



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สถิติ)

ปริญญา

สถิติ

สาขา

สถิติ

ภาควิชา

เรื่อง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลง
ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต

The Comparison of Efficiency for Quality Control Charts to Detect Mean Shift in
Production Process

นามผู้วิจัย ว่าที่ร้อยตรีธรรณิษฐ์ สัจจริยทรัพย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อภิญญา หิรัญวงษ์, ศศ.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์จุฑาภรณ์ สิ้นสมบูรณ์ทอง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์อำไพ ทองธีรภาพ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสีทธี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของ
กระบวนการผลิต

The Comparison of Efficiency for Quality Control Charts to Detect Mean Shift in Production
Process

โดย

ว่าที่ร้อยตรีชนินทร์ สัจจวิทย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธรณินทร์ สัจจวิทย์, ว่าที่ร้อยตรี 2553: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต ปรินญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สถิติ) สาขาสถิติ ภาควิชาสถิติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: รองศาสตราจารย์อภิญญา หิรัญวงษ์, ศศ.ค. 92 หน้า

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนัก (EWMA) แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic) และแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแบบฟัซซี่ (Fuzzy p – chart) ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ จำนวนชุดตัวอย่าง (I) เท่ากับ 20, 40 และ 60 ชุด ขนาดตัวอย่าง (n) ตั้งแต่ 2 ถึง 10 โดยเพิ่มขนาดตัวอย่างทีละ 1 และระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ตั้งแต่ 0.2σ ถึง 2.0σ โดยเพิ่มระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการทีละ 0.2σ จากการวิจัยพบว่า จำนวนชุดตัวอย่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าจำนวนชุดตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่จะสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงครั้งแรก (ARL) มีค่าต่ำลงเมื่อขนาดตัวอย่างเล็ก นอกจากนี้เมื่อขนาดตัวอย่างและระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทำให้สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยได้เร็วขึ้น ส่วนแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งมีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีในช่วงของระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 0.2σ ถึง 0.6σ เมื่อขนาดตัวอย่าง ตั้งแต่ 2 ถึง 10 นอกจากนี้แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพดีในช่วงของระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการตั้งแต่ 0.8σ ถึง 1.8σ เมื่อขนาดตัวอย่าง เท่ากับ 7 ถึง 10 สำหรับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแบบฟัซซี่และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักมีประสิทธิภาพดีเมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการตั้งแต่ 1.6σ ถึง 2.0σ และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 8 ถึง 10 นอกจากนี้แผนภูมิควบคุมทุกชนิดมีประสิทธิภาพเท่ากันเมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการตั้งแต่ 2.0σ เป็นต้นไป ดังนั้นการเลือกใช้แผนภูมิควบคุมคุณภาพให้มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับสถานการณ์ที่พิจารณา

Thoranin Sujjaviriyasup, Acting SubLt. 2010: The Comparison of Efficiency for Quality Control Charts to Detect Mean Shift in Production Process. Master of Science (Statistics), Major Field: Statistics, Department of Statistics. Thesis Advisor: Associate Professor Apinya Hirunwong, Ph.D. 92 pages.

The objective of this research is to compare the efficiency of detection mean shifts in production process for four quality control charts such as RUNSUM, EWMA, Synthetic and Fuzzy p-chart. There are three conditions of the research, subgroups (l) are 20, 40 and 60, sample size are 2 to 10 increased by 1 and mean shift are 0.2σ to 2.0σ increased by 0.2σ respectively. Results of the simulation study indicate that the approximation of ARL seemed to have no difference from the theoretical ARL for large subgroups. Moreover the detection mean shifts to be favorable when sample sizes (n) and mean shifts (γ) tend to increase. RUNSUM is the most efficient control chart when mean shifts between 0.2σ and 0.6σ for sample sizes between 2 and 6. Synthetic 300 and 370 are the most efficient control chart when mean shifts between 0.8σ and 1.8σ in sample sizes between 1.6σ to 2.0σ in sample sizes between 8 and 10. Moreover, all control charts are the most efficient control chart when mean shifts is greater than 2.0σ

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์
อภิญญา หิรัญวงษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา และอาจารย์จุฑาทิกรณ์ สนิทมนตร์ทอง กรรมการที่
ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ดูแล ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องและให้ข้อคิดเห็นต่างๆของ
การวิจัยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความรู้สึกซาบซึ้งและสำนึกใน
พระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาสถิติทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาให้แก่
ผู้วิจัยและให้คำปรึกษาแนะนำ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวและญาติ ที่ส่งเสริมสนับสนุน
และให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และขอบคุณ คุณศิริกัญญา ไผ่แก้ว ที่คอยให้
กำลังใจ และคุณเศรษฐภัค ยี่ริณศิริ ที่ให้คำปรึกษาด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นอย่างดี

ธณินทร์ สัจจวิริยทรัพย์

กันยายน 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	33
ผล	33
วิจารณ์	55
สรุปและข้อเสนอแนะ	56
สรุป	56
ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	58
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก การสร้างเลขสุ่มด้วยวิธี Multiplicative Congruential Method	61
ภาคผนวก ข ค่า K, L และ ARL1 ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบสั้งเคราะห์	63
ภาคผนวก ค ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด ที่จำนวนชุดตัวอย่างต่างๆ	69
ภาคผนวก ง โปรแกรมการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ 4 แผนภูมิควบคุม	75
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	92

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางแสดงค่า ARL กรณี $l = 20$	34
2	ตารางแสดงค่า ARL กรณี $l = 40$	40
3	ตารางแสดงค่า ARL กรณี $l = 60$	46
4	แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมตามสถานการณ์ต่างๆ	52

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ขอบเขตของผลรวมแบบวิ่ง	7
2 กราฟของ $\tilde{C}(-)$ และ $\tilde{N}---$	14
3 แผนผังการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ แผนภูมิควบคุม RUNSUM	22
4 แผนผังการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ แผนภูมิควบคุม EWMA	25
5 แผนผังการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ แผนภูมิควบคุม Synthetic	28
6 แผนผังการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ แผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart	31
7 กราฟแสดงค่า ARL และ Mean Shifts เมื่อ $l = 20$	36
8 กราฟแสดงค่า ARL และ Mean Shifts เมื่อ $l = 40$	42
9 กราฟแสดงค่า ARL และ Mean Shifts เมื่อ $l = 60$	48
 ภาพผนวกที่	
ก1 กราฟแสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบ RUNSUM	70
ก2 กราฟแสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบ EWMA	71
ก3 กราฟแสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบ Synthetic – 300	72
ก4 กราฟแสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบ Synthetic - 370	73
ก5 กราฟแสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบ Fuzzy p-chart	74

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

UCL	=	ขอบเขตควบคุมบน
CL	=	เส้นกึ่งกลาง
LCL	=	ขอบเขตควบคุมล่าง
μ_w	=	ค่าเฉลี่ยของตัวแปร
k	=	ความกว้างของขอบเขตควบคุม
σ_w	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร
$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง
$\bar{x}$ – chart	=	แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย
R – chart	=	แผนภูมิควบคุมพิสัย
S – chart	=	แผนภูมิควบคุมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
EWMA	=	แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักเอกซ์โปเนนเชียล
p – chart	=	แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย
u – chart	=	แผนภูมิควบคุมสัดส่วนตำหนิ
np – chart	=	แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย
c – chart	=	แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ
T(a, b, c, d)	=	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบฟัซซี่
CRL	=	จำนวนชุดตัวอย่างที่สมบูรณ์
LCL_{CRL}	=	ขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม CRL
s_t	=	ค่า Scroe ของแผนภูมิควบคุม RUNSUM
x_t	=	ค่าตัวแปรที่พิจารณา
μ_0	=	ค่าเฉลี่ยกำหนดมีค่าเท่ากับ 74
γ	=	ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย
I	=	ตัวบ่งชี้
ε_t	=	ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t ที่กำหนด $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$
l	=	จำนวนชุดตัวอย่างสุ่ม
λ	=	ค่าคงที่พารามิเตอร์ปรับให้เรียบ
ARL	=	จำนวนชุดตัวอย่างเฉลี่ยที่พบการเปลี่ยนแปลงครั้งแรก
$\bar{X}_t$	=	ค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่พิจารณา

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$\bar{\bar{x}}$	=	ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยชุดตัวอย่าง
$\bar{s}$	=	ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดตัวอย่าง
$c(n)$	=	ค่าพารามิเตอร์ในการปรับค่าการประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
n	=	ขนาดตัวอย่าง
R_{+i}	=	พื้นที่เหนือเส้นกึ่งกลางของแผนภูมิควบคุม RUNSUM
R_{-i}	=	พื้นที่ใต้เส้นกึ่งกลางของแผนภูมิควบคุม RUNSUM
α_i	=	ค่า Score ของพื้นที่เหนือเส้นกึ่งกลางของแผนภูมิควบคุม RUNSUM
β_i	=	ค่า Score ของพื้นที่ใต้เส้นกึ่งกลางของแผนภูมิควบคุม RUNSUM
z_i	=	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของทุกค่าเฉลี่ยตัวอย่างก่อนหน้านี้
CRL_S	=	แผนภูมิควบคุม CRL Sub-chart ในแผนภูมิควบคุม Synthetic
δ	=	ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยในแผนภูมิควบคุม Synthetic
$ARL_S(0)$	=	จำนวนชุดตัวอย่างเฉลี่ยที่พบการเปลี่ยนแปลงครั้งแรกเมื่อกระบวนการอยู่ใน ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม Synthetic
$\tilde{C}(x)$	=	ระดับความสมบูรณ์ของแผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart
$\tilde{N}(x)$	=	ระดับความไม่สมบูรณ์ของแผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart
$E(x)$	=	ค่าคาดหวังของตัวแปรที่พิจารณา
$C.D.F$	=	ความน่าจะเป็นสะสม
$Var(x)$	=	ความแปรปรวนของตัวแปรที่พิจารณา
$ARL_S(\delta)$	=	จำนวนชุดตัวอย่างเฉลี่ยที่พบการเปลี่ยนแปลงครั้งแรกเมื่อกระบวนการเกิด การเปลี่ยนแปลงของแผนภูมิควบคุม Synthetic
β	=	ความผิดพลาดประเภทที่ 2
α	=	ความผิดพลาดประเภทที่ 1

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลง ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต

The Comparison of Efficiency for Quality Control Charts to Detect Mean Shift in Production Process

คำนำ

ในกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรมนั้นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถือเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งโดยมีจุดประสงค์เพื่อให้กระบวนการผลิตมีมาตรฐานของการผลิตและผลิตภัณฑ์มีคุณภาพได้มาตรฐานเมื่อถึงมือผู้บริโภคซึ่งทำให้เกิดความน่าเชื่อถือต่อผลิตภัณฑ์และผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกจำหน่าย การควบคุมคุณภาพมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ ใบรายการตรวจสอบ แผนภูมิแท่งปลา แผนภูมิพาเรโต แผนภูมิขั้นตอนการผลิต แผนภาพกระจาย แผนภูมิแท่งหรือฮิสโตแกรม และแผนภูมิควบคุม ซึ่งการใช้แผนภูมิควบคุมต่างๆเป็นวิธีควบคุมคุณภาพประเภทหนึ่งที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการสังเกตและตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการผลิตความสามารถของแผนภูมิควบคุมต่างๆขึ้นอยู่กับความสามารถของแต่ละแผนภูมิควบคุมว่าไวต่อการตรวจพบความผิดปกติหรือการเปลี่ยนแปลงจากค่าเดิมที่กำหนดหรือไม่ ข้อมูลที่ตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตนี้สามารถอธิบายปัญหาต่างๆของกระบวนการผลิตได้ ทำให้ผู้ผลิตสามารถลดความสูญเสียและปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบให้ดีขึ้นได้ แผนภูมิควบคุมแผนแรกเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1924 โดย Walter Shewhart ซึ่งได้ออกแบบแผนภูมิควบคุมแรก โดยให้ w คือ ตัวแปรที่สนใจ μ_w คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่สนใจ σ_w คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรที่สนใจ นิยามดังนี้ (Vahid Amirzadeh, *et al.*, 2009)

$$UCL = \mu_w + k\sigma_w$$

$$CL = \mu_w$$

$$LCL = \mu_w - k\sigma_w$$

โดย CL คือ เส้นกึ่งกลาง (Center line), LCL คือ ขอบเขตควบคุมล่าง (Lower control limit), UCL คือ ขอบเขตควบคุมบน (Upper control limit) และ k คือ ความกว้างของขอบเขตที่ห่างจากเส้นกึ่งกลาง ซึ่งส่วนใหญ่แสดงในหน่วยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การเลือกใช้ประเภทของตัวแปรที่สนใจพิจารณามีความสำคัญในการควบคุมคุณภาพ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานและสถานการณ์ที่ต้องการวิเคราะห์ทำให้สามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งตัวแปรที่สนใจพิจารณาแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวแปรแบบต่อเนื่องซึ่งสามารถวัดบนสเกลตัวเลขได้ เช่น น้ำหนัก โวลต์ ส่วนสูง ซึ่งแผนภูมิควบคุมที่ใช้พิจารณา ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$ -charts) ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมอย่างง่ายในการควบคุมคุณภาพ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนัก (EWMA) เป็นต้น และตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่สามารถแสดงเป็นหน่วยตัวเลขที่ต่อเนื่องได้ เช่น ความนุ่ม สี ซึ่งแผนภูมิควบคุมที่ใช้พิจารณา ได้แก่ แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np-chart) แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของตำหนิ (u-chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ (c-chart) เป็นต้น

แผนภูมิควบคุมแบบสัดส่วนของเสียแบบฟัซซี่ (Fuzzy p-chart) เป็นแผนภูมิควบคุมที่เกิดจากการประยุกต์ใช้หลักการของฟัซซี่เซตในการสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพ โดยแปลงค่าตัวแปรที่สนใจพิจารณาให้อยู่ในรูปของตัวแปรของระดับของความไม่สมบูรณ์ ซึ่งการประยุกต์ใช้แนวคิดของฟัซซี่สามารถใช้พิจารณาคุณลักษณะเพื่อตัดสินว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณภาพ เมื่อมีหลายปัจจัยหรือมีความไม่แน่นอนในการพิจารณา การประยุกต์ใช้แนวความคิดของฟัซซี่จึงมีประโยชน์ในการพิจารณาคุณลักษณะต่างๆ ในการพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ไม่แน่นอนและจากผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ฟัซซี่เซตพบว่าสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการได้ดี และมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน

จากผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับเรื่องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพพบว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนัก (EWMA) มีประสิทธิภาพดีในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจนำแผนภูมิดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแบบฟัซซี่ในเชิงประสิทธิภาพการใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับการใช้งานและเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

วัตถุประสงค์

ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนัก (EWMA) แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic) และแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแบบฟัซซี่ (Fuzzy p-chart) โดยข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติและความแปรปรวนของข้อมูลคงที่

ขอบเขตการวิจัย

รายละเอียดขอบเขตการวิจัยมีดังนี้

1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ใช้ศึกษาในการวิจัยนี้มี 4 ชนิด ได้แก่ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (Run Sum Control Chart: RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนัก (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart: EWMA) แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart: Synthetic) และแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแบบฟัซซี่ (Fuzzy p-chart)

2. กำหนดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ $0.2\sigma, 0.4\sigma, 0.6\sigma, 0.8\sigma, 1.0\sigma, 1.2\sigma, 1.4\sigma, 1.6\sigma, 1.8\sigma, 2.0\sigma$

3. ขนาดตัวอย่างที่พิจารณา เท่ากับ 2, 3, 4,...,10

4. ข้อมูลที่นำมาศึกษา ได้จากตัวแบบอนุกรมเวลาที่มีค่าเฉลี่ยคงที่ ดังนี้

$$x_t = \mu_0 + \gamma I + \varepsilon_t \quad \text{เมื่อ } t = 1, 2, 3, \dots$$

$$I = \begin{cases} 0 & , t \leq l \\ 1 & , t > l \end{cases}$$

โดย x_t คือ ค่าตัวแปรที่พิจารณาของอนุกรมเวลา ณ ที่เวลา t

μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติ

กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 74

- γ คือ ระดับค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ
- I คือ ตัวแปรบ่งชี้ ณ เวลาที่ t
- ε_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t ที่กำหนด $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$
โดย $\sigma^2 = 0.0001$ และเป็นอิสระต่อกัน

- l คือ จำนวนชุดตัวอย่างก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับค่าเฉลี่ย
โดยกำหนด l เท่ากับ 20, 40 และ 60

5. กำหนดขอบเขตควบคุมกำหนด (Specification Limit) เท่ากับ ± 0.05 จากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

6. ค่าถ่วงน้ำหนักของแผนภูมิควบคุม EWMA คือ λ จะเป็นค่าที่ให้ ARL (γ) ต่ำที่สุด

7. ค่า ARL (Average Run Length) เริ่มต้นสำหรับแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์ (ARL_0) เท่ากับ 300 และ 370

8. การจำลองชุดตัวอย่างสุ่มในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีมอนติคาร์โล (Monte carlo) ทำซ้ำ 1,000 ครั้ง

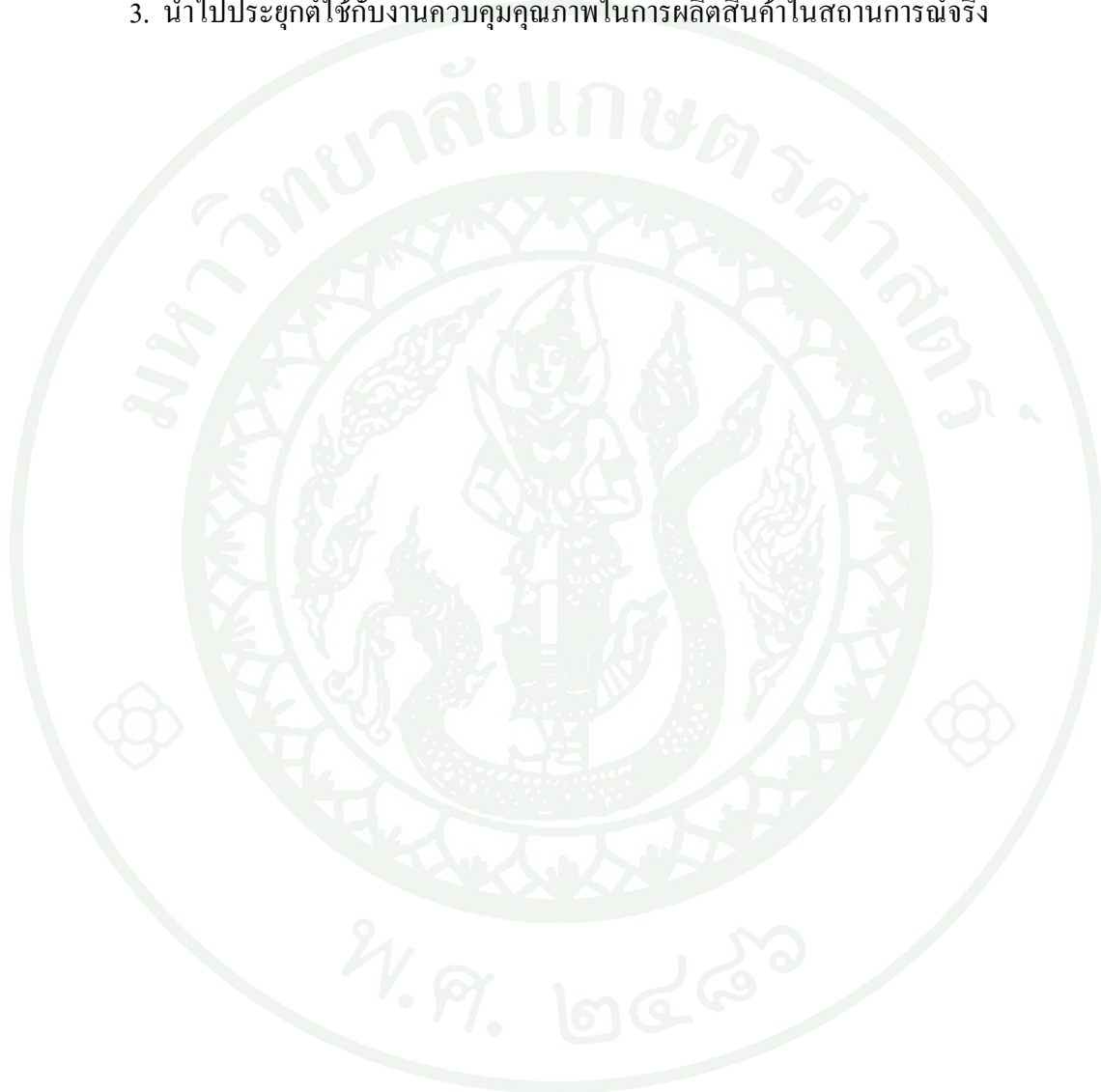
9. ภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนเพื่อวิเคราะห์ คือ โปรแกรมภาษา C

10. เกณฑ์ในการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แผนภูมิ ใช้ค่า ARL ในการพิจารณา โดยแผนภูมิควบคุมที่มีค่า ARL ต่ำที่สุด จะเป็นแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพในการตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีที่สุด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการเลือกแผนภูมิควบคุมคุณภาพให้เหมาะสมกับสถานการณ์ต่างๆ เพื่อให้แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ใช้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานและการตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

2. ทราบถึงประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแต่ละชนิดในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการภายใต้สถานการณ์ที่ศึกษา
3. นำไปประยุกต์ใช้กับงานควบคุมคุณภาพในการผลิตสินค้าในสถานการณ์จริง



การตรวจเอกสาร

การตรวจสอบเอกสารสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ วิธีการทางสถิติ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีการทางสถิติ

วิธีการทางสถิติประกอบด้วยส่วนของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ 4 ชนิดและวิธีการในการพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1. แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM)

แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งเป็นแผนภูมิควบคุมอย่างง่าย แต่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการการผลิต วิธีการควบคุมผลรวมแบบวิ่ง คือ การใช้ค่า $\bar{X}_i$ ที่ได้จากผลลัพธ์ของกระบวนการทำซ้ำๆกัน หลายๆครั้ง โดยวิธีการหาแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 วิธีการหาขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง

ขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง จะมีเส้นกึ่งกลาง (Center line) โดยมีค่าเท่ากับ $\bar{\bar{x}}$ ส่วนเส้นที่อยู่เหนือจากเส้นกึ่งกลางคือ $\bar{\bar{x}} + \frac{1\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{\bar{x}} + \frac{2\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{\bar{x}} + \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$ ตามลำดับและเส้นที่อยู่ใต้เส้นกึ่งกลางคือ $\bar{\bar{x}} - \frac{1\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{\bar{x}} - \frac{2\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{\bar{x}} - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$ ตามลำดับ

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

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

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

β_i คือค่า (score) ที่อยู่ในพื้นที่ R_{-i}

ดังนั้นพื้นที่ $R_{+0}, R_{+1}, R_{+2}, R_{+3}$ จะมีค่าเท่ากับ $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ซึ่งเท่ากับ +0, +1, +2, +3 ตามลำดับ

ส่วนพื้นที่ $R_{-0}, R_{-1}, R_{-2}, R_{-3}$ จะมีค่าเท่ากับ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ ซึ่งเท่ากับ -0, -1, -2, -3 ตามลำดับ

โดย $R_i, R_j, \alpha_i, \beta_j$ ถูกกำหนดโดย Charles W. Champ and Steven E. Rigdon (1997) ดังนี้ (Champ and Rigdon, 1997)

$\bar{\bar{x}} + 3\sigma/\sqrt{n}$	พื้นที่ R_{+3}	score = α_3
$\bar{\bar{x}} + 2\sigma/\sqrt{n}$	พื้นที่ R_{+2}	score = α_2
$\bar{\bar{x}} + 1\sigma/\sqrt{n}$	พื้นที่ R_{+1}	score = α_1
$\bar{\bar{x}}$	พื้นที่ R_{+0}	score = α_0
$\bar{\bar{x}} - 1\sigma/\sqrt{n}$	พื้นที่ R_{-0}	score = β_0
$\bar{\bar{x}} - 2\sigma/\sqrt{n}$	พื้นที่ R_{-1}	score = β_1
$\bar{\bar{x}} - 3\sigma/\sqrt{n}$	พื้นที่ R_{-2}	score = β_2
	พื้นที่ R_{-3}	score = β_3

ภาพที่ 1 ขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบว้าง

ส่วนที่ 2 แสดงวิธีการหาค่าความยาวว้างโดยเฉลี่ย (ARL)

แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบว้าง มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาขอบเขตควบคุมตามวิธีการในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มตัวอย่าง $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ จำนวน n ค่า และคำนวณหาค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ แล้วนำค่า $\bar{x}$ มาใช้ในการตรวจสอบ

ขั้นตอนที่ 3 นำค่า $\bar{x}$ ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาเปรียบเทียบกับขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบว้างจะได้ค่า (score) ให้เท่ากับค่า s_t ถ้าค่า $\bar{x}$ ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มากกว่า $\bar{\bar{x}}$ จะได้ค่า s_t ที่มีเครื่องหมายเป็นบวก (α_i) แต่ถ้าค่า $\bar{x}$ ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 น้อยกว่า $\bar{\bar{x}}$ จะได้ค่า s_t ที่มีเครื่องหมายเป็นลบ (β_j)

ขั้นตอนที่ 4 นำค่า s_t ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ไปเปรียบเทียบกับค่า s_t ก่อนหน้านี้ (s_{t-1}) (ในการสุ่มตัวอย่างครั้งแรก $s_{t-1} = 0$) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ

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

4.2 ถ้าค่า s_t กับ s_{t-1} มีค่าเป็นบวกหรือลบต่างกัน จะได้ค่า s_t ใหม่ คือ ค่า s_t ในปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 5 ถ้าค่า s_i ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 น้อยกว่า 3 หรือมากกว่า -3 แสดงว่ากระบวนการยังอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุมให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าค่า s_i มากกว่าหรือเท่ากับ 3 หรือน้อยกว่าหรือเท่ากับ -3 แสดงว่ากระบวนการเริ่มมีความผิดปกติ

การตัดสินใจ
ถ้าค่า $s_i \geq 3$ หรือค่า $s_i \leq -3$ แสดงว่ากระบวนการเริ่มมีความผิดปกติเกิดขึ้น (ในกรณีนี้ค่า 3 และ -3 ถูกกำหนดโดย John H. Reynolds) (Reynolds, 1971)

2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนัก (EWMA : Exponentially Weighted Moving Average Control Chart)

แผนภูมิควบคุม EWMA เป็นแผนภูมิควบคุมที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลแต่ละค่าไม่เท่ากัน โดยให้ความสำคัญกับข้อมูลล่าสุดมากที่สุดและให้ความสำคัญกับข้อมูลในอดีตน้อยลงแบบเอ็กโพเนนเชียล ดังนั้นค่าเฉลี่ยทุกกลุ่มตัวอย่างจะถูกนำมาร่วมพิจารณา โดยจะให้น้ำหนักกับค่าเฉลี่ยตัวอย่างชุดล่าสุดเป็นค่า λ ให้น้ำหนักค่าถัดไปด้วยค่า $\lambda(1-\lambda)$ และให้น้ำหนักค่าถัดไปด้วยค่า $\lambda(1-\lambda)^2$ ตามลำดับ ซึ่งการสร้างขอบเขตควบคุมจะกำหนดค่าเฉลี่ยกระบวนการเป็นเส้นกลาง ถ้ากระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุม ข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักจะกระจายแบบสุ่มภายในขอบเขตควบคุม แต่ถ้ากระบวนการออกนอกขอบเขตควบคุม ข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงจนค่าออกนอกขอบเขตควบคุมบนหรือล่าง ซึ่งแผนภูมิควบคุม EWMA นี้เป็นแผนภูมิควบคุมที่เป็นทางเลือกที่ดีอย่างหนึ่งในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงที่ละน้อย โดยมีนิยามดังนี้ (นัชริญาภรณ์, 2548)

$$z_i = \lambda X_i + (1-\lambda)z_{i-1}; i = 1, 2, \dots \quad \text{----- (1)}$$

โดย z_i คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของทุกค่าเฉลี่ยตัวอย่างก่อนหน้า
 X_i คือ ค่าข้อมูลตัวอย่างที่ i ใดๆ
 λ คือ ค่าคงที่ของพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

กำหนดค่าเริ่มต้นของ z_0 เท่ากับค่าเฉลี่ยกระบวนการ จะได้ $z_0 = \mu_0$ จากสมการ (1) สามารถขยายรูปสมการต่อไปได้คือ

$$\begin{aligned} z_i &= \lambda x_i + (1-\lambda)\{\lambda x_{i-1} + (1-\lambda)z_{i-2}\} \\ &= \lambda x_i + \lambda(1-\lambda)x_{i-1} + (1-\lambda)^2 z_{i-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \lambda x_i + \lambda(1-\lambda)x_{i-1} + (1-\lambda)^2 [\lambda x_{i-2} + (1-\lambda)z_{i-3}] \\
&= \lambda x_i + \lambda(1-\lambda)x_{i-1} + \lambda(1-\lambda)^2 x_{i-2} + (1-\lambda)^3 z_{i-3} \quad \text{----- (2)}
\end{aligned}$$

สามารถสรุปได้ว่า

$$z_i = \lambda \sum_{j=0}^{i-1} (1-\lambda)^j x_{i-j} + (1-\lambda)^i z_0 \quad \text{----- (3)}$$

กำหนดให้ x_i เป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน มีความแปรปรวน σ^2 ดังนั้นจะได้ค่าความแปรปรวนของ z_i จาก

$$\begin{aligned}
z_i &= \lambda x_i + \lambda(1-\lambda)x_{i-1} + \lambda(1-\lambda)^2 x_{i-2} + \dots + \lambda(1-\lambda)^{i-1} x_1 + (1-\lambda)^i z_0 \\
&\text{จะได้} \\
v(z_i) &= \lambda^2 v(x_i) + (\lambda(1-\lambda))^2 v(x_{i-1}) + (\lambda(1-\lambda)^2)^2 v(x_{i-2}) + \dots + (\lambda(1-\lambda)^{i-1})^2 v(x_1) + ((1-\lambda)^i)^2 v(z_0) \\
v(z_i) &= \sigma^2 [\lambda^2 + (\lambda(1-\lambda))^2 + (\lambda(1-\lambda)^2)^2 + \dots + (\lambda(1-\lambda)^{i-1})^2 + ((1-\lambda)^i)^2] \\
v(z_i) &= \sigma^2 \left[\frac{\lambda^2 (1 - (1-\lambda)^{2i})}{(1 - (1-\lambda)^2)} \right] \\
v(z_i) &= \sigma^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1-\lambda)^{2i}] \quad \text{----- (4)}
\end{aligned}$$

พิจารณาขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม EWMA คือ

$$UCL_{EWMA} = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad \text{----- (5a)}$$

$$CL_{EWMA} = \mu_0 \quad \text{----- (5b)}$$

$$LCL_{EWMA} = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad \text{----- (5c)}$$

เมื่อ μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยกระบวนการ
 σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดตัวอย่าง

เมื่อ i มีค่ามาก จะทำให้พจน์ $[1 - (1-\lambda)^{2i}]$ มีค่า趨เข้าเท่ากับ 1 และใช้หลักการของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ เนื่องจากเป็นขอบเขตควบคุมพื้นฐาน จะได้ (ปรีศน์, 2544)

$$UCL_{EWMA} = \mu_0 + 3\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \quad \text{----- (6a)}$$

$$CL_{EWMA} = \mu_0 \quad \text{----- (6b)}$$

$$LCL_{EWMA} = \mu_0 - 3\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \quad \text{----- (6c)}$$

การเลือกค่า λ จะเลือกจากค่า λ ที่ทำให้ได้ค่า $ARL(\gamma)$ ต่ำที่สุด โดยการเริ่มต้นค่า λ เท่ากับ 0.05 และเพิ่มค่า λ ทีละ 0.05 จนถึงค่า λ เท่ากับ 0.95 ซึ่งนำค่า λ แต่ละค่ามาสร้างขอบเขตควบคุม UCL และ LCL และหาค่า ARL เมื่อได้ค่า ARL สำหรับค่า λ ที่กำหนดแล้ว จะเลือกค่า λ ที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดเป็นค่า λ ที่ใช้ในแผนภูมิควบคุม EWMA สำหรับค่า γ หนึ่งๆ เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ

3. แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic)

แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic) เป็นแผนภูมิควบคุมคุณภาพที่เกิดจากการรวมกันของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ และแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเลงจ์ (Conforming Run Length Control Chart หรือ CRL Chart)

แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ เป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้สำหรับควบคุมคุณภาพโดยเฉลี่ยในกระบวนการผลิตภายใต้ขอบเขตของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยมีขอบเขตควบคุมดังนี้ (Zhang and Spedding, 2000)

$$UCL_{\bar{X}} = \mu_0 + k\sigma_{\bar{X}} \quad \text{----- (7a)}$$

$$CL_{\bar{X}} = \mu_0 \quad \text{----- (7b)}$$

$$LCL_{\bar{X}} = \mu_0 - k\sigma_{\bar{X}} \quad \text{----- (7c)}$$

เมื่อ $\sigma_{\bar{X}}$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง (Standard Error of Sample Mean) ซึ่งค่า k ของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ที่นำมาใช้กับแผนภูมิควบคุม Synthetic จะเปลี่ยนไปตามสถานการณ์ต่างๆ โดยใช้วิธีการของแผนภูมิควบคุม Synthetic ในการหาค่า k

แผนภูมิควบคุม CRL เป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการตรวจสอบหน่วยที่ตรวจสอบ (Inspection Unit) ตั้งแต่เริ่มต้นไปจนถึงพบหน่วยตรวจสอบที่ผิดปกติ โดยตัวแปรสุ่ม CRL มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเรขาคณิต มีพารามิเตอร์ คือ p โดย p คือ ความน่าจะเป็นที่จะพบหน่วย

ตรวจสอบที่ผิดปกติ เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\frac{1}{p}$ และฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม คือ $1 - (1 - p)^{CRL}$ เมื่อ $CRL = 1, 2, \dots$

ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CRL จะพิจารณาเพียงขอบเขตควบคุมล่าง เนื่องจากค่า CRL จะน้อยเมื่อ p มีค่ามากและ CRL จะมีค่ามากเมื่อ p มีค่าน้อย ดังนั้นจึงสนใจเฉพาะ CRL ที่มีค่าน้อย เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการผิดปกติหรือออกนอกขอบเขตควบคุมหรือไม่

แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic) ประกอบด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ที่เรียกว่า $\bar{X}$ Sub-chart ให้แทนด้วย $\bar{X}_S$ และแผนภูมิควบคุม CRL เรียกว่า CRL Sub-chart ให้แทนด้วย CRL_S ดังนั้นแผนภูมิควบคุม Synthetic จึงมีการควบคุม 2 ครั้งจากขอบเขตควบคุม 2 ชุด คือ ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}_S$ และขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CRL_S ซึ่งจะพิจารณาเพียงขอบเขตควบคุมล่างเพียงอย่างเดียว ให้แทนด้วย LCL_{CRL} การคำนวณหาขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 2 แบบ จะต้องหาค่า k และ LCL_{CRL} ที่เหมาะสม ดังนั้นขั้นตอนในการหาค่าพารามิเตอร์ k และ LCL_{CRL} มีดังนี้ (Zhang and Spedding, 2000)

1. กำหนดค่าขนาดตัวอย่าง (n), δ และ $ARL_S(0)$ โดยที่ $ARL_S(0)$ คือค่า ARL เริ่มต้นของแผนภูมิควบคุม Synthetic

2. กำหนดค่าเริ่มต้นของ LCL_{CRL} เท่ากับ 1

3. นำค่า LCL_{CRL} ไปแก้สมการ (8)

$$ARL_S(0) = \frac{1}{2\Phi(-k)} \times \frac{1}{1 - [1 - 2\Phi(-k)]^{LCL_{CRL}}} \quad \text{----- (8)}$$

4. นำค่า k และ LCL_{CRL} ที่ได้จากสมการที่ (8) ไปคำนวณค่า $ARL_S(\delta)$ ในสมการที่ (9)

$$ARL_S(\delta) = \frac{1}{P(\delta)} \times \frac{1}{1 - [1 - P(\delta)]^{LCL_{CRL}}} \quad \text{----- (9)}$$

โดยที่ $P(\delta) = 1 - [\Phi(k - \delta\sqrt{n}) - \Phi(-k - \delta\sqrt{n})]$ และ $ARL_S(\delta)$ คือ ค่า ARL เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งถ้า $ARL_S(\delta)$ มีค่าน้อยที่สุด แสดงว่ามีการตรวจพบว่ากระบวนการไม่อยู่ในขอบเขตควบคุมได้เร็วที่สุด

5. เปรียบเทียบค่า $ARL_S(\delta)$ ปัจจุบันกับค่า $ARL_S(\delta)$ ก่อนค่าปัจจุบัน 1 ค่า ถ้าค่า $ARL_S(\delta)$ ค่าปัจจุบันน้อยกว่าค่าก่อนปัจจุบัน ให้กลับไปทำในขั้นตอนที่ 3 โดยค่า LCL_{CRL} จะเพิ่มขึ้นละหนึ่ง แต่ถ้าค่า $ARL_S(\delta)$ มีค่ามากกว่าค่าก่อนปัจจุบัน ให้ทำขั้นตอนที่ 6

6. นำค่า k และ LCL_{CRL} ที่ให้ค่า $ARL_S(\delta)$ น้อยที่สุด เป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม Synthetic ซึ่งค่า k คือสัมประสิทธิ์ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ดังสมการที่ 6 และค่า LCL_{CRL} คือขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม CRL_S

ในการตัดสินใจว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ จะใช้ขอบเขตควบคุมของทั้งสองแผนภูมิควบคุมมาใช้ร่วมกันดังนี้

1. คำนวณขอบเขตควบคุมบนและล่างของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}_S$ คือ $UCL_{\bar{X}}$ และ $LCL_{\bar{X}}$ และคำนวณขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม CRL_S คือ LCL_{CRL}

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

3. ตรวจสอบค่า $\bar{X}$ กับขอบเขตควบคุม $\bar{X}_S$ ถ้า $\bar{X}$ มีค่าน้อยกว่าขอบเขตควบคุมบน $UCL_{\bar{X}}$ หรือมีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมล่าง $LCL_{\bar{X}}$ แสดงว่าตัวอย่างนี้ยังคงอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุม ให้กลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าออกนอกขอบเขตควบคุมให้ทำต่อในขั้นตอนที่ 4

4. หาค่า CRL โดยการนับจำนวนตัวอย่างที่อยู่ในขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}_S$ ก่อนที่จะเปลี่ยนไปอยู่นอกขอบเขตควบคุม จำนวนที่นับได้นี้คือค่า CRL

5. ตรวจสอบค่า CRL กับขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม CRL_S ถ้า CRL มากกว่าค่า LCL_{CRL} แสดงว่ากระบวนการยังอยู่ภายใต้การควบคุมและให้กลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าค่า CRL นี้น้อยกว่าค่า LCL_{CRL} แล้วจะถือว่ากระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุม

4. แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแบบฟัซซี่ (Fuzzy p-chart)

ศาสตราจารย์ Zadeh ได้เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับเซตของความไม่แน่นอน (fuzzy set) ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งได้มีการอธิบายและให้ความสนใจอย่างต่อเนื่องสำหรับแนวความคิดนี้ โดยได้มีการพยายามที่จะประยุกต์แนวความคิดนี้กับปัญหาทางสถิติ เมื่อพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์มีค่าที่เบี่ยงเบนกระจายรอบค่าที่กำหนดจนกระทั่งถึงขอบเขตที่กำหนดมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และหากพิจารณาค่า “ระดับความไม่สมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์” ของแต่ละชุดตัวอย่างมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้แนวความคิดแบบฟัซซี่ ในการสร้างแผนภูมิควบคุมแผ่นใหม่ โดยใช้ค่า “ระดับความไม่สมบูรณ์” มาสร้างแผนภูมิควบคุมใหม่นี้

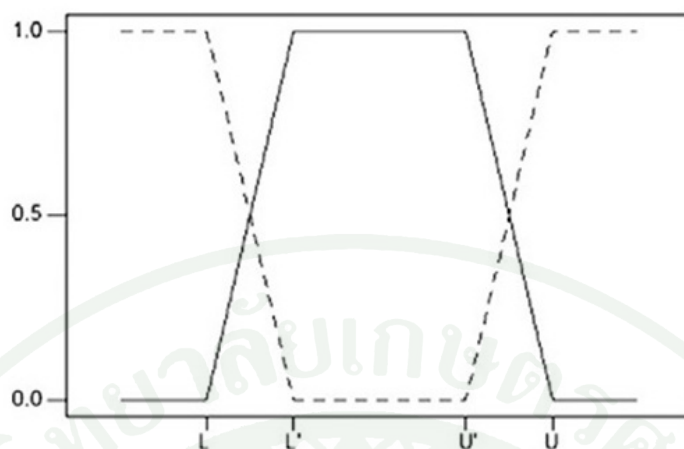
แผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart เป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้ค่า “ระดับความไม่สมบูรณ์” ที่ใช้แนวคิดของฟัซซี่สร้างแผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart โดยมีหลักการดังนี้

ค่า “ระดับความสมบูรณ์” แบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal fuzzy number) ซึ่งมีฟังก์ชัน $T(a,b,c,d)$ เมื่อ $a \leq b \leq c \leq d$ มีฟังก์ชันดังนี้ (Vahid Amirzadeh, *et al.*, 2009)

$$T(a,b,c,d)(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad \text{----- (10)}$$

ในกรณีเฉพาะ เมื่อ $b = c$ ซึ่งจะเป็นแบบสามเหลี่ยม (Triangular fuzzy number) ในการวิจัยครั้งนี้สนใจพิจารณาค่า “ระดับความสมบูรณ์” แบบสามเหลี่ยม

เมื่อพิจารณาว่าภายในขอบเขตควบคุมผลิตภัณฑ์มีค่า “ระดับความสมบูรณ์” ซึ่งสามารถสร้างแผนภูมิควบคุมโดยใช้แนวความคิดฟัซซี่เข้ามาประยุกต์ดังนี้ (Vahid Amirzadeh, *et al.*, 2009)



ภาพที่ 2 กราฟของ $\tilde{C}(-)$ และ $\tilde{N}(-)$

ถ้าค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่นอกขอบเขตควบคุมค่า “ระดับความสมบูรณ์” เป็นศูนย์ ถ้าอยู่ในช่วง $[L, L']$ และ $[U, U']$ ค่า “ระดับความสมบูรณ์” มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าอยู่ในช่วง $[L', U']$ ค่า “ระดับความสมบูรณ์” มีค่าเป็น 1 ถ้าให้ X คือตัวแปรทางลักษณะของผลิตภัณฑ์ นิยามค่า “ระดับความสมบูรณ์” ของผลิตภัณฑ์ดังนี้ (Vahid Amirzadeh, *et al.*, 2009)

$$C(x) = \begin{cases} 0 & , \quad L < x \\ \frac{x-L}{L'-L} & , \quad L \leq x < L' \\ 1 & , \quad L' \leq x < U' \\ \frac{U-x}{U-U'} & , \quad U' \leq x < U \\ 0 & , \quad x \leq U \end{cases}$$

โดย $C(x)$ คือ ฟังก์ชันของค่า “ระดับความสมบูรณ์”

$N(x) = 1 - C(x)$ คือฟังก์ชันของค่า “ระดับความไม่สมบูรณ์”

การสร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแบบฟัซซี่ (Fuzzy p-chart)

ให้ X เป็นตัวแปรทางลักษณะของผลิตภัณฑ์และให้ X มีการแจกแจงปกติ โดยมีค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2 และค่า “ระดับความไม่สมบูรณ์” ของ X เป็นตัวแปรสุ่มต่อเนื่องที่มีขอบเขต โดยค่าเฉลี่ย $\mu_{\tilde{N}} = E(\tilde{N}(x))$ และความแปรปรวน $\sigma^2 = \text{Var}(\tilde{N}(x))$

ให้ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ เป็นตัวอย่างสุ่มที่เป็นค่าตัวแปรของ X แล้ว $\tilde{N}(X_1), \dots, \tilde{N}(X_n)$ เป็นตัวอย่างสุ่มจาก $\tilde{N}(X)$ สามารถสร้างขอบเขตควบคุมดังนี้ (Vahid Amirzadeh, *et al.*, 2009)

$$UCL = E(\tilde{N}) + k\sqrt{\text{Var}(\tilde{N})} = \mu_{\tilde{N}} + k \frac{\sigma_{\tilde{N}}}{\sqrt{n}} \quad \text{----- (11a)}$$

$$CL = E(\tilde{N}) = \mu_{\tilde{N}} \quad \text{----- (11b)}$$

$$LCL = E(\tilde{N}) - k\sqrt{\text{Var}(\tilde{N})} = \mu_{\tilde{N}} - k \frac{\sigma_{\tilde{N}}}{\sqrt{n}} \quad \text{----- (11c)}$$

เมื่อ $\tilde{N} = \frac{\tilde{N}(X_1) + \dots + \tilde{N}(X_n)}{n}$ และ k คือความกว้างของขอบเขตควบคุมที่ห่างจากเส้นกึ่งกลาง โดยปกติจะใช้ค่า k เท่ากับ 3 เป็นขอบเขตควบคุม ถ้าค่า $\tilde{N}$ ของแต่ละชุดตัวอย่างออกนอกขอบเขตควบคุมแสดงว่ากระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม

5. เกณฑ์การพิจารณาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม

การพิจารณาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม จำเป็นต้องมีหลักการในการวัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม เพื่อเป็นที่ยืนยันถึงความสามารถในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการจากค่าตัวแปรซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะปกติที่กำหนด ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้จำนวนชุดตัวอย่างเฉลี่ยก่อนที่จะตรวจพบการเปลี่ยนแปลงครั้งแรกของค่าตัวแปร (Average Run Lengths: ARL) เป็นค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แผนภูมิ โดยมีหลักการ ดังนี้

เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการจะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ II (β) หรือกล่าวได้ว่าเมื่อสมมติฐานเป็นเท็จแต่ยอมรับว่าเป็นจริง ค่าที่จะสามารถตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเท่ากับ $1-\beta$ (อำนาจการทดสอบ) เมื่อพิจารณาว่ากระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนชุดตัวอย่าง $r-1$ ไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งชุดตัวอย่างที่ r จึงสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงได้ จะได้

$$f(r) = \beta^{r-1} (1-\beta) \quad \text{----- (12)}$$

จำนวนชุดตัวอย่างเฉลี่ยก่อนที่จะตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรครั้งแรก จะได้

$$ARL_1 = E(r) = \sum_{r=1}^{\infty} r\beta^{r-1} (1-\beta)$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{r=1}^{\infty} r\beta^{r-1} - \sum_{r=1}^{\infty} r\beta^r \\
&= [1 + 2\beta + 3\beta^2 + \dots] - [\beta + 2\beta^2 + 3\beta^3 + \dots] \\
&= [1 + \beta + \beta^2 + \dots] \quad \text{----- (13)}
\end{aligned}$$

ค่า β มีขอบเขตเท่ากับ $0 < \beta < 1$ และจากสมการ(13) เป็นอนุกรมเรขาคณิต จะได้

$$ARL_1 = \frac{1}{1-\beta} \quad \text{----- (14)}$$

เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุมจะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ I (α) หรือกล่าวว่าเมื่อสมมติฐานเป็นจริงแต่ปฏิเสธ ค่าที่ยอมรับว่ากระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุมเท่ากับ $1 - \alpha$ (ช่วงความเชื่อมั่น) เมื่อพิจารณาว่ากระบวนการเกิดการยอมรับจำนวนชุดตัวอย่าง $r - 1$ จนกระทั่งชุดตัวอย่างที่ r จึงปฏิเสธ (บ่งชี้ว่ากระบวนการผิดปกติ) จะได้

$$f(r) = (1-\alpha)^{r-1} \alpha \quad \text{----- (15)}$$

$$\begin{aligned}
ARL_0 = E(r) &= \sum_{r=1}^{\infty} r(1-\alpha)^{r-1} (1-(1-\alpha)) \\
&= \sum_{r=1}^{\infty} r(1-\alpha)^{r-1} - \sum_{r=1}^{\infty} r(1-\alpha)^r
\end{aligned}$$

$$ARL_0 = [1 + 2(1-\alpha) + 3(1-\alpha)^2 + \dots] - [(1-\alpha) + 2(1-\alpha)^2 + 3(1-\alpha)^3 + \dots]$$

$$ARL_0 = [1 + (1-\alpha) + (1-\alpha)^2 + \dots] \quad \text{----- (16)}$$

ค่า $1 - \alpha$ มีขอบเขตเท่ากับ $0 < 1 - \alpha < 1$ และจากสมการ(16) เป็นอนุกรมเรขาคณิต จะได้

$$ARL_0 = \frac{1}{1-(1-\alpha)} = \frac{1}{\alpha} \quad \text{----- (17)}$$

เกณฑ์ในการพิจารณาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพคือแผนภูมิที่ให้ค่า ARL ต่ำเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรัศนี (2544) ได้ศึกษาหาขอบเขตควบคุมและประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในค่าเฉลี่ย โดยใช้จำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยเป็นสิ่งที่เปรียบเทียบ โดยเปรียบเทียบภายใต้ตัวแบบอนุกรมเวลาค่าเฉลี่ยคงที่ แผนภูมิควบคุมที่ใช้ได้แก่ แผนภูมิค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมบวกสะสม (CUSUM) และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic) ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.5\sigma, 0.6\sigma, 0.7\sigma, \dots, 1.5\sigma, 2.0\sigma, 2.5\sigma, 3.0\sigma$ ความแปรปรวน

ของค่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม $\sigma^2 = 1$ ขนาดตัวอย่าง $n = 2, 3, 4, \dots, 11, 14$ และ 15 ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่ออยู่ภายใต้การควบคุมเท่ากับ 5 ค่า ARL เริ่มต้นสำหรับแผนภูมิสังเคราะห์เท่ากับ 300, 370, 400 ผลวิจัยพบว่าแต่ละแผนภูมิจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ขณะที่ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยมีค่ามากขึ้น ยกเว้นแผนภูมิควบคุมบวกสะสม ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากสำหรับการเปลี่ยนแปลงที่ระดับต่ำ และขนาดตัวอย่างที่น้อย แผนภูมิสังเคราะห์มีประสิทธิภาพมากที่สุด เกือบทุกสถานการณ์ที่ศึกษา ทั้งนี้บางสถานการณ์จะมีแผนภูมิควบคุมมากกว่าหนึ่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดใกล้เคียงกัน

นิยม (2545) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 แบบ ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย ซึ่งแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบประกอบด้วย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยที่ปรับน้ำหนักแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic) และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4, 5, 6, ..., 50 และระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย คือ 0.5 σ , 0.6 σ , ..., 5 σ ผลการวิจัยพบว่าที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยระดับน้อย [0.5, 0.8] เมื่อขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 4 ถึง 6 แผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีค่า ARL ต่ำสุด ขนาดตัวอย่าง 7 ถึง 8 แผนภูมิควบคุม RUNSUM และ Synthetic 300 จะมีค่า ARL ต่ำสุด ขนาดตัวอย่าง 9 หรือมากกว่า แผนภูมิควบคุม Synthetic 300 จะมีค่า ARL ต่ำสุด ที่ระดับ [0.9, 2.0] เมื่อขนาดตัวอย่าง 4 ถึง 6 แผนภูมิควบคุม Synthetic 300 และ Synthetic 370 จะมีค่า ARL ต่ำสุด ขนาดตัวอย่าง 7 ถึง 10 แผนภูมิควบคุม Synthetic จะมีค่า ARL ต่ำสุด ขนาดตัวอย่าง 15 หรือมากกว่า ทุกแผนภูมิควบคุมมีค่า ARL เท่ากัน

นภัสพร (2545) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยในค่าเฉลี่ย แผนภูมิควบคุม ได้แก่ แผนภูมิควบคุมเฉลี่ย ($\bar{X}$) แผนภูมิควบคุมเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนักโดยเอ็กซ์โพเนนเชียล (E) แผนภูมิควบคุมรวมค่าเฉลี่ยและผลรวมสะสม (C-S) และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (S) โดยเปรียบเทียบจำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL ภายใต้ตัวแบบอนุกรมเวลาแบบค่าเฉลี่ยคงที่เฉพาะช่วงเวลา โดยตัวอย่างสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100 ความแปรปรวนเท่ากับ 100 ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 25 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 และ 27 30 33 35 ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 2 3 4 5 6 7 8 9 10 15 20 30 40 50 และ 60 ผลวิจัยพบว่าระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยน้อยระหว่าง 1 ถึง 5 เมื่อขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 2 ถึง 4 แผนภูมิควบคุม C-S และแผนภูมิควบคุม E มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ขนาดตัวอย่าง 5 ถึง 6 แผนภูมิควบคุม E มีประสิทธิภาพมากที่สุด ขนาดตัวอย่าง 7 หรือมากกว่า แผนภูมิควบคุม E และแผนภูมิควบคุม S เมื่อ $ARL(0) = 200$ มีประสิทธิภาพมากที่สุด

Borror *et al.* (1999) ได้ศึกษาแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ และแผนภูมิควบคุม EWMA ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1 และได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่เปลี่ยนแปลงค่า ARL เท่ากับ 370.4 ภายใต้สมมติฐานของค่าสังเกตที่สุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ รวมทั้งแสดงให้เห็นอีกว่า แผนภูมิควบคุม EWMA นั้นมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย ภายใต้สมมติฐานของค่าสังเกตที่มีการแจกแจงแบบปกติและการแจกแจงไม่เป็นปกติ คือ มีการแจกแจงแบบทึและแบบแกมมา ซึ่งได้มีการสรุปไว้ว่าแผนภูมิควบคุม EWMA สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$

Zhang and Spedding (2000) ได้ศึกษาเปรียบเทียบโดยใช้แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ แผนภูมิควบคุม EWMA แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ และ EWMA และแผนภูมิควบคุม Synthetic ผลสรุปว่า แผนภูมิควบคุม Synthetic จะสามารถตรวจพบกระบวนการที่ผิดปกติได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ และ EWMA เมื่อค่าเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงไปมากกว่า 0.8 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และแผนภูมิควบคุม Synthetic จะสามารถตรวจพบกระบวนการที่ผิดปกติได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ เมื่อค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไประหว่าง 0.5 ถึง 2.0 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Calzada and Scariano (2001) ได้ศึกษาแผนภูมิควบคุม Synthetic ที่เกิดจากการรวมกันของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ และแผนภูมิควบคุม CRL ซึ่งแผนภูมิควบคุม Synthetic จะสามารถตรวจพบกระบวนการที่ผิดปกติได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ภายใต้สมมติฐานของค่าสังเกตที่มีการแจกแจงปกติ ผลการวิจัยพบว่า แผนภูมิควบคุม Synthetic จะมีประสิทธิภาพที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4 และ 5 เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

Vera do Carmo C. de Vargas, *et al.* (2004) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม CUSUM และแผนภูมิควบคุม EWMA เพื่อค้นคว้าว่าแผนภูมิทั้งสองแบบนี้สามารถใช้งานได้ดีในช่วงใด เพื่อตรวจพบความเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของกระบวนการ โดยใช้ค่า ARL เป็นตัวเปรียบเทียบความสามารถ พบว่า แผนภูมิควบคุม CUSUM ไม่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเมื่อระดับของการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง $\pm 1\sigma$ แต่สำหรับแผนภูมิควบคุม EWMA สามารถตรวจพบความเปลี่ยนแปลงในช่วงที่กล่าวมาได้ดีกว่า

Vahid Amirzadeh, *et al.* (2009) ได้ศึกษาการสร้างแผนภูมิควบคุม p-chart โดยใช้ค่า “ระดับความไม่สมบูรณ์” โดยใช้หลักการฟิชชี และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผนภูมิ p-chart แบบเดิม พบว่าแผนภูมิควบคุมแบบใหม่ตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการและความแปรปรวนได้ดี



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ของภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. โปรแกรมภาษา C

วิธีการ

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบ คือ แผนภูมิควบคุม RUNSUM แผนภูมิควบคุม EWMA แผนภูมิควบคุม Synthetic และแผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart สถานการณ์ต่างๆในการวิจัยครั้งนี้กำหนดจากการจำลองโดยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) โดยกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติเท่ากับ 74 และค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 0.01

ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน และแผนภูมิขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

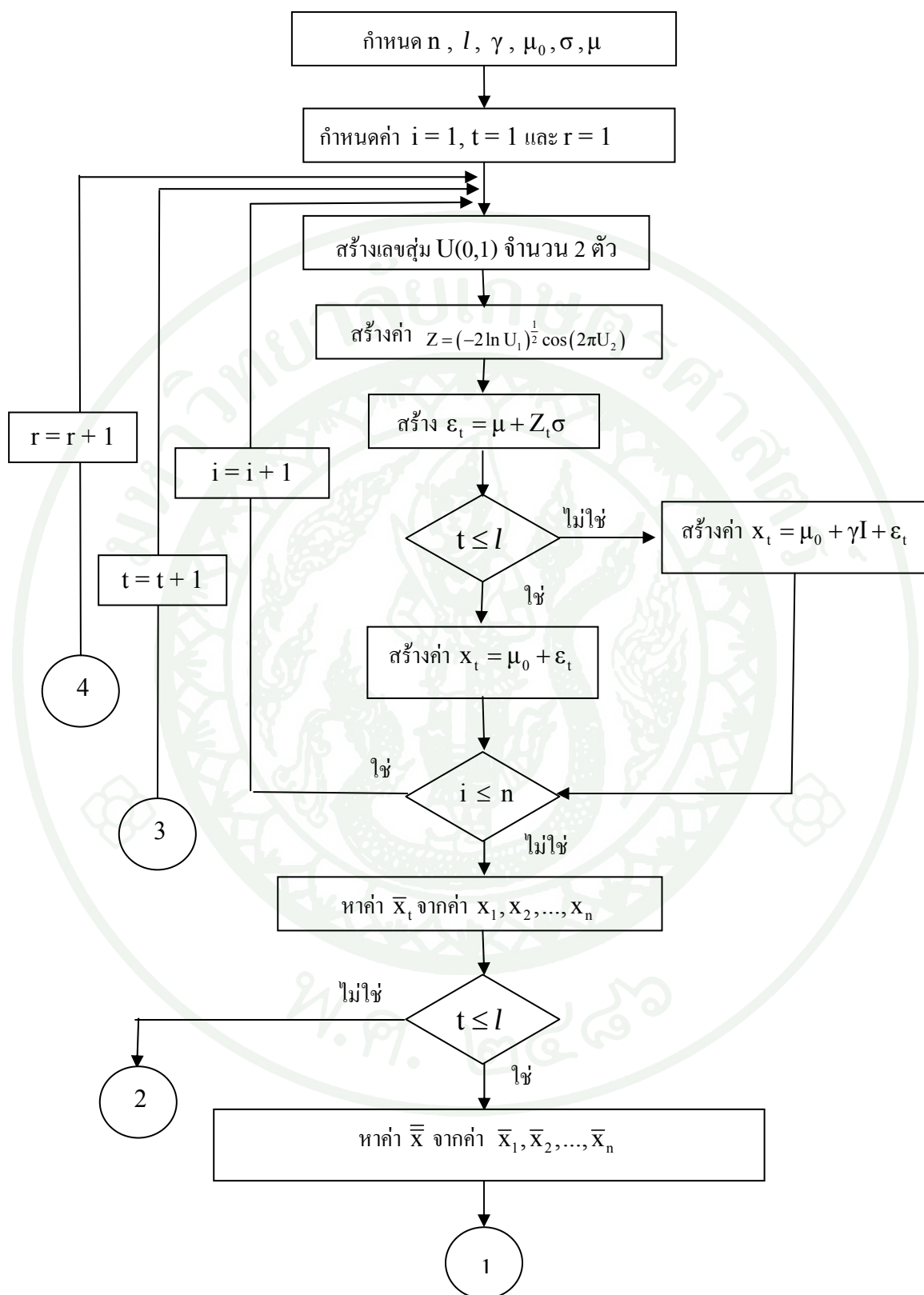
1. สร้างเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง (0,1) จำนวน 2 ค่า เป็นค่า U_1 และ U_2 เป็นอิสระต่อกันด้วยวิธี Multiplicative Congruential Method
2. สร้างตัวแปรสุ่ม $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ โดยวิธีมอนติคาร์โลและหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวอย่าง
3. สร้างขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติ
4. วิเคราะห์ข้อมูลที่ออกนอกขอบเขตควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงหาค่าเฉลี่ยของกระบวนการจากค่าเฉลี่ยเดิม ซึ่งกระทำซ้ำ 1,000 ครั้ง
5. หาค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิควบคุมคุณภาพ
6. เปรียบเทียบค่า ARL เพื่อหาค่าที่น้อยที่สุด

ขั้นตอนในการคำนวณค่า ARL ของแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีดังนี้

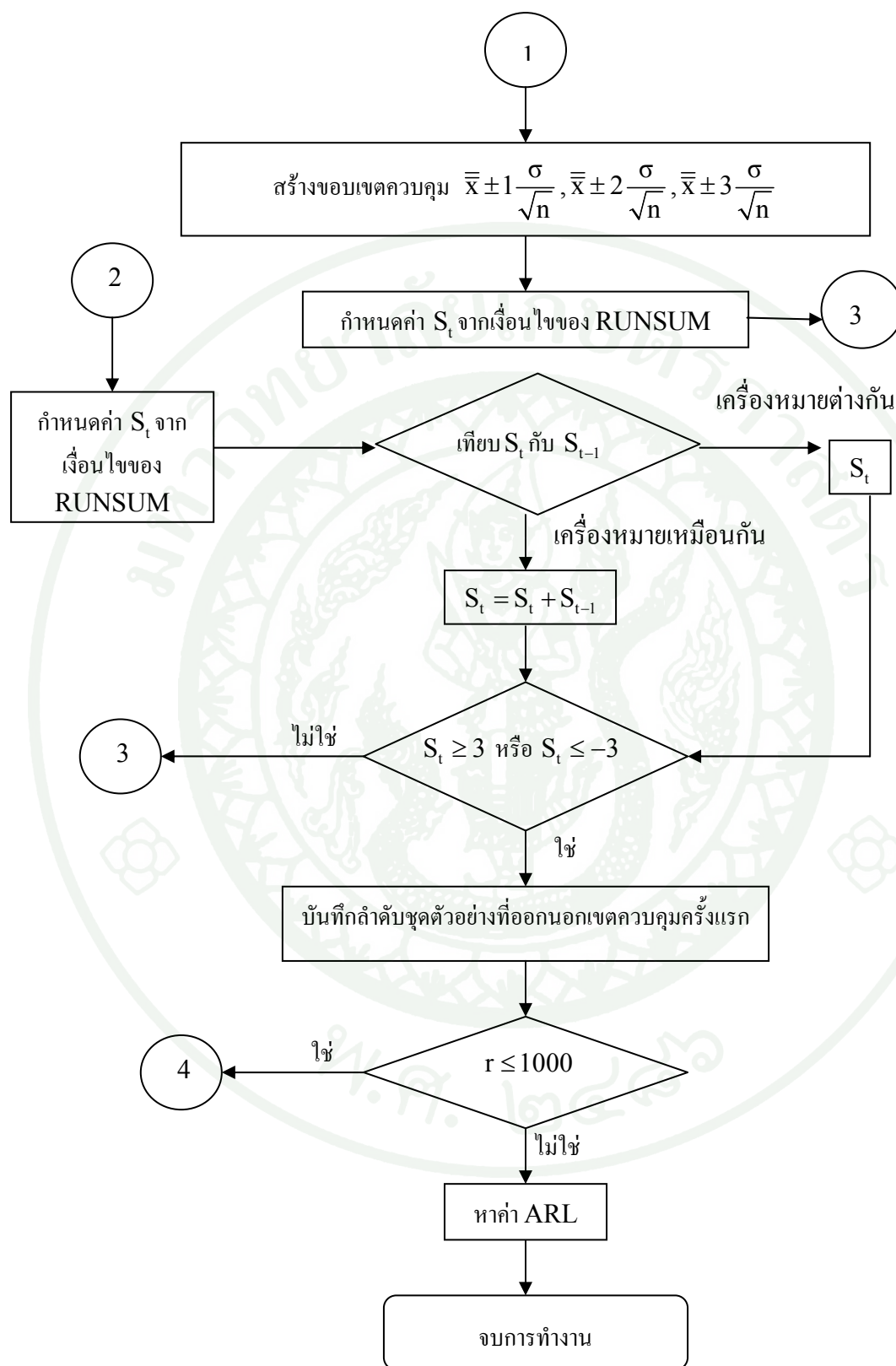
1. กำหนดตัวแปร n, γ, l
2. สร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง $(0,1)$ และเป็นอิสระต่อกัน จำนวน 2 ตัว (U_1 และ U_2)
3. นำค่าเลขสุ่ม 2 จำนวน คือ U_1 และ U_2 มาสร้างการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน $N(0,1)$ โดยใช้วิธีมอนติคาร์โล ซึ่งเป็นวิธีการของ Box และ Muller โดยฟังก์ชัน ดังนี้

$$Z = (-2 \ln U_1)^{\frac{1}{2}} \cos(2\pi U_2)$$
4. คำนวณค่า ε_t โดยการแปลงค่า Z จากค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.01 ตามลำดับ จะได้

$$\varepsilon_t = \mu + Z_t \sigma$$
5. นำค่า ε_t แทนในตัวแบบอนุกรมที่กำหนดในขอบเขตการวิจัย
6. สร้างตัวเลขจากข้อ 5 เป็นจำนวน n ตัว และหาค่า $\bar{x}_t$
7. สร้างชุดตัวอย่างจากตัวเลขจำนวน n ตัว ตามเงื่อนไขของ l ที่กำหนดให้กระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุมและหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของชุดตัวอย่างสุ่ม
8. สร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม โดย $\bar{x} \pm 1 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{x} \pm 2 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ และ $\bar{x} \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
9. สร้างชุดตัวอย่างจากข้อ 6 ตามเงื่อนไขของ l ที่กำหนดให้กระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงและหาค่าเฉลี่ย $\bar{x}_t$
10. นำค่า $\bar{x}_t$ ไปเปรียบเทียบกับขอบเขตของ RUNSUM ให้มีค่าเท่ากับ S_t
11. เปรียบเทียบ S_{t-1} และ S_{t-2} ถ้าเครื่องหมายเหมือนกันจะได้ $S_t = S_{t-1} + S_{t-2}$ ถ้าเครื่องหมายต่างกัน $S_t = S_{t-1}$
12. ถ้า $S_t \geq 3$ หรือ $S_t \leq -3$ แสดงว่ากระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงจากค่าเฉลี่ยที่กำหนด
13. นับจำนวนชุดตัวอย่างที่อยู่ในขอบเขตควบคุมจนกระทั่งชุดตัวอย่างชุดต่อไปเกิดการออกนอกขอบเขตควบคุมครั้งแรก บันทึกค่าลำดับชุดตัวอย่างที่ออกนอกขอบเขต
14. ทำข้อ 9 ถึง 13 ซ้ำ 1,000 ครั้ง
15. คำนวณค่า ARL จากจำนวนชุดตัวอย่างจากข้อ 13 มารวมกันแล้วหารด้วย 1,000



ภาพที่ 3 แผนผังการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ แผนภูมิควบคุม RUNSUM



ภาพที่ 3 (ต่อ)

ขั้นตอนในการคำนวณค่า ARL ของแผนภูมิควบคุม EWMA มีดังนี้

1. กำหนดตัวแปร n, γ, L, λ
2. สร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง $(0,1)$ และเป็นอิสระต่อกัน จำนวน 2 ตัว (U_1 และ U_2)

3. นำค่าเลขสุ่ม 2 จำนวน คือ U_1 และ U_2 มาสร้างการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน $N(0,1)$ โดยใช้วิธีมอนติคาร์โล ซึ่งเป็นวิธีการของ Box และ Muller โดยฟังก์ชัน ดังนี้

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

4. คำนวณค่า ε_i โดยการแปลงค่า Z จากค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.01 ตามลำดับ จะได้

$$\varepsilon_i = \mu + Z_i \sigma$$

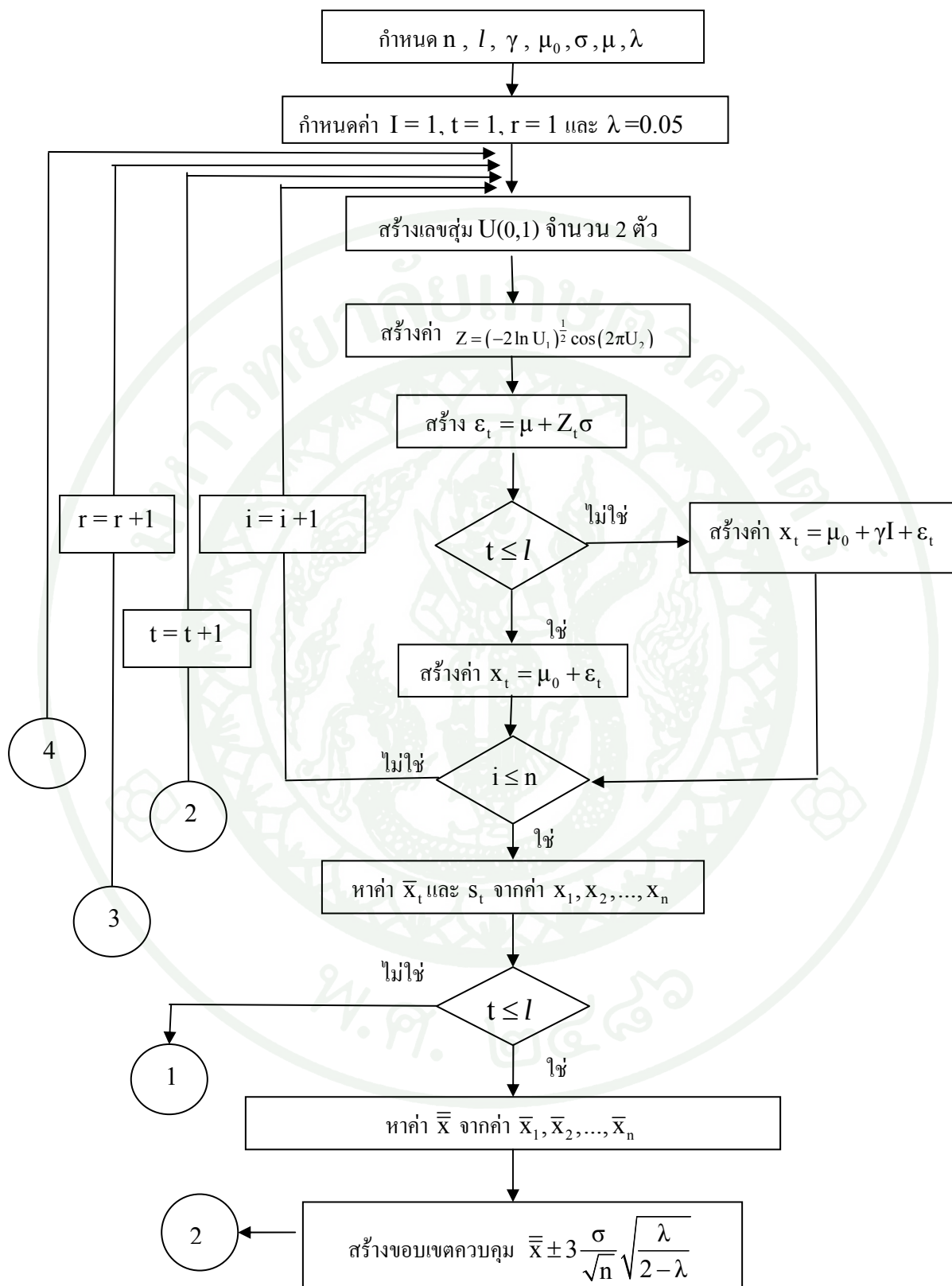
5. นำค่า ε_i แทนในตัวแบบอนุกรมที่กำหนดในขอบเขตการวิจัย
6. สร้างตัวเลขจากข้อ 5 เป็นจำนวน n ตัว หาค่าเฉลี่ย $\bar{x}_i$
7. สร้างชุดตัวอย่างจากตัวเลขจำนวน n ตัว ตามเงื่อนไขของ L ที่กำหนดให้กระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุมและหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของชุดตัวอย่างสุ่ม

$$8. \text{ สร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม โดย } \bar{\bar{x}} \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}$$

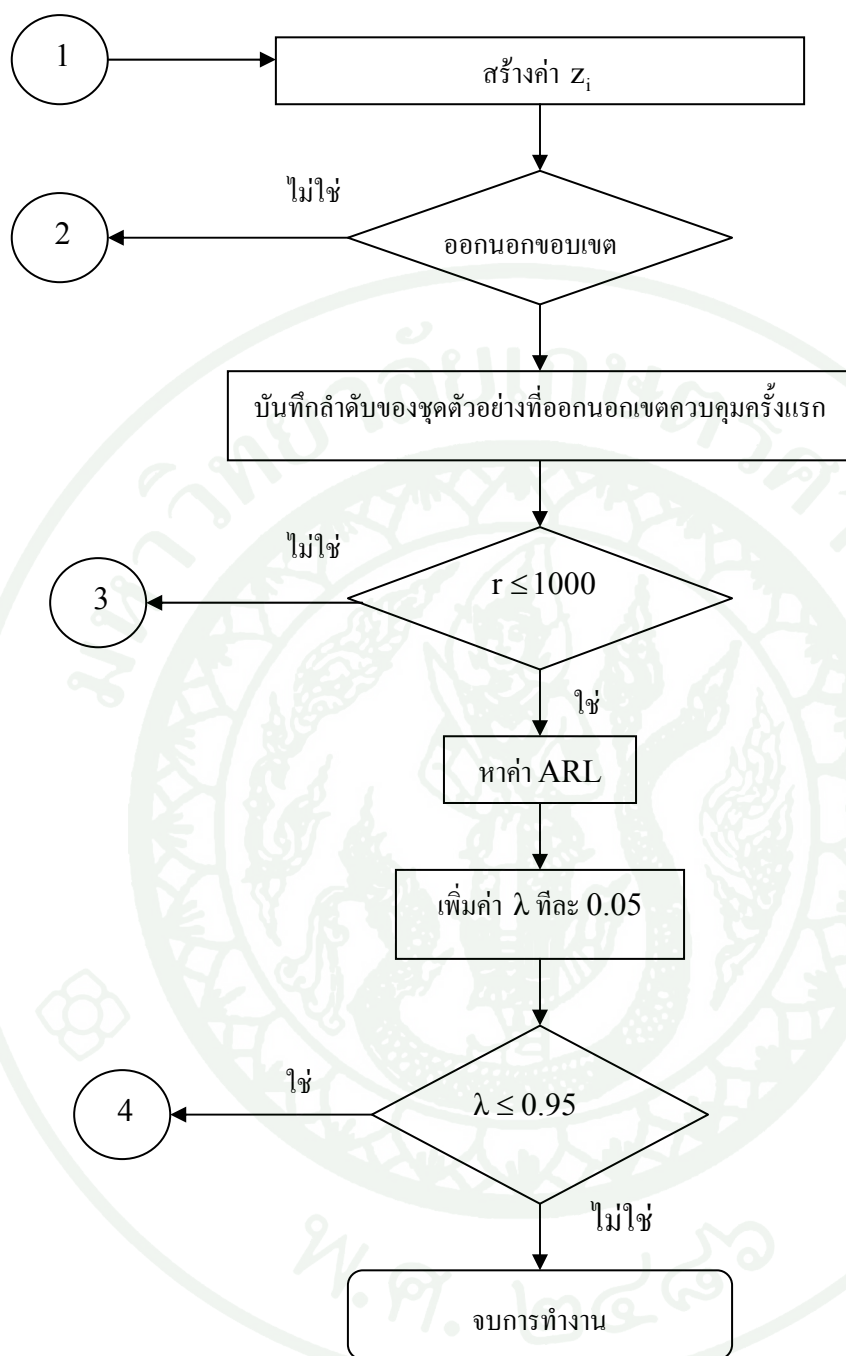
9. สร้างชุดตัวอย่างจากข้อ 6 ตามเงื่อนไขของ L ที่กำหนดให้กระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงและหาค่า z_i

10. ใส่ค่า λ ในขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมด้วยค่า λ เริ่มต้นเท่ากับ 0.05
11. นับจำนวนชุดตัวอย่างที่อยู่ในขอบเขตควบคุมจนกระทั่งชุดตัวอย่างชุดต่อไปเกิดการออกนอกขอบเขตควบคุมครั้งแรก บันทึกค่าลำดับชุดตัวอย่างที่ออกนอกขอบเขต
12. ทำข้อ 10 ถึง 11 ซ้ำ 1,000 ครั้ง
13. คำนวณค่า ARL จากลำดับของจำนวนชุดตัวอย่างที่ออกนอกขอบเขตมารวมกันแล้วหารด้วย 1,000

14. เปลี่ยนแปลงค่า λ ในขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมโดยเพิ่มค่าทีละ 0.05
15. พิจารณาค่า ARL โดยเลือก λ ที่ให้ค่า ARL ที่ต่ำที่สุดในการสร้างขอบเขตควบคุม
16. ค่า ARL ที่ใช้คำนวณได้จะได้จากค่า ARL ที่ต่ำที่สุด



ภาพที่ 4 แผนผังการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ แผนภูมิควบคุม EWMA



ภาพที่ 4 (ต่อ)

ขั้นตอนในการคำนวณค่า ARL ของแผนภูมิควบคุม Synthetic มีดังนี้

1. กำหนดตัวแปร n, γ, l, L และ k
2. สร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง $(0,1)$ และเป็นอิสระต่อกัน จำนวน 2 ตัว (U_1 และ U_2)

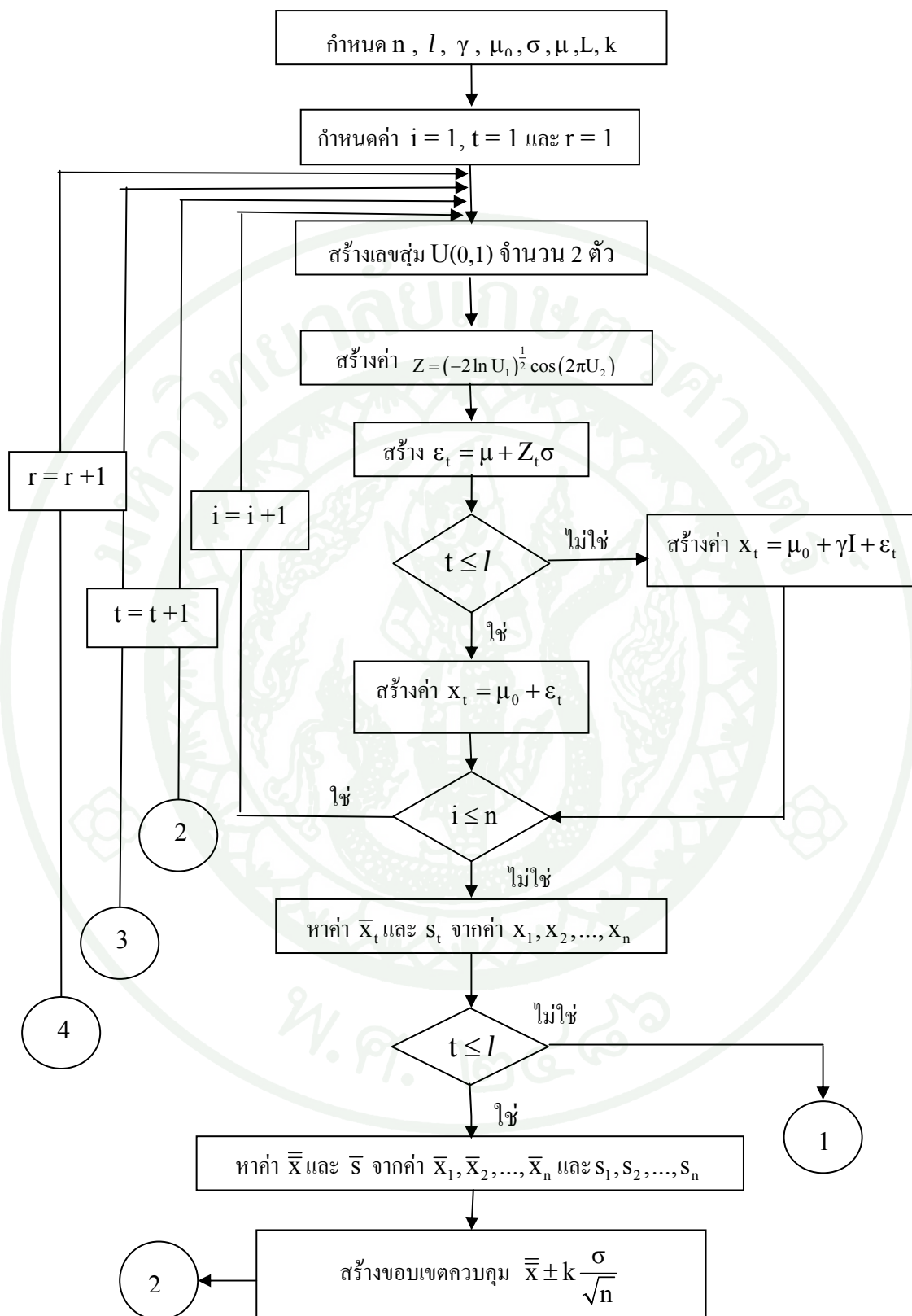
3. นำค่าเลขสุ่ม 2 จำนวน คือ U_1 และ U_2 มาสร้างการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน $N(0,1)$ โดยใช้วิธีมอนติคาร์โล ซึ่งเป็นวิธีการของ Box และ Muller โดยฟังก์ชัน ดังนี้

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

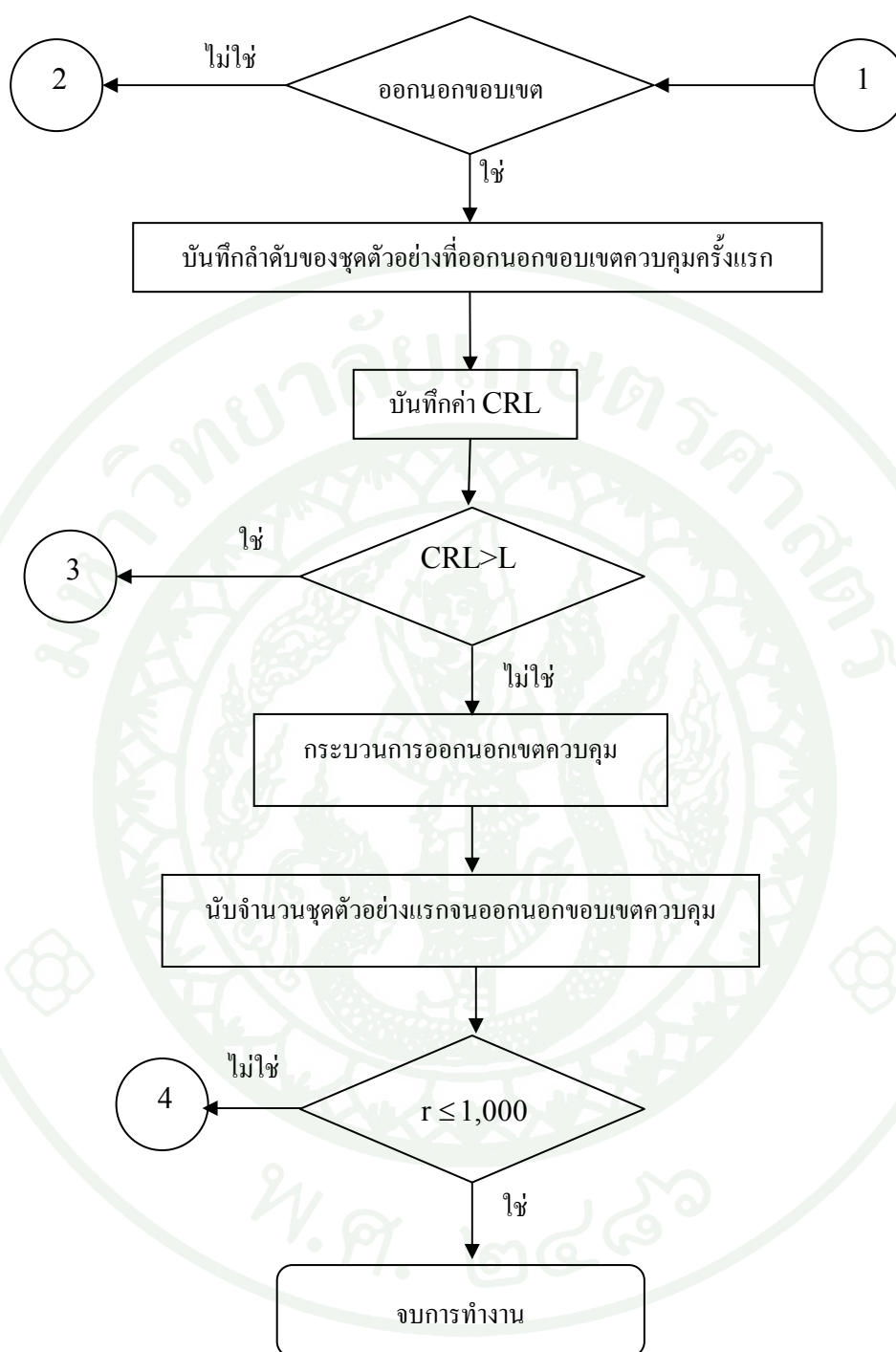
4. คำนวณค่า ε_i โดยการแปลงค่า Z ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.01 ตามลำดับ จะได้

$$\varepsilon_i = \mu + Z_i \sigma$$

5. นำค่า ε_i แทนในตัวแบบอนุกรมที่กำหนดในขอบเขตการวิจัย
6. สร้างตัวเลขจากข้อ 5 เป็นจำนวน n ตัว หาค่าเฉลี่ย $\bar{x}_i$
7. สร้างชุดตัวอย่างจากตัวเลขจำนวน n ตัว ตามเงื่อนไขของ l ที่กำหนดให้กระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุมและหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของชุดตัวอย่างสุ่ม
8. สร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม โดย $\bar{\bar{x}} \pm k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
9. สร้างชุดตัวอย่างจากตัวเลขจำนวน n ตัว ตามเงื่อนไขของ l ที่กำหนดให้กระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงและหาค่าเฉลี่ย $\bar{x}_i$
10. นำค่า $\bar{x}_i$ เปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ
11. ถ้าค่า $\bar{x}_i$ มีค่าน้อยกว่าขอบเขตควบคุมให้กลับไปทำข้อ 9
12. ถ้าค่า $\bar{x}_i$ มีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิให้ทำข้อ 13
13. นับจำนวนครั้งของ $\bar{x}_i$ ที่อยู่ในขอบเขตควบคุมซึ่งอยู่ระหว่างค่า $\bar{\bar{x}}$ ที่ออกนอกขอบเขตควบคุมครั้งที่ผ่านมามาจนกระทั่งมีค่า $\bar{x}$ ครั้งล่าสุดที่ออกนอกขอบเขตควบคุมอีกครั้งหนึ่ง
14. ค่า CRL เท่ากับ จำนวนครั้งของ $\bar{x}_i$ ที่อยู่ในขอบเขตจนออกนอกขอบเขตครั้งแรก
15. ถ้า $CRL < L$ แสดงว่ากระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลง
16. นับจำนวนครั้งของชุดตัวอย่างของ $\bar{x}_i$ จากชุดแรกจนถึงชุดล่าสุดที่ออกนอกขอบเขตควบคุมจนกระทั่ง $CRL < L$ บันทึกค่าลำดับชุดตัวอย่างที่ออกนอกขอบเขต
17. คำนวณค่า ARL จากจำนวนชุดตัวอย่างจากข้อ 16 มารวมกันแล้วหารด้วย 1,000



ภาพที่ 5 แผนผังการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ แผนภูมิความคลุม Synthetic



ภาพที่ 5 (ต่อ)

ขั้นตอนในการคำนวณค่า ARL ของแผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart มีดังนี้

1. กำหนดตัวแปร n, γ, L, USL, LSL
2. สร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง $(0,1)$ และเป็นอิสระต่อกัน จำนวน 2 ตัว (U_1 และ U_2)

3. นำค่าเลขสุ่ม 2 จำนวน คือ U_1 และ U_2 มาสร้างการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน $N(0,1)$ โดยใช้วิธีมอนติคาร์โล ซึ่งเป็นวิธีการของ Box และ Muller โดยฟังก์ชัน ดังนี้

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

4. คำนวณค่า ε_i โดยการแปลงค่า Z จากค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.01 ตามลำดับ จะได้

$$\varepsilon_i = \mu + Z_i \sigma$$

5. นำค่า ε_i แทนในตัวแบบอนุกรมที่กำหนดในขอบเขตการวิจัย
6. สร้างตัวเลขจากข้อ 5 เป็นจำนวน n ตัว หาค่าเฉลี่ย $\bar{x}_i$
7. สร้างชุดตัวอย่างจากตัวเลขจำนวน n ตัว ตามเงื่อนไขของ L ที่กำหนดให้กระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุมและหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของชุดตัวอย่างสุ่ม
8. สร้างความสัมพันธ์ของค่า “ระดับความไม่สมบูรณ์” ตามสมการของ Triangular fuzzy number

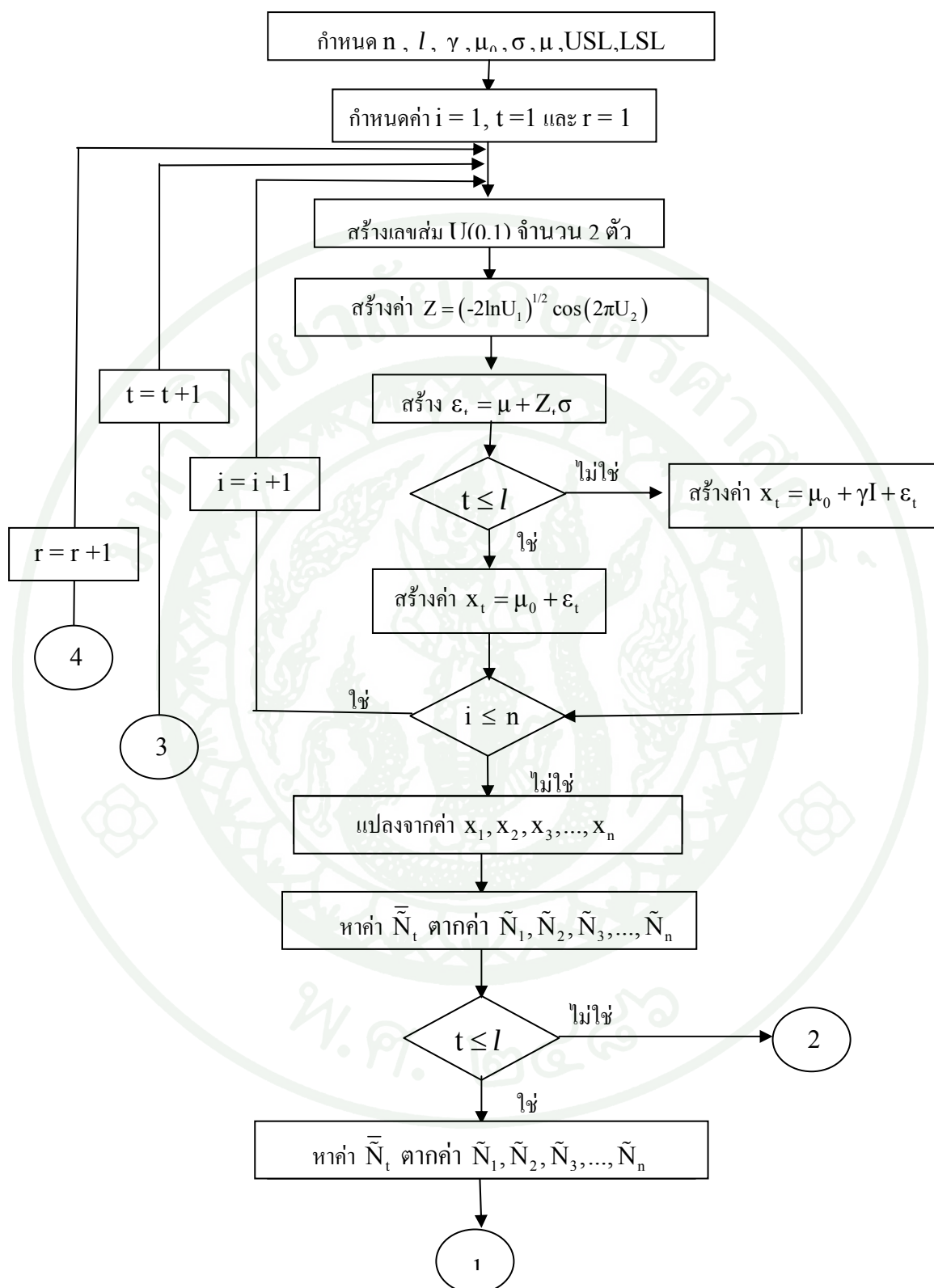
9. แปลงค่า x_i ให้เป็นค่า “ระดับความไม่สมบูรณ์”
10. หาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรของระดับความไม่สมบูรณ์
11. สร้างขอบเขตควบคุม โดย $\mu_{\tilde{N}} \pm 3 \frac{\sigma_{\tilde{N}}}{\sqrt{n}}$

12. สร้างชุดตัวอย่างจากตัวเลขจำนวน n ตัว ตามเงื่อนไขของ L ที่กำหนดให้กระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงและแปลงค่า x_i เป็นค่า $\tilde{N}_i$

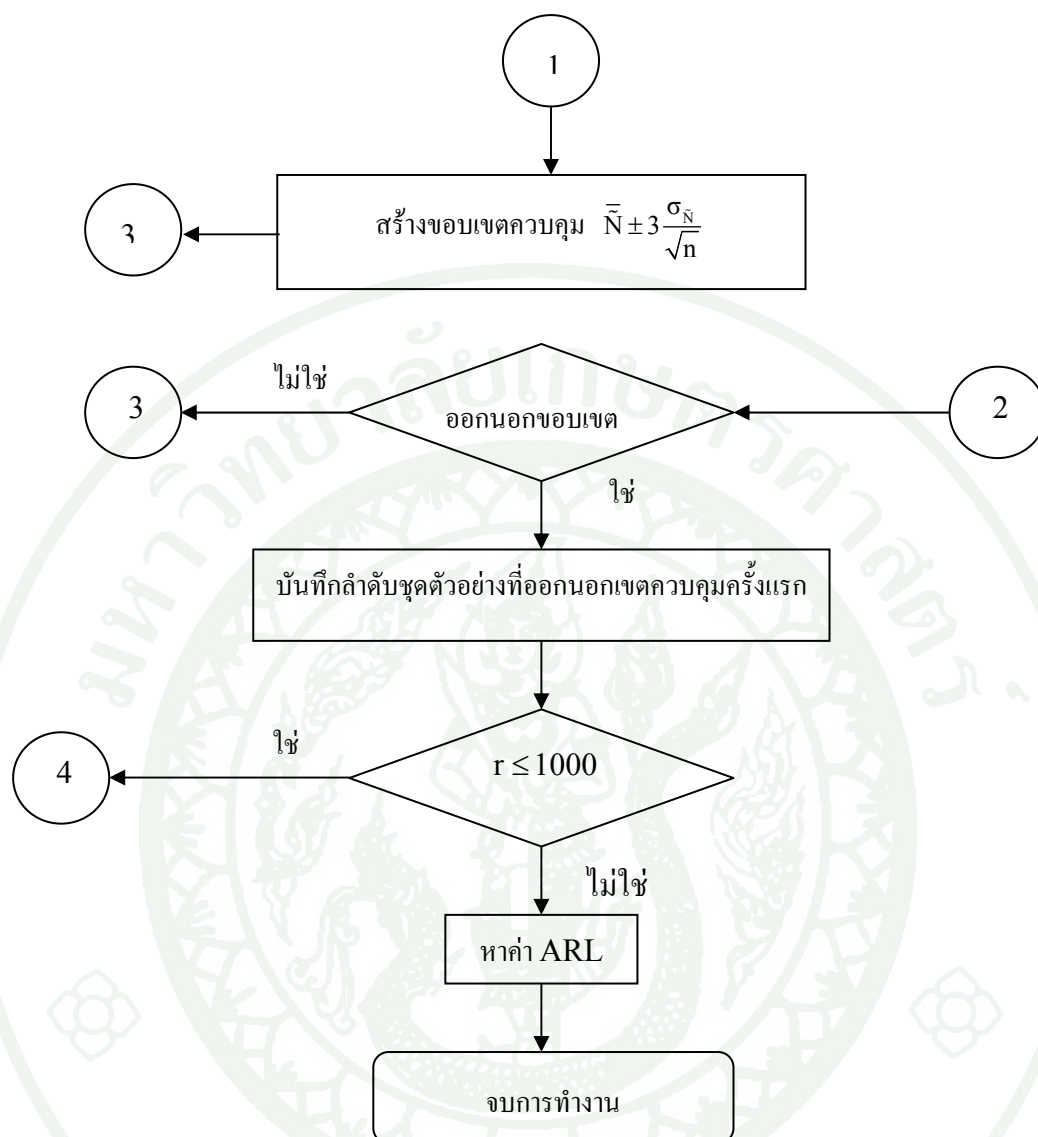
13. หาค่าเฉลี่ยของชุดตัวอย่างที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยและเทียบกับขอบเขตควบคุม
14. นับจำนวนชุดตัวอย่างที่อยู่ในขอบเขตควบคุมจนกระทั่งชุดตัวอย่างชุดต่อไปเกิดการออกนอกขอบเขตควบคุมครั้งแรก

15. ทำข้อ 13 ถึง 15 ซ้ำจำนวน 1,000 ครั้ง

16. คำนวณค่า ARL จากจำนวนชุดตัวอย่างจากข้อ 14 มารวมกันแล้วหารด้วย 1,000



ภาพที่ 6 แผนผังการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ แผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart



ภาพที่ 6 (ต่อ)

สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย

ทำวิจัยที่ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เริ่มตั้งแต่เดือน
พฤษภาคม 2552 ถึง พฤษภาคม 2553

ผลและวิจารณ์

ผล

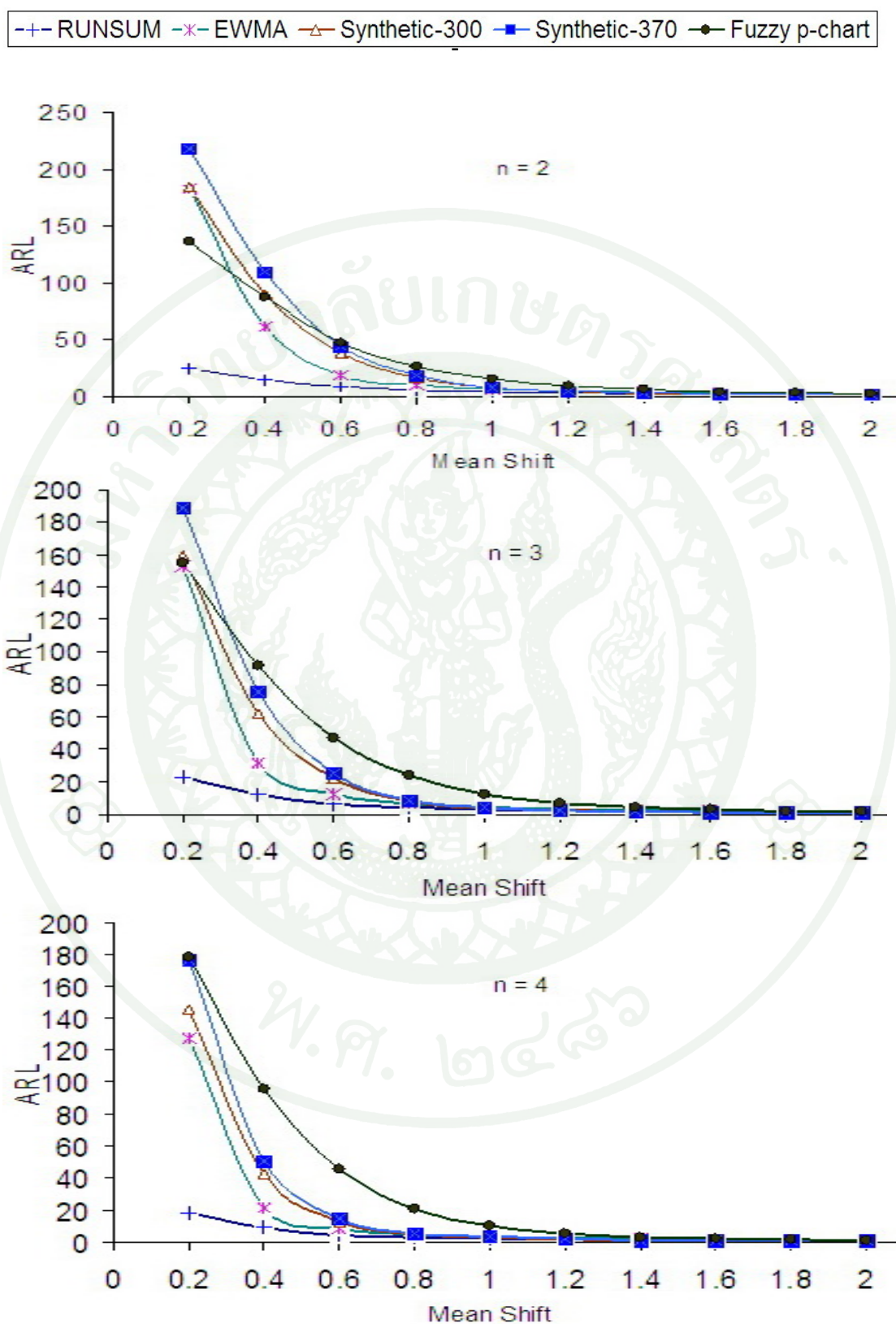
การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบปรับน้ำหนัก (EWMA) แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic) และแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแบบฟัซซี่ (Fuzzy p-chart) ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้จากการจำลองข้อมูลโดยข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติจำนวน 270 สถานการณ์ เมื่อจำนวนชุดตัวอย่าง (I) เท่ากับ 20, 40 และ 60 ชุด ขนาดตัวอย่าง เท่ากับ 2, 3, 4, ..., 10 ค่า ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2σ ถึง 2.0σ โดยเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการวิจัยครั้งนี้ คือ พิจารณาจากจำนวนชุดตัวอย่างเฉลี่ยก่อนที่จะตรวจพบการเปลี่ยนแปลงครั้งแรก (Average Run Lengths: ARL) ซึ่งแผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดแสดงว่าสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตได้เร็วที่สุดหรือเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ผลการวิจัยครั้งนี้นำเสนอข้อมูลค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิในรูปของตารางและกราฟ โดยจำแนกตามจำนวนชุดตัวอย่าง (I) ที่ใช้ในการสร้างขอบเขตควบคุม ขนาดตัวอย่าง (n) และระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (γ) ปรากฏผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่า ARL กรณี $l = 20$

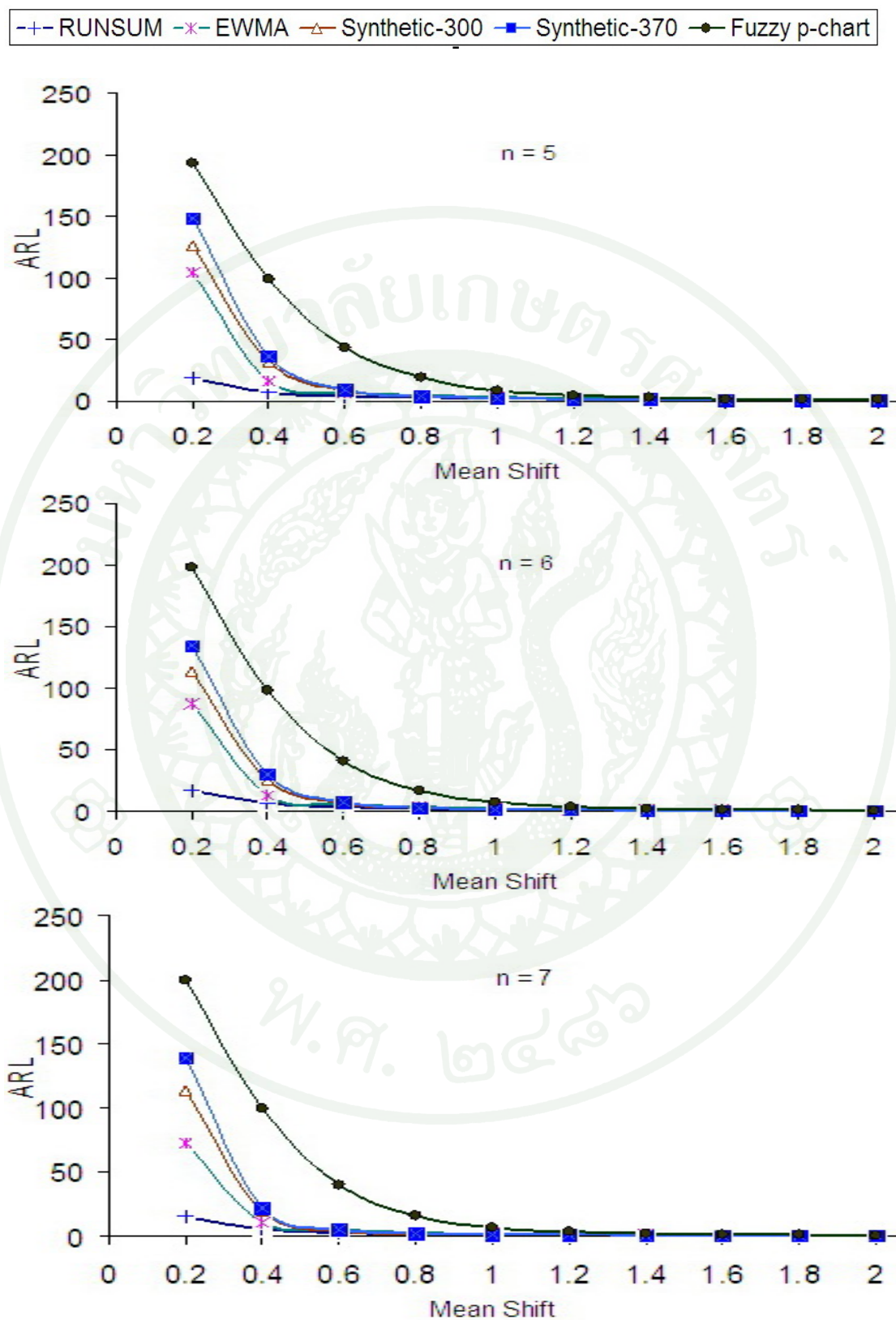
Control Chart	n	Mean Shift									
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Fuzzy-p	2	136.3	87.8	47.6	26.7	15.1	9.3	5.9	4.0	2.9	2.2
	3	155.1	91.7	46.8	23.9	12.5	7.0	4.3	2.9	2.1	1.6
	4	178.2	96.0	45.8	21.3	10.3	5.8	3.4	2.3	1.7	1.4
	5	193.4	99.4	43.4	19.2	8.9	4.7	2.8	1.9	1.4	1.2
	6	198.1	98.3	41.4	17.0	7.7	4.0	2.4	1.6	1.3	1.1
	7	200.0	99.9	40.2	15.9	6.8	3.5	2.1	1.5	1.2	1.1
	8	202.5	97.8	37.0	14.1	6.1	3.0	1.9	1.4	1.1	1.0
	9	202.8	97.1	35.7	12.9	5.5	2.8	1.7	1.3	1.1	1.0
	10	203.2	94.4	33.9	11.9	4.9	2.5	1.6	1.2	1.1	1.0
Synthetic 300	2	184.9	89.6	37.7	16.0	7.4	4.5	2.7	2.0	1.6	1.4
	3	159.3	62.0	22.3	7.8	4.0	2.4	1.7	1.5	1.3	1.1
	4	145.8	42.5	12.9	5.0	3.3	2.1	1.4	1.2	1.1	1.0
	5	125.8	31.4	8.7	3.6	2.0	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0
	6	113.7	25.7	6.8	2.9	1.7	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
	7	113.6	19.3	5.0	2.3	1.7	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	8	100.1	16.0	4.4	2.0	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	9	87.4	12.4	3.6	1.8	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	10	75.6	10.6	3.0	1.6	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
Synthetic 370	2	218.2	109.7	44.3	18.2	8.0	4.8	2.9	2.1	1.6	1.5
	3	188.9	75.6	25.6	8.8	4.2	2.6	1.8	1.5	1.3	1.1
	4	176.2	50.7	14.9	5.5	3.5	2.2	1.5	1.2	1.1	1.0
	5	148.5	36.6	9.6	3.8	2.1	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0
	6	134.7	29.8	7.4	3.1	1.8	1.4	1.1	1.0	1.0	1.0
	7	139.7	22.8	5.6	2.4	1.7	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
	8	118.7	18.3	4.6	2.1	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	9	104.7	14.1	3.8	1.9	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	10	89.1	11.8	3.2	1.6	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0

ตารางที่ 1 (ต่อ)

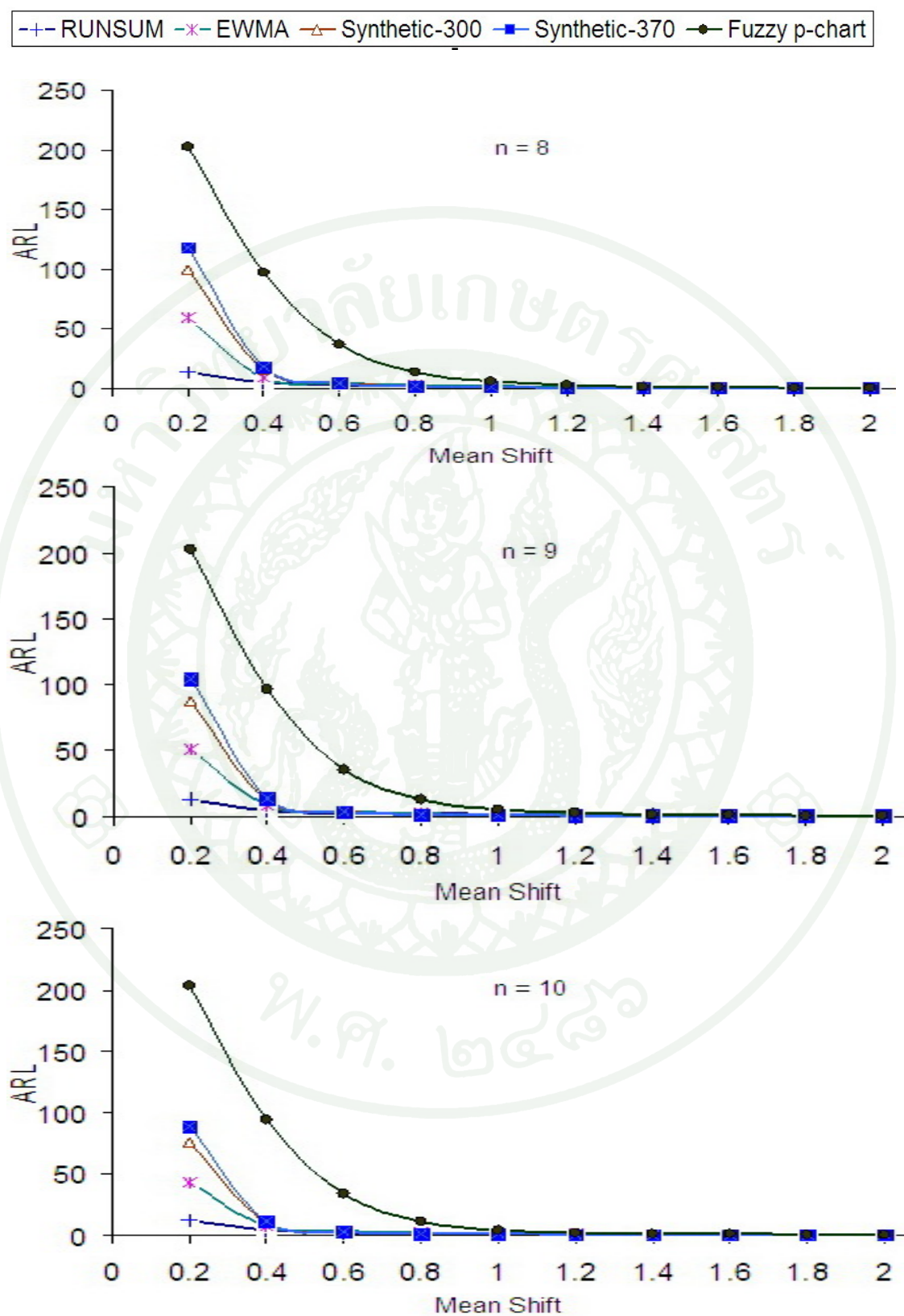
Control Chart	n	Mean Shift									
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
EWMA	2	182.5	60.9	18.7	9.9	6.5	4.7	3.6	3.0	2.5	2.1
	3	153.2	31.6	12.2	7.0	4.4	3.4	2.7	2.3	1.8	1.7
	4	127.4	21.4	8.6	5.1	3.5	2.7	2.3	1.8	1.6	1.3
	5	104.4	16.2	7.0	4.3	2.9	2.2	1.8	1.5	1.2	1.1
	6	87.5	13.3	5.9	3.6	2.6	1.9	1.5	1.2	1.1	1.0
	7	72.5	11.0	5.1	3.3	2.3	1.6	1.3	1.1	1.0	1.0
	8	59.6	9.5	4.7	2.9	2.0	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0
	9	50.9	8.8	4.2	2.6	1.8	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
	10	43.2	7.6	3.8	2.4	1.6	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
	10	43.2	7.6	3.8	2.4	1.6	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
RUNSUM	2	24.6	14.1	8.5	5.3	3.7	3.0	2.4	2.2	1.9	1.6
	3	23.0	12.2	6.1	4.1	2.9	2.3	2.0	1.7	1.5	1.4
	4	18.4	9.5	4.6	3.3	2.4	2.0	1.7	1.5	1.3	1.2
	5	18.7	7.3	4.1	2.8	2.1	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1
	6	17.3	6.7	3.5	2.5	1.9	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1
	7	15.7	5.9	3.3	2.3	1.8	1.5	1.3	1.1	1.1	1.0
	8	14.1	5.6	3.0	2.1	1.7	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
	9	13.0	4.9	2.7	2.0	1.6	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0
	10	12.0	4.6	2.5	1.9	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
	10	12.0	4.6	2.5	1.9	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0



ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่า ARL และ Mean Shifts เมื่อ $l = 20$ และ $n = 2, 3, 4$



ภาพที่ 7 (ต่อ)



ภาพที่ 7 (ต่อ)

จากตารางที่ 1 และกราฟที่ 7 สามารถอธิบายประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพต่าง ๆ ดังนี้

เมื่อพิจารณาที่ขนาดตัวอย่างที่ส่งผลต่อค่า ARL สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า ARL ลดต่ำลงทำให้สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยได้ดียิ่งขึ้น โดยแผนภูมิควบคุม RUNSUM, EWMA, Synthetic 300 และ Synthetic 370 เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า ARL ลดลงทุกช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย แต่แผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า ARL เพิ่มขึ้นในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 0.2σ ถึง 0.4σ และหากช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 0.6σ เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า ARL ลดลงในทุกช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกับแผนภูมิ RUNSUM, EWMA, Synthetic 300 และ Synthetic 370

เมื่อพิจารณาที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่ส่งผลต่อค่า ARL สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า ARL ลดต่ำลงและลดต่ำลงมากกว่าเมื่อเทียบกับการเพิ่มขนาดตัวอย่างทำให้สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยได้ดียิ่งขึ้น โดยทุกแผนภูมิควบคุมมีค่า ARL ลดต่ำลงเมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาที่ขนาดตัวอย่างและระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่ส่งผลต่อค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิควบคุม สามารถอธิบายได้ดังนี้

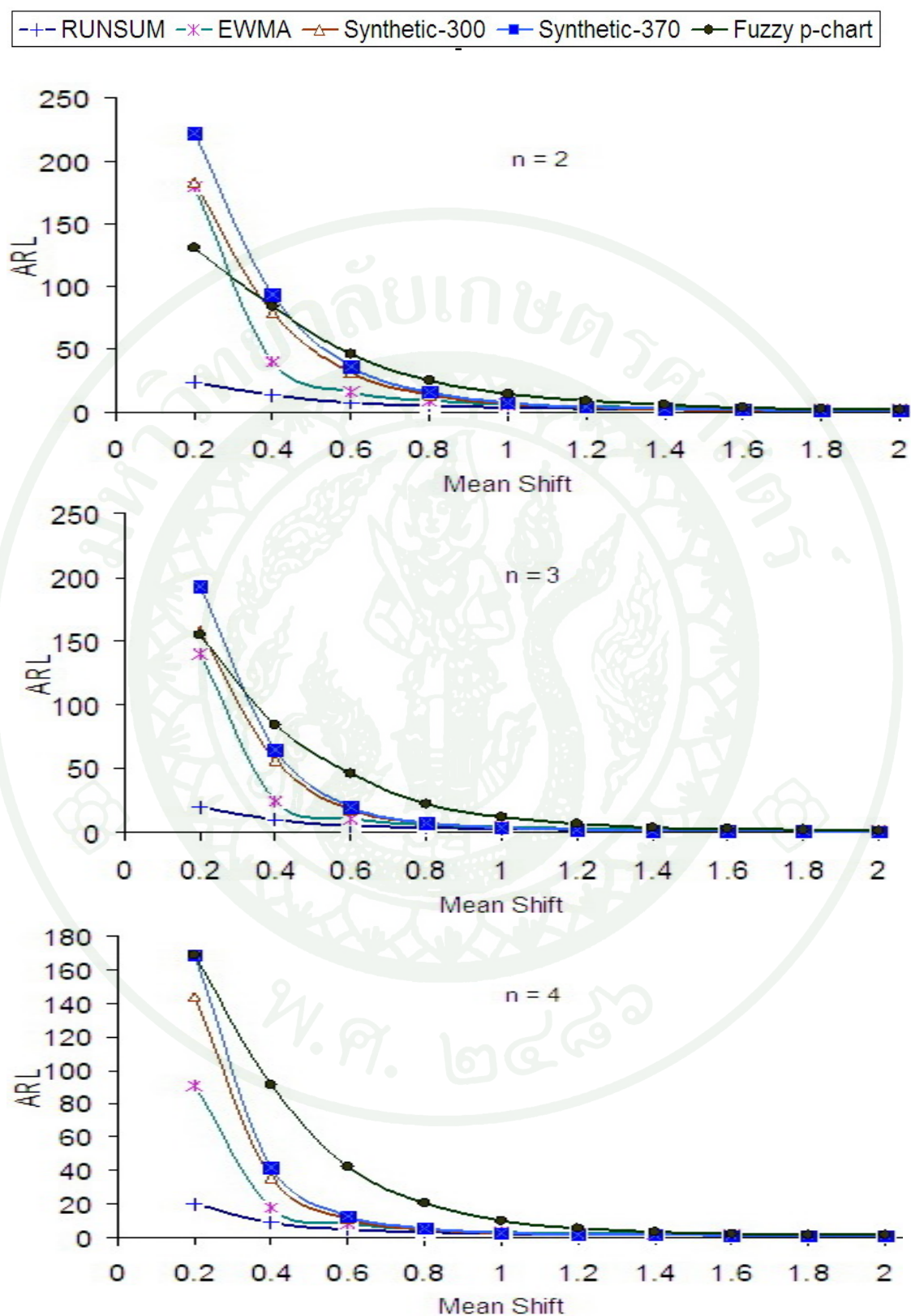
1. แผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพที่สุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 0.2σ ถึง 0.6σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 2 ถึง 10
2. แผนภูมิควบคุม Synthetic 300 มีประสิทธิภาพที่สุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 0.8σ ถึง 1.8σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 7 ถึง 10
3. แผนภูมิควบคุม Synthetic 370 มีประสิทธิภาพที่สุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 1.0σ ถึง 1.8σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 7 ถึง 10 และประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแผนภูมิควบคุม Synthetic 300
4. แผนภูมิควบคุม EWMA และ Fuzzy p-chart มีประสิทธิภาพที่สุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 1.6σ ถึง 2.0σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 8 ถึง 10

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่า ARL กรณี $l = 40$

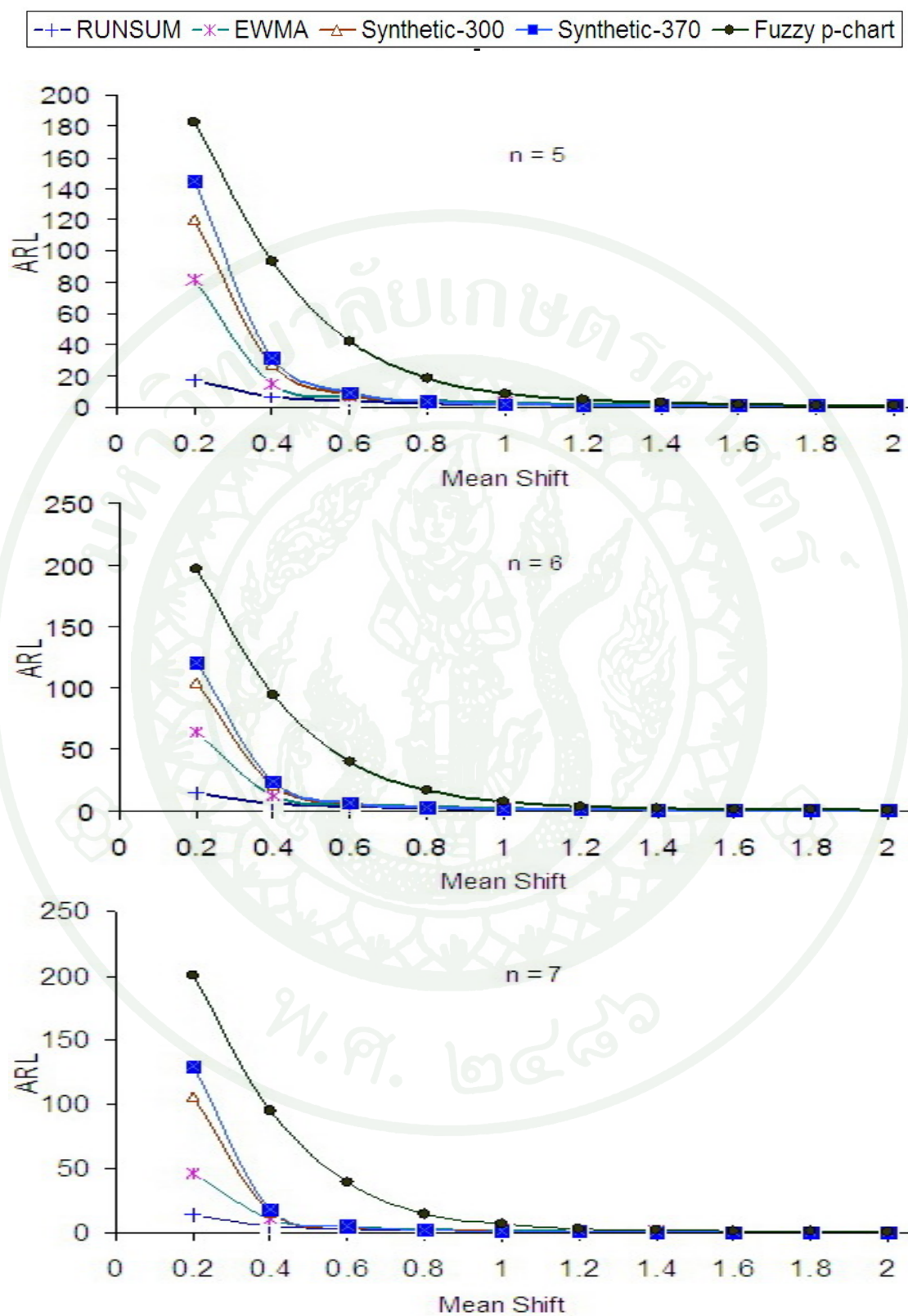
Control Chart	n	Mean Shift									
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Fuzzy-p	2	130.7	84.0	46.3	25.8	14.8	9.0	5.9	3.8	2.9	2.1
	3	154.6	84.7	46.4	22.8	12.1	7.0	4.2	2.9	2.1	1.6
	4	168.9	91.6	42.5	20.4	10.3	5.5	3.3	2.3	1.7	1.4
	5	182.9	93.5	41.8	18.5	8.7	4.7	2.8	1.9	1.5	1.2
	6	196.4	94.6	39.9	16.8	7.5	3.9	2.4	1.7	1.3	1.1
	7	200.5	95.5	39.4	14.8	6.6	3.4	2.1	1.5	1.2	1.1
	8	199.8	94.7	36.7	13.8	6.0	3.0	1.9	1.4	1.1	1.0
	9	203.7	92.6	34.0	12.6	5.4	2.7	1.7	1.3	1.1	1.0
	10	200.2	90.0	31.8	11.9	4.8	2.5	1.6	1.3	1.1	1.0
Synthetic 300	2	182.4	78.7	31.9	14.2	7.1	4.1	2.7	1.9	1.5	1.3
	3	157.8	56.5	17.9	7.4	3.8	2.3	1.7	1.4	1.4	1.1
	4	143.6	35.5	11.4	4.9	2.6	1.7	1.4	1.2	1.1	1.0
	5	120.0	27.5	8.2	3.5	2.1	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
	6	104.3	21.2	6.2	2.8	1.7	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
	7	106.3	16.5	4.7	2.2	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	8	89.1	13.7	4.2	2.0	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	9	71.3	11.5	3.4	1.7	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	10	66.9	9.8	3.0	1.6	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Synthetic 370	2	221.8	93.5	36.5	15.9	7.8	4.3	2.8	2.0	1.6	1.3
	3	192.6	64.9	20.6	8.1	4.1	2.5	1.7	1.4	1.4	1.1
	4	168.6	41.8	12.8	5.3	2.8	1.7	1.4	1.2	1.1	1.0
	5	144.8	31.4	9.1	3.8	2.1	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0
	6	120.6	24.3	6.8	3.0	1.7	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
	7	130.1	18.8	5.3	2.3	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	8	106.7	15.2	4.3	2.1	1.4	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	9	87.1	12.7	3.6	1.8	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	10	77.6	10.9	3.1	1.6	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

ตารางที่ 2 (ต่อ)

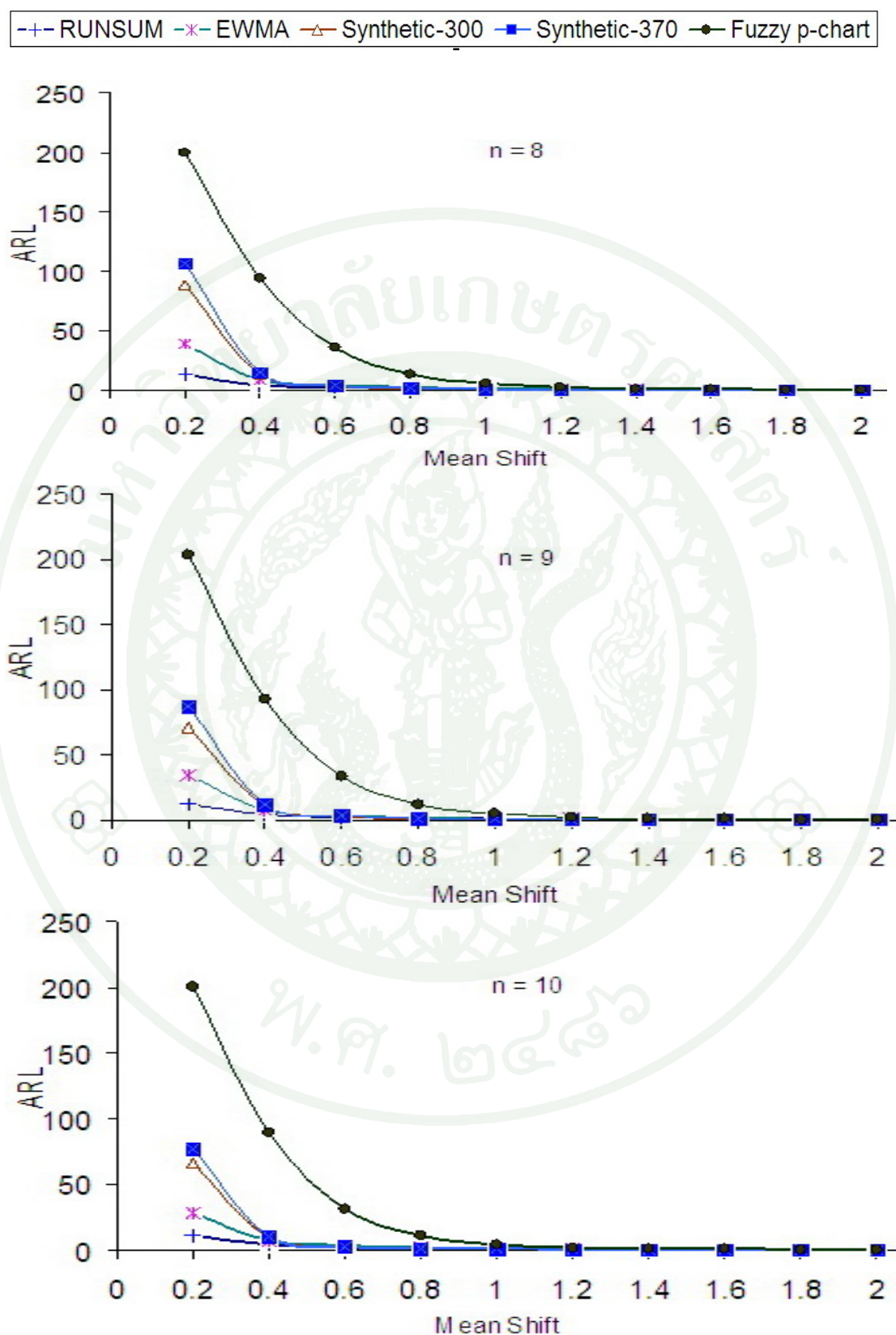
Control Chart	n	Mean Shift									
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
EWMA	2	179.3	40.5	16.1	9.1	6.2	4.5	3.5	2.8	2.4	2.0
	3	139.9	25.0	10.8	6.3	4.3	3.2	2.5	2.1	1.7	1.4
	4	90.6	18.1	8.5	5.1	3.5	2.6	2.0	1.6	1.3	1.2
	5	81.7	14.7	6.8	4.1	2.9	2.1	1.7	1.3	1.2	1.1
	6	64.5	12.0	5.8	3.5	2.5	1.9	1.5	1.2	1.1	1.0
	7	46.1	10.6	5.0	3.2	2.2	1.7	1.3	1.1	1.0	1.0
	8	39.2	9.1	4.5	2.9	1.9	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0
	9	34.5	8.0	4.1	2.6	1.8	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
	10	29.0	7.6	3.7	2.4	1.6	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	10	29.0	7.6	3.7	2.4	1.6	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
RUNSUM	2	23.8	14.1	7.8	5.2	3.6	3.0	2.4	2.1	1.8	1.6
	3	20.4	10.4	5.7	3.9	2.8	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4
	4	20.2	8.7	4.8	3.1	2.4	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2
	5	17.5	7.0	4.2	2.7	2.1	1.8	1.5	1.3	1.2	1.1
	6	15.0	6.1	3.7	2.5	1.9	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1
	7	14.3	5.5	3.1	2.3	1.8	1.5	1.3	1.1	1.1	1.0
	8	14.0	5.0	2.9	2.1	1.7	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
	9	12.2	4.7	2.7	2.0	1.6	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0
	10	11.9	4.3	2.5	1.8	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	10	11.9	4.3	2.5	1.8	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0



ภาพที่ 8 กราฟแสดงค่า ARL และ Mean Shifts เมื่อ $l = 40$ และ $n = 2, 3, 4$



ภาพที่ 8 (ต่อ)



ภาพที่ 8 (ต่อ)

จากตารางที่ 2 และกราฟที่ 8 สามารถอธิบายประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพต่างๆ ดังนี้

เมื่อพิจารณาที่ขนาดตัวอย่างที่ส่งผลต่อค่า ARL สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า ARL ลดต่ำลงทำให้สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยได้ดียิ่งขึ้น โดยแผนภูมิควบคุม RUNSUM, EWMA, Synthetic 300 และ Synthetic 370 เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า ARL ลดลงทุกช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย แต่แผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า ARL เพิ่มขึ้นในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 0.2σ ถึง 0.4σ และหากช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 0.6σ เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า ARL ลดลงในทุกช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกับแผนภูมิ RUNSUM, EWMA, Synthetic 300 และ Synthetic 370

เมื่อพิจารณาที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่ส่งผลต่อค่า ARL สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า ARL ลดต่ำลงและลดต่ำลงมากกว่าเมื่อเทียบกับการเพิ่มขนาดตัวอย่างทำให้สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยได้ดียิ่งขึ้น โดยทุกแผนภูมิควบคุมมีค่า ARL ลดต่ำลงเมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาที่ขนาดตัวอย่างและระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่ส่งผลต่อค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิควบคุม สามารถอธิบายได้ดังนี้

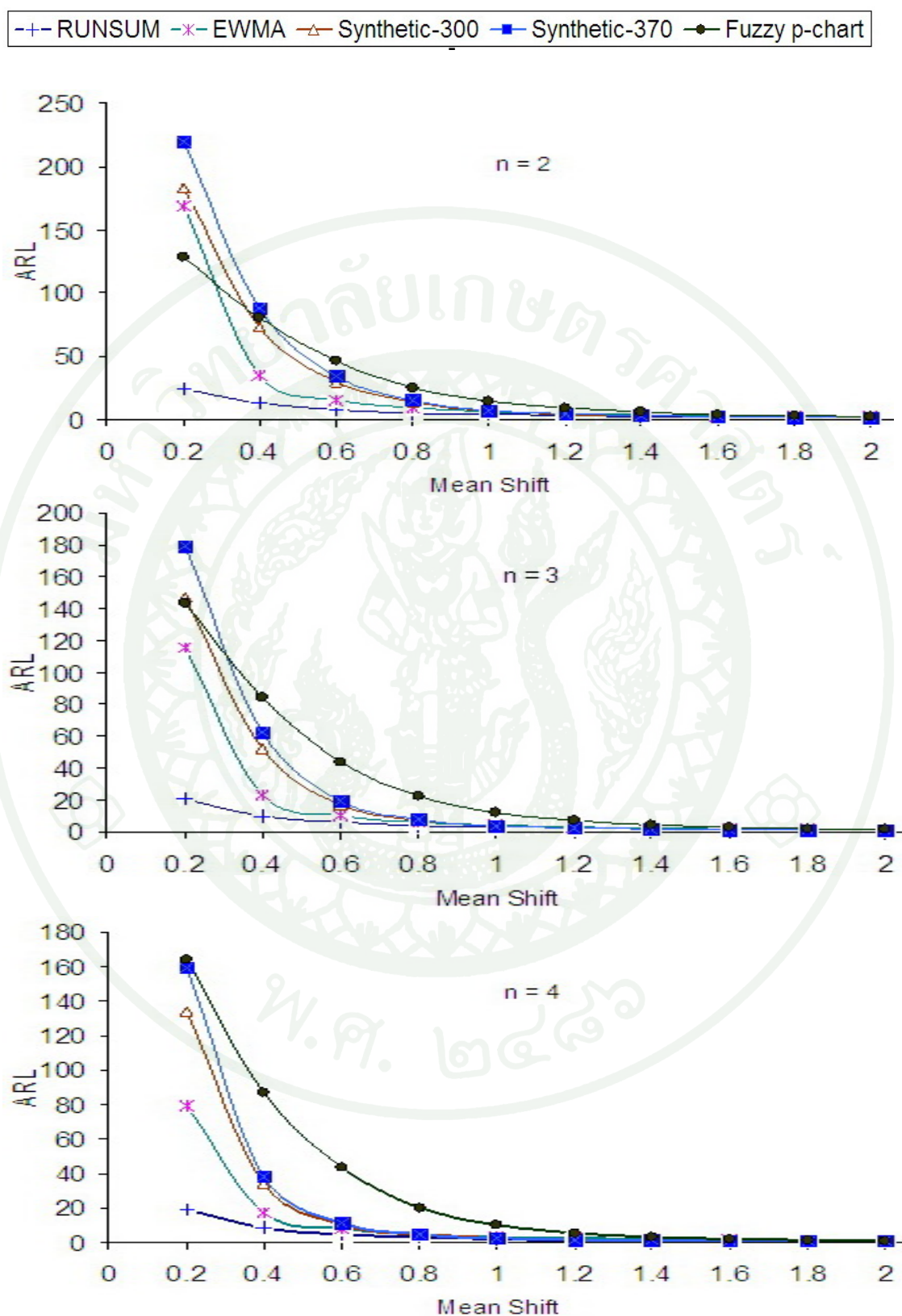
1. แผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพที่สูงสุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 0.2σ ถึง 0.6σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 2 ถึง 10 แต่ให้ค่า ARL ที่ต่ำกว่ากรณีที่ $l = 20$
2. แผนภูมิควบคุม Synthetic 300 มีประสิทธิภาพที่สูงสุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 0.8σ ถึง 1.8σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 7 ถึง 10 แต่ให้ค่า ARL ที่ต่ำกว่ากรณีที่ $l = 20$
3. แผนภูมิควบคุม Synthetic 370 มีประสิทธิภาพที่สูงสุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 1.0σ ถึง 1.8σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 7 ถึง 10 แต่ให้ค่า ARL ที่ต่ำกว่ากรณีที่ $l = 20$ และประสิทธิภาพใกล้เคียงแผนภูมิควบคุม Synthetic 370
4. แผนภูมิควบคุม EWMA และ Fuzzy p-chart มีประสิทธิภาพที่สูงสุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 1.6σ ถึง 2.0σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 8 ถึง 10 แต่ให้ค่า ARL ที่ต่ำกว่ากรณีที่ $l = 20$

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่า ARL กรณี $l = 60$

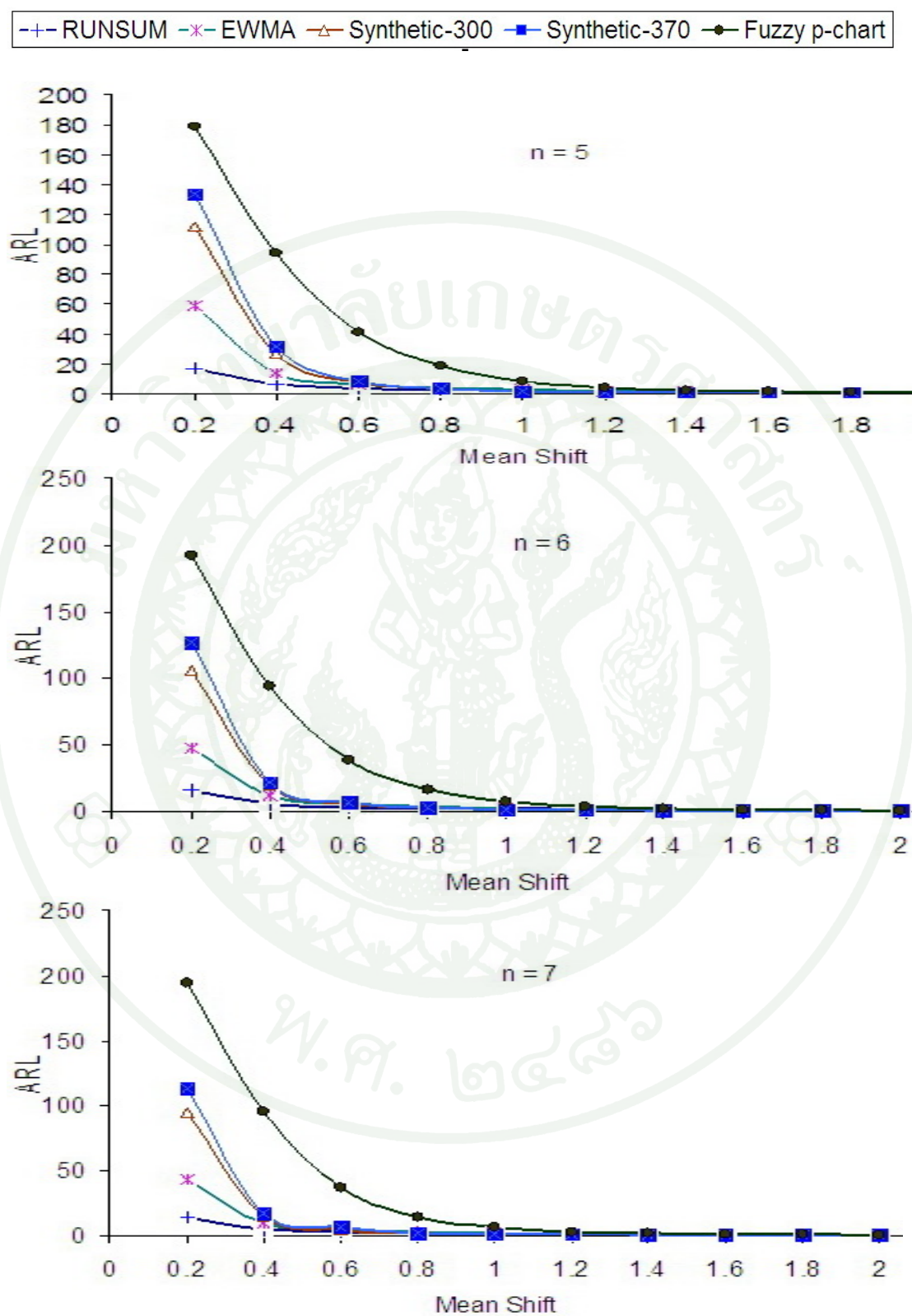
Control Chart	n	Mean Shift									
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Fuzzy-p	2	128.7	80.6	46.3	25.4	14.4	9.0	5.9	4.0	2.9	2.2
	3	143.3	84.3	43.9	22.7	12.0	7.0	4.2	2.8	2.1	1.6
	4	164.0	86.9	43.8	20.5	10.2	5.6	3.4	2.2	1.7	1.3
	5	178.8	94.4	41.3	18.6	8.8	4.5	2.7	1.9	1.4	1.2
	6	191.9	94.0	39.0	16.6	7.6	3.9	2.3	1.6	1.3	1.1
	7	194.5	96.0	37.4	14.8	6.5	3.4	2.1	1.5	1.2	1.1
	8	196.6	93.8	36.0	13.7	5.7	3.0	1.9	1.4	1.1	1.0
	9	198.4	93.8	33.1	12.6	5.3	2.7	1.7	1.3	1.1	1.0
	10	198.0	89.0	32.5	11.5	4.7	2.5	1.6	1.2	1.1	1.0
Synthetic 300	2	182.9	72.8	29.9	13.6	6.7	4.0	2.7	2.0	1.6	1.3
	3	147.3	52.5	17.1	7.3	3.7	2.4	1.7	1.4	1.2	1.1
	4	134.3	34.2	10.5	4.7	2.6	1.7	1.4	1.2	1.1	1.0
	5	112.0	26.6	7.8	3.4	2.0	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
	6	106.0	19.9	5.9	2.7	1.7	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	7	95.1	15.5	4.8	2.3	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	8	86.9	13.4	4.3	2.0	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	9	74.1	11.0	3.3	1.7	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	10	63.8	9.0	3.0	1.6	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Synthetic 370	2	219.3	88.4	34.2	15.1	7.2	4.3	2.8	2.0	1.6	1.4
	3	179.4	62.8	19.2	7.9	3.9	2.5	1.8	1.4	1.3	1.1
	4	159.0	38.3	11.7	5.0	2.7	1.8	1.4	1.2	1.1	1.0
	5	133.9	31.4	8.7	3.7	2.1	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0
	6	127.0	22.4	6.6	3.3	1.7	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
	7	113.5	17.3	6.5	2.4	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	8	102.4	15.2	4.4	2.1	1.4	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	9	86.8	12.2	3.5	1.8	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	10	73.4	10.0	3.1	1.6	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

ตารางที่ 3 (ต่อ)

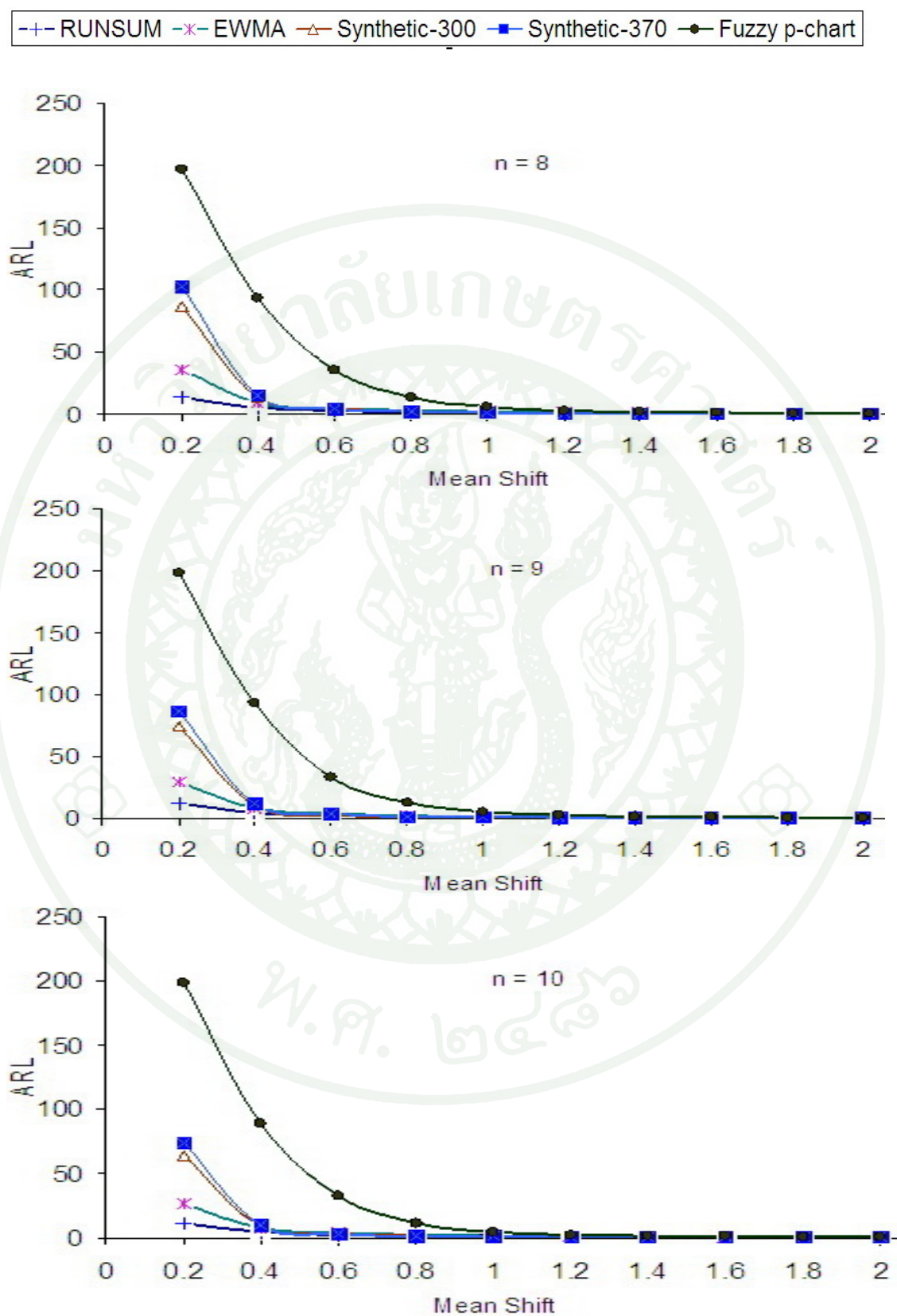
Control Chart	n	Mean Shift									
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
EWMA	2	168.7	34.9	15.4	8.9	6.1	4.5	3.5	2.8	2.3	2.0
	3	115.3	23.2	10.3	6.2	4.3	3.2	2.5	2.0	1.7	1.4
	4	79.6	17.4	8.0	4.9	3.4	2.6	2.0	1.6	1.3	1.2
	5	58.9	13.9	6.6	4.1	2.9	2.1	1.7	1.3	1.2	1.1
	6	47.6	11.8	5.7	3.5	2.5	1.8	1.5	1.2	1.1	1.0
	7	43.1	10.0	5.0	3.2	2.2	1.6	1.3	1.1	1.0	1.0
	8	35.9	8.9	4.5	2.8	1.9	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0
	9	29.7	8.3	4.1	2.6	1.8	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
	10	26.3	7.4	3.7	2.4	1.6	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	10	26.3	7.4	3.7	2.4	1.6	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
RUNSUM	2	24.1	13.1	7.4	4.9	3.7	2.9	2.5	2.1	1.9	1.7
	3	20.8	9.5	5.8	3.7	2.9	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4
	4	19.2	8.7	4.7	3.2	2.3	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2
	5	17.3	6.9	3.9	2.8	2.2	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1
	6	16.1	6.2	3.4	2.4	1.9	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1
	7	14.8	5.5	3.1	2.3	1.8	1.5	1.3	1.1	1.1	1.0
	8	13.4	5.2	2.9	2.1	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
	9	12.2	4.6	2.7	1.9	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0
	10	11.2	4.3	2.6	1.9	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
	10	11.2	4.3	2.6	1.9	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0



ภาพที่ 9 กราฟแสดงค่า ARL และ Mean Shifts เมื่อ $l = 60$ และ $n = 2, 3, 4$



ภาพที่ 9 (ต่อ)



ภาพที่ 9 (ต่อ)

จากตารางที่ 3 และกราฟที่ 9 สามารถอธิบายประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพต่าง ๆ ดังนี้

เมื่อพิจารณาที่ขนาดตัวอย่างที่ส่งผลต่อค่า ARL สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า ARL ลดต่ำลงทำให้สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยได้ดียิ่งขึ้น โดยแผนภูมิควบคุม RUNSUM, EWMA, Synthetic 300 และ Synthetic 370 เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า ARL ลดลงทุกช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย แต่แผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า ARL เพิ่มขึ้นในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 0.2σ ถึง 0.4σ และหากช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 0.6σ เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า ARL ลดลงในทุกช่วงของระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกับแผนภูมิ RUNSUM, EWMA, Synthetic 300 และ Synthetic 370

เมื่อพิจารณาที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่ส่งผลต่อค่า ARL สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า ARL ลดต่ำลงและลดต่ำลงมากกว่าเมื่อเทียบกับการเพิ่มขนาดตัวอย่างทำให้สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยได้ดียิ่งขึ้น โดยทุกแผนภูมิควบคุมมีค่า ARL ลดต่ำลงเมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาที่ขนาดตัวอย่างและระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่ส่งผลต่อค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิควบคุม สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพที่สุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 0.2σ ถึง 0.6σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 2 ถึง 10 ให้ค่า ARL ที่ต่ำลงและใกล้เคียงกรณีที่ $l = 40$
2. แผนภูมิควบคุม Synthetic 300 มีประสิทธิภาพที่สุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 0.8σ ถึง 1.8σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 7 ถึง 10 ให้ค่า ARL ที่ต่ำลงและใกล้เคียงกรณีที่ $l = 40$
3. แผนภูมิควบคุม Synthetic 370 มีประสิทธิภาพที่สุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 1.0σ ถึง 1.8σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 7 ถึง 10 ให้ค่า ARL ที่ต่ำลงและใกล้เคียงกรณีที่ $l = 40$ และประสิทธิภาพใกล้เคียงแผนภูมิควบคุม Synthetic 370
4. แผนภูมิควบคุม EWMA และ Fuzzy p-chart มีประสิทธิภาพที่สุดในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 1.6σ ถึง 2.0σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 8 ถึง 10 ให้ค่า ARL ที่ต่ำลงและใกล้เคียงกับกรณีที่

ตารางที่ 4 แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมตามสถานการณ์ต่างๆ

l	Mean Shift	n								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	0.2	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS
	0.4	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS
	0.6	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS
	0.8	RS	RS	RS	RS	RS	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.0	RS	RS	RS	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.2	RS	RS	RS	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.4	RS	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.6	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	All	All	All
	1.8	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	All	All	All
	2.0	All	All	All	All	All	All	All	All	All
40	0.2	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS
	0.4	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS
	0.6	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS
	0.8	RS	RS	RS	RS	RS	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.0	RS	RS	RS	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.2	RS	RS	RS	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.4	RS	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.6	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	All	All	All
	1.8	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	All	All	All
	2.0	All	All	All	All	All	All	All	All	All

โดย RS คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง

Syn คือ แผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์ ARL_0 เท่ากับ 300

All คือ แผนภูมิควบคุมทุกแผนภูมิ

ตารางที่ 4 (ต่อ)

l	Mean Shift	n								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
60	0.2	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS
	0.4	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS
	0.6	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS	RS
	0.8	RS	RS	RS	RS	RS	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.0	RS	RS	RS	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.2	RS	RS	RS	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.4	RS	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn
	1.6	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	All	All	All
	1.8	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	Syn	All	All	All
	2.0	All	All	All	All	All	All	All	All	All

โดย RS คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวง

Syn คือ แผนภูมิควบคุมสัณฐาน ARL₀ เท่ากับ 300

All คือ แผนภูมิควบคุมทุกแผนภูมิ

จากตารางที่ 4 เป็นตารางที่แสดงผลสรุปของแผนภูมิควบคุมคุณภาพทั้ง 4 ชนิด ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยและขนาดตัวอย่างต่างๆ สามารถอธิบายผลได้ดังนี้

1. ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 0.2σ ถึง 0.6σ แผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพดีที่สุด
2. ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8σ ถ้าขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 7 แผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่ถ้าขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 7 แผนภูมิควบคุม Synthetic 300 มีประสิทธิภาพดีที่สุด
3. ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.0σ ถึง 1.2σ ถ้าขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 5 แผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่ถ้าขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 5 แผนภูมิควบคุม Synthetic 300 มีประสิทธิภาพดีที่สุด
4. ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.4σ ถ้าขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 3 แผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่ถ้าขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 3 แผนภูมิควบคุม Synthetic 300 มีประสิทธิภาพดีที่สุด
5. ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.6σ ถึง 1.8σ ถ้าขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 8 แผนภูมิควบคุม Synthetic 300 มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่ถ้าขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 8 แผนภูมิควบคุมทุกแผนภูมิมีประสิทธิภาพเท่ากัน
6. ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.0σ ทุกแผนภูมิควบคุมมีประสิทธิภาพดีเทียบเท่ากัน
7. ที่จำนวนชุดตัวอย่างเพิ่มขึ้นมีผลต่อค่า ARL ทำให้ค่า ARL ต่ำลง แต่ที่จำนวนชุดตัวอย่างตั้งแต่ 40 ค่า ARL จะเริ่มคงที่ และไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของแต่ละแผนภูมิที่จำนวนชุดตัวอย่างเดียวกัน

วิจารณ์

จากกราฟที่ 7 ถึง 9 และตารางที่ 1 ถึง 4 สามารถอธิบายได้ว่า แผนภูมิควบคุมคุณภาพทุกแผนภูมิสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการเร็วขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้นหรือระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการเพิ่มขึ้น ในการวิจัยครั้งนี้ไม่มีแผนภูมิควบคุมคุณภาพใดดีที่สุดในทุกสถานการณ์ โดยพบว่าแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพดีที่สุดในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการตั้งแต่ 0.2σ ถึง 0.6σ ไม่ว่าขนาดตัวอย่างเป็นเท่าใดก็ตามซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของนิยม(นิยม, 2545)

แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ Synthetic 300 และ 370 มีประสิทธิภาพดีที่สุดในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการตั้งแต่ 0.8σ ถึง 2.0σ เมื่อขนาดตัวอย่าง 6 ถึง 10 โดยสอดคล้องกับผลการวิจัยของปรีศณี(ปรีศณี, 2544) และเหมาะกับการเลือกใช้งานที่ระดับการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.8σ ที่ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 6 เป็นต้นไป

แผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแบบฟัซซี่ (Fuzzy p-chart) มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการตั้งแต่ 1.6σ ถึง 2.0σ เมื่อขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 8 ถึง 10 โดยแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแบบฟัซซี่ (Fuzzy p-chart) ให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Vahid Amirzadeh, et al., 2009) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการตรวจพบที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.6σ เป็นต้นไป แต่มีจุดเด่นตรงที่สามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้ตามประสบการณ์ของผู้ใช้ ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานกับการควบคุมคุณภาพในสถานการณ์ที่ค่าตัวแปรที่วัดได้มีความคลุมเครือ เช่น ประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดมีความคลาดเคลื่อน เป็นต้น ซึ่งแผนภูมิควบคุมคุณภาพ 4 ชนิด แรก คือ แผนภูมิควบคุม RUNSUM, EWMA, Synthetic 300 และ Synthetic 370 ไม่สามารถปรับฟังก์ชันได้และต้องขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่างและข้อมูลที่ได้ต้องมีความถูกต้องจึงจะสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงได้ ถูกต้องและแผนภูมิควบคุมคุณภาพทุกชนิดมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการตั้งแต่ 2.0σ ขึ้นไป

เมื่อจำนวนชุดตัวอย่าง (I) เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่า ARL ในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตของแต่ละแผนภูมิควบคุมคุณภาพต่างๆ โดยค่า ARL ลดต่ำลงทำให้สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงได้ดีขึ้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด ได้แก่ แผนภูมิ RUNSUM, EWMA, Synthetic และ Fuzzy p-chart ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้จากการจำลองข้อมูลด้วยวิธีมอนติคาร์โล กระทำซ้ำจำนวน 1000 ครั้ง ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ จำนวนชุดตัวอย่าง (I) ที่ใช้ในการประมาณค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติในการสร้างขอบเขตควบคุมซึ่งถูกใช้เป็นเส้นกึ่งกลางของแผนภูมิ เท่ากับ 20, 40 และ 60 ตามลำดับ ขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ตามลำดับ ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย (γ) เท่ากับ 0.2 σ , 0.4 σ , 0.6 σ , 0.8 σ , 1.0 σ , 1.2 σ , 1.4 σ , 1.6 σ , 1.8 σ , 2.0 σ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. จำนวนชุดตัวอย่าง (I) เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่า ARL ต่ำลง และมีผลต่อค่า ARL ในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้เร็วขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างขนาดเล็กซึ่งมีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 2 ถึง 4 และระดับการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.2 σ ถึง 1.0 σ
2. ขนาดตัวอย่าง (n) และระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย (γ) เพิ่มมากขึ้นจะทำให้สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยได้ดีขึ้น
3. แผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพดีในช่วง 0.2 σ ถึง 0.6 σ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 2 ถึง 6
4. แผนภูมิควบคุม EWMA มีประสิทธิภาพดีในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 1.6 σ ถึง 2.0 σ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 8 ถึง 10
5. แผนภูมิควบคุม Synthetic 300 และ 370 มีประสิทธิภาพดีในช่วง 0.8 σ ถึง 2.0 σ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 7 ถึง 10 และในบางสถานการณ์มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแผนภูมิควบคุม RUNSUM
6. แผนภูมิควบคุม Fuzzy p-chart มีประสิทธิภาพดีในช่วงระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 1.6 σ ถึง 2.0 σ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 8 ถึง 10

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำเสนอข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป ได้ดังนี้

1. การวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละแผนภูมิควบคุมคุณภาพเฉพาะกรณีความแปรปรวนคงที่ สำหรับกรณีที่ความแปรปรวนไม่คงที่ ผู้สนใจสามารถวิจัยเพิ่มเติมซึ่งอาจมีประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพในลักษณะที่ความแปรปรวนของกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด
2. การวิจัยนี้ศึกษาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในลักษณะ Triangular fuzzy number เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกลักษณะใหม่ เช่น ฟังก์ชันเกาส์เซียน(Gaussian membership function) ฟังก์ชันระฆังคว่ำ(Bell-shaped membership function) เป็นต้น ผู้วิจัยสามารถวิจัยเพิ่มได้เพื่อปรับปรุงให้ประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้เร็วขึ้นหรือเหมาะสมกับสถานการณ์ต่างๆมากยิ่งขึ้น
3. ลักษณะข้อมูลที่น่ามาศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพอาจใช้การแจกแจงแบบอื่นๆ เช่น การแจกแจงเบต้า การแจกแจงแกมมา การแจกแจงทวินาม เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กัลยา วาณิชบัญชา. 2550. การวิเคราะห์สถิติ : สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. ครั้งที่ 9. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ธีรวัฒน์ ประกอบผล. 2550. คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษา C. ครั้งที่ 1. ชัคเชส มีเดีย, กรุงเทพฯ.

นภัศร เขียวพัฒนะวงศ์. 2545. การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยในค่าเฉลี่ย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นัชรญาณกร กองทรัพย์. 2548. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิยม เจริญสุขโสภณ. 2545. การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปรีศนี ทิพย์โสคติ. 2544. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับตรวจวัดกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในค่าเฉลี่ย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พิมพ์พรรณ อัมพันธ์ทอง. 2545. การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Borror, D.C. Montgomery and G.C. Runger. 1999. Robustness of the EWMA control chart to non-normality. **Journal of Quality Technology**. (31): 309-316.

Calzada, M.E. and S.M. Scariano. 2001. The robustness of the synthetic control chart to Non-Normality. **Commu. Statist.-Simula**. (30): 311-326.

- Champ, C.W. and S.E. Rigdon. 1997. An Analysis of Run Sum Control Chart. **Journal of Quality Technology**. 1997 (29): 407-417.
- Hogg, R.V. and Craig. 2005. **Introduction to Mathematical Statistics**. Sixth ed. Pearson Prentice Hall, The United States of America.
- Huang, H.J. and Chen, F.L. 2005. A synthetic control chart for monitoring process dispersion with sample standard deviation. **Computers & Industrial Engineering**. 2005 (49): 221-240.
- Montgomery, D.C. 2009. **Introduction to Statistical Quality Control**. Sixth ed. John Wiley and Sons, New York.
- Reynolds, J.H. 1971. The Run Sum Control Chart Procedure. **Journal of Quality Technology**. 1971 (3): 23-27.
- Vahid AmirZadeh, Mashaallah Mashinchi, Abbas Parchami. 2009. Construction of p-chart using degree of nonconformity. **Information Science**. 2009 (179): 150-160.
- Vera do Carmo C. de Vargas, Luis Felipe Dias Lopes and Adriano Mendonca Souza. 2004. Comparative study of the performance of the CUSUM and EWMA control charts. **Computer & Industrial Engineering**. 2004 (46): 707-724.
- Zhang, W. and T.A. Spedding. 2000. A synthetic control chart for detecting small shifts in the process mean. **Journal of Quality Technology**. (32): 32-38.





ภาคผนวก ก

การสร้างเลขสุ่มด้วยวิธี Multiplicative Congruential Method

การสร้างเลขสุ่มด้วยวิธี Multiplicative Congruential Method จากสมการดังนี้(นิยม, 2545)

$$X_i = (aX_{i-1}) \bmod M$$

โดยให้ X_i คือ ค่าเศษเหลือที่เกิดจากการหาร

X_{i-1} คือ ค่าเริ่มต้น โดยสุ่มเลือกจากค่าจำนวนเต็มบวกที่เป็นเลขคี่ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง $M-1$

a คือ ค่าคงที่มีค่า 7^5 เท่ากับ 16,807

M คือ ค่าคงที่มีค่า $2^{31}-1$ เท่ากับ 2,147,483,647

ตัวเลขจำนวนเต็ม $x_1, x_2, \dots$ จะมีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง 0 ถึง $M-1$ ดังนั้นตัวเลขสุ่ม $R_1, R_2, \dots$ จะมีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง 0 ถึง 1 จากสมการดังนี้

$$R_i = \frac{X_i}{M} ; i = 1, 2, \dots$$

เนื่องจากการกำหนดค่า a, M, X_{i-1} มีความสำคัญมากในการสร้างเลขสุ่ม เนื่องจากค่าเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อค่าทางสถิติและความยาวของชุดตัวเลขสุ่ม จาก $R_i = \frac{X_i}{M}$ เป็นค่าไม่ต่อเนื่อง หากจะทำให้เกิดการต่อเนื่องจึงต้องให้ค่า M มีค่าจำนวนมากๆ จะมีผลต่อช่องว่าง R_i มีความหนาแน่นมากทำให้เกิดความต่อเนื่องของการแจกแจง

การเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างเลขสุ่มที่เป็นเลขคี่และเป็นจำนวนเต็มบวกดังนี้
โดยสุ่ม X_{i-1} จำนวน 2 ค่า เพื่อสร้างตัวแปรสม่ำเสมอจำนวน 2 ตัว

```
if ( i == 0 )
{
    random1Nums[i] = rand() % 2147483647 ;
    while ( ((long ) random1Nums[i])%2 == 0 )
    {
        random1Nums[i] = rand() % 2147483647;
    }
    random2Nums[i] = rand() % 2147483647;
    while ( ((long ) random2Nums[i])%2 == 0 )
    {
        random2Nums[i] = rand() % 2147483647;
    }
    //printf( "rand 1 ::: %f rand 2 ::: %f\n" , random1Nums[i] , random2Nums[i] );
}
else
{
    temp = 16807 * random1Nums[i-1];
    random1Nums[i] = fmod( temp, 2147483647 );
    temp = 16807 * random2Nums[i-1];
    random2Nums[i] = fmod( temp, 2147483647 );
}
```



ภาคผนวก ข

ค่า K, L และ ARL1 ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบถังกระะห์

Data Synthetics

ARL0 = 370

$N = 2$, shift = 0.2, $L = 86$, $k = 2.7274$, $ARL1 = 223.7457$
 $N = 2$, shift = 0.4, $L = 46$, $k = 2.6355$, $ARL1 = 83.15244$
 $N = 2$, shift = 0.6, $L = 25$, $k = 2.5395$, $ARL1 = 31.66443$
 $N = 2$, shift = 0.8, $L = 15$, $k = 2.4549$, $ARL1 = 13.98696$
 $N = 2$, shift = 1.0, $L = 9$, $k = 2.3665$, $ARL1 = 7.200848$
 $N = 2$, shift = 1.2, $L = 7$, $k = 2.3216$, $ARL1 = 4.243511$
 $N = 2$, shift = 1.4, $L = 5$, $k = 2.2602$, $ARL1 = 2.803998$
 $N = 2$, shift = 1.6, $L = 4$, $k = 2.2186$, $ARL1 = 2.042480$
 $N = 2$, shift = 1.8, $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.611457$
 $N = 2$, shift = 2.0, $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.361037$

$N = 3$, shift = 0.2, $L = 75$, $k = 2.7079$, $ARL1 = 181.9188$
 $N = 3$, shift = 0.4, $L = 34$, $k = 2.5886$, $ARL1 = 53.04983$
 $N = 3$, shift = 0.6, $L = 17$, $k = 2.4760$, $ARL1 = 17.93708$
 $N = 3$, shift = 0.8, $L = 10$, $k = 2.3850$, $ARL1 = 7.649189$
 $N = 3$, shift = 1.0, $L = 6$, $k = 2.2937$, $ARL1 = 4.007245$
 $N = 3$, shift = 1.2, $L = 4$, $k = 2.2186$, $ARL1 = 2.48797$
 $N = 3$, shift = 1.4, $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.769157$
 $N = 3$, shift = 1.6, $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.40324$
 $N = 3$, shift = 1.8, $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.204941$
 $N = 3$, shift = 2.0, $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.099278$

$N = 4$, shift = 0.2, $L = 67$, $k = 2.6916$, $ARL1 = 151.0828669$
 $N = 4$, shift = 0.4, $L = 27$, $k = 2.5520$, $ARL1 = 37.0129612$
 $N = 4$, shift = 0.6, $L = 13$, $k = 2.4305$, $ARL1 = 11.74523$
 $N = 4$, shift = 0.8, $L = 7$, $k = 2.3216$, $ARL1 = 5.016817$
 $N = 4$, shift = 1.0, $L = 5$, $k = 2.2602$, $ARL1 = 2.733827$
 $N = 4$, shift = 1.2, $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.806821$
 $N = 4$, shift = 1.4, $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.380539$
 $N = 4$, shift = 1.6, $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.173065$
 $N = 4$, shift = 1.8, $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.073843$
 $N = 4$, shift = 2.0, $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.029301$

$N = 5$, shift = 0.2, $L = 60$, $k = 2.6754$, $ARL1 = 127.6501953$
 $N = 5$, shift = 0.4, $L = 23$, $k = 2.5260$, $ARL1 = 27.4348455$
 $N = 5$, shift = 0.6, $L = 11$, $k = 2.4016$, $ARL1 = 8.422354$
 $N = 5$, shift = 0.8, $L = 6$, $k = 2.2937$, $ARL1 = 3.66521$
 $N = 5$, shift = 1.0, $L = 4$, $k = 2.2186$, $ARL1 = 2.096264$
 $N = 5$, shift = 1.2, $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.472532$
 $N = 5$, shift = 1.4, $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.199643$
 $N = 5$, shift = 1.6, $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.077559$

$N = 5$, shift = 1.8 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.027577$
 $N = 5$, shift = 2.0 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.008626$

$N = 6$, shift = 0.2 , $L = 55$, $k = 2.6624$, $ARL1 = 109.3990336$
 $N = 6$, shift = 0.4 , $L = 19$, $k = 2.4945$, $ARL1 = 21.2471649$
 $N = 6$, shift = 0.6 , $L = 9$, $k = 2.3665$, $ARL1 = 6.425414$
 $N = 6$, shift = 0.8 , $L = 5$, $k = 2.2602$, $ARL1 = 2.878402$
 $N = 6$, shift = 1.0 , $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.733749$
 $N = 6$, shift = 1.2 , $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.294004$
 $N = 6$, shift = 1.4 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.10697$
 $N = 6$, shift = 1.6 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.035576$
 $N = 6$, shift = 1.8 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.010254$
 $N = 6$, shift = 2.0 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.002455$

$N = 7$, shift = 0.2 , $L = 50$, $k = 2.6481$, $ARL1 = 94.8889201$
 $N = 7$, shift = 0.4 , $L = 17$, $k = 2.4760$, $ARL1 = 17.0139740$
 $N = 7$, shift = 0.6 , $L = 8$, $k = 2.3456$, $ARL1 = 5.132882$
 $N = 7$, shift = 0.8 , $L = 4$, $k = 2.2186$, $ARL1 = 2.38$
 $N = 7$, shift = 1.0 , $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.506758$
 $N = 7$, shift = 1.2 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.182253$
 $N = 7$, shift = 1.4 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.05854$
 $N = 7$, shift = 1.6 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.016342$
 $N = 7$, shift = 1.8 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.003733$
 $N = 7$, shift = 2.0 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.000672$

$N = 8$, shift = 0.2 , $L = 46$, $k = 2.6355$, $ARL1 = 83.1524379$
 $N = 8$, shift = 0.4 , $L = 15$, $k = 2.4549$, $ARL1 = 13.9869633$
 $N = 8$, shift = 0.6 , $L = 7$, $k = 2.3216$, $ARL1 = 4.243511$
 $N = 8$, shift = 0.8 , $L = 4$, $k = 2.2186$, $ARL1 = 2.04248$
 $N = 8$, shift = 1.0 , $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.361037$
 $N = 8$, shift = 1.2 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.115294$
 $N = 8$, shift = 1.4 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.032287$
 $N = 8$, shift = 1.6 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.007434$
 $N = 8$, shift = 1.8 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.001325$
 $N = 8$, shift = 2.0 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.000177$

$N = 9$, shift = 0.2 , $L = 42$, $k = 2.6215$, $ARL1 = 73.5181112$
 $N = 9$, shift = 0.4 , $L = 13$, $k = 2.4305$, $ARL1 = 11.7452276$
 $N = 9$, shift = 0.6 , $L = 6$, $k = 2.2937$, $ARL1 = 3.603873$
 $N = 9$, shift = 0.8 , $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.806821$
 $N = 9$, shift = 1.0 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.260323$
 $N = 9$, shift = 1.2 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.073843$
 $N = 9$, shift = 1.4 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.017799$

$N = 9$, shift = 1.6 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.003332$
 $N = 9$, shift = 1.8 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.000458$
 $N = 9$, shift = 2.0 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.000045$

$N = 10$, shift = 0.2 , $L = 39$, $k = 2.6101$, $ARL1 = 65.5069756$
 $N = 10$, shift = 0.4 , $L = 12$, $k = 2.4167$, $ARL1 = 10.0385847$
 $N = 10$, shift = 0.6 , $L = 5$, $k = 2.2602$, $ARL1 = 3.130706$
 $N = 10$, shift = 0.8 , $L = 3$, $k = 2.1638$, $ARL1 = 1.629917$
 $N = 10$, shift = 1.0 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.187045$
 $N = 10$, shift = 1.2 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.047602$
 $N = 10$, shift = 1.4 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.00976$
 $N = 10$, shift = 1.6 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.001469$
 $N = 10$, shift = 1.8 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.000155$
 $N = 10$, shift = 2.0 , $L = 2$, $k = 2.0846$, $ARL1 = 1.000011$

ARL0 = 300

$N = 2$, shift = 0.2 , $L = 74$, $k = 2.6662$, $ARL1 = 185.2031$
 $N = 2$, shift = 0.4 , $L = 41$, $k = 2.5783$, $ARL1 = 71.6617$
 $N = 2$, shift = 0.6 , $L = 22$, $k = 2.4790$, $ARL1 = 27.87998$
 $N = 2$, shift = 0.8 , $L = 15$, $k = 2.4149$, $ARL1 = 12.61987$
 $N = 2$, shift = 1.0 , $L = 9$, $k = 2.3259$, $ARL1 = 6.619334$
 $N = 2$, shift = 1.2 , $L = 7$, $k = 2.2806$, $ARL1 = 3.973531$
 $N = 2$, shift = 1.4 , $L = 5$, $k = 2.2186$, $ARL1 = 2.662411$
 $N = 2$, shift = 1.6 , $L = 4$, $k = 2.1765$, $ARL1 = 1.963744$
 $N = 2$, shift = 1.8 , $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.564342$
 $N = 2$, shift = 2.0 , $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.33365$

$N = 3$, shift = 0.2 , $L = 65$, $k = 2.6474$, $ARL1 = 151.732788$
 $N = 3$, shift = 0.4 , $L = 31$, $k = 2.5345$, $ARL1 = 46.0170507$
 $N = 3$, shift = 0.6 , $L = 16$, $k = 2.4259$, $ARL1 = 16.05183$
 $N = 3$, shift = 0.8 , $L = 10$, $k = 2.3445$, $ARL1 = 7.025268$
 $N = 3$, shift = 1.0 , $L = 6$, $k = 2.2524$, $ARL1 = 3.753673$
 $N = 3$, shift = 1.2 , $L = 4$, $k = 2.1765$, $ARL1 = 2.369518$
 $N = 3$, shift = 1.4 , $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.708950$
 $N = 3$, shift = 1.6 , $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.370862$
 $N = 3$, shift = 1.8 , $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.187422$
 $N = 3$, shift = 2.0 , $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.090359$

$N = 4$, shift = 0.2 , $L = 58$, $k = 2.6307$, $ARL1 = 126.8351191$
 $N = 4$, shift = 0.4 , $L = 25$, $k = 2.5000$, $ARL1 = 32.4427796$

$N = 4$, shift = 0.6, $L = 12$, $k = 2.3765$, $ARL1 = 10.64084$
 $N = 4$, shift = 0.8, $L = 7$, $k = 2.2806$, $ARL1 = 4.664267$
 $N = 4$, shift = 1.0, $L = 5$, $k = 2.2186$, $ARL1 = 2.598795$
 $N = 4$, shift = 1.2, $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.743421$
 $N = 4$, shift = 1.4, $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.351669$
 $N = 4$, shift = 1.6, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.158128$
 $N = 4$, shift = 1.8, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.067037$
 $N = 4$, shift = 2.0, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.026344$

$N = 5$, shift = 0.2, $L = 53$, $k = 2.6173$, $ARL1 = 107.7716403$
 $N = 5$, shift = 0.4, $L = 21$, $k = 2.4714$, $ARL1 = 24.2549454$
 $N = 5$, shift = 0.6, $L = 10$, $k = 2.3445$, $ARL1 = 7.70542$
 $N = 5$, shift = 0.8, $L = 6$, $k = 2.2524$, $ARL1 = 3.446641$
 $N = 5$, shift = 1.0, $L = 4$, $k = 2.1765$, $ARL1 = 2.012901$
 $N = 5$, shift = 1.2, $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.436538$
 $N = 5$, shift = 1.4, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.182553$
 $N = 5$, shift = 1.6, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.070442$
 $N = 5$, shift = 1.8, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.024776$
 $N = 5$, shift = 2.0, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.00764$

$N = 6$, shift = 0.2, $L = 48$, $k = 2.6024$, $ARL1 = 92.8269912$
 $N = 6$, shift = 0.4, $L = 18$, $k = 2.4457$, $ARL1 = 18.9227126$
 $N = 6$, shift = 0.6, $L = 8$, $k = 2.3048$, $ARL1 = 5.92831$
 $N = 6$, shift = 0.8, $L = 5$, $k = 2.2186$, $ARL1 = 2.729797$
 $N = 6$, shift = 1.0, $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.676522$
 $N = 6$, shift = 1.2, $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.271646$
 $N = 6$, shift = 1.4, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.097418$
 $N = 6$, shift = 1.6, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.032133$
 $N = 6$, shift = 1.8, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.009101$
 $N = 6$, shift = 2.0, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.002141$

$N = 7$, shift = 0.2, $L = 44$, $k = 2.5892$, $ARL1 = 80.8788024$
 $N = 7$, shift = 0.4, $L = 15$, $k = 2.4149$, $ARL1 = 15.2486582$
 $N = 7$, shift = 0.6, $L = 7$, $k = 2.2806$, $ARL1 = 4.767772$
 $N = 7$, shift = 0.8, $L = 4$, $k = 2.1765$, $ARL1 = 2.271444$
 $N = 7$, shift = 1.0, $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.468063$
 $N = 7$, shift = 1.2, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.166571$
 $N = 7$, shift = 1.4, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.053026$
 $N = 7$, shift = 1.6, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.01459$
 $N = 7$, shift = 1.8, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.003272$
 $N = 7$, shift = 2.0, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.000577$

$N = 8$, shift = 0.2, $L = 41$, $k = 2.5783$, $ARL1 = 71.1661733$
 $N = 8$, shift = 0.4, $L = 13$, $k = 2.3903$, $ARL1 = 12.6080599$

$N = 8$, shift = 0.6, $L = 6$, $k = 2.3110$, $ARL1 = 3.966798$
 $N = 8$, shift = 0.8, $L = 4$, $k = 2.1765$, $ARL1 = 1.963744$
 $N = 8$, shift = 1.0, $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.33365$
 $N = 8$, shift = 1.2, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.105059$
 $N = 8$, shift = 1.4, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.02906$
 $N = 8$, shift = 1.6, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.006571$
 $N = 8$, shift = 1.8, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.001146$
 $N = 8$, shift = 2.0, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.000115$

$N = 9$, shift = 0.2, $L = 38$, $k = 2.5666$, $ARL1 = 63.1568530$
 $N = 9$, shift = 0.4, $L = 12$, $k = 2.3765$, $ARL1 = 10.6408428$
 $N = 9$, shift = 0.6, $L = 6$, $k = 2.2524$, $ARL1 = 3.391473$
 $N = 9$, shift = 0.8, $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.743421$
 $N = 9$, shift = 1.0, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.238817$
 $N = 9$, shift = 1.2, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.067037$
 $N = 9$, shift = 1.4, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.015908$
 $N = 9$, shift = 1.6, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.002916$
 $N = 9$, shift = 1.8, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.000391$
 $N = 9$, shift = 2.0, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.000038$

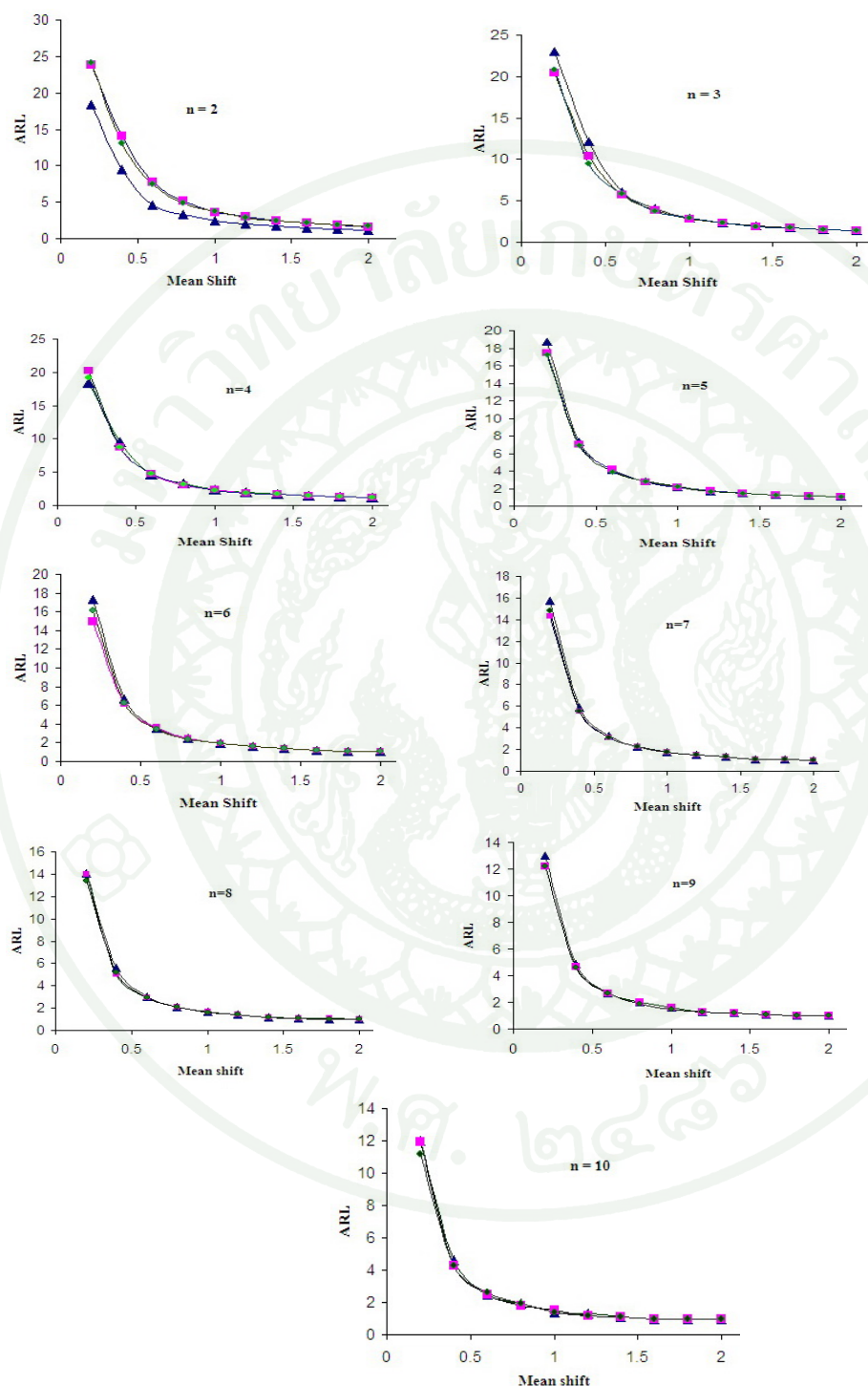
$N = 10$, shift = 0.2, $L = 35$, $k = 2.5537$, $ARL1 = 56.469872$
 $N = 10$, shift = 0.4, $L = 11$, $k = 2.3613$, $ARL1 = 9.1368867$
 $N = 10$, shift = 0.6, $L = 5$, $k = 2.2186$, $ARL1 = 2.957821$
 $N = 10$, shift = 0.8, $L = 3$, $k = 2.1212$, $ARL1 = 1.581295$
 $N = 10$, shift = 1.0, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.170976$
 $N = 10$, shift = 1.2, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.043028$
 $N = 10$, shift = 1.4, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.008658$
 $N = 10$, shift = 1.6, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.001273$
 $N = 10$, shift = 1.8, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.000131$
 $N = 10$, shift = 2.0, $L = 2$, $k = 2.0410$, $ARL1 = 1.000009$



ภาคผนวก ค

ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด ที่จำนวนชุดตัวอย่างต่างๆ

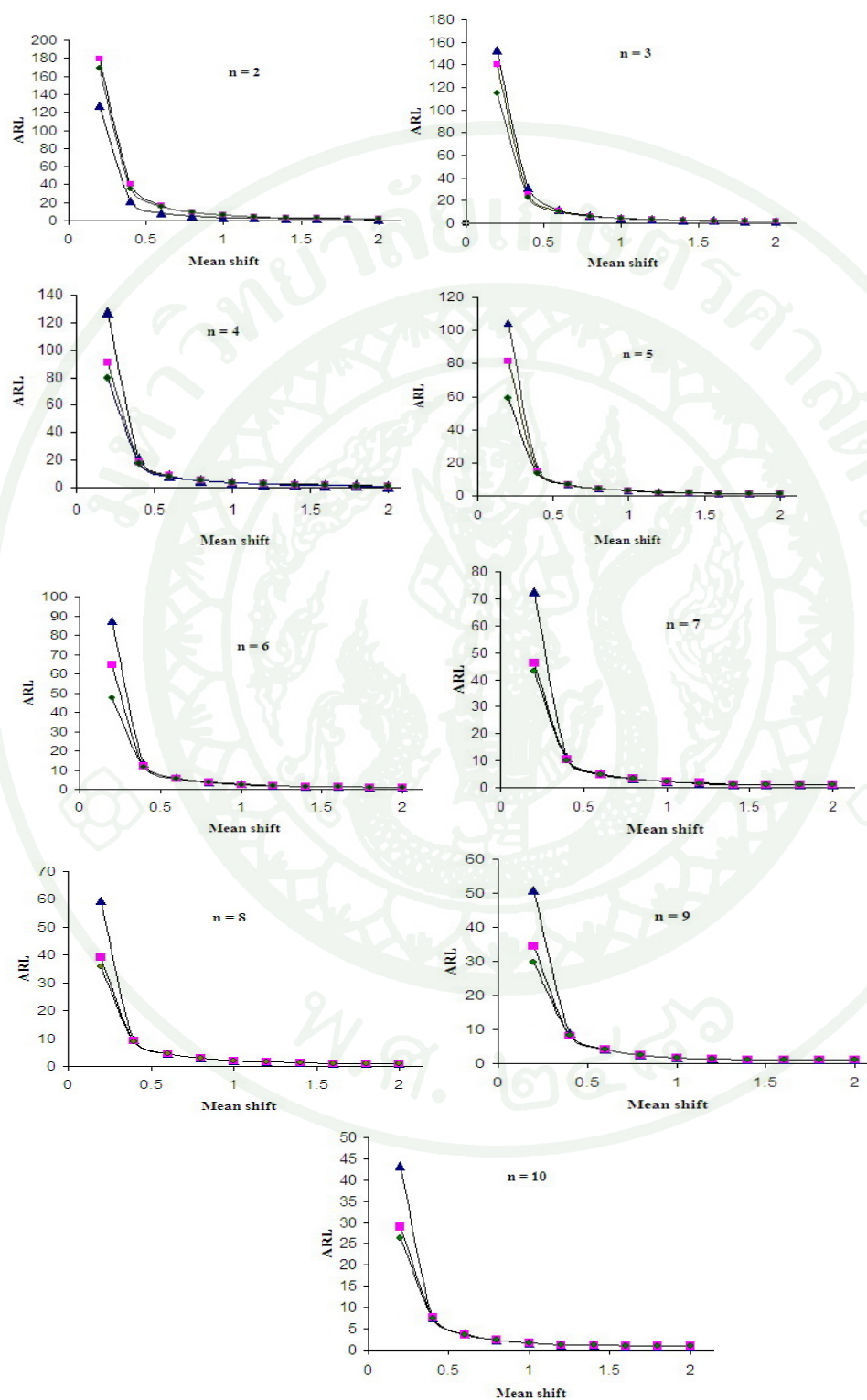
ประสิทธิภาพของแผนภูมิ RUNSUM ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังนี้
 ▲ L20 ■ L40 ● L60



ภาพที่ ค1 กราฟแสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบ RUNSUM

ประสิทธิภาพของแผนภูมิ EWMA ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังนี้

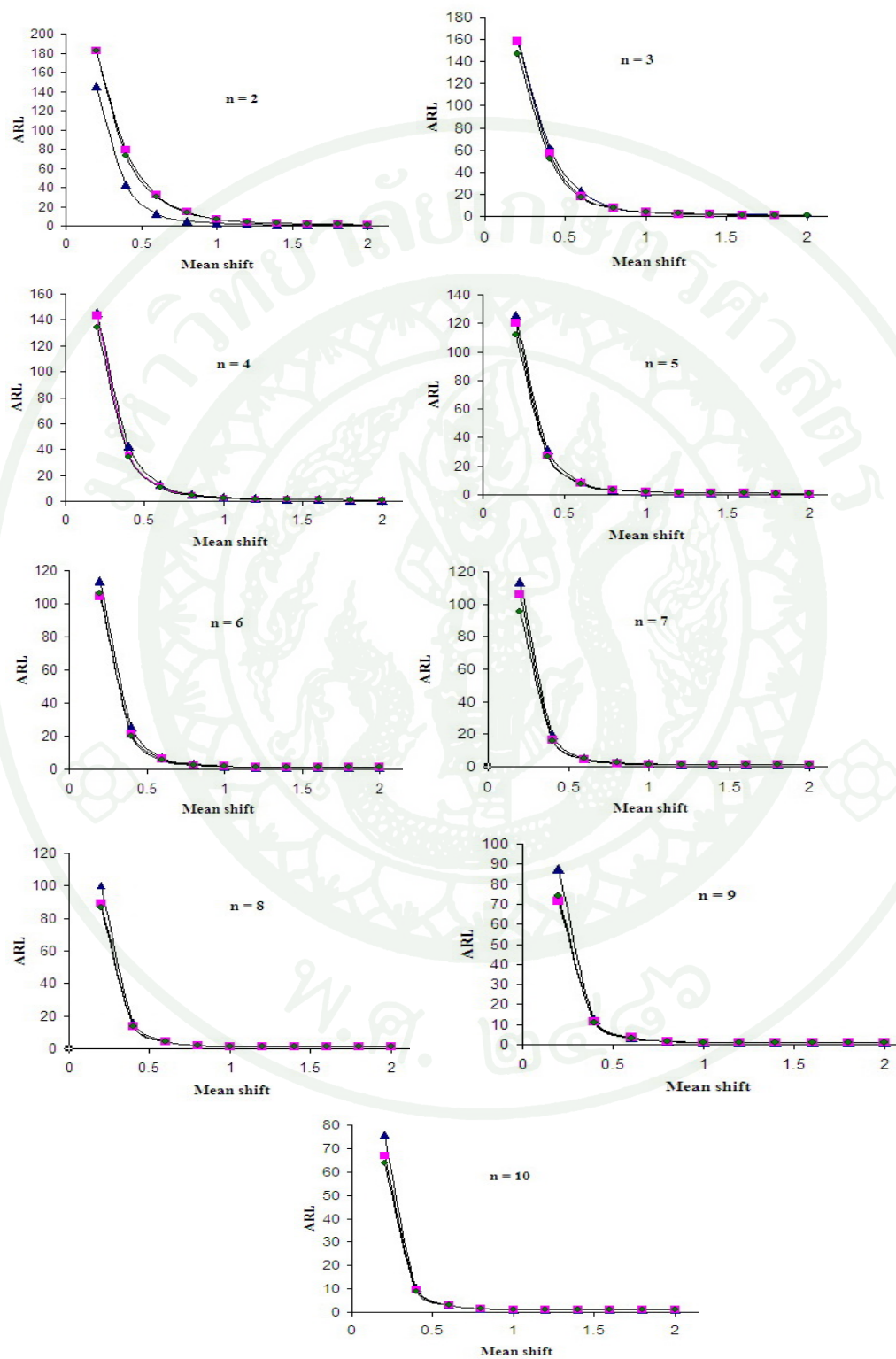
—▲— L20 —■— L40 —●— L60



ภาพที่ ๑๒ กราฟแสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบ EWMA

ประสิทธิภาพของแผนภูมิ Synthetic – 300 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังนี้

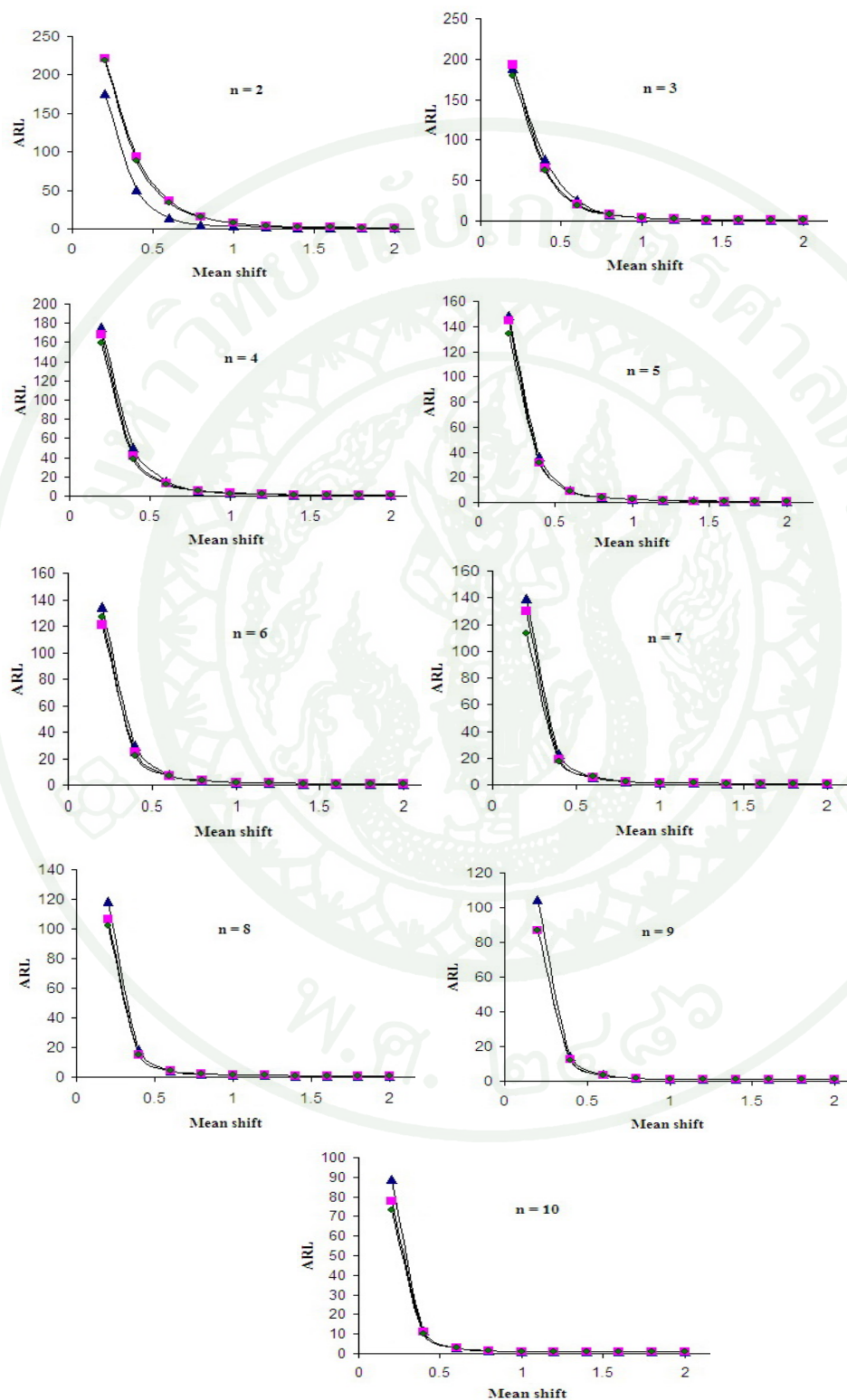
—▲— L20 —■— L40 —●— L60



ภาพที่ ๓3 กราฟแสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบ Synthetic – 300

ประสิทธิภาพของแผนภูมิ Synthetic – 370 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังนี้

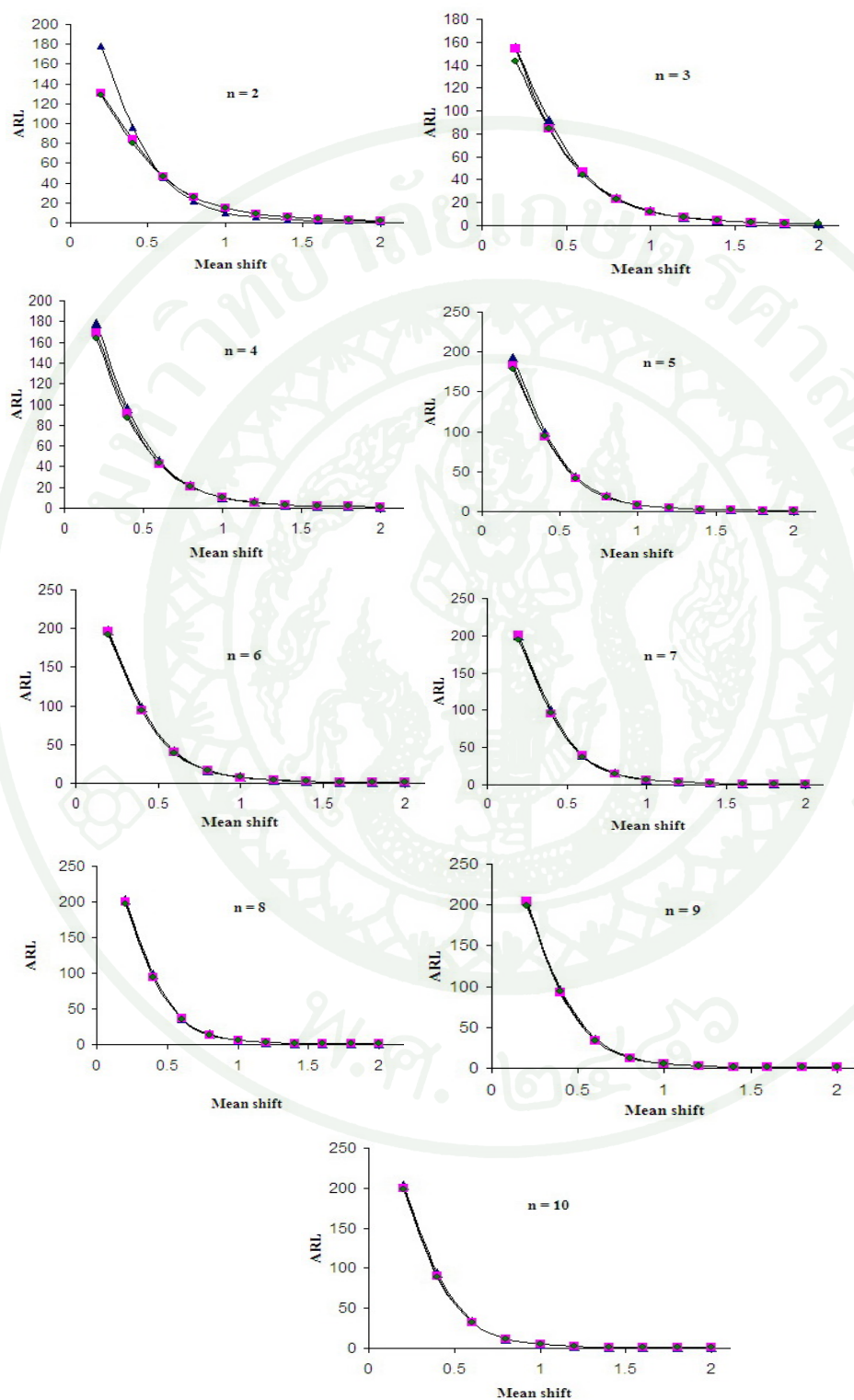
—▲— L20 —■— L40 —●— L60



ภาพที่ ค4 กราฟแสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบ Synthetic – 370

ประสิทธิภาพของแผนภูมิ Fuzzy p-chart ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังนี้

—▲— L20 —■— L40 —●— L60



ภาพที่ ๓5 กราฟแสดงค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ Fuzzy p-chart



```

#include "stdio.h"
#include "stdlib.h"
#include <time.h>
#include <math.h>

double n, m, l, r, mu0, mu, c, gamma, sigma, sigma_fuzzy, UCL, CL, LCL;
double UCL_test, CL_test, LCL_test, Lamda, UCL_test_fuzzy, CL_test_fuzzy,
LCL_test_fuzzy;
void main()
{
    int i, k, r, h, t, j, b, round, samples;
    float A_300, A_370, L_300, L_370;
    double temp, x_bar_bar, x_bar_bar_test, sd, sd_test;
    double sd_bar, sd_bar_test, S0, S1, S2, S3, S4, S5;

    long double random1Nums[5000], random2Nums[5000], N[5000], Z[5000],
    Zi[5000];
    long double Ab[8000], x[8000], s[8000], x_bar[8000],
    scores[8000], Out_x_bar[20], Out_sd[20];
    int roundRunsums[5000], roundEWMA[5000], roundSynthetics_370[5000],
    roundSynthetics_300[5000];

    /// Fuzzy variable
    double x_bar_bar_fuzzy, x_bar_bar_fuzzy_test, sd_fuzzy, sd_fuzzy_test;
    double sd_bar_fuzzy, sd_bar_fuzzy_test, x_bar_fuzzy[8000], s_fuzzy[8000];
    long double Out_x_bar_fuzzy[20], Out_s_fuzzy[20];
    int roundFuzzys[5000];
    /// Adjusting
    m = 13;
    h = 2;

    l = 60;
    n = 10;
    mu0 = 74.0000;
    mu = 0.0000;
    c = 0.9400;
    A_370 = 2.6101;
    A_300 = 2.5537;
    L_370 = 39;
    L_300 = 35;
    gamma = 0.002;
    sigma = 0.01;
    Lamda = 0.2;
    sigma_fuzzy = 0.12;
    srand(time(0));

```

```

round = 3000;
samples = 5000;

for ( r = 1 ; r <= round ; r++ )
{
    for ( k = 1 ; k <= samples; k++ )
    {
        for ( i = 0 ; i <= m ; i++ )
        {
            if ( i == 0 )
            {
                random1Nums[i] = rand() % 2147483647 ;
                while ( ((long ) random1Nums[i])%2 == 0 )
                {
                    random1Nums[i] = rand() % 2147483647;
                }

                random2Nums[i] = rand() % 2147483647;
                while ( ((long ) random2Nums[i])%2 == 0 )
                {
                    random2Nums[i] = rand() % 2147483647;
                }

                //printf( "rand 1 ::: %f rand 2 ::: %f\n" , random1Nums[i] ,random2Nums[i] );
            }
            else
            {
                temp = 16807 * random1Nums[i-1];
                random1Nums[i] = fmod( temp, 2147483647 );

                temp = 16807 * random2Nums[i-1];
                random2Nums[i] = fmod( temp, 2147483647 );
            }
            //printf( " random1Nums[%d] ::: %f random2Nums[%d] ::: %f\n" , i
            ,random1Nums[i] , i, random2Nums[i] );
        }

        for ( i = 1 ; i <= m ; i++ )
        {
            random1Nums[i] = random1Nums[i] / 2147483647;
            random2Nums[i] = random2Nums[i] / 2147483647;

            //printf( "rand 1[%d] ::: %f      rand 2[%d] ::: %f\n" , i, random1Nums[i], i,
            random2Nums[i] );

            double para1 = sqrt( -2 * log( random1Nums[i] ) );

```

```

//printf( "para1 || %d || %f\n", i, para1 );

double para2 = cos( 2 * 3.141592 * random2Nums[i] );

//printf( "para2 || %d || %f\n", i, para2 );

Z[i] = para1 * para2;

//printf( "Z || %d || %f\n", i, Z[i] );
//printf( " Z ::: %d ::: %f = %f * %f\n", i, Z[i], para1, para2 );
Ab[i] = mu + ( sigma * Z[i] );
if ( k <= 1 )
{
    x[i] = mu0 + Ab[i];

    if ( x[i] < 74 )
    {
        N[i] = 1 - ((x[i] - 73.95) / 0.05);
        //printf( " N <= L ::: %f\n", N[i]);
    }
    else if ( x[i] >= 74 )
    {
        N[i] = 1 - ((74.05 - x[i]) / 0.05);
        //printf( " N > L ::: %f\n", N[i]);
    }

    //printf( "(k<=1) ::: X ::: %d ::: %f\n", i, x[i] );
}
else
{
    x[i] = mu0 + gamma + Ab[i];

    if ( x[i] < 74 )
    {
        N[i] = 1 - ((x[i] - 73.95) / 0.05);
        //printf( " N <= L ::: %f\n", N[i]);
    }
    else if ( x[i] >= 74 )
    {
        N[i] = 1 - ((74.05 - x[i]) / 0.05);
        //printf( " N > L ::: %f\n", N[i]);
    }
    //printf( "(k>1) ::: X ::: %d ::: %f\n", i, x[i] );
}
}
}

```

```

double sum = 0;
for ( i = h ; i <= (h + (n-1)) ; i++ )
{
    sum = sum + x[i];
}
x_bar[k] = sum / n;

//printf( "x_bar %d ::: %f\n" , k , x_bar[k] );

sum = 0;
for ( i = h ; i <= (h+(n-1)) ; i++ )
{
    temp = pow( x[i] - x_bar[k], 2 );
    sum = sum + temp;
s[k] = sqrt( sum / ( n - 1 ) );
}
//printf( "s[%d] ::: %f\n" ,k ,s[k] );
//printf( "=====\\n" );

//printf( "sum ::: %f\n" , sum);

//printf( " x_bar_bar ::: %f\n" , x_bar_bar);

sum = 0;
for ( i = h ; i <= (h + (n - 1)) ; i++ )
{
    sum = sum + N[i];
}
x_bar_fuzzy[k] = sum / n;

sum = 0;
for ( i = h ; i <= (h + (n - 1)) ; i++ )
{
    temp = pow( N[i] - x_bar_fuzzy[k], 2 );
    sum = sum + temp;
s_fuzzy[k] = sqrt( sum / ( n - 1 ) );
}
}

/*****Check Chart *****/

double sum_test = 0;

```



```

for ( k = 1 ; k<=l ; k++)
{
    sum_test = sum_test + x_bar[k];
}
//printf ("sum_test ::: %f\n" , sum_test);

x_bar_bar_test = sum_test / l;
//printf( " x_bar_bar_test ::: %.4f\n" , x_bar_bar_test);

sum_test = 0;
for ( k = 1 ; k <= l ; k++)
{
    sum_test = sum_test + s[k];
}
//printf( "sum_test ::: %f\n" , sum_test);

sd_bar_test = sum_test / l ;
//printf( " sd_bar_test ::: %.4f\n" , sd_bar_test);

sd_test = sd_bar_test / c ;
//printf( " sd ::: %.4f\n " , sd_test);

UCL_test = x_bar_bar_test + ( 3 * ( sd_test / sqrt ( n ) ) );
//printf( " UCL_test ::: %.4f\n " , UCL_test );

CL_test = x_bar_bar_test ;
//printf( " CL_test ::: %f\n " , CL_test );

LCL_test = x_bar_bar_test - ( 3 * (sd_test / sqrt ( n ) ) );
//printf( " LCL_test ::: %.4f\n " , LCL_test );

double count = 0;
int discount = 0;
sum_test = 0;
for ( j = 1 ; j <= l ; j++ )
{
    if ( ( x_bar[j] > UCL_test || x_bar[j] < LCL_test ) )
    {
        //printf( " Out is %d :::: %f\n " ,j ,x_bar[j]);

        Out_x_bar[j] = x_bar[j];
        //printf( " Out is_x_bar %d :::: %f\n " ,j ,Out_x_bar[j]);
    }
}

```

```

sum_test = sum_test + Out_x_bar[j];
//printf( " Out sum x bar ::: %f\n" , sum_test);

Out_sd[j] = s[j] ;
//printf( " Out is_sd %d :::: %f\n " ,j ,Out_sd[j]);

count = count + Out_sd[j];
//printf( " Out sum sd ::: %f\n" , count);
discount++;
}
}
//printf( " Out sum x bar ::: %f\n" , sum_test);
//printf( " Out sum sd ::: %f\n" , count);
//printf( "discount ::: %d\n" ,discount );

/*****Control Chart*****/
double sum = 0;
for ( k = 1 ; k<=l ; k++)
{
    sum = sum + x_bar[k];
}
//printf ("sumt ::: %f\n" , sum);

x_bar_bar = (sum - sum_test)/ (1 - discount);
//printf( " x_bar_bar::: %.4f\n" , x_bar_bar);

sum = 0;
for ( k = 1 ; k <= l ; k++)
{
    sum = sum + s[k];
}
//printf( "sum ::: %f\n" , sum);

sd_bar = (sum - count)/ (1 - discount) ;
//printf( " sd_bar ::: %.2f\n" , sd_bar);

sd= sd_bar / c ;
//printf( " sd ::: %.2f\n " , sd);

UCL = x_bar_bar + ( 3 * ( sigma / sqrt ( n ) ) );
//printf( " UCL ::: %f\n " , UCL );

CL = x_bar_bar ;
//printf( " CL ::: %f\n " , CL );

LCL = x_bar_bar - ( 3 * ( sigma / sqrt ( n ) ) );
//printf( " LCL ::: %f\n " , LCL );

```

```

S0 = x_bar_bar + ( 1 * ( sigma / sqrt ( n ) ) );
//printf( " S0 ::: %f\n " , S0 );

S1 = x_bar_bar - ( 1 * ( sigma / sqrt ( n ) ) );
//printf( " S1 ::: %f\n " , S1 );

S2 = x_bar_bar + ( 2 * ( sigma / sqrt ( n ) ) );
//printf( " S2 ::: %f\n " , S2 );

S3 = x_bar_bar - ( 2 * ( sigma / sqrt ( n ) ) );
//printf( " S3 ::: %f\n " , S3 );

S4 = x_bar_bar + ( 3 * ( sigma / sqrt ( n ) ) );
//printf( " S4 ::: %f\n " , S4 );

S5 = x_bar_bar - ( 3 * ( sigma / sqrt ( n ) ) );
//printf( " S5 ::: %f\n " , S5 );

/***** RUNSUM METHOD *****/
*****
*****
*****/

int cnt = 0;
int cnt_score = 0;
bool found = false;
int position = 0;
bool init = false;
bool plus = false;
bool tmpPlus = false;
for ( k = 1 ; k <= samples ; k++ )
{
    if ( CL < x_bar[k] && x_bar[k] <= S0 )
    {
        scores[k] = 0;
        plus = true;
        //printf( " scores[%d] ::: %f\n " , k , scores[k] );
    }
    else if ( S1 < x_bar[k] && x_bar[k] < CL )
    {
        scores[k] = 0;
        plus = false;
        //printf( " scores[%d] ::: %f\n " , k , scores[k] );
    }
    else if( CL < x_bar[k] && x_bar[k] <= S2 )
    {

```

```

        scores[k] = 1;
        plus = true;
        //printf ( " scores[%d] ::: %f\n " , k , scores[k] );
    }
    else if( S3 < x_bar[k] && x_bar[k] < CL )
    {
        scores[k] = -1;
        plus = false;
        //printf ( " scores[%d] ::: %f\n " , k , scores[k] );
    }

    else if( CL < x_bar[k] && x_bar[k] <= S4 )
    {
        scores[k] = 2;
        plus = true;
        //printf ( " scores[%d] ::: %f\n " , k , scores[k] );
    }
    else if( S5 < x_bar[k] && x_bar[k] < CL )
    {
        scores[k] = -2;
        plus = false;
        //printf ( " scores[%d] ::: %f\n " , k , scores[k] );
    }
    else if( x_bar[k] >= S4 )
    {
        scores[k] = 3;
        plus = true;
        //printf ( " scores[%d] ::: %f\n " , k , scores[k] );
    }
    else if( S5 >= x_bar[k] )
    {
        scores[k] = -3;
        plus = false;
    }
}

if ( k > 1 )
{
    if ( !init )
    {
        cnt_score = scores[k];
        init = true;
        tmpPlus = plus;
        continue;
    }

    if ( tmpPlus == plus )
    {

```

```

        cnt_score += scores[k];
    }
    else
    {
        cnt_score = scores[k];
    }

    tmpPlus = plus;

    if ( cnt_score > 3 || cnt_score < -3 )
    {
        //printf ( " k ::: %d\n " , k );
        if ( !found )
        {
            position = k - 1;
            found = true;
        }
    }

    //printf( "score:::: %d\n", cnt_score );
}
roundRunsums[r] = position - 1;

printf ( "round RUNSUM ::: %d\n" , roundRunsums[r] );

/*****

*****/

/*****
***** EWMA METHOD
*****
*****/

for ( t = 1 ; t <= samples ; t++ )
{
    if ( t == 1 )
    {
        Zi[60] = x_bar_bar;
        continue;
    }

    Zi[t] = ( Lamda * x_bar[t] ) + ( ( 1 - Lamda ) * Zi[t-1] );
    //printf ( "Lamda :::: %f\n" , Lamda );
    //printf ( "x_bar :::: :::: %f\n" , x_bar[t] );
    //printf ( " Zi[%d] ::: %f\n " , t , Zi[t] );
}

```



```

UCL = x_bar_bar + ( 3 * sqrt(Lamda / (2 - Lamda)) * ( sigma / sqrt ( n ) ) );
//printf( " UCL ::: %f\n " , UCL );

```

```

CL = x_bar_bar ;
//printf( " CL ::: %f\n " , CL );

```

```

LCL = x_bar_bar - ( 3 * sqrt(Lamda / (2 - Lamda)) * ( sigma / sqrt ( n ) ) );
//printf( " LCL ::: %f\n " , LCL );

```

```

for ( j = 1 ; j <= samples ; j++ )
{
    if (( Zi[j] > UCL || Zi[j] < LCL ) && j > 1 )
    {
        roundEWMAAs[r] = j - 1;
        break;
    }
    //printf( "round :::: %d\n" ,rounds[0] );
}

printf( "round EWMA :::: %d\n" ,roundEWMAAs[r] );

```

```

/*****
/*****
***** SYNTHETIC 370 METHOD
*****
*****/

```

```

UCL = x_bar_bar + ( ( A_370 * sigma ) / sqrt(n) );
//printf( " UCL ::: %f\n " , UCL );

```

```

CL = x_bar_bar ;
//printf( " CL ::: %f\n " , CL );

```

```

LCL = x_bar_bar - ( ( A_370 * sigma ) / sqrt(n) );
//printf( " LCL ::: %f\n " , LCL );

```

```

int CRL_length_370 = 0;
int RLs_370[8000] ,Ls_370[8000];
for ( k = 1 ; k <= samples ; k++ )
{
    if ( (x_bar[k] > UCL || x_bar[k] < LCL) && ( k > 1))
    {

```

```

RLs_370[CRL_length_370] = k;

if ( CRL_length_370 == 0 )
{
    Ls_370[0] = RLs_370[CRL_length_370] - (l+1);
    //printf( " CRL :::: %d\n" ,Ls_370[0] );
}

else
{
    Ls_370[CRL_length_370 ] = RLs_370[CRL_length_370] -
RLs_370[CRL_length_370 - 1];
    //printf( " CRL :::: %d\n" ,Ls_370[CRL_length_370] );
}

    CRL_length_370++;
    //printf( " RL ::: %d\n" , k );
}

found = false;
for ( j = 0 ; j < CRL_length_370 ; j++ )
{
    if ( Ls_370[j] <= L_370 )
    {
        found = true;

        roundSynthetics_370[r] = RLs_370[j] - l;
        //printf( "CRL Pos:::::%f\n" ,ARL[r] );
        break;
    }
}

printf( "round Synthetic 370 :::: %d\n" ,roundSynthetics_370[r] );

/*****

/*****
***** SYNTHETIC 300 METHOD
*****
*****
*****/

UCL = x_bar_bar + ( ( A_300 * sigma ) / sqrt(n) );
//printf( " UCL ::: %f\n " , UCL );

CL = x_bar_bar ;

```

```

//printf( " CL ::: %f\n " , CL );

LCL = x_bar_bar - ( ( A_300 * sigma ) / sqrt(n) );
//printf( " LCL ::: %f\n " , LCL );

int CRL_length = 0;
int RLs[8000] ,Ls[8000];
for ( k = 1 ; k <= samples ; k++ )
{
    if ( (x_bar[k] > UCL || x_bar[k] < LCL) && ( k > 1))
    {
        RLs[CRL_length] = k;

        if ( CRL_length == 0 )
        {
            Ls[0] = RLs[CRL_length] - (1+1);
            //printf( " CRL :::: %d\n" ,Ls[0] );
        }
        else
        {
            Ls[CRL_length] = RLs[CRL_length] -
RLs[CRL_length - 1];
            //printf( " CRL :::: %d\n" ,Ls[CRL_length] );
        }

        CRL_length++;
        //printf( " RL ::: %d\n" , k );
    }
}

found = false;
for ( b = 0 ; b < CRL_length ; b++ )
{
    if ( Ls[b] <= L_300 )
    {
        found = true;

        roundSynthetics_300[r] = RLs[b] - 1;

        //printf( "CRL Pos::::%f\n" ,ARL[r] );
        break;
    }
}

printf( "round Synthetic 300 :::: %d\n" ,roundSynthetics_300[r] );

/*****/

```

```

/*****
***** Fuzzy - p METHOD
*****
*****/

/***** Check Chart *****/
double sum_test_fuzzy = 0;
for ( k = 1 ; k<=l ; k++)
{
    sum_test_fuzzy = sum_test_fuzzy + x_bar_fuzzy[k];
}
//printf ("sum_test ::: %f\n" , sum_test_fuzzy);

x_bar_bar_fuzzy_test = sum_test_fuzzy / l;
//printf( " x_bar_bar_fuzzy_test ::: %.4f\n" , x_bar_bar_fuzzy_test);

sum_test_fuzzy = 0;
for ( k = 1 ; k <= l ; k++)
{
    sum_test_fuzzy = sum_test_fuzzy + s_fuzzy[k];
}
//printf( "sum ::: %f\n" , sum);

sd_bar_fuzzy_test = sum_test_fuzzy / l ;
//printf( " sd_bar_fuzzy_test ::: %.2f\n" , sd_bar_fuzzy_test);

sd_fuzzy_test = sd_bar_fuzzy_test / c ;
//printf( " sd_fuzzy_test ::: %.2f\n " , sd_fuzzy_test);

UCL_test_fuzzy = x_bar_bar_fuzzy_test + ( 3 * ( sd_fuzzy_test/ sqrt ( n ) ) );
//printf( " UCL_test_fuzzy ::: %f\n " , UCL_test_fuzzy);

CL_test_fuzzy = x_bar_bar_fuzzy_test ;
//printf( " CL_test_fuzzy ::: %f\n " , CL_test_fuzzy );

LCL_test_fuzzy = x_bar_bar_fuzzy_test - ( 3 * ( sd_fuzzy_test/ sqrt ( n ) ) );
if ( LCL_test_fuzzy < 0 )
{
    LCL_test_fuzzy = 0;
}
//printf( " LCL_test_fuzzy ::: %f\n " , LCL_test_fuzzy);

double count_fuzzy = 0;
sum_test_fuzzy = 0;

```

```

int discount_fuzzy = 0;
for ( j = 1 ; j <= 20 ; j++ )
{
    if ( ( x_bar_fuzzy[j] > UCL_test_fuzzy || x_bar_fuzzy[j] < LCL_test_fuzzy ) )
    {
        //printf( " Out is  %d :::: %f\n " ,j ,x_bar_fuzzy[j]);

        Out_x_bar_fuzzy[j] = x_bar_fuzzy[j];
        //printf( " Out is_x_bar  %d :::: %f\n " ,j ,Out_x_bar_fuzzy[j]);

        sum_test_fuzzy = sum_test_fuzzy + Out_x_bar_fuzzy[j];
        //printf( " Out sum x bar ::: %f\n" , sum_test_fuzzy);

        Out_s_fuzzy[j] = s_fuzzy[j] ;
        //printf( " Out is_s_fuzzy  %d :::: %f\n " ,j ,Out_s_fuzzy[j]);

        count_fuzzy = count_fuzzy + Out_s_fuzzy[j];
        //printf( " Out sum sd ::: %f\n" , count_fuzzy);

        discount_fuzzy++;
    }
}

//printf( " Out sum x bar ::: %f\n" , sum_test_fuzzy);
//printf( " Out sum sd ::: %f\n" , count_fuzzy);
//printf( " Discount ::: %d\n" , discount_fuzzy);

/***** Control chart *****/
double sum_fuzzy = 0;
for ( k = 1 ; k <= l ; k++ )
{
    sum_fuzzy = sum_fuzzy + x_bar_fuzzy[k];
}
//printf( "sum ::: %f\n" , sum_fuzzy);

x_bar_bar_fuzzy = (sum_fuzzy - sum_test_fuzzy) / l;
//printf( " x_bar_bar_fuzzy ::: %.4f\n" , x_bar_bar_fuzzy);

sum_fuzzy = 0;
for ( k = 1 ; k <= l ; k++ )
{
    sum_fuzzy = sum_fuzzy + s_fuzzy[k];
}
//printf( "sum ::: %f\n" , sum_fuzzy);

sd_bar_fuzzy = (sum_fuzzy - count_fuzzy) / l;
//printf( " sd_bar_fuzzy ::: %.2f\n" , sd_bar_fuzzy);

```



```

sd_fuzzy = sd_bar_fuzzy / c ;
//printf( " sd_fuzzy ::: %.2f\n " , sd_fuzzy);

UCL = x_bar_bar_fuzzy + ( 3 * ( sigma_fuzzy / sqrt ( n ) ) );
//printf( " UCL ::: %f\n " , UCL );

CL = x_bar_bar_fuzzy ;
//printf( " CL ::: %f\n " , CL );

LCL = x_bar_bar_fuzzy - ( 3 * ( sigma_fuzzy / sqrt ( n ) ) );
if ( LCL < 0 )
{
    LCL = 0;
}
//printf( " LCL ::: %f\n " , LCL );

for ( j = 1 ; j <= samples ; j++ )
{
    if ( ( x_bar_fuzzy[j] > UCL || x_bar_fuzzy[j] < LCL ) && ( j > 1 ) )
    {
        roundFuzzys[r] = j - 1;
        break;
    }
}

printf( "round Fuzzy :::: %d\n" ,roundFuzzys[r] );

/*****/
}

double sum = 0;
for ( r = 1 ; r <= round ; r++ )
{
    sum += roundRunsums[r];
}

double ARL = sum / round;

printf( "ARL RUNSUM :::: %.1f\n" ,ARL );

sum = 0;
for ( r = 1 ; r <= round ; r++ )
{
    sum += roundEWMAAs[r];
}

```

```

    ARL = sum / round;

    printf( "ARL EWMA :::: %.1f\n" ,ARL );

    sum = 0;
    for ( r = 1 ; r <= round ; r++ )
    {
        sum += roundSynthetics_370[r];
    }

    ARL = sum / round;

    printf( "ARL Synthetic 370 :::: %.1f\n" ,ARL );

    sum = 0;
    for ( r = 1 ; r <= round ; r++ )
    {
        sum += roundSynthetics_300[r];
    }

    ARL = sum / round;

    printf( "ARL Synthetic 300 :::: %.1f\n" ,ARL );

    sum = 0;
    for ( r = 1 ; r <= round ; r++ )
    {
        //printf( "total round Fuzzy %d :::: %d\n" ,r ,roundFuzzys[r] );

        sum += roundFuzzys[r];
    }

    ARL = sum / round;

    printf( "ARL Fuzzy :::: %.1f\n" ,ARL );
}

```

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีธรณินทร์ สัจจวิทย์ทรัพย์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	19 มิถุนายน 2527
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (เคมี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร เหนือ (พ.ศ. 2550)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่นักคณิตศาสตร์ประกันภัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัทกรุงเทพประกันภัย
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-