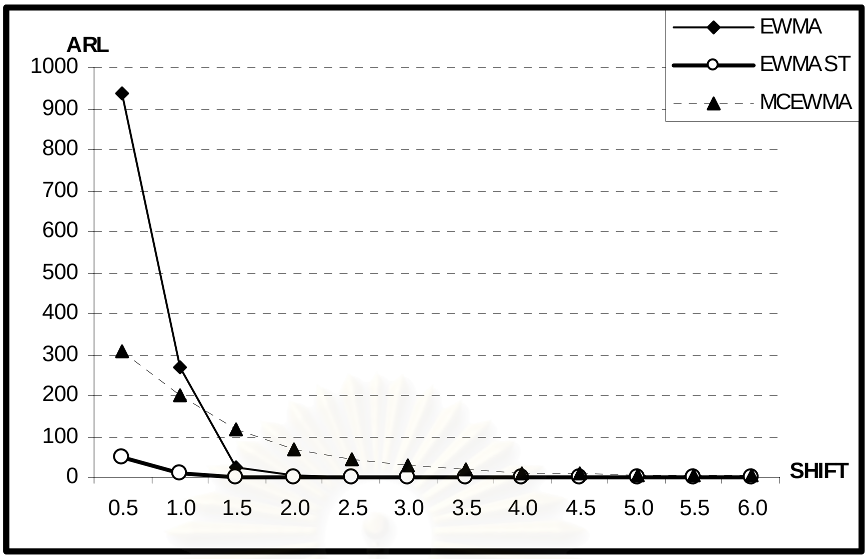
รูปที่ 4.13 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย (ϕ_1, θ_1) = (0.1,0.3)

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.13 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1) กำหนดให้ (ϕ_1, θ_1) = (0.1, 0.3)

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 3.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

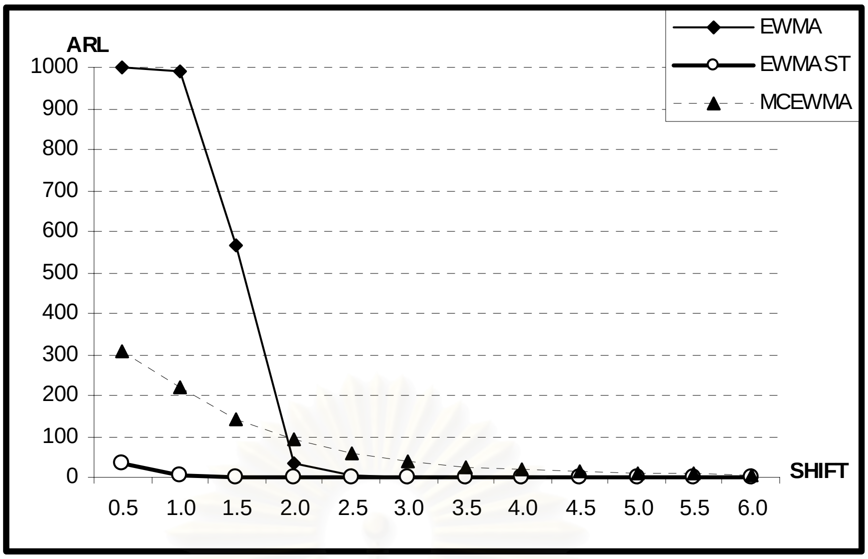


รูปที่ 4.14 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย (ϕ_1, θ_1) = (0.1,0.5)

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.14 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1) กำหนดให้ (ϕ_1, θ_1) = (0.1,0.5)

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 3.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

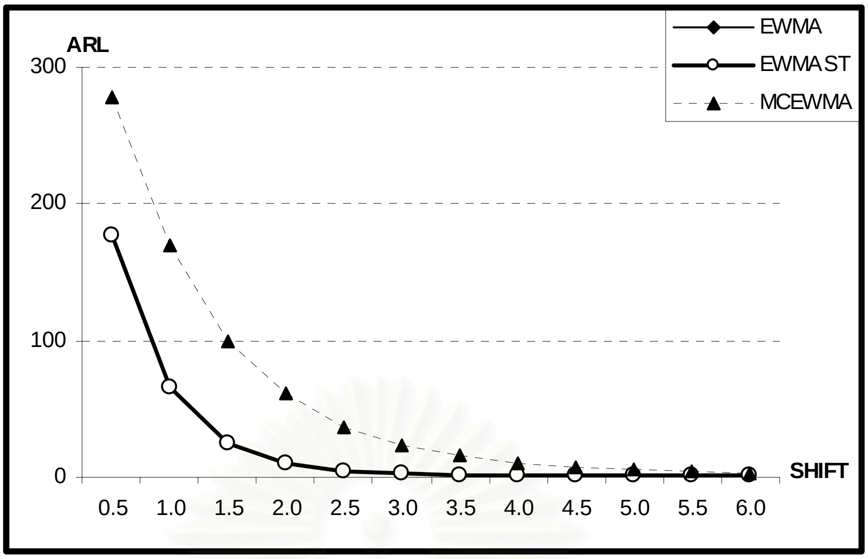


รูปที่ 4.15 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย (ϕ_1, θ_1) = (0.1,0.9)

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.15 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1) กำหนดให้ (ϕ_1, θ_1) = (0.1,0.9)

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 4.0 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

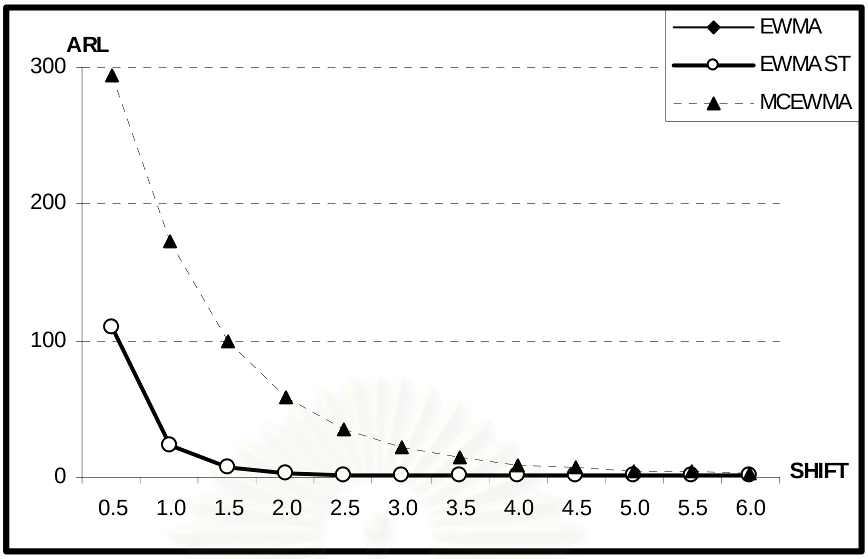


รูปที่ 4.16 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย (ϕ_1, θ_1) = (0.5,0.2)

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.16 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1) กำหนดให้ (ϕ_1, θ_1) = (0.5,0.2)

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA ไม่สามารถควบคุม α ได้ที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0



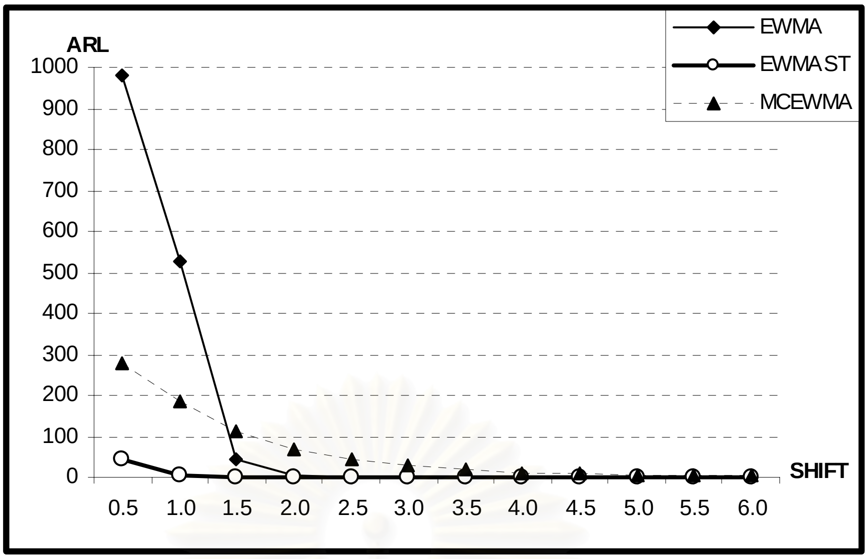
รูปที่ 4.17 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย (ϕ_1, θ_1) = (0.5,0.5)

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.17 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1) กำหนดให้ (ϕ_1, θ_1) = (0.5,0.5)

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดและมีประสิทธิภาพเท่ากันที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



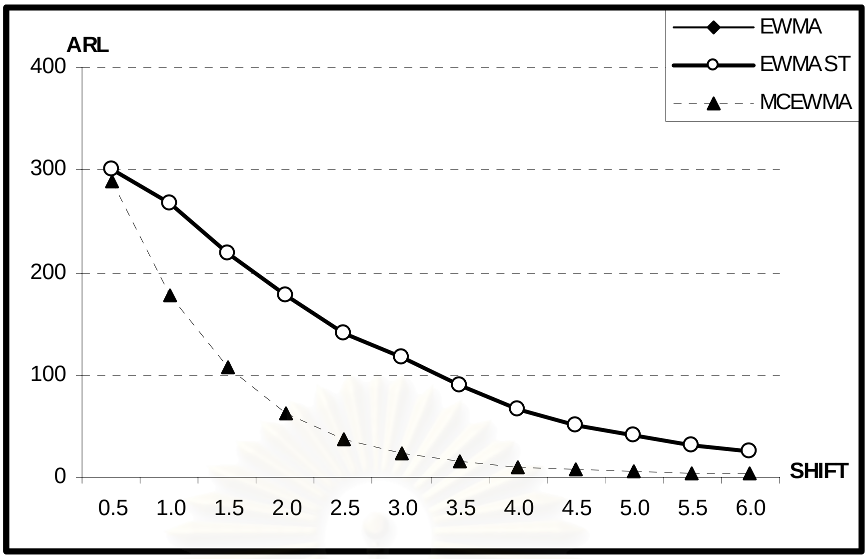
รูปที่ 4.18 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย (ϕ_1, θ_1) = (0.5,0.9)

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.18 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1) กำหนดให้ (ϕ_1, θ_1) = (0.5,0.9)

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 3.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

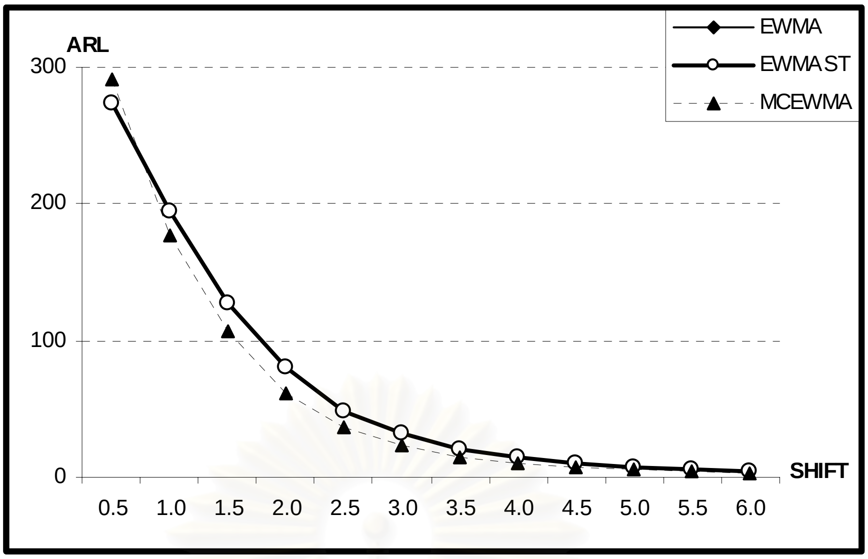


รูปที่ 4.19 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย (ϕ_1, θ_1) = (0.9,0.1)

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.19 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1) กำหนดให้ (ϕ_1, θ_1) = (0.9,0.1)

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA ไม่สามารถควบคุม α ได้ที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

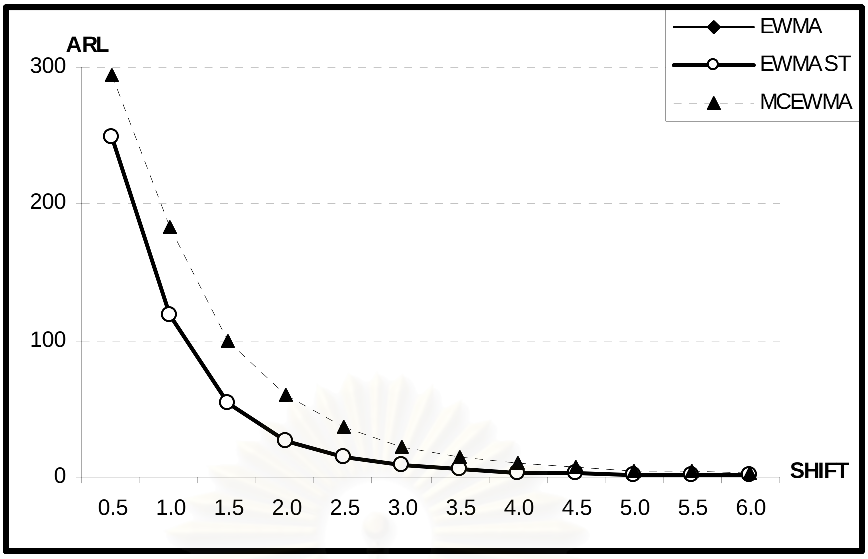


รูปที่ 4.20 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย (ϕ_1, θ_1) = (0.9,0.5)

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.20 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1) กำหนดให้ (ϕ_1, θ_1) = (0.9,0.5)

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA ไม่สามารถควบคุม α ได้ที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 1.0 – 6.0



รูปที่ 4.21 แสดงจำนวนค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ
สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) โดย (ϕ_1, θ_1) = (0.9,0.8)

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.21 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1) กำหนดให้ (ϕ_1, θ_1) = (0.9,0.8)

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุม EWMA ไม่สามารถควบคุม α ได้ที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 แผนภูมิควบคุม EWMAST จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0 และแผนภูมิควบคุม MCEWMA จะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดที่ γ ระดับ 0.5 – 6.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกรณีที่ข้อมูลเกิดอัตสหสัมพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลา 3 รูปแบบ คือ AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1) แผนภูมิที่นำมาเปรียบเทียบมีทั้งหมด 3 แผนภูมิควบคุม ซึ่งประกอบไปด้วย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลเมื่อกระบวนการสเตชันนารี (EWMAST) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักด้วยเอกซโพเนนเชียลโดยใช้การเคลื่อนที่เส้นกลาง (MCEWMA) โดยศึกษาจากจำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย ในกรณีที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และได้กำหนดระดับการเปลี่ยนแปลง $\gamma = \mu_0 \frac{\delta}{100}$ มีค่าตั้งแต่ 0.5, 1.0, 1.5, ..., 6.0 โดยใช้คาบเวลาเริ่มต้น ℓ = 100 ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยวิธีเทคนิคมอนติคาร์โล และใช้โปรแกรมภาษาฟอร์แทรนสร้างข้อมูลให้มีลักษณะตามที่กำหนดไว้โดยจำลองทั้งหมด 1,000 รอบในแต่ละสถานการณ์

5.1 สรุปผลการวิจัย

การพิจารณาว่าแผนภูมิควบคุมใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด ในกรณีที่ข้อมูลเกิดอัตสหสัมพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลานั้น จะทำการเปรียบเทียบโดยพิจารณาความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เป็นอันดับแรกแล้วจึงพิจารณาค่า ARL เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเป็นอันดับต่อไป ผลสรุปที่ได้จากการวิจัยสามารถแสดงได้ 2 กรณี ดังนี้

5.1.1 ผลสรุปของความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

จากการจำลองเพื่องหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม แต่ความเป็นจริงกระบวนการยังคงอยู่ภายใต้การควบคุม ของแผนภูมิควบคุม EWMA แผนภูมิควบคุม EWMAST และแผนภูมิควบคุม MCEWMA เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกแผนภูมิควบคุมที่

สามารถควบคุมค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

กระบวนการมีตัวแบบ AR(1)

แผนภูมิควบคุม EWMA สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ในกรณีที่ค่าคงที่ปรับให้เรียบ λ มีค่าสูง ($\lambda \geq 0.9$) ในทุกสัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 (ϕ_1) แผนภูมิควบคุม EWMAST และแผนภูมิควบคุม MCEWMA สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกกรณีที่ศึกษา

กระบวนการมีตัวแบบ MA(1)

แผนภูมิควบคุม EWMA แผนภูมิควบคุม EWMAST และแผนภูมิควบคุม MCEWMA สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกกรณีที่ศึกษา

กระบวนการมีตัวแบบ ARMA(1,1)

แผนภูมิควบคุม EWMA สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกกรณีที่ศึกษายกเว้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 มีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1 $(\phi_1 > \theta_1)$ และค่าคงที่ปรับให้เรียบ $\lambda < 0.9$ จะไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ แผนภูมิควบคุม EWMAST และแผนภูมิควบคุม MCEWMA สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ทุกกรณีที่ศึกษา

5.1.2 การเปรียบเทียบจำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL)

จากการทดลองหาความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยต่างกัน ของแผนภูมิควบคุม EWMA แผนภูมิควบคุม EWMAST และแผนภูมิควบคุม MCEWMA เมื่อกระบวนการมีตัวแบบอนุกรมเวลา AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1) มีค่าเฉลี่ย μ_0=10 และเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยหลังจำนวนคาบเวลา ℓ=100 มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเปลี่ยนไปจาก $\mu_0 = 10$ เป็น $\mu_1 = \mu_0\left(1+\frac{\delta}{100}\right)$ จำแนกเป็น 3 กรณี ตามตัวแบบอนุกรมเวลา ดังนี้

กระบวนการมีตัวแบบ AR(1)

(1) เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการเพิ่มขึ้นในระดับต่ำ 0.5 - 2.4 พบว่า สัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 มีค่า $0 < \phi_1 < 0.5$ แผนภูมิ EWMAST มีประสิทธิภาพมากที่สุด และเมื่อ $0.5 \le \phi_1 < 1$ แผนภูมิ MCEWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด

(2) เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง 2.5 - 4.4 พบว่า สัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 มีค่า $0 < \phi_1 < 0.7$ แผนภูมิ EWMAST มีประสิทธิภาพมากที่สุด และเมื่อ $0.7 \le \phi_1 < 1$ แผนภูมิ MCEWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด

(3) เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการเพิ่มขึ้นในระดับสูง 4.5 - 6.0 พบว่า สัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 มีค่า $0 < \phi_1 < 0.7$ แผนภูมิ EWMAST มีประสิทธิภาพมากที่สุด และเมื่อ $0.7 \le \phi_1 < 1$ แผนภูมิ MCEWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด

กระบวนการมีรูปแบบ MA(1)

(1) เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการเพิ่มขึ้นในระดับต่ำ 0.5 - 2.4 พบว่า สัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1 มีค่า $0<\theta_1<1$ แผนภูมิ EWMAST มีประสิทธิภาพมากที่สุด

(2) เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง 2.5 - 4.4 พบว่า สัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1 มีค่า $0<\theta_1<1$ แผนภูมิ EWMAST มีประสิทธิภาพมากที่สุด

(3) เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการเพิ่มขึ้นในระดับสูง 4.5 - 6.0 พบว่า สัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1 มีค่า $0<\theta_1<1$ แผนภูมิ EWMAST และแผนภูมิ EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด

กระบวนการมีรูปแบบ ARMA(1,1)

ในกรณีที่สัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 มีค่าน้อยกว่าสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1 ($\phi_1 < \theta_1$)

(1) เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการเพิ่มขึ้นในระดับต่ำ 0.5 - 2.4 พบว่า แผนภูมิ EWMAST มีประสิทธิภาพมากที่สุด

(2) เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง 2.5 – 4.4 และระดับสูง 4.5 - 6.0 พบว่า แผนภูมิ EWMAST และแผนภูมิ EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในกรณีที่สัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 มีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1 ($\phi_1 = \theta_1$) ในทุกระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการ พบว่า แผนภูมิ EWMAST และแผนภูมิ EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในกรณีที่สัมประสิทธิ์อัตถดถอยอันดับที่ 1 มีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ 1 ($\phi_1 > \theta_1$) เมื่อค่า ϕ_1 และ θ_1 ทำให้ $2\phi_1 - \theta_1 \geq 1.3$ เป็นจริง ในทุกระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการ พบว่า แผนภูมิ MCEWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด ส่วนกรณีค่า ϕ_1 และ θ_1 ทำให้ $2\phi_1 - \theta_1 < 1.3$ เป็นจริงในทุกระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการ พบว่า แผนภูมิ EWMAST มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ผลสรุปข้างต้นสามารถสรุปแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ได้ดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละตัวแบบอนุกรมเวลา

<table>
<tr><th rowspan="2">ตัวแบบ</th><th rowspan="2">ค่าพารามิเตอร์</th><th colspan="3">ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย (γ)</th></tr>
<tr><th>0.5 - 2.4</th><th>2.5 - 4.4</th><th>4.5 -6.0</th></tr>
<tr><td rowspan="3">AR(1)</td><td>$0 < \phi_1 < 0.5$</td><td>EWMAST</td><td rowspan="2">EWMAST</td><td rowspan="2">EWMAST</td></tr>
<tr><td>$0.5 \leq \phi_1 < 0.7$</td><td rowspan="2">MCEWMA</td></tr>
<tr><td>$0.7 \leq \phi_1 < 1$</td><td>MCEWMA</td><td>MCEWMA</td></tr>
<tr><td rowspan="2">MA(1)</td><td>$0 < \theta_1 < 0.9$</td><td rowspan="2">EWMAST</td><td rowspan="2">EWMAST</td><td rowspan="2">EWMAST ,EWMA</td></tr>
<tr><td>$0.9 \leq \theta_1 < 1$</td></tr>
</table>

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) ตารางแสดงแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละตัวแบบอนุกรมเวลา

<table>
<tr><th rowspan="2">ตัวแบบ</th><th rowspan="2">ค่าพารามิเตอร์</th><th colspan="3">ระดับการเปลี่ยนแปลง (γ)</th></tr>
<tr><th>0.5 - 2.4</th><th>2.5 - 4.4</th><th>4.5 -6.0</th></tr>
<tr><td rowspan="4">ARMA(1,1)</td><td>$\phi_1 < \theta_1$ โดย
$0 < \phi_1 < 1$,
$0 < \theta_1 < 1$</td><td>EWMAST</td><td rowspan="2">EWMAST ,EWMA</td><td rowspan="2">EWMAST ,EWMA</td></tr>
<tr><td>$\phi_1 = \theta_1$ โดย
$0 < \phi_1 < 1$,
$0 < \theta_1 < 1$</td><td>EWMAST ,EWMA</td></tr>
<tr><td>$\phi_1 > \theta_1$ โดย
$2\phi_1 - \theta_1 < 1.3$,
$0 < \phi_1 < 1$,
$0 < \theta_1 < 1$</td><td>EWMAST</td><td>EWMAST</td><td>EWMAST</td></tr>
<tr><td>$\phi_1 > \theta_1$ โดย
$2\phi_1 - \theta_1 \geq 1.3$,
$0 < \phi_1 < 1$,
$0 < \theta_1 < 1$</td><td>MCEWMA</td><td>MCEWMA</td><td>MCEWMA</td></tr>
</table>

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยครั้งนี้มีข้อเสนอแนะเป็น 2 ด้าน คือ

5.2.1 ในด้านการนำไปใช้

ในการเลือกใช้แผนภูมิควบคุม เมื่อข้อมูลหรือค่าสังเกตที่ใช้ในการตรวจสอบมีตัวแบบอนุกรมเวลาคงที่ในค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ซึ่งตัวแบบเป็น AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1) ควรเลือกแผนภูมิควบคุมให้เหมาะสมเพื่อให้มีค่า ARL ต่ำสุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแบบของค่าสังเกตที่นำมาตรวจสอบ ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ และระดับการเปลี่ยนแปลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ของค่าเฉลี่ย (γ) โดยอาจใช้โปรแกรมทางสถิติ เช่น โปรแกรม SPSS โปรแกรม Minitab มาช่วยในการหาคำตอบของตัวแบบ และค่าประมาณพารามิเตอร์ ในทางปฏิบัติผู้ใช้จะไม่สามารถทราบขนาดของ γ แต่ถ้าต้องการตรวจสอบด้วยความละเอียดมากควรใช้เครื่องมือวัดที่สามารถตรวจวัดกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้อย หรือถ้าต้องการตรวจสอบด้วยความละเอียดน้อยควรใช้เครื่องมือวัดที่สามารถตรวจวัดกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ตรวจสอบตัวแบบและหาค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบ
2) เลือกเครื่องมือวัดที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งมีเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

เมื่อต้องการตรวจสอบกระบวนการที่มีความละเอียดสูง (ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการ 0.5 - 2.4) ควรใช้แผนภูมิควบคุมต่อไปนี้ เมื่อค่าสังเกตที่นำมาตรวจสอบมีตัวแบบ AR(1) ควรใช้แผนภูมิ EWMAST ในกรณีที่ $0 < \phi_1 < 0.5$ และควรใช้แผนภูมิ MCEWMA ในกรณีที่ $0.5 \le \phi_1 < 1$ เมื่อค่าสังเกตที่นำมาตรวจสอบมีตัวแบบ MA(1) ควรใช้แผนภูมิ EWMAST ในกรณีที่ $0 < \theta_1 < 1$ เมื่อค่าสังเกตที่นำมาตรวจสอบมีตัวแบบ ARMA(1,1) ควรใช้แผนภูมิ EWMAST ในกรณีที่ $2\phi_1 - \theta_1 < 1.3$ ควรใช้แผนภูมิ MCEWMA ในกรณีที่ $2\phi_1 - \theta_1 \ge 1.3$ และควรใช้แผนภูมิ EWMA ในกรณีที่ $\phi_1 = \theta_1$

เมื่อต้องการตรวจสอบกระบวนการที่มีความละเอียดปานกลาง (ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการ 2.5 - 4.4) ควรใช้แผนภูมิควบคุมต่อไปนี้ เมื่อค่าสังเกตที่นำมาตรวจสอบมีตัวแบบ AR(1) ควรใช้แผนภูมิ EWMAST ในกรณีที่ $0 < \phi_1 < 0.7$ และควรใช้แผนภูมิ MCEWMA ในกรณีที่ $0.7 \le \phi_1 < 1$ เมื่อค่าสังเกตที่นำมาตรวจสอบมีตัวแบบ MA(1) ควรใช้แผนภูมิ EWMAST ในกรณีที่ $0 < \theta_1 < 1$ เมื่อค่าสังเกตที่นำมาตรวจสอบมีตัวแบบ ARMA(1,1) ควรใช้แผนภูมิ EWMAST ในกรณีที่ $2\phi_1 - \theta_1 < 1.3$ ควรใช้แผนภูมิ MCEWMA ในกรณีที่ $2\phi_1 - \theta_1 \ge 1.3$ และควรใช้แผนภูมิ EWMA ในกรณีที่ $\phi_1 \le \theta_1$

เมื่อต้องการตรวจสอบกระบวนการที่มีความละเอียดต่ำ (ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการ 4.5 - 6.0) ควรใช้แผนภูมิควบคุมต่อไปนี้ เมื่อค่าสังเกตที่นำมาตรวจสอบมีตัวแบบ AR(1) ควรใช้แผนภูมิ EWMAST ในกรณีที่ $0 < \phi_1 < 0.7$ และควรใช้แผนภูมิ MCEWMA ในกรณีที่ $0.7 \le \phi_1 < 1$ เมื่อค่าสังเกตที่นำมาตรวจสอบมีตัวแบบ MA(1) ควรใช้แผนภูมิ EWMAST หรือแผนภูมิ EWMA ในกรณีที่ $0 < \theta_1 < 1$ เมื่อค่าสังเกตที่นำมาตรวจสอบมีตัวแบบ ARMA(1,1) ควรใช้แผนภูมิ EWMAST ในกรณีที่ $2\phi_1 - \theta_1 < 1.3$ ควรใช้แผนภูมิ MCEWMA ในกรณีที่ $2\phi_1 - \theta_1 \ge 1.3$ และควรใช้แผนภูมิ EWMA ในกรณีที่ $\phi_1 \le \theta_1$

5.2.2 ในด้านการทำวิจัยเพื่อศึกษาต่อ

ในการทำวิจัยเพื่อศึกษาต่อ อาจจะทำได้ในเรื่องต่อไปนี้

(1) การวิจัยครั้งนี้ ได้ทำศึกษาในกรณีตัวแบบอนุกรมเวลาเป็น AR(1), MA(1), และ ARMA(1,1) เมื่อขนาดตัวอย่าง n = 1 ดังนั้นผู้ที่สนใจศึกษาต่อ อาจจะศึกษาในกรณีที่ค่าสังเกตนั้นมีตัวแบบอื่น ๆ เช่น AR(2), MA(2), ARMA(1,2) และ ARMA(2,1) ที่ขนาดตัวอย่างมากกว่า 1

(2) ในการศึกษาวิจัยต่ออาจจะศึกษาเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมชนิดอื่น ๆ เช่น แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อัตสหสัมพันธ์ (Autoregressive Moving Average Chart ; ARMA) ของ Jiang, W. Tsui, K. L.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

Box, G.E.P., and Jenkins, G.M. Time Series Analysis, Forecasting, and Control. Holden Day, Oakland, CA. (1976).

Box, G.E.P., and Muller, M.E. A note on the generation of random normal deviates. Ann.Math.Stat 29(1958) : 610-611.

Lu,C.W. and Reynolds, M.R.,Jr. Control Charts for Monitoring the Mean and Variance of Autocorrelated Process. Journal of Quality Technology 31(1999) : 259-274.

Montgomery D.C. and Christina M. Mastrangelo. Some Statistical Process Control Methods for Autocorrelated Data. Journal of Quality Technology 23 (July 1991) : 179-204.

Roberts, S.W. Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages. Technometrics 1(1959) : 239-251.

Zhang,N.F. A Statistical Control Chart for Stationary Process Data. Technometrics 40(Feb.1998) : 24-38.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

นภัสพร เธียรพัฒนะวงษ์. การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยในค่าเฉลี่ย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

นิยม สุขโสภณ. การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

พันทิพา สาครินทร์. สถิติควบคุมคุณภาพ.กรุงเทพมหานคร :ธรรมศาสตร์, 2531.

ปรีชา แสงอาสภวิริยะ, ภาวดี วรปัญญาวัฒนา, วาสุเทพ ธะประสพ และวีระยุทธ วงษ์ศิริ. ภาษาคอมพิวเตอร์ฟอร์แทรน 77. กรุงเทพมหานคร : ประกายพรึก, 2527.

มานพ วราภักดิ์. การจำลองเบื้องต้น.กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.

วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล.การเปรียบเทียบการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบอนุกรมเวลา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. เทคนิคการพยากรณ์.ภารกิจเอกสารและตำรา มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2546.

อดิศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์. การควบคุมคุณภาพ .กรุงเทพมหานคร:ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2535.

ภาษาอังกฤษ

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

William, W.S. Wei. Time Series Analysis. New York : AddisonWesley Publishing, 1990.

P.Winkel & Zhang ,N.F. Serial Correlation of Quality Control Data-on the use of Proper Control Charts. Taylor&Francis healthsciences 64 (2004) : 195-204.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

โปรแกรมจำลองข้อมูลอนุกรมเวลา AR(1) และแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ

****

```
                DIMENSION PARR1(10),SHIFT1(11),EA(1000000),EX(1000000)
                REAL    EETA,MAX,A,B,C,MIN,LLCL,UUCL,PAR1,SHIFT1,LAMDA,SIGMA_Z,UCL,LCL,
                        RMEAN,MSE,ETA,TYPE1,LLAM,MINMSE
                        RMEAN=10.
                        VAR=5.
                OPEN(1,FILE='E:\CHECK3\AR1_INFINITY_EW1.XLS')
                OPEN(2,FILE='E:\CHECK3\AR1_INFINITY_MAST1.XLS')
                OPEN(3,FILE='E:\CHECK3\AR1_INFINITY_MC1.XLS')
                OPEN(4,FILE='E:\CHECK3\AR1_type1_EW1.XLS')
                OPEN(5,FILE='E:\CHECK3\AR1_type1_MAST1.XLS')
                OPEN(6,FILE='E:\CHECK3\AR1_type1_MC1.XLS')
                DATA SHIFT1/0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50/
                DATA PARR1/0.,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9/
444             WRITE(*,103)
103             FORMAT(T10,'ENTER CONTROL CHART : 1)EWMA  2)EWMAST  3)MCEWMA')
                READ(*,104)MODEL
104             FORMAT(I1)
                WRITE(*,230)
230             FORMAT(/,5X,'NUMBER OF LOOP         :  ',\)
                READ(*,*) LOOP

IF   (MODEL.EQ.1)GOTO 111               !!EWMA!!
IF   (MODEL.EQ.2)GOTO 222               !!EWMAST!!
IF   (MODEL.EQ.3)THEN                   !!MCEWMA!!
        GOTO 333
ELSE
        GOTO 444
ENDIF
555     STOP
!******************************************!
!     EWMA CONTROL FOR AR(1)     !
!******************************************!
111             DO 1115 D=2,10
                PAR1=PARR1(D)
```

```
                    PRINT*, " "
                    WRITE(1,*) " "
                    MIN=1.
                    CALL GENAR1_100(RMEAN,VAR,PAR1,EA,EX,SIGMA_Z)
                    LAMDA=0.
                    DO 1114 J=1,99
                    LAMDA=LAMDA+0.01
                    CALL CL1 (RMEAN,SIGMA_Z,LAMDA,UCL,LCL)
                    CALL TPE1(LCL,UCL,LAMDA,PAR1,RMEAN,VAR,TYPE1)
!                   A=TYPE1
!                   B=(A-0.0027)
!                   C=ABS(B)
                    IF(C.GE.MIN) GOTO 1114
                        MIN=C
                        MAX=A
                        LLAM=LAMDA
                        LLCL=LCL
                        UUCL=UCL
1114        CONTINUE
                    PRINT*, "PAR=    ",PAR1
                    PRINT*, "LAMDA=  ",LLAM
                    PRINT*, "LCL=    ",LLCL
                    PRINT*, "UCL=    ",UUCL
                    PRINT*, "TYPE_I= ",MAX
                    PRINT*, " "
                    WRITE(4,*) LLAM," LCL= ",LLCL," UCL= ",UUCL ,MAX
                    DO 1113 K=1,11
                    SHIFT=SHIFT1(K)
                    ISEED=123456
                    CALL RNOPT(1)
                    CALL RNSET(ISEED)
                    CALL CHECK1 (LOOP,RMEAN,PAR1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
                    PRINT*, "ARL=  ",ARL
                    WRITE(1,*) PAR1," LAM ", LLAM,ARL
1113        CONTINUE
                    PRINT*, "....................................................."
1115        CONTINUE
                    PRINT*,"!!!  EWMA  AR(1)  !!!  EWMA  AR(1)  !!!   EWMA  AR(1) !!!"
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
GOTO 555

!**************************************************!
!       EWMAST CONTROL FOR AR(1)            !
!**************************************************!
222                 DO 2226 D=2,10
                    PAR1=PARR1(D)
                    PRINT*, " "
                    WRITE(2,*) " "
                    MIN=1.
                    CALL GENAR1_100(RMEAN,VAR,PAR1,EA,EX,SIGMA_Z)
                    LAMDA=0.
                    DO 2225 J=1,99
                    LAMDA=LAMDA+0.01
                    CALL CL2(LAMDA,SIGMA_Z,PAR1,RMEAN,UCL,LCL)
                    CALL TPE1(LCL,UCL,LAMDA,PAR1,RMEAN,VAR,TYPE1)
!                   A=TYPE1
!                   B=(A-0.0027)
!                   C=ABS(B)
                    IF(C.GE.MIN) GOTO 2225
                            MIN=C
                            MAX=A
                            LLAM=LAMDA
                            LLCL=LCL
                            UUCL=UCL
2225      CONTINUE
                    PRINT*, "PAR=    ",PAR1
                    PRINT*, "LAMDA=  ",LLAM
                    PRINT*, "LCL=    ",LLCL
                    PRINT*, "UCL=    ",UUCL
                    PRINT*, "TYPE_I= ",MAX
                    PRINT*, " "
                    WRITE(5,*) LLAM," LCL= ",LLCL," UCL= ",UUCL ,MAX
                    DO 2224 K=1,11
                    SHIFT=SHIFT1(K)
                    ISEED=123456
                    CALL RNOPT(1)
                    CALL RNSET(ISEED)
```

```
                    CALL CHECK2 (LOOP,RMEAN,PAR1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
                    PRINT*, "ARL=  ",ARL
                    WRITE(2,*) " SHIFT ",SHIFT,LLAM,ARL
2224        CONTINUE
                    PRINT*, "....................................................."
2226        CONTINUE
                    PRINT*,"!!  EWMAST  AR(1)  !! EWMAST  AR(1)  !!  EWMAST  AR(1) !!"
                    GOTO 555
!****************************************************!
!       MCEWMA CONTROL FOR AR(1)        !
!****************************************************!
333                 DO 3336 D=2,10
                    PAR1=PARR1(D)

                    PRINT*, " "
                    WRITE(3,*) " "
                    ISEED=123456
                    CALL RNOPT(1)
                    CALL RNSET(ISEED)
                    CALL GENAR1_100(RMEAN,VAR,PAR1,EA,EX,SIGMA_Z)
                    CALL MCEWMA(RMEAN,EX,LLAM,MSE,MINMSE)
                    MIN=1.
                    ETA=0.0
                    DO 3335 J=1,20
                    ETA=ETA+0.01
                    CALL TPE3 (RMEAN,PAR1,VAR,LLAM,MINMSE,TYPE1,ETA)
!                   A=TYPE1
!                   B=(A-0.0027)
!                   C=ABS(B)
                    IF(C.GE.MIN) GOTO 3335
                        MIN=C
                        MAX=A
                        EETA=ETA
3335        CONTINUE

                    PRINT*, "PAR=    ",PAR1
                    PRINT*, "LAMDA=  ",LLAM
                    PRINT*, "TYPE_I= ",MAX
```

```
PRINT*, "ETA=    ",EETA
PRINT*, " "
WRITE(6,*) PAR1," ETA ",EETA," TYPE ",MAX
DO 3334 K=1,11
SHIFT=SHIFT1(K)
ISEED=123456
CALL RNOPT(1)
CALL RNSET(ISEED)
CALL CHECK3 (LOOP,RMEAN,PAR1,VAR,SHIFT,LLAM,MINMSE,ARL,EETA)
PRINT*, "ARL=  ",ARL
WRITE(3,*) " LAM ",LLAM," ETA ",EETA,ARL
3334 CONTINUE
PRINT*, "....................................................."
3336 CONTINUE
PRINT*,"!!!  MCEWMA  AR(1)  !!!  MCEWMA  AR(1)  !!!   MCEWMA  AR(1) !!!"
END
!**********************************************************************!
!SUBROUTINE GENERATE DATA AR(1) 100 OBSERVATION !
!**********************************************************************!
SUBROUTINE GENAR1_100(RMEAN,VAR,PAR1,EA,EX,SIGMA_Z)
REAL EA(100+31),EB(100+30),ZVAR,EX(100),PAR1,VAR,SIGMA_Z
KKK=0
SIGMA_Z=0.
ZVAR=VAR/(1-(PAR1**2))
SIGMA_Z=ZVAR
CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
EA(0)=E1
DO 100 K=1,130
CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
EB(K)=E2
EA(K)=(RMEAN-(PAR1*RMEAN))+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)
100 CONTINUE
EX(0)=EA(30)
DO 112 K=1,100
EX(K)=(RMEAN*(1-PAR1))+(PAR1*EX(K-1))+EB(30+K)
112 CONTINUE
END
```

```
!**************************************************!
!  SUBROUTINE CAL UCL-LCL FOR EWMA  !
!**************************************************!
                    SUBROUTINE CL1 (RMEAN,SIGMA_Z,LAMDA,UCL,LCL)
                    REAL RMEAN,SIGMA_Z,LAMDA,UCL,LCL
                              UCL=RMEAN+(3*((SIGMA_Z)**0.5)*(LAMDA/(2-LAMDA))**0.5)
                              LCL=RMEAN-(3*((SIGMA_Z)**0.5)*(LAMDA/(2-LAMDA))**0.5)
END
!**************************************************!
!SUBROUTINE TYPE 1 ERROR FOR EWMA   !
!**************************************************!
                    SUBROUTINE TPE1(LCL,UCL,LAMDA,PAR1,RMEAN,VAR,TYPE1)
                    REAL      TYPE1,LCL,UCL,RMEAN,VAR,EA(50001),EB(50000),X(50001),
                              LAMDA,PAR1,EC(50000)
                    ISEED=123456
                    CALL RNOPT(1)
                    CALL RNSET(ISEED)
                              X(0)=RMEAN
                              SPROB1=0
                              TYPE1=0
                              KKK=0
                              ZVAR=VAR/(1-(PAR1**2))
                    CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
                              EA(0)=E1
                    DO 102 K=1,50000
                    CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                              EB(K)=E2
                              EA(K)=(RMEAN-(PAR1*RMEAN))+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)
                              EC(K)=EA(K)
                              X(K)=(LAMDA*EC(K))+((1-LAMDA)*X(K-1))
                    IF((X(K).LT.LCL).OR.(X(K).GT.UCL)) THEN
                              PROB1=1
                    ELSE
                              PROB1=0
                    ENDIF
                              SPROB1=SPROB1+PROB1
102                 CONTINUE
                              TYPE1=SPROB1/50000
```

```
END
!**************************************************!
!SUBROUTINE CHECK CHART FOR EWMA  !
!**************************************************!
        SUBROUTINE CHECK1 (LOOP,RMEAN,PAR1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
        REAL    RMEAN,UUCL,LLCL,RL,SUMRL,VAR,PAR1,SHIFT,LLAM,ARL,X(1000000)
                ,EA(1000000),EB(1000000),EC(1000000),EX(1000000),EXX(1000000)
        INTEGER N,K
                X(0)=RMEAN
                RL=0.
                SUMRL=0.
                N=0
                KKK=0
                ZVAR=VAR/(1-(PAR1**2))
        CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
                EA(0)=E1
                EX(0)=E1
        DO 102 I=1,LOOP
1               RL=RL+1.0
                K=N+1
        CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                EB(K)=E2
                EA(K)=(RMEAN-(PAR1*RMEAN))+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)
                EC(K)=EA(K)
                EX(K)=((RMEAN+(SHIFT*RMEAN/100))*(1-PAR1))+(PAR1*EX(K-1))+EB(K)
                EXX(K)=EX(K)
                X(K)=(LLAM*EXX(K))+((1-LLAM)*X(K-1))
        IF((X(K).LT.LLCL).OR.(X(K).GT.UUCL)) THEN
                SUMRL=SUMRL+RL
                N=K
                RL=0
        ELSE
                N=K
        GOTO 1
        END IF
102     CONTINUE
                ARL=SUMRL/LOOP
END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
!*****************************************************!
!SUBROUTINE TRANFORM UCL-LCL EWMAST !
!*****************************************************!
        SUBROUTINE CL2(LAMDA,SIGMA_Z,PAR1,RMEAN,UCL,LCL)
        REAL LAMDA,SIGMA_Z,SUBSUMB,VARX,SUBA,RMEAN,UCL,LCL
            SUBA=(LAMDA/(2-LAMDA))*SIGMA_Z
            SUBSUMBB=0.
            SUBSUMB=0.
            VARX=0.
        DO 300 M=1,50
            SUBSUMB=SUBSUMB+(PAR1**M)*((1-LAMDA)**M)*(1-((1-LAMDA)**(2*(50-
M))))
300     CONTINUE
            SUBSUMBB=2*SUBSUMB
            VARX=SUBA*(1+SUBSUMBB)
            UCL=RMEAN+(3*SQRT(VARX))
            LCL=RMEAN-(3*SQRT(VARX))
END
!**************************************************!
!SUBROUTINE CHECK CHART FOR EWMA !
!**************************************************!
        SUBROUTINE CHECK2 (LOOP,RMEAN,PAR1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
        REAL    RMEAN,UUCL,LLCL,RL,SUMRL,VAR,PAR1,SHIFT,LLAM,ARL,X(1000000),
            EA(1000000),EB(1000000),EC(1000000),EX(1000000),EXX(1000000)
        INTEGER N,K
            X(0)=RMEAN
            RL=0.
            SUMRL=0.
            N=0
            KKK=0
            ZVAR=VAR/(1-(PAR1**2))
        CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
            EA(0)=E1
            EX(0)=E1
        DO 102 I=1,LOOP
1           RL=RL+1.0
            K=N+1
        CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
```

```
        EB(K)=E2
        EA(K)=(RMEAN-(PAR1*RMEAN))+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)
        EC(K)=EA(K)
        EX(K)=((RMEAN+(SHIFT*RMEAN/100))*(1-PAR1))+(PAR1*EX(K-1))+EB(K)
        EXX(K)=EX(K)
        X(K)=(LLAM*EXX(K))+((1-LLAM)*X(K-1))
    IF((X(K).LT.LLCL).OR.(X(K).GT.UUCL)) THEN  !GOTO 201
        SUMRL=SUMRL+RL
        N=K
        RL=0
    ELSE
        N=K
    GOTO 1
    END IF
102 CONTINUE
        ARL=SUMRL/LOOP
    END
!***************************************************!
!   SUBROUTINE TRANFORM MCEWMA       !
!***************************************************!
    SUBROUTINE MCEWMA(RMEAN,EX,LLAM,MSE,MINMSE)
    REAL RMEAN,X(100),EXX(100),EX(100),LAMDA,E(100),SSE,MMSE,MSE,LLAM,MINMSE
        MINMSE=100.
        LAMDA=0.0
    DO 103 J=1,99
        LAMDA=LAMDA+0.01
        X(0)=RMEAN
        SSE=0
        MSE=0
    DO 102 K=1,100
        EXX(K)=EX(K)
        X(K)=(LAMDA*EXX(K))+((1-LAMDA)*X(K-1))
        E(K)=EXX(K)-X(K-1)
        SSE=SSE+(E(K)*E(K))
102 CONTINUE
        MSE=SSE/100
        MMSE=MSE
    IF(MMSE.GE.MINMSE)GOTO 103
```

```
                    MINMSE=MMSE
                    LLAM=LAMDA
103         CONTINUE
END
!****************************************************!
!SUBROUTINE TYPE 1 ERROR FOR MCEWMA !
!****************************************************!
            SUBROUTINE TPE3 (RMEAN,PAR1,VAR,LLAM,MINMSE,TYPE1,ETA)
            REAL    TYPE1,SPROB1,RMEAN,VAR,PAR1,LLAM,MINMSE,ETA,UCLMC(50001),
                    LCLMC(50001),MCE(50001),E(50001),VARMC(50001),X(50001),EA(50001),
                    EB(50001),EC(50001)
            ISEED=123456
            CALL RNOPT(1)
            CALL RNSET(ISEED)
                    X(0)=RMEAN
                    TYPE1=0.
                    VARMC(0)=MINMSE
                    SPROB1=0.
                    KKK=0
                    ZVAR=VAR/(1-(PAR1**2))
            CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
                    EA(0)=E1
            DO 102 K=1,50000
            CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                    EB(K)=E2
                    EA(K)=(RMEAN-(PAR1*RMEAN))+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)
                    EC(K)=EA(K)
                    X(K)=(LLAM*EC(K))+((1-LLAM)*X(K-1))
                    E(K)=EC(K)-X(K-1)
                    MCE(K)=E(K)
                    VARMC(K)=(ETA*(MCE(K)**2))+((1-ETA)*VARMC(K-1))
                    UCLMC(K)=X(K-1)+(3*SQRT(VARMC(K-1)))
                    LCLMC(K)=X(K-1)-(3*SQRT(VARMC(K-1)))
            IF((EC(K).LT.LCLMC(K)).OR.(EC(K).GT.UCLMC(K))) THEN
                    PROB1=1
            ELSE
                    PROB1=0
            ENDIF
```

```
                    SPROB1=SPROB1+PROB1
102           CONTINUE
                    TYPE1=SPROB1/50000
END
!**************************************************!
!SUBROUTINE CHECK CHART FOR EWMA !
!**************************************************!
              SUBROUTINE CHECK3 (LOOP,RMEAN,PAR1,VAR,SHIFT,LLAM,MINMSE,ARL,EETA)
              REAL      RMEAN,RL,SUMRL,VAR,PAR1,SHIFT,LLAM,ARL,EETA,
                        MINMSE,UCLMC(1000000),LCLMC(1000000),MCE(1000000),E(1000000),
                        VARMC(1000000),X(1000000),EA(1000000),EB(1000000),EC(1000000),
                        EX(1000000),EXX(1000000)
              INTEGER N,K
                        X(0)=RMEAN
                        RL=0.
                        VARMC(0)=MINMSE
                        SUMRL=0.
                        N=0
                        KKK=0
                        ZVAR=VAR/(1-(PAR1**2))
              CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
                        EA(0)=E1
                        EX(0)=E1
              DO 102 I=1,LOOP
1                       RL=RL+1.0
                        K=N+1
              CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                        EB(K)=E2
                        EA(K)=(RMEAN-(PAR1*RMEAN))+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)
                        EC(K)=EA(K)
                        EX(K)=((RMEAN+(SHIFT*RMEAN/100))*(1-PAR1))+(PAR1*EX(K-1))+EB(K)
                        EXX(K)=EX(K)
                        X(K)=(LLAM*EC(K))+((1-LLAM)*X(K-1))
                        E(K)=EC(K)-X(K-1)
                        MCE(K)=E(K)
                        VARMC(K)=(EETA*(MCE(K)**2))+((1-EETA)*VARMC(K-1))
                        UCLMC(K)=X(K-1)+(3*SQRT(VARMC(K-1)))
                        LCLMC(K)=X(K-1)-(3*SQRT(VARMC(K-1)))
```

```
                    IF((EXX(K).LT.LCLMC(K)).OR.(EXX(K).GT.UCLMC(K))) THEN
                              SUMRL=SUMRL+RL
                              N=K
                              RL=0
                    ELSE
                              N=K
                    GOTO 1
                    END IF
102                 CONTINUE
                              ARL=SUMRL/LOOP
END
!***************************************************************!
!SUBROUTINE GENERATE NORMAL DISTRIBUTION !
!***************************************************************!
                    SUBROUTINE NORMAL(RMEAN,VAR,EX1)
                    REAL ZONE,ZTWO
                    EXTERNAL RNSET,RNUN,UMACH
                    CALL UMACH(2,NOUT)
                    SD=SQRT(VAR)
                    PI=3.14159265358979
                    CALL RNUN(1,RONE)
                    CALL RNUN(1,RTWO)
                    IF(KKK.EQ.1) GOTO 10
                    ZONE=SQRT(-2*ALOG(RONE))*COS(2*PI*RTWO)
                    ZTWO=SQRT(-2*ALOG(RONE))*SIN(2*PI*RTWO)
                    EX1=ZONE*SD+RMEAN
                    KKK=0
                    GOTO 20
10                  EX1=ZTWO*SD+RMEAN
                    KKK=0
20                  RETURN
END
```

โปรแกรมจำลองข้อมูลอนุกรมเวลา MA(1) และแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ

****

```
            DIMENSION PARR1(10),SHIFT1(11),EA(2000000),EX(2000000)
            REAL      ETA,EETA,MAX,A,B,C,MIN,LLCL,UUCL,TETA1,SHIFT1,LAMDA,
                      SIGMA_Z,UCL,LCL,RMEAN,MSE,TYPE1,LLAM,MINMSE
                      RMEAN=10.
                      VAR=5.
            OPEN(1,FILE='E:\CHECK3\MA1_INFINITY_EW1.XLS')
            OPEN(2,FILE='E:\CHECK3\MA1_INFINITY_MAST1.XLS')
            OPEN(3,FILE='E:\CHECK3\MA1_INFINITY_MC1.XLS')
            OPEN(4,FILE='E:\CHECK3\MA1_type1_EW1.XLS')
            OPEN(5,FILE='E:\CHECK3\MA1_type1_MAST1.XLS')
            OPEN(6,FILE='E:\CHECK3\MA1_type1_MC1.XLS')
            DATA SHIFT1/0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50/
            DATA PARR1/0.,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9/
444         WRITE(*,103)
103         FORMAT(T10,'ENTER CONTROL CHART : 1)EWMA  2)EWMAST  3)MCEWMA')
            READ(*,104)MODEL
104         FORMAT(I1)
            WRITE(*,230)
230         FORMAT(/,5X,'NUMBER OF LOOP          :  ',\)
            READ(*,*) LOOP
IF     (MODEL.EQ.1)GOTO 111              !!EWMA!!
IF  (MODEL.EQ.2)GOTO 222                 !!EWMAST!!
IF  (MODEL.EQ.3)THEN                     !!MCEWMA!!
      GOTO 333
ELSE
      GOTO 444
ENDIF
555    STOP
!**************************************************!
!EWMA CONTROL FOR MA(1)!
!**************************************************!
111         DO 1115 D=2,10
            TETA1=PARR1(D)
            PRINT*, " "
            WRITE(1,*) " "
```

```
                    MIN=1.
                    CALL GENMA1_100(RMEAN,VAR,TETA1,EA,EX,SIGMA_Z)
                    LAMDA=0.
                    DO 1114 J=1,99
                    LAMDA=LAMDA+0.01
                    CALL CL1 (RMEAN,SIGMA_Z,LAMDA,UCL,LCL)
                    CALL TPE1(LCL,UCL,LAMDA,TETA1,RMEAN,VAR,TYPE1)
!                   A=TYPE1
!                   B=(A-0.0027)
!                   C=ABS(B)
                    IF(C.GE.MIN) GOTO 1114
                            MIN=C
                            MAX=A
                            LLAM=LAMDA
                            LLCL=LCL
                            UUCL=UCL
1114        CONTINUE
                    PRINT*, "TETA=   ",TETA1
                    PRINT*, "LAMDA=  ",LLAM
                    PRINT*, "LCL=    ",LLCL
                    PRINT*, "UCL=    ",UUCL
                    PRINT*, "TYPE_I= ",MAX
                    PRINT*, " "
                    WRITE(4,*) LLAM," LCL= ",LLCL," UCL= ",UUCL ,MAX
                    DO 1113 K=1,11
                    SHIFT=SHIFT1(K)
                    ISEED=123456
                    CALL RNOPT(1)
                    CALL RNSET(ISEED)
                    CALL CHECK1 (LOOP,RMEAN,TETA1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
                    PRINT*, "ARL=  ",ARL
                    WRITE(1,*) TETA1," LAM ", LLAM,ARL
1113        CONTINUE
                    PRINT*, "....................................................."
1115        CONTINUE
                    PRINT*,"!!!  EWMA  MA(1)  !!!  EWMA  MA(1)  !!!   EWMA  MA(1) !!!"
                    GOTO 555
```

```
!**************************************************!
!EWMAST CONTROL FOR MA(1) !
!**************************************************!
222          DO 2226 D=2,10
             TETA1=PARR1(D)
             PRINT*, " "
             WRITE(2,*) " "
             MIN=1.
             CALL GENMA1_100(RMEAN,VAR,TETA1,EA,EX,SIGMA_Z)
             LAMDA=0.
             DO 2225 J=1,99
             LAMDA=LAMDA+0.01
             CALL CL2(LAMDA,SIGMA_Z,TETA1,RMEAN,UCL,LCL)
             CALL TPE1(LCL,UCL,LAMDA,TETA1,RMEAN,VAR,TYPE1)
!            A=TYPE1
!            B=(A-0.0027)
!            C=ABS(B)
             IF(C.GE.MIN) GOTO 2225
                   MIN=C
                   MAX=A
                   LLAM=LAMDA
                   LLCL=LCL
                   UUCL=UCL
2225    CONTINUE

             PRINT*, "TETA=   ",TETA1
             PRINT*, "LAMDA=  ",LLAM
             PRINT*, "LCL=    ",LLCL
             PRINT*, "UCL=    ",UUCL
             PRINT*, "TYPE_I= ",MAX
             PRINT*, " "
             WRITE(5,*) LLAM," LCL= ",LLCL," UCL= ",UUCL ,MAX

             DO 2224 K=1,11
             SHIFT=SHIFT1(K)
             ISEED=123456
             CALL RNOPT(1)
             CALL RNSET(ISEED)
```

```
                CALL CHECK2 (LOOP,RMEAN,TETA1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
                PRINT*, "ARL=  ",ARL
                WRITE(2,*) " SHIFT ",SHIFT,LLAM,ARL
2224    CONTINUE
                PRINT*, "......................................................"
2226    CONTINUE
                PRINT*,"!!  EWMAST  MA(1)  !! EWMAST  MA(1)  !!  EWMAST  MA(1) !!"
                GOTO 555
!***************************************************!
!MCEWMA CONTROL FOR MA(1) !
!***************************************************!
333             DO 3336 D=2,10
                TETA1=PARR1(D)
                PRINT*, " "
                WRITE(3,*) " "
                ISEED=123456
                CALL RNOPT(1)
                CALL RNSET(ISEED)
                CALL GENMA1_100(RMEAN,VAR,TETA1,EA,EX,SIGMA_Z)
                CALL MCEWMA(RMEAN,EX,LLAM,MSE,MINMSE)
                MIN=1.
                ETA=0.0
                DO 3335 J=1,20
                ETA=ETA+0.01
                CALL TPE3 (RMEAN,TETA1,VAR,LLAM,MINMSE,TYPE1,ETA)
!               A=TYPE1
!               B=(A-0.0027)
!               C=ABS(B)
                IF(C.GE.MIN) GOTO 3335
                        MIN=C
                        MAX=A
                        EETA=ETA
3335    CONTINUE
                PRINT*, "TETA=   ",TETA1
                PRINT*, "LAMDA=  ",LLAM
                PRINT*, "TYPE_I= ",MAX
                PRINT*, "ETA=    ",EETA
                PRINT*, " "
```

```
                    WRITE(6,*) TETA1," ETA ",EETA," TYPE ",MAX
                    DO 3334 K=1,11
                    SHIFT=SHIFT1(K)
                    ISEED=123456
                    CALL RNOPT(1)
                    CALL RNSET(ISEED)
                    CALL CHECK3 (LOOP,RMEAN,TETA1,VAR,SHIFT,LLAM,MINMSE,ARL,EETA)
                    PRINT*, "ARL=  ",ARL
                    WRITE(3,*) " LAM ",LLAM," ETA ",EETA,ARL
3334      CONTINUE
                    PRINT*, "....................................................."
3336      CONTINUE
                    PRINT*,"!!!  MCEWMA  MA(1)  !!!  MCEWMA  MA(1)  !!!   MCEWMA  MA(1) !!!"
END
!****************************************************!
!SUBROUTINE GENERATE DATA MA(1) !
!****************************************************!
                    SUBROUTINE GENMA1_100(RMEAN,VAR,TETA1,EA,EX,SIGMA_Z)
                    REAL EA(1500),EB(1500),ZVAR,EX(1500),TETA1,VAR,SIGMA_Z
                              KKK=0
                              SIGMA_Z=0.
                              ZVAR=VAR*(1+(TETA1**2))
                              SIGMA_Z=ZVAR
                    CALL NORMAL(0.0,VAR,E1)
                              EB(0)=E1
                    DO 100 K=1,130
                    CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                              EB(K)=E2
                              EA(K)=RMEAN-(TETA1*EB(K-1))+EB(K)
100                 CONTINUE
                              EX(0)=EB(30)
                    DO 112 K=1,100
                              EX(K)=RMEAN-(TETA1*EB(29+K))+EB(30+K)
112                 CONTINUE
END
```

```
!***************************************************!
!SUBROUTINE CAL UCL-LCL FOR EWMA !
!***************************************************!
            SUBROUTINE CL1 (RMEAN,SIGMA_Z,LAMDA,UCL,LCL)
            REAL RMEAN,SIGMA_Z,LAMDA,UCL,LCL
                  UCL=RMEAN+(3*((SIGMA_Z)**0.5)*(LAMDA/(2-LAMDA))**0.5)
                  LCL=RMEAN-(3*((SIGMA_Z)**0.5)*(LAMDA/(2-LAMDA))**0.5)
END
!***************************************************!
!SUBROUTINE TYPE 1 ERROR FOR EWMA !
!***************************************************!
            SUBROUTINE TPE1(LCL,UCL,LAMDA,TETA1,RMEAN,VAR,TYPE1)
            REAL  TYPE1,LCL,UCL,RMEAN,VAR,EA(50001),EB(50000),X(50001),
                  LAMDA,TETA1,EC(50000)
            ISEED=123456
            CALL RNOPT(1)
            CALL RNSET(ISEED)
                  X(0)=RMEAN
                  SPROB1=0
                  TYPE1=0
                  KKK=0
                  ZVAR=VAR*(1+(TETA1**2))
            CALL NORMAL(0.0,VAR,E1)
                  EB(0)=E1
            DO 102 K=1,50000
            CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                  EB(K)=E2
                  EA(K)=RMEAN-(TETA1*EB(K-1))+EB(K)
                  EC(K)=EA(K)
                  X(K)=(LAMDA*EC(K))+((1-LAMDA)*X(K-1))
            IF((X(K).LT.LCL).OR.(X(K).GT.UCL)) THEN
                  PROB1=1
            ELSE
                  PROB1=0
            ENDIF
                  SPROB1=SPROB1+PROB1
102         CONTINUE
                  TYPE1=SPROB1/50000
```

```
END
!**************************************************!
!SUBROUTINE CHECK CHART FOR EWMA !
!**************************************************!
        SUBROUTINE CHECK1 (LOOP,RMEAN,TETA1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
        REAL    RMEAN,UUCL,LLCL,RL,SUMRL,VAR,TETA1,SHIFT,LLAM,ARL,X(2000000),
                EA(2000000),EB(2000000),EC(2000000),EX(2000000),EXX(2000000)
        INTEGER N,K
                X(0)=RMEAN
                RL=0.
                SUMRL=0.
                N=0
                KKK=0
                ZVAR=VAR*(1+(TETA1**2))
        CALL NORMAL(0.0,VAR,E1)
                EB(0)=E1
        DO 102 I=1,LOOP
1               RL=RL+1.0
                K=N+1
        CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                EB(K)=E2
                EA(K)=RMEAN-(TETA1*EB(K-1))+EB(K)
                EC(K)=EA(K)
                EX(K)=(RMEAN+(RMEAN*SHIFT/100))-(TETA1*EB(K-1))+EB(K)
                EXX(K)=EX(K)
                X(K)=(LLAM*EXX(K))+((1-LLAM)*X(K-1))
        IF((X(K).LT.LLCL).OR.(X(K).GT.UUCL).OR.(RL.GT.1500)) THEN
                SUMRL=SUMRL+RL
                N=K
                RL=0
        ELSE
                N=K
        GOTO 1
        END IF
102     CONTINUE
                ARL=SUMRL/LOOP
END
```

```
!*****************************************************!
!SUBROUTINE CAL UCL-LCL FOR    EWMAST !
!*****************************************************!
          SUBROUTINE CL2(LAMDA,SIGMA_Z,TETA1,RMEAN,UCL,LCL)
          REAL LAMDA,SIGMA_Z,SUBSUMB,VARX,SUBA,RMEAN,UCL,LCL
               SUBA=(LAMDA/(2-LAMDA))*SIGMA_Z
               VARX=0.
               SUBSUMB=0.
               SUBSUMB=((-1*TETA1)/(1+TETA1**2))*(1-LAMDA)*(1-((1-LAMDA)**49))
               SUBSUMBB=2*SUBSUMB
               VARX=SUBA*(1+SUBSUMBB)
               UCL=RMEAN+(3*SQRT(VARX))
               LCL=RMEAN-(3*SQRT(VARX))
END
!*****************************************************!
!SUBROUTINE CHECK CHART FOR EWMAST !
!*****************************************************!
          SUBROUTINE CHECK2 (LOOP,RMEAN,TETA1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
          REAL    RMEAN,UUCL,LLCL,RL,SUMRL,VAR,TETA1,SHIFT,LLAM,ARL,X(2000000),
               EA(2000000),EB(2000000),EC(2000000),EX(2000000),EXX(2000000)
          INTEGER N,K
               X(0)=RMEAN
               RL=0.
               SUMRL=0.
               N=0
               KKK=0
               ZVAR=VAR*(1+(TETA1**2))
          CALL NORMAL(0.0,VAR,E1)
               EB(0)=E1
          DO 102 I=1,LOOP
1              RL=RL+1.0
               K=N+1
          CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
               EB(K)=E2
               EA(K)=RMEAN-(TETA1*EB(K-1))+EB(K)
               EC(K)=EA(K)
               EX(K)=(RMEAN+(RMEAN*SHIFT/100))-(TETA1*EB(K-1))+EB(K)
               EXX(K)=EX(K)
```

```
                X(K)=(LLAM*EXX(K))+((1-LLAM)*X(K-1))
        IF((X(K).LT.LLCL).OR.(X(K).GT.UUCL).OR.(RL.GT.1500)) THEN
                SUMRL=SUMRL+RL
                N=K
                RL=0
        ELSE
                N=K
        GOTO 1
        END IF
102     CONTINUE
                ARL=SUMRL/LOOP
END
!*****************************************************!
!SUBROUTINE TRANFORM  MCEWMA !
!*****************************************************!
        SUBROUTINE MCEWMA(RMEAN,EX,LLAM,MSE,MINMSE)
        REAL RMEAN,X(100),EXX(100),EX(100),LAMDA,E(100),SSE,MMSE,MSE,LLAM,MINMSE
                MINMSE=100.
                LAMDA=0.0
        DO 103 J=1,99
                LAMDA=LAMDA+0.01
                X(0)=RMEAN
                SSE=0
                MSE=0
        DO 102 K=1,100
                EXX(K)=EX(K)
                X(K)=(LAMDA*EXX(K))+((1-LAMDA)*X(K-1))
                E(K)=EXX(K)-X(K-1)
                SSE=SSE+(E(K)*E(K))
102     CONTINUE
                MSE=SSE/100
                MMSE=MSE
        IF(MMSE.GE.MINMSE)GOTO 103
                MINMSE=MMSE
                LLAM=LAMDA
103     CONTINUE
END
```

```
!*****************************************************!
!SUBROUTINE TYPE 1 ERROR FOR MCEWMA !
!*****************************************************!
              SUBROUTINE TPE3 (RMEAN,TETA1,VAR,LLAM,MINMSE,TYPE1,ETA)
              REAL     TYPE1,SPROB1,RMEAN,VAR,TETA1,LLAM,MINMSE,UCLMC(50001),
                       LCLMC(50001),MCE(50001),E(50001),VARMC(50001),X(50001),EA(50001),
                       EB(50001),EC(50001)
              ISEED=123456
              CALL RNOPT(1)
              CALL RNSET(ISEED)
                       X(0)=RMEAN
                       TYPE1=0.
                       VARMC(0)=MINMSE
                       SPROB1=0.
                       KKK=0
                       ZVAR=VAR*(1+(TETA1**2))
              CALL NORMAL(0.0,VAR,E1)
                       EB(0)=E1
              DO 102 K=1,50000
              CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                       EB(K)=E2
                       EA(K)=RMEAN-(TETA1*EB(K-1))+EB(K)
                       EC(K)=EA(K)
                       X(K)=(LLAM*EC(K))+((1-LLAM)*X(K-1))
                       E(K)=EC(K)-X(K-1)
                       MCE(K)=E(K)
                       VARMC(K)=(ETA*(MCE(K)**2))+((1-ETA)*VARMC(K-1))
                       UCLMC(K)=X(K-1)+(3*SQRT(VARMC(K-1)))
                       LCLMC(K)=X(K-1)-(3*SQRT(VARMC(K-1)))
              IF((EC(K).LT.LCLMC(K)).OR.(EC(K).GT.UCLMC(K))) THEN
                       PROB1=1
              ELSE
                       PROB1=0
              ENDIF
                       SPROB1=SPROB1+PROB1
102           CONTINUE
                       TYPE1=SPROB1/50000
END
```

```
!*****************************************************!
!SUBROUTINE CHECK CHART FOR MCEWMA !
!*****************************************************!
            SUBROUTINE CHECK3 (LOOP,RMEAN,TETA1,VAR,SHIFT,LLAM,MINMSE,ARL,EETA)
            REAL     EETA,RMEAN,RL,SUMRL,VAR,TETA1,SHIFT,LLAM,ARL,
                     MINMSE,UCLMC(2000000),LCLMC(2000000),MCE(2000000),E(2000000),
                     VARMC(2000000),X(2000000),EA(2000000),EB(2000000),EC(2000000),
                     EX(2000000),EXX(2000000)
            INTEGER N,K
                     X(0)=RMEAN
                     RL=0.
                     VARMC(0)=MINMSE
                     SUMRL=0.
                     N=0
                     KKK=0
                     ZVAR=VAR*(1+(TETA1**2))
            CALL NORMAL(0.0,VAR,E1)
                     EB(0)=E1
            DO 102 I=1,LOOP
1                    RL=RL+1.0
                     K=N+1
            CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                     EB(K)=E2
                     EA(K)=RMEAN-(TETA1*EB(K-1))+EB(K)
                     EC(K)=EA(K)
                     EX(K)=(RMEAN+(RMEAN*SHIFT/100))-(TETA1*EB(K-1))+EB(K)
                     EXX(K)=EX(K)
                     X(K)=(LLAM*EC(K))+((1-LLAM)*X(K-1))
                     E(K)=EC(K)-X(K-1)
                     MCE(K)=E(K)
                     VARMC(K)=(EETA*(MCE(K)**2))+((1-EETA)*VARMC(K-1))
                     UCLMC(K)=X(K-1)+(3*SQRT(VARMC(K-1)))
                     LCLMC(K)=X(K-1)-(3*SQRT(VARMC(K-1)))
            IF((EXX(K).LT.LCLMC(K)).OR.(EXX(K).GT.UCLMC(K))) THEN
                     SUMRL=SUMRL+RL
                     N=K
                     RL=0
            ELSE
```

```
                    N=K
                GOTO 1
                END IF
102             CONTINUE
                    ARL=SUMRL/LOOP
END
!******************************************************!
!SUBROUTINE GENERATE NORMAL DISTRIBUTION !
!******************************************************!
                SUBROUTINE NORMAL(RMEAN,VAR,EX1)
                REAL ZONE,ZTWO
                EXTERNAL RNSET,RNUN,UMACH
                CALL UMACH(2,NOUT)
                SD=SQRT(VAR)
                PI=3.14159265358979
                CALL RNUN(1,RONE)
                CALL RNUN(1,RTWO)
                IF(KKK.EQ.1) GOTO 10
                ZONE=SQRT(-2*ALOG(RONE))*COS(2*PI*RTWO)
                ZTWO=SQRT(-2*ALOG(RONE))*SIN(2*PI*RTWO)
                EX1=ZONE*SD+RMEAN
                KKK=0
                GOTO 20
10              EX1=ZTWO*SD+RMEAN
                KKK=0
20              RETURN
                END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมจำลองข้อมูลอนุกรมเวลา ARMA(1,1) และแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ

****

```
        DIMENSION PARR1(9),TETAA(9),SHIFT1(11),EA(2000000),EX(2000000)
        REAL    ROU1,A,B,C,MIN,PAR1,TETA1,SHIFT1,LAMDA,ETA,SIGMA_Z,UCL,LCL,
                RMEAN,MSE,TYPE1,LLAM,MINMSE,MAX,LLCL,UUCL,MTYPE,EETA
        RMEAN=10.
        VAR=5.
        OPEN(1,FILE='E:\CHECK3\ARMA1_INFINITY_EW1.XLS')
        OPEN(2,FILE='E:\CHECK3\ARMA1_INFINITY_MAST1.XLS')
        OPEN(3,FILE='E:\CHECK3\ARMA1_INFINITY_MC1.XLS')
        OPEN(4,FILE='E:\CHECK3\ARMA1_type1_EW1.XLS')
        OPEN(5,FILE='E:\CHECK3\ARMA1_type1_MAST1.XLS')
        OPEN(6,FILE='E:\CHECK3\ARMA1_type1_MC1.XLS')
        OPEN(7,FILE='E:\CHECK3\ARMA1_type1_ROU.XLS')
        DATA SHIFT1/0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50/

17      DATA PARR1,TETAA/-0.9,0.9,-0.7,0.7,-0.5,0.5,0.1,-0.1,-0.5,0.7,-0.7,-0.1,0.1,0.1,-0.1,0.3,-0.3,-0.5/
444             WRITE(*,103)
103             FORMAT(T10,'ENTER CONTROL CHART : 1)EWMA  2)EWMAST  3)MCEWMA')
                READ(*,104)MODEL
104             FORMAT(I1)
                WRITE(*,230)
230             FORMAT(/,5X,'NUMBER OF LOOP            :  ',\)
                READ(*,*) LOOP
IF   (MODEL.EQ.1)GOTO 111                    !!EWMA!!
IF   (MODEL.EQ.2)GOTO 222                    !!EWMAST!!
IF   (MODEL.EQ.3)THEN                        !!MCEWMA!!
        GOTO 333
ELSE
        GOTO 444
ENDIF
    555     STOP
```

```
!***************************************************!
!EWMA CONTROL FOR ARMA !
!***************************************************!
111                 DO 1116 D=1,9
                    PAR1=PARR1(D)
                    TETA1=TETAA(D)
                    PRINT*, " "
                    WRITE(1,*) " "
!                   MAX=0.
                    MIN=1.
                    LAMDA=0.19
                    DO 1114 J=1,80
                    LAMDA=LAMDA+0.01
                    CALL GENARMA_100(RMEAN,VAR,PAR1,TETA1,EA,EX,SIGMA_Z)
                    CALL CL1 (RMEAN,SIGMA_Z,LAMDA,UCL,LCL)
                    CALL TPE1(LCL,UCL,LAMDA,PAR1,TETA1,RMEAN,VAR,TYPE1)
!!!!!!!!!!!!
!NEAR .0027 !
!!!!!!!!!!!!
 !                  A=TYPE1
!                   B=(A-0.0027)
!                   C=ABS(B)
                    IF(C.GE.MIN) GOTO 1114
                        MIN=C
                        MAX=A
                        LLAM=LAMDA
                        LLCL=LCL
                        UUCL=UCL
1114      CONTINUE
                    PRINT*, "PAR=    ",PAR1," TETA= ",TETA1
                    PRINT*, "LAMDA=  ",LLAM
                    PRINT*, "LCL=    ",LLCL
                    PRINT*, "UCL=    ",UUCL
                    PRINT*, "TYPE_I= ",MAX
                    PRINT*, " "
                    WRITE(4,*) LLAM," LCL= ",LLCL," UCL= ",UUCL ,MAX
                    DO 1113 K=1,11
                    SHIFT=SHIFT1(K)
```

```
                    ISEED=123456
                    CALL RNOPT(1)
                    CALL RNSET(ISEED)
                    CALL CHECK1 (LOOP,RMEAN,PAR1,TETA1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
                    PRINT*, "ARL=  ",ARL
                    WRITE(1,*) PAR1,TETA1," LAM ", LLAM,ARL
1113    CONTINUE
                    PRINT*, "....................................................."
1116    CONTINUE
PRINT*,  "!!!  EWMA  ARMA  !!!  EWMA  ARMA  !!!   EWMA  ARMA !!!"
GOTO    555
!****************************************************!
!EWMAST CONTROL FOR ARMA!
!****************************************************!
222                 DO 2227 D=1,9
                    PAR1=PARR1(D)
                    TETA1=TETAA(D)

                    PRINT*, " "
                    WRITE(2,*) " "

!                   MAX=0.
                    MIN=1.
                    LAMDA=0.2
                    DO 2225 J=1,60
                    LAMDA=LAMDA+0.01
                    CALL GENARMA_100(RMEAN,VAR,PAR1,TETA1,EA,EX,SIGMA_Z)
                    CALL CL2(LAMDA,SIGMA_Z,PAR1,TETA1,RMEAN,UCL,LCL,ROU1)
                    CALL TPE1(LCL,UCL,LAMDA,PAR1,TETA1,RMEAN,VAR,TYPE1)
!!!!!!!!!!!!!
!NEAR .0027 !
!!!!!!!!!!!!!
!                   A=TYPE1
!                   B=(A-0.0027)
!                   C=ABS(B)
                    IF(C.GE.MIN) GOTO 2225
                            MIN=C
                            MAX=A
```

```
                    LLAM=LAMDA
                    LLCL=LCL
                    UUCL=UCL
2225    CONTINUE
                PRINT*, "PAR=    ",PAR1," TETA= ",TETA1
                PRINT*, "LAMDA=  ",LLAM
                PRINT*, "LCL=    ",LLCL
                PRINT*, "UCL=    ",UUCL
                PRINT*, "TYPE_I= ",MAX
                PRINT*, " "
                WRITE(5,*) LLAM," LCL= ",LLCL," UCL= ",UUCL ,MAX
                WRITE(7,*) PAR1,TETA1,ROU1
                DO 2224 K=1,11
                SHIFT=SHIFT1(K)
                ISEED=123456
                CALL RNOPT(1)
                CALL RNSET(ISEED)
                CALL CHECK2 (LOOP,RMEAN,PAR1,TETA1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
                PRINT*, "ARL=  ",ARL
                WRITE(2,*) " SHIFT ",SHIFT,LLAM,ARL
2224    CONTINUE
                PRINT*, "....................................................."
2227    CONTINUE
PRINT*,"!!  EWMAST  ARMA  !! EWMAST  ARMA  !!  EWMAST  ARMA !!"
GOTO 555
!****************************************************!
!MCEWMA CONTROL FOR ARMA!
!****************************************************!
333             DO 3336 D=1,9
                PAR1=PARR1(D)
                TETA1=TETAA(D)
                PRINT*, " "
                WRITE(3,*) " "
                ISEED=123456
                CALL RNOPT(1)
                CALL RNSET(ISEED)
                CALL GENARMA_100(RMEAN,VAR,PAR1,TETA1,EA,EX,SIGMA_Z)
                CALL MCEWMA(RMEAN,EX,LLAM,MSE,MINMSE)
```

```
!                   MAX=0.
                    MIN=1.
                    ETA=0.0
                    DO 3335 J=1,20
                    ETA=ETA+0.01
                    CALL TPE3 (RMEAN,PAR1,TETA1,VAR,LLAM,MINMSE,TYPE1,ETA)
!!!!!!!!!!!!!!
! NEAR .0027 !
!!!!!!!!!!!!!!
!                   A=TYPE1
!                   B=(A-0.0027)
!                   C=ABS(B)
                    IF(C.GE.MIN) GOTO 3335
                        MIN=C
                        MAX=A
                        EETA=ETA
3335    CONTINUE
                    PRINT*, "PAR=    ",PAR1," TETA= ",TETA1
                    PRINT*, "LAMDA=  ",LLAM
                    PRINT*, "TYPE_I= ",MAX
                    PRINT*, "ETA=    ",EETA
                    PRINT*, " "
                    WRITE(6,*) PAR1,TETA1," ETA ",EETA," TYPE ",MAX
                    DO 3334 K=1,11
                    SHIFT=SHIFT1(K)
                    ISEED=123456
                    CALL RNOPT(1)
                    CALL RNSET(ISEED)
                    CALL CHECK3 (LOOP,RMEAN,PAR1,TETA1,VAR,SHIFT,LLAM,MINMSE,ARL,EETA)
                    PRINT*, "ARL=  ",ARL
                    WRITE(3,*) " LAM ",LLAM," ETA ",EETA,ARL
3334    CONTINUE
                    PRINT*, "....................................................."
3336    CONTINUE
PRINT*,"!!!  MCEWMA  ARMA  !!!  MCEWMA  ARMA  !!!   MCEWMA  ARMA !!!"
END
```

```
!******* ****************************************************************************************************!
!SUBROUTINE GENERATE TIME SERIES DATA ARMA 100 OBSERVATION !
!******************** *******************************************************************************************!
                    SUBROUTINE GENARMA_100(RMEAN,VAR,PAR1,TETA1,EA,EX,SIGMA_Z)
                    REAL EA(100+31),EB(100+31),ZVAR,EX(100+31),PAR1,TETA1,VAR,SIGMA_Z
                              KKK=0
                              SIGMA_Z=0.
                              ZVAR=0.
                              ZVAR=((1-(2*TETA1*PAR1)+((TETA1)**2))/(1-(PAR1)**2))*VAR
                              SIGMA_Z=ZVAR
                    CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
                              EA(0)=E1
                    CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                              EB(0)=E2
                    DO 100 K=1,130
                    CALL NORMAL(0.0,VAR,E3)
                              EB(K)=E3
                              EA(K)=(RMEAN-PAR1*RMEAN)+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)-(TETA1*EB(K-1))
100                 CONTINUE

                              EX(0)=EA(30)
                    DO 112 K=1,100
                              EX(K)=(RMEAN*(1-PAR1))+(PAR1*EX(K-1))+EB(30+K)-(TETA1*EB(K+29))
112                 CONTINUE
END
!**************************************************************!
!SUBROUTINE CAL UCL-LCL FOR EWMA!
!**************************************************************!
                    SUBROUTINE CL1 (RMEAN,SIGMA_Z,LAMDA,UCL,LCL)
                    REAL RMEAN,SIGMA_Z,LAMDA,UCL,LCL
                    UCL=RMEAN+(3*((SIGMA_Z)**0.5)*(LAMDA/(2-LAMDA))**0.5)
                    LCL=RMEAN-(3*((SIGMA_Z)**0.5)*(LAMDA/(2-LAMDA))**0.5)
                    END
```

```
!***********************************************************!
!SUBROUTINE TYPE 1 ERROR FOR EWMA !
!***********************************************************!
        SUBROUTINE TPE1(LCL,UCL,LAMDA,PAR1,TETA1,RMEAN,VAR,TYPE1)
        REAL     TYPE1,LCL,UCL,RMEAN,VAR,EA(50001),EB(50001),X(50001),LAMDA,
                PAR1,TETA1,EC(50001)
        ISEED=123456
        CALL RNOPT(1)
        CALL RNSET(ISEED)
                X(0)=RMEAN
                SPROB1=0
                TYPE1=0
                KKK=0
                ZVAR=((1-(2*TETA1*PAR1)+((TETA1)**2))/(1-(PAR1)**2))*VAR
        CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
                EA(0)=E1
        CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                EB(0)=E2
        DO      102 K=1,50000
        CALL NORMAL(0.0,VAR,E3)
                EB(K)=E3
                EA(K)=(RMEAN-PAR1*RMEAN)+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)-(TETA1*EB(K-1))
                EC(K)=EA(K)
                X(K)=(LAMDA*EC(K))+((1-LAMDA)*X(K-1))
        IF((X(K).LT.LCL).OR.(X(K).GT.UCL)) THEN
                PROB1=1
        ELSE
                PROB1=0
        ENDIF
                SPROB1=SPROB1+PROB1
102     CONTINUE
                TYPE1=SPROB1/50000
END
```

```
!**********************************************************!
!SUBROUTINE CHECK CHART FOR EWMA!
!**********************************************************!
          SUBROUTINE CHECK1 (LOOP,RMEAN,PAR1,TETA1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
          REAL    RMEAN,UUCL,LLCL,RL,SUMRL,VAR,PAR1,TETA1,SHIFT,
                  LLAM,ARL,X(2000000),
                  EA(2000000),EB(2000000),EC(2000000),EX(2000000),EXX(2000000)
          INTEGER N,K
                  X(0)=RMEAN
                  RL=0.
                  SUMRL=0.
                  N=0
                  KKK=0
                  ZVAR=((1-(2*TETA1*PAR1)+((TETA1)**2))/(1-(PAR1)**2))*VAR
          CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
                  EA(0)=E1
                  EX(0)=E1
          CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                  EB(0)=E2
          DO 102 I=1,LOOP
1                 RL=RL+1.0
                  K=N+1
          CALL NORMAL(0.0,VAR,E3)
                  EB(K)=E3
                  EA(K)=(RMEAN-PAR1*RMEAN)+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)-(TETA1*EB(K-1))
                  EC(K)=EA(K)
                  EX(K)=((RMEAN+(SHIFT*RMEAN/100))*(1-PAR1))+(PAR1*EX(K-1))+EB(K)-
(TETA1*EB(K-1))
                  EXX(K)=EX(K)
                  X(K)=(LLAM*EXX(K))+((1-LLAM)*X(K-1))
          IF((X(K).LT.LLCL).OR.(X(K).GT.UUCL).OR.(RL.GT.1500)) THEN
!         IF((RL.GT.100)) THEN
                  SUMRL=SUMRL+RL
                  N=K
                  RL=0
          ELSE
                  N=K
          GOTO 1
```

```
                END IF
102             CONTINUE
                ARL=SUMRL/LOOP
                END
!************************************************************!
!SUBROUTINE TRANFORM UCL-LCLV EWMAST !
!************************************************************!
                SUBROUTINE CL2(LAMDA,SIGMA_Z,PAR1,TETA1,RMEAN,UCL,LCL,ROU1)
                REAL    ROU1,LAMDA,SIGMA_Z,SUBSUMB,SUBSUMBB,VARX,SUBA,PAR1,TETA1,
                        RMEAN,UCL,LCL,ROU(52)
                        SUBA=(LAMDA/(2-LAMDA))*SIGMA_Z
                        SUBSUMB=0.
                        SUBSUMBB=0.
                        VARX=0.
                        ROU(1)=((1-(PAR1*TETA1))*(PAR1-TETA1))/(1+((TETA1)**2)-(2*PAR1*TETA1))
                        ROU1=ROU(1)
                DO 100 M=2,50
                        ROU(M)=(PAR1*ROU(M-1))
100             CONTINUE
                DO 200 M=1,50
                        SUBSUMB=SUBSUMB+(ROU(M)*((1-LAMDA)**M)*(1-((1-LAMDA)**(2*(50-M)))))
200             CONTINUE
                        SUBSUMBB=2*SUBSUMB
                        VARX=SUBA*(1+SUBSUMBB)
                        UCL=RMEAN+(3*SQRT(VARX))
                        LCL=RMEAN-(3*SQRT(VARX))
END
!************************************************************!
!SUBROUTINE CHECK CHART FOR EWMAST !
!************************************************************!
                SUBROUTINE CHECK2 (LOOP,RMEAN,PAR1,TETA1,UUCL,LLCL,VAR,SHIFT,LLAM,ARL)
                REAL    RMEAN,UUCL,LLCL,RL,SUMRL,VAR,PAR1,TETA1,SHIFT,
                        LLAM,ARL,X(2000000),
                        EA(2000000),EB(2000000),EC(2000000),EX(2000000),EXX(2000000)
                INTEGER N,K
                        X(0)=RMEAN
                        RL=0.
                        SUMRL=0.
```

```
N=0
KKK=0
ZVAR=((1-(2*TETA1*PAR1)+((TETA1)**2))/(1-(PAR1)**2))*VAR
CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
EA(0)=E1
EX(0)=E1
CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
EB(0)=E2
DO 102 I=1,LOOP
1 RL=RL+1.0
K=N+1
CALL NORMAL(0.0,VAR,E3)
EB(K)=E3
EA(K)=(RMEAN-PAR1*RMEAN)+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)-(TETA1*EB(K-1))
EC(K)=EA(K)
EX(K)=((RMEAN+(SHIFT*RMEAN/100))*(1-PAR1))+(PAR1*EX(K-1))+EB(K)-
(TETA1*EB(K-1))
EXX(K)=EX(K)
X(K)=(LLAM*EXX(K))+((1-LLAM)*X(K-1))
IF((X(K).LT.LLCL).OR.(X(K).GT.UUCL).OR.(RL.GT.1500)) THEN
SUMRL=SUMRL+RL
N=K
RL=0
ELSE
N=K
GOTO 1
END IF
102 CONTINUE
ARL=SUMRL/LOOP
END
!***********************************************************!
!SUBROUTINE TRANFORM  MCEWMA !
!***********************************************************!
SUBROUTINE MCEWMA(RMEAN,EX,LLAM,MSE,MINMSE)
REAL RMEAN,X(100),EXX(100),EX(100),LAMDA,E(100),SSE,MMSE,MSE,LLAM,MINMSE
MINMSE=100.
LAMDA=0.0
DO 103 J=1,99
```

```
                    LAMDA=LAMDA+0.01

                            X(0)=RMEAN
                            SSE=0
                            MSE=0
                    DO 102 K=1,100
                            EXX(K)=EX(K)
                            X(K)=(LAMDA*EXX(K))+((1-LAMDA)*X(K-1))
                            E(K)=EXX(K)-X(K-1)
                            SSE=SSE+(E(K)*E(K))
102                 CONTINUE
                            MSE=SSE/100
                            MMSE=MSE
                    IF(MMSE.GE.MINMSE)GOTO 103
                            MINMSE=MMSE
                            LLAM=LAMDA
103                 CONTINUE
END
!**************************************************************!
!SUBROUTINE TYPE 1 ERROR FOR MCEWMA !
!**************************************************************!
                    SUBROUTINE TPE3 (RMEAN,PAR1,TETA1,VAR,LLAM,MINMSE,TYPE1,ETA)
                    REAL      TYPE1,SPROB1,RMEAN,VAR,PAR1,TETA1,ETA,LLAM,
                            MINMSE,UCLMC(50050),
                            LCLMC(50050),MCE(50050),E(50050),VARMC(50050),X(50050),EA(50050),
                            EB(50050),EC(50050)
                    ISEED=123456
                    CALL RNOPT(1)
                    CALL RNSET(ISEED)
                            X(0)=RMEAN
                            TYPE1=0.
                            VARMC(0)=MINMSE
                            SPROB1=0.
                            KKK=0
                            ZVAR=((1-(2*TETA1*PAR1)+((TETA1)**2))/(1-(PAR1)**2))*VAR
                    CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
                            EA(0)=E1
                    CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    EB(0)=E2
          DO 102 K=1,50000
          CALL NORMAL(0.0,VAR,E3)
                    EB(K)=E3
                    EA(K)=(RMEAN-PAR1*RMEAN)+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)-(TETA1*EB(K-1))
                    EC(K)=EA(K)
                    X(K)=(LLAM*EC(K))+((1-LLAM)*X(K-1))
                    E(K)=EC(K)-X(K-1)
                    MCE(K)=E(K)
                    VARMC(K)=(ETA*(MCE(K)**2))+((1-ETA)*VARMC(K-1))
                    UCLMC(K)=X(K-1)+(3*SQRT(VARMC(K-1)))
                    LCLMC(K)=X(K-1)-(3*SQRT(VARMC(K-1)))
          IF((EC(K).LT.LCLMC(K)).OR.(EC(K).GT.UCLMC(K))) THEN
                    PROB1=1
          ELSE
                    PROB1=0
          ENDIF
                    SPROB1=SPROB1+PROB1
102       CONTINUE
                    TYPE1=SPROB1/50000
END
!************************************************************!
!SUBROUTINE CHECK CHART FOR EWMA !
!************************************************************!
          SUBROUTINE CHECK3
(LOOP,RMEAN,PAR1,TETA1,VAR,SHIFT,LLAM,MINMSE,ARL,EETA)
          REAL      RMEAN,RL,SUMRL,VAR,PAR1,TETA1,SHIFT,LLAM,ARL,EETA,MINMSE,
                    UCLMC(2000000),LCLMC(2000000),MCE(2000000),E(2000000),
                    VARMC(2000000),X(2000000),EA(2000000),EB(2000000),EC(2000000),
                    EX(2000000),EXX(2000000)
          INTEGER N,K
                    X(0)=RMEAN
                    RL=0.
                    VARMC(0)=MINMSE
                    SUMRL=0.
                    N=0
                    KKK=0
                    ZVAR=((1-(2*TETA1*PAR1)+((TETA1)**2))/(1-(PAR1)**2))*VAR
```

```
                CALL NORMAL(RMEAN,ZVAR,E1)
                        EA(0)=E1
                        EX(0)=E1
                CALL NORMAL(0.0,VAR,E2)
                        EB(0)=E2
                DO 102 I=1,LOOP
1                       RL=RL+1.0
                        K=N+1
                CALL NORMAL(0.0,VAR,E3)
                        EB(K)=E3
                        EA(K)=(RMEAN-PAR1*RMEAN)+(PAR1*EA(K-1))+EB(K)-(TETA1*EB(K-1))
                        EC(K)=EA(K)
                        EX(K)=((RMEAN+(SHIFT*RMEAN/100))*(1-PAR1))+(PAR1*EX(K-1))+EB(K)-
(TETA1*EB(K-1))
                        EXX(K)=EX(K)
                        X(K)=(LLAM*EC(K))+((1-LLAM)*X(K-1))          !!!
                        E(K)=EC(K)-X(K-1)
                        MCE(K)=E(K)
                        VARMC(K)=(EETA*(MCE(K)**2))+((1-EETA)*VARMC(K-1))
                        UCLMC(K)=X(K-1)+(3*SQRT(VARMC(K-1)))
                        LCLMC(K)=X(K-1)-(3*SQRT(VARMC(K-1)))
                IF((EXX(K).LT.LCLMC(K)).OR.(EXX(K).GT.UCLMC(K)).OR.(RL.GT.1500)) THEN
                        SUMRL=SUMRL+RL
                        N=K
                        RL=0
                ELSE
                        N=K
                GOTO 1
                END IF
102             CONTINUE
                        ARL=SUMRL/LOOP
END
!*************************************************************!
!SUBROUTINE GENERATE NORMAL DISTRIBUTION !
!*************************************************************!
                SUBROUTINE NORMAL(RMEAN,VAR,EX1)
                REAL ZONE,ZTWO
                EXTERNAL RNSET,RNUN,UMACH
```

```
      CALL UMACH(2,NOUT)
            SD=SQRT(VAR)
            PI=3.14159265358979
      CALL RNUN(1,RONE)
      CALL RNUN(1,RTWO)
      IF(KKK.EQ.1) GOTO 10
            ZONE=SQRT(-2*ALOG(RONE))*COS(2*PI*RTWO)
            ZTWO=SQRT(-2*ALOG(RONE))*SIN(2*PI*RTWO)
            EX1=ZONE*SD+RMEAN
            KKK=0
      GOTO 20
10          EX1=ZTWO*SD+RMEAN
            KKK=0
20    RETURN
END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปิยวรรณ ทีปประสาน เกิดเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ.2520 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) เกียรตินิยม สาขาวิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2542 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิต (สต.ม.) ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย