



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ)

ปริญญา

สถิติ

สาขา

สถิติ

ภาควิชา

เรื่อง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลง
ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

Efficiency Comparison of Quality Control Charts to Detect the Mean Shift in Process

นามผู้วิจัย นายสัญญา ทองสุขใส

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุฑาภรณ์ สันสมบูรณ์ทอง, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ธิดาพร สุภภากร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พยัคฆพงษ์, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

เรื่อง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม
คุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

Efficiency Comparison of Quality Control Charts to Detect the Mean Shift in Process

โดย

นายสัญญา ทองสุขใส

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ)

พ.ศ. 2558

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัญญา ทอสุโข 2558: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ปริณูวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สถิติ) สาขาสถิติ ภาควิชาสถิติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จุฑาภรณ์ สันสมบุรณ์ทอง, Ph.D. 193 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ 4 แผนภูมิคือ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทรวม (CS) และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA) เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ โดยกำหนดปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\Phi \pm$) มีค่าตั้งแต่ 0.2σ , 0.4σ , 0.6σ , 0.8σ , 1.0σ , 1.2σ , 1.6σ , 2.0σ , 5.0σ ขนาดตัวอย่าง (n) ในแต่ละกลุ่มย่อยเท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30 และ จำนวนชุดตัวอย่าง (I) เท่ากับ 20, 40 และ 100 ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แผนภูมิ คือค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_u) โดยทำการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลทำซ้ำ 1,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์

ผลการศึกษาพบว่า กรณี $\Phi \pm$ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ($\Phi = 0.2$) ในระดับของขนาดตัวอย่าง เท่ากับ 2, 3, 4 แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี อย่างไรก็ตามในกรณี $\Phi \pm$ มีการเปลี่ยนแปลงมาก ($\Phi > 1.6$) และ ขนาดตัวอย่างมากกว่า 4 แผนภูมิควบคุม REWMA แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA และแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน นอกจากนี้พบว่า แผนภูมิควบคุม CS มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยของกระบวนการต่ำที่สุดในทุกสถานการณ์ที่ทำการศึกษา

Sunchai Tongsuksai 2015: Efficiency Comparison of Quality Control Charts to Detect the Mean Shift in Process. Master of Science (Statistics), Major Field: Statistics, Department of Statistics. Thesis Advisor: Assistant Professor Juthaphorn Sinsomboonthong, Ph.D. 193 pages.

The objective of this research is to compare the efficiencies of four control charts—the run sum (RUNSUM) control chart, the exponential weighted moving average control chart with fast initial response (FIR-EWMA), the combined Shewhart-CUSUM (CS) control chart and the robust exponentially weighted moving average (REWMA) control chart—when the data are normally distributed. The studied factors consist of the mean shifts ($\Phi \pm$) at 0.2σ , 0.4σ , 0.6σ , 0.8σ , 1.0σ , 1.2σ , 1.6σ , 2.0σ , 5.0σ , sample sizes (n) which are 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30 and subgroup size (l) at 20, 40 and 100. Furthermore, the criterion used to examine efficiency is in term of an average run length (ARL_1). A simulation study is conducted by Monte Carlo technique with 1,000 repetitions.

It is found that, FIR-EWMA control chart has the best efficiency for a small shift in the mean ($\Phi = 0.2$) and sample sizes (n) = 2, 3, 4. However, the efficiencies of three control charts—FIR-EWMA, REWMA and RUNSUM control chart—seem to have no difference for $n > 4$ and large shift in the mean ($\Phi > 1.6$). Moreover, the CS control chart has a poor performance in detecting mean shift among four control charts for all situations of the study.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. จุฑาภรณ์ สิ้นสมบูรณ์ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร. ธิดาพร ศุภภากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในระหว่างดำเนินการวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และนายพลากร สีน้อย รุ่งพีริญญาเอกในการให้คำปรึกษาด้านโปรแกรม R

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในเรื่องต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานในด้านต่างๆ ด้วยดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา สมาชิกในครอบครัว รวมทั้งรุ่นพี่ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา ทำให้ข้าพเจ้าสามารถประสบความสำเร็จได้ในวันนี้

สัณชัย ทองสุขใส

ธันวาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	39
ผล	39
วิจารณ์	72
สรุปและข้อเสนอแนะ	74
สรุป	74
ข้อเสนอแนะ	78
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	79
ภาคผนวก	82
ภาคผนวก ก โปรแกรมในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม	
4 ชนิด	83
ภาคผนวก ข ตารางค่า ARL_0 ของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด	93
ภาคผนวก ค ตารางค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด	96
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	193

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 20$	40
2	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 40$	51
3	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 100$	62
4	แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับสถานการณ์ต่างๆ เมื่อ กระบวนการอยู่นอกการควบคุม	75
ตารางผนวกที่		
ข1	ค่าคงที่ ARL_0 , G_1 , L และ h ของแต่ละแผนภูมิ	94
ค1	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.2$	97
ค2	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.3$	101
ค3	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.4$	105
ค4	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.5$	109
ค5	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.6$	113
ค6	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.7$	117
ค7	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.8$	121
ค8	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.9$	125
ค9	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 40$ และ $a = 0.2$	129
ค10	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 40$ และ $a = 0.3$	133
ค11	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 40$ และ $a = 0.4$	137
ค12	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 40$ และ $a = 0.5$	141
ค13	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 40$ และ $a = 0.6$	145
ค14	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 40$ และ $a = 0.7$	149
ค15	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 40$ และ $a = 0.8$	153

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก16	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 40$ และ $a = 0.9$	157
ก17	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.2$	161
ก18	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.3$	165
ก19	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.4$	169
ก20	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.5$	173
ก21	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.6$	177
ก22	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.7$	181
ก23	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.8$	185
ก24	ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.9$	189

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนภูมิควบคุมเชิงสถิติ	8
2	ขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง	14
3	แผนผังการเขียนโปรแกรมการจำลองข้อมูลเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม	35
4	แผนผังการเขียนโปรแกรมการจำลองข้อมูลเมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไป	36
5	แผนผังการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ แผนภูมิควบคุม 4 แผนภูมิ	37
6	การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 20$ เมื่อ n เปลี่ยนแปลงไป และ Φ มีขนาดต่างกัน	45
7	การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 20$ เมื่อ Φ เปลี่ยนแปลงไป และ n ในระดับต่างกัน	47
8	การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 40$ เมื่อ n เปลี่ยนแปลงไป และ Φ มีขนาดต่างกัน	56
9	การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 40$ เมื่อ Φ เปลี่ยนแปลงไป และ n ในระดับค่าต่างกัน	58
10	การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 100$ เมื่อ n เปลี่ยนแปลงไป และ Φ มีขนาดต่างกัน	67
11	การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 100$ เมื่อ Φ เปลี่ยนแปลงไป และ n ในระดับค่าต่างกัน	69

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\ll$	=	ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ
$\pm$	=	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ
$\pm^2$	=	ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ
$\ll_0$	=	ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ในการควบคุม
$\ll_1$	=	ค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงไป
$\bar{x}_j$	=	ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกลุ่มที่ j
N	=	ขนาดประชากร
n	=	ขนาดตัวอย่าง
l	=	จำนวนชุดตัวอย่าง
$\Phi \pm$	=	ขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ
W_j	=	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของทุกค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ j
a	=	ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ
L	=	สัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
k	=	ค่าอ้างอิงของแผนภูมิควบคุม CS
f	=	ค่าคงที่ในการปรับของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA
G_1	=	สัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ REWMA
Q_r	=	ค่าควอไทล์ที่ r
s_t	=	ค่าคะแนน (Score) ของแผนภูมิควบคุม RUNSUM
S_{H_j}	=	ค่าผลรวมสะสมที่คลาดเคลื่อนทางด้านบวก
S_{L_j}	=	ค่าผลรวมสะสมที่คลาดเคลื่อนทางด้านลบ
H	=	ค่าความยาวของช่วงควบคุมของแผนภูมิควบคุม CS
R_{+i}	=	พื้นที่เหนือเส้นกึ่งกลางของแผนภูมิควบคุม RUNSUM
R_{-i}	=	พื้นที่ใต้เส้นกึ่งกลางของแผนภูมิควบคุม RUNSUM
UCL	=	ขีดจำกัดควบคุมบนของแผนภูมิควบคุม

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

CL	=	เส้นกึ่งกลางของแผนภูมิควบคุม
LCL	=	ขีดจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม
$\sim$	=	ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1
	=	ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2
ARL_0	=	จำนวนตัวอย่างเฉลี่ยที่ต้องตรวจสอบจนกระทั่งพบการออกนอก ขีดจำกัดการควบคุมเป็นครั้งแรก เมื่อกระบวนการอยู่ภายใน การควบคุม
ARL_1	=	จำนวนตัวอย่างเฉลี่ยที่ต้องตรวจสอบจนกระทั่งพบการออก นอกขีดจำกัดการควบคุมเป็นครั้งแรก เมื่อกระบวนการอยู่ ภายนอกการควบคุม
∞	=	ค่าอนันต์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการ เปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

Efficiency Comparison of Quality Control Charts to Detect the Mean Shift in Process

คำนำ

ในกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรมนั้นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถือเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้กระบวนการผลิตมีมาตรฐาน และผลิตภัณฑ์มีคุณภาพได้มาตรฐานเมื่อถึงมือผู้บริโภค ซึ่งทำให้เกิดความน่าเชื่อถือต่อผลิตภัณฑ์ และผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกจำหน่าย เครื่องมือในการควบคุมคุณภาพมีอยู่หลายชนิด ได้แก่ ใบรายการ แผนภูมิแกว่งปลา แผนภูมิพาร์โต แผนภูมิขั้นตอนการผลิต แผนภาพการกระจาย ฮิสโตแกรม และแผนภูมิควบคุมซึ่งการใช้แผนภูมิควบคุมต่างๆ เป็นวิธีควบคุมคุณภาพประเภทหนึ่งที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการสังเกต และตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการผลิต นอกจากนี้ความสามารถของแผนภูมิควบคุมต่างๆ ขึ้นอยู่กับความสามารถของแต่ละแผนภูมิควบคุมว่าไวต่อการตรวจพบความผิดปกติหรือการเปลี่ยนแปลงจากค่าเดิมที่กำหนดหรือไม่ ข้อมูลที่ตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตนี้สามารถอธิบายปัญหาต่างๆ ของกระบวนการผลิตได้ซึ่งทำให้ผู้ผลิตสามารถลดความสูญเสียและปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบให้ดีขึ้นได้ แผนภูมิควบคุมชนิดแรกเกิดขึ้นใน ปี ค.ศ. 1924 โดย Walter Shewhart ได้ออกแบบแผนภูมิควบคุมชนิดแรก โดยให้ w คือตัวแปรที่สนใจ $\bar{x}_w$ คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่สนใจและ $\pm w$ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรที่สนใจซึ่งนิยามดังนี้ (Amirzadeh *et al.*, 2009)

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{x}_w + k\sigma_w \\ CL &= \bar{x}_w \\ LCL &= \bar{x}_w - k\sigma_w \end{aligned} \tag{1}$$

โดย CL คือเส้นกึ่งกลาง (Center Line), LCL คือขอบเขตควบคุมล่าง (Lower Control Limit), UCL

คือขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit) และ k คือความกว้างของขอบเขตที่ห่างจากเส้นกึ่งกลางซึ่งส่วนใหญ่แสดงในหน่วยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การเลือกประเภทของตัวแปรที่สนใจพิจารณามีความสำคัญในการควบคุมคุณภาพเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน และสถานการณ์ที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งทำให้สามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมได้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยตัวแปรที่สนใจพิจารณาแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวแปรแบบต่อเนื่องซึ่งสามารถวัดบนสเกลตัวเลขได้ เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง โดยแผนภูมิควบคุมที่ใช้พิจารณาได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ -Chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมอย่างง่ายในการควบคุมคุณภาพ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (EWMA) เป็นต้น นอกจากนี้ตัวแปรอีกประเภทหนึ่งได้แก่ ตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่สามารถแสดงเป็นหน่วยตัวเลขที่ต่อเนื่องได้ เช่น จำนวนของเสีย จำนวนรอยตำหนิ โดยแผนภูมิควบคุมที่ใช้พิจารณา ได้แก่ แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p -Chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np -Chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิต่อหน่วย (u -Chart) และแผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ (c -Chart) เป็นต้น

ในระยะเวลาต่อมาได้มีผู้คิดค้นและพัฒนาแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยหลากหลายแผนภูมิ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการผลิต และสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้อย่างรวดเร็ว เช่น ในปี ค.ศ. 1982 Lucas ได้เสนอแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (Combined Shewhart - CUSUM Control Chart : CS) เพื่อใช้ในการควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ถัดมาในปี ค.ศ. 1997 Champ and Rigdon เสนอแผนภูมิควบคุมคุณภาพพบว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (Run Sum Control Chart : RUNSUM) สำหรับใช้ในการควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการ และแผนภูมิ RUNSUM มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีกว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย นอกจากนี้ ปี ค.ศ. 1999 Steiner เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (Exponential Weighted Moving Average Control Chart with Fast Initial Response: FIR-EWMA) ซึ่งใช้ในการควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการเพื่อต้องการให้แผนภูมิ EWMA มีประสิทธิภาพดีขึ้นโดยการเพิ่ม FIR เข้าไปในแผนภูมิ EWMA และในปี ค.ศ. 2005 Khoo and Sim เสนอแผนภูมิควบคุมความแกร่งค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Robust Exponentially Weighted Moving Average Control Chart : REWMA) ซึ่งใช้ในการควบคุมค่าเฉลี่ยของ

กระบวนการ เพื่อต้องการให้แผนภูมิ REWMA มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยนำค่า IQR เข้ามาปรับในแผนภูมิ EWMA

จากผลงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ พบว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) และแผนภูมิควบคุมความแปรปรวนค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA) มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจนำแผนภูมิดังกล่าวมาเปรียบเทียบในเชิงประสิทธิภาพการใช้งานเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับการใช้งาน และเกิดประสิทธิภาพมากที่สุดในแต่ละสถานการณ์

วัตถุประสงค์

ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการ 4 ชนิดคือ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA) โดยข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติและความแปรปรวนของข้อมูลคงที่

ขอบเขตการวิจัย

รายละเอียดขอบเขตการวิจัยมีดังนี้

1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ 4 ชนิด ได้แก่
 - 1.1) แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM)
 - 1.2) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA)
 - 1.3) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS)
 - 1.4) แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA)
2. กำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\Phi \pm$) เท่ากับ 0.2σ , 0.4σ , 0.6σ , 0.8σ , 1.0σ , 1.2σ , 1.6σ , 2.0σ , 5.0σ
3. ขนาดตัวอย่าง (n) ที่พิจารณาในแต่ละกลุ่มย่อยเท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30
4. จำนวนชุดตัวอย่าง (I) โดยกำหนด I เท่ากับ 20, 40 และ 100

5. กำหนดค่าของ ARL_0 สำหรับแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA, แผนภูมิควบคุม REWMA และแผนภูมิควบคุม CS โดยใช้ ARL_0 ของแผนภูมิควบคุม RUNSUM เป็นเกณฑ์

6. ข้อมูลที่นำมาศึกษาดังนี้

6.1 กระบวนการอยู่ในการควบคุม

$$X_i = \pm Z + \ll_0 \text{ เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, N$$

โดย X_i คือ ค่าข้อมูลที่ i

$\ll_0$ คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ในการควบคุม เมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 50

$\pm^2$ คือ ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ เมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

Z คือ ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1 เขียนแทนด้วย $Z \sim N(0,1)$

N คือ ขนาดประชากร

6.2 กระบวนการที่ค่าเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงไป

$$X_i = \pm Z + \ll_1 = \pm Z + (\ll_0 + \Phi \pm) = \ll_0 + (Z + \Phi) \pm \text{ เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, N$$

โดย X_i คือ ค่าข้อมูลที่ i

$\ll_0$ คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่อยู่ในการควบคุม และอยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 50

$\ll_1$ คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงไป โดย $\ll_1 = \ll_0 + \Phi \pm$

$\pm^2$ คือ ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ เมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

Z คือ ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1 เขียนแทนด้วย $Z \sim N(0,1)$

N คือ ขนาดประชากร

7. กำหนดค่า a สำหรับแผนภูมิ FIR-EWMA และแผนภูมิ REWMA เท่ากับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9

8. กำหนดค่า f สำหรับแผนภูมิ FIR-EWMA เท่ากับ 0.9 (จากผลการจำลองข้อมูลนี้ $f = 0.9$ ส่งผลให้แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพดีที่สุด)

9. การจำลองข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo) ทำซ้ำ 1,000 ครั้ง

10. ภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนเพื่อวิเคราะห์ คือ โปรแกรม R 3.0.1

11. ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แผนภูมิ ใช้ค่า ARL_1 เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา โดยแผนภูมิควบคุมที่มีค่า ARL_1 ต่ำที่สุด จะเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีที่สุด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการเลือกแผนภูมิควบคุมให้เหมาะสมกับสถานการณ์ต่างๆ เพื่อให้แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ใช้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานและตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

2. ทราบถึงประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแต่ละชนิดในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการภายใต้สถานการณ์ที่ศึกษาต่างๆ กัน

3. นำไปประยุกต์ใช้กับงานควบคุมคุณภาพในการผลิตสินค้าในสถานการณ์จริงได้

การตรวจเอกสาร

การตรวจสอบเอกสารสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ วิธีการทางสถิติ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีการทางสถิติ

1. การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

ให้ X เป็นตัวแปรสุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่มีค่าเฉลี่ย $-\infty < \mu < \infty$ และความแปรปรวน $\sigma^2 > 0$ เขียนแทนสัญลักษณ์ $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ โดยฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็น (pdf.) ของ X เป็นดังนี้ (จุฬารัตน์, 2554)

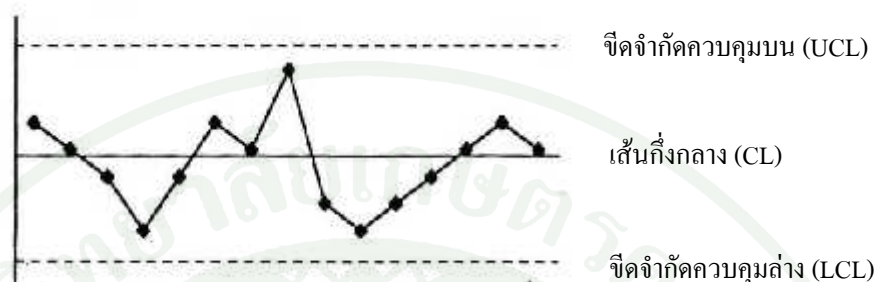
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad -\infty < x < \infty$$

โดย $e = 2.71828...$ และ $\pi = 3.14159...$

2. แผนภูมิควบคุมคุณภาพ (Control Chart)

แผนภูมิควบคุมถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1924 โดยผู้คิดค้นและนำแผนภูมิควบคุมมาใช้ควบคุมกระบวนการผลิตเป็นคนแรก คือ Dr. Walter Andrew Shewhart แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือในกระบวนการควบคุมเชิงสถิติ ที่ใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต เพื่อให้สามารถทำการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีความผิดปกติของการผลิตเกิดขึ้น ส่งผลทำให้เกิดของเสียจากการผลิตน้อยลงหรืออาจจะไม่มีของเสียเกิดขึ้นเลย การวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมอย่างสม่ำเสมอในกระบวนการผลิตจะช่วยทำให้สินค้ามีคุณภาพดีและลดความแปรผันของกระบวนการผลิตได้ นอกจากนี้ผู้ผลิตยังสามารถปรับปรุงคุณภาพของสินค้าให้ดีขึ้นได้โดยอาศัยแผนภูมิควบคุมต่างๆ ซึ่งแผนภูมิควบคุมจะทำหน้าที่หลัก 3 ประการ คือ ประการแรกเพื่อกำหนดมาตรฐานในการผลิต เช่น กำหนดค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ ประการที่สองเพื่อช่วย

ให้การผลิตบรรลุเป้าหมาย และประการสุดท้ายคือเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการผลิต (Kume, 1985)



ภาพที่ 1 แผนภูมิควบคุมเชิงสถิติ

แผนภูมิควบคุมประกอบด้วยขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า UCL ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า LCL และเส้นกึ่งกลาง (Central Limit) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า CL ดังแสดงในภาพที่ 1 การควบคุมทำได้โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างและวัดผลของสิ่งที่ต้องการควบคุมแล้วคำนวณค่าสถิติ และเขียนจุดแทนค่าสถิติลงในแผนภูมิควบคุม จากนั้นลากเส้นเชื่อมต่อจุดต่างๆ เข้าด้วยกัน

โดยปกติแล้วกระบวนการผลิตต่างๆ ถึงแม้ว่าเราจะทำการควบคุมการผลิตเป็นอย่างดี ก็ยังสามารถเกิดความแปรผันขึ้นได้ ซึ่งความแปรผันที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์นั้นมาจากสาเหตุ 2 ประการคือ

1. สาเหตุที่เป็นปกติวิสัยหรือสาเหตุโดยบังเอิญ (Chance Cause) เป็นความแปรผันที่เกิดขึ้นโดยบังเอิญจากสาเหตุตามธรรมชาติที่ควบคุมไม่ได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิ เป็นต้น

2. สาเหตุที่ระบุได้หรือจำกัดได้ (Assignable Cause) เป็นความแปรผันที่เกิดจากความผิดปกติหรือความผิดพลาด ความชำรุดของปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่ไม่ได้เป็นธรรมชาติของกระบวนการผลิต เช่น การปฏิบัติของพนักงาน การผิดปกติของเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเหล่านี้จะอยู่นอกการควบคุม

2.1 ประเภทของแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุม ดังนี้ (ธิดาเดียว, 2546)

2.1.1) แผนภูมิควบคุมสำหรับตัวแปร (Control Charts for Variables) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติที่ต้องการควบคุมสามารถวัดค่าได้ด้วยการชั่ง ตวง วัด เช่น ปริมาณการบรรจุกาแฟผงในขวด ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เป็นต้น แผนภูมิควบคุมประเภทนี้ ได้แก่

1. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ -Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์ในเชิงปริมาณ โดยค่าที่วัดได้อาจเป็นความยาว ปริมาณ น้ำหนัก อายุการใช้งาน เป็นต้น

2. แผนภูมิควบคุมพิสัย (R-Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมค่าความแปรผันหรือค่าการกระจายของคุณสมบัติที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์โดยใช้ค่าพิสัยเป็นค่าวัด ซึ่งแผนภูมิควบคุมพิสัยมักจะใช้ควบคู่กับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย

3. แผนภูมิควบคุมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S-Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมค่าการกระจายของคุณสมบัติที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับแผนภูมิควบคุมพิสัย แต่จะคำนวณค่าวัดการกระจายด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งแผนภูมิควบคุมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุมพิสัยเมื่อตัวอย่างของกลุ่มย่อยมีขนาดใหญ่

2.1.2) แผนภูมิควบคุมสำหรับคุณลักษณะ (Control Charts for Attributes) เป็นแผนภูมิควบคุมกระบวนการผลิตที่ค่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุมสามารถวัดได้ด้วยการเจงนับ เช่น จำนวนสินค้าดีหรือเสีย ชำรุดหรือไม่ชำรุด บกพร่องหรือไม่บกพร่อง มีตำหนิหรือไม่มีตำหนิ เป็นต้น ซึ่งการพิจารณาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ เช่น ดีหรือเลี่ยนั้น จะทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานหรือขีดจำกัดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแผนภูมิควบคุมประเภทนี้ ได้แก่

1. แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p -Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิต เช่น สัดส่วนหลอดไฟเสีย สัดส่วนชิ้นงานที่แตกหัก เป็นต้น
2. แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np -Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมจำนวนของเสียในกระบวนการผลิต ซึ่งมีหลักการเช่นเดียวกับแผนภูมิสัดส่วนของเสีย
3. แผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิที่ทำให้เกิดของเสีย (c -Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมจำนวนรอยตำหนิหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์ แต่จะใช้ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างที่ตรวจสอบแต่ละครั้งไม่ใช่ 1 หน่วย หรือจำนวนหน่วยตัวอย่างของกลุ่มย่อยในการตรวจสอบแต่ละครั้งไม่เท่ากัน
4. แผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิต่อหน่วยที่ทำให้เกิดของเสีย (u -Chart) หรือแผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิต่อหน่วย เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมจำนวนรอยตำหนิหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์เมื่อกลุ่มตัวอย่างย่อยมีขนาด 1 หน่วย เช่น รอยตำหนิบนผ้า 1 ตารางเมตร หรือรอยตำหนิบนพื้นผิวชิ้นงาน 1 ชิ้น เป็นต้น

2.2 วัตถุประสงค์ของการสร้างแผนภูมิควบคุม

วัตถุประสงค์ของการสร้างแผนภูมิควบคุมมีดังต่อไปนี้ (ชิดาเดียว, 2546)

1. เพื่อกำหนดมาตรฐานให้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตในกรณีที่เริ่มต้นการผลิต โดยยังไม่ทราบค่ามาตรฐานที่กระบวนการผลิตทำได้ เช่น ยังไม่ทราบว่ากระบวนการผลิตมีค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติผลิตภัณฑ์เท่าใด มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่าใด แผนภูมิควบคุมต่างๆ จะช่วยกำหนดค่ามาตรฐานเหล่านี้ได้
2. เพื่อให้ทราบสภาพของกระบวนการผลิตที่ผ่านมาว่าเป็นอย่างไร ในกรณีที่ใช้แผนภูมิควบคุมกับการผลิตอย่างสม่ำเสมอจะทำให้ทราบว่ากระบวนการผลิตดำเนินไปในลักษณะใด เช่น กระบวนการผลิตดำเนินไปในลักษณะคงที่หรือด้อยคุณภาพลง หรือเมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตแล้วกระบวนการผลิตดำเนินไปในลักษณะที่พัฒนาขึ้นหรือไม่ ซึ่งแผนภูมิควบคุมจะบ่งบอกสิ่งเหล่านี้ได้เมื่อนำแผนภูมิควบคุมของแต่ละช่วงเวลามาเปรียบเทียบกัน

3. เพื่อหาสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ในกรณีที่พิจารณาแผนภูมิแล้วพบว่ามิจุดผิดปกติเกิดขึ้นในแผนภูมิ ก็จะทำให้ทราบว่ากระบวนการผลิตมีปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การค้นหาสาเหตุ และลักษณะของจุดในแผนภูมิควบคุมที่ผิดปกติบางลักษณะก็จะสามารถบ่งบอกได้ว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากอะไร

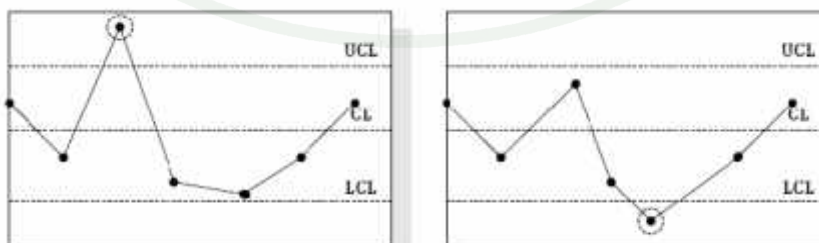
4. เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ตามจำนวนที่ต้องการ และสามารถรักษาระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้

5. เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานหรือขีดจำกัดข้อกำหนดเฉพาะหรือไม่ เนื่องจากมาตรฐานที่กระบวนการผลิตทำได้อาจไม่ตรงกับมาตรฐานหรือขีดจำกัดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ ค่าจากแผนภูมิควบคุมจะสามารถนำไปเปรียบเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตมีความสามารถในการผลิตหรือไม่

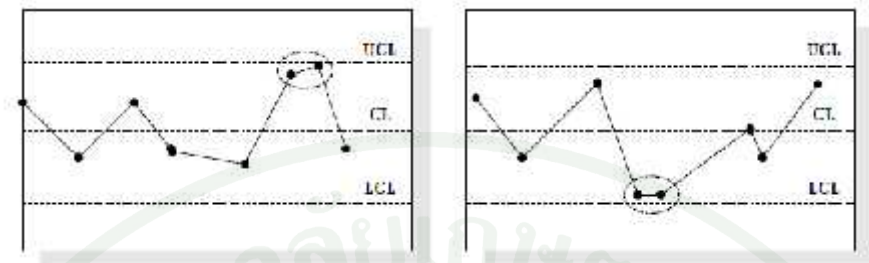
2.3 การตีความแผนภูมิควบคุม

โดยปกติเมื่อได้แผนภูมิควบคุมแล้วก็จะทำการสุ่มตัวอย่างและทำการวัดผล ถ้าผลของการลงจุดในแผนภูมิควบคุม ทุกจุดกระจายอย่างสุ่ม จะได้กระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม แต่ถ้าอยู่ในรูปแบบใดใน 4 ลักษณะต่อไปนี้ ถือว่ากระบวนการผลิตอยู่นอกการควบคุม (Out-of-Control) หรือกระบวนการผลิตมีแนวโน้มที่จะเกิดความผิดปกติ (พายัพ และ กรรณิการ์, 2550)

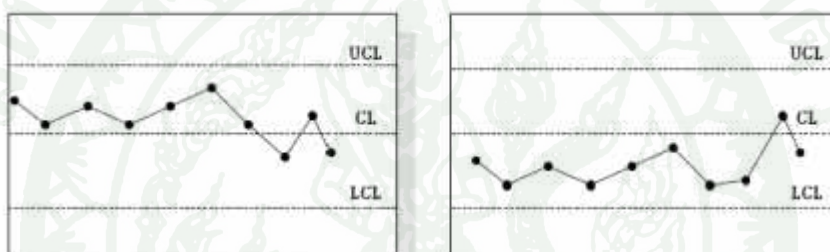
1. เมื่อมีจุดพิกตกอยู่นอกขีดจำกัดควบคุมข้างใดข้างหนึ่ง



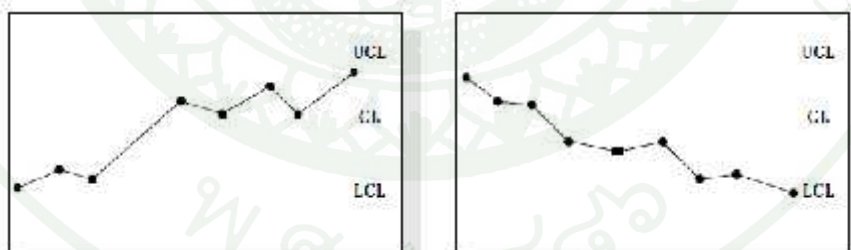
2. เมื่อมีจุดพิกัด 2 จุดติดกันและอยู่ใกล้ขีดจำกัดควบคุมด้านบนหรือด้านล่าง



3. เมื่อมีจุดพิกัดอย่างน้อย 7 จุดติดต่อกันอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของแผนภูมิ



4. เมื่อมีจุดพิกัดแสดงแนวโน้มไปทางด้านใดด้านหนึ่งของแผนภูมิ



3. แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM Control Chart)

Champ and Rigdon (1997) เสนอแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งเป็นแผนภูมิควบคุมอย่างง่ายแต่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการการผลิต วิธีการควบคุมผลรวมแบบวิ่งคือการใช้ค่า $\bar{X}_j$ ที่ได้จากผลลัพธ์ของกระบวนการทำซ้ำๆ กันหลายครั้ง โดยวิธีการหาแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 วิธีการหาขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง

ขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง จะมีเส้นกึ่งกลาง (Center Line) โดยมีค่าเท่ากับ ส่วนเส้นที่อยู่เหนือจากเส้นกึ่งกลางคือ $\bar{x}_0 + \frac{1\pm}{\sqrt{n}}, \bar{x}_0 + \frac{2\pm}{\sqrt{n}}, \bar{x}_0 + \frac{3\pm}{\sqrt{n}}$ ตามลำดับและเส้นที่อยู่ใต้เส้นกึ่งกลางคือ $\bar{x}_0 - \frac{1\pm}{\sqrt{n}}, \bar{x}_0 - \frac{2\pm}{\sqrt{n}}, \bar{x}_0 - \frac{3\pm}{\sqrt{n}}$ ตามลำดับ

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

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

ให้ $\sim_i$ คือค่าคะแนนที่อยู่ในพื้นที่ R_{+i}

$\sim_j$ คือค่าคะแนนที่อยู่ในพื้นที่ R_{-j}

ดังนั้นพื้นที่ $R_{+0}, R_{+1}, R_{+2}, R_{+3}$ จะมีค่าคะแนนเท่ากับ $\sim_0, \sim_1, \sim_2, \sim_3$ ซึ่งเท่ากับ $+0, +1, +2, +3$ ตามลำดับและพื้นที่ $R_{-0}, R_{-1}, R_{-2}, R_{-3}$ จะมีค่าคะแนนเท่ากับ $\sim_0, \sim_1, \sim_2, \sim_3$ ซึ่งเท่ากับ

$-0, -1, -2, -3$ ตามลำดับ โดย $R_i, R_j, \sim_i, \sim_j$ ถูกกำหนดโดย Champ และ Rigdon (1997) ดังนี้

	พื้นที่ R_{+3}	ค่าคะแนน $= \sim_3$
$\ll_0 + 3\pm / \sqrt{n}$		
	พื้นที่ R_{+2}	ค่าคะแนน $= \sim_2$
$\ll_0 + 2\pm / \sqrt{n}$		
	พื้นที่ R_{+1}	ค่าคะแนน $= \sim_1$
$\ll_0 + 1\pm / \sqrt{n}$		
	พื้นที่ R_{+0}	ค่าคะแนน $= \sim_0$
$\ll_0$		
	พื้นที่ R_0	ค่าคะแนน $= 0$
$\ll_0 - 1\pm / \sqrt{n}$		
	พื้นที่ R_{-1}	ค่าคะแนน $= 1$
$\ll_0 - 2\pm / \sqrt{n}$		
	พื้นที่ R_{-2}	ค่าคะแนน $= 2$
$\ll_0 - 3\pm / \sqrt{n}$		
	พื้นที่ R_{-3}	ค่าคะแนน $= 3$

ภาพที่ 2 ขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวง

ส่วนที่ 2 แสดงวิธีการหาค่า ARL

การสร้างแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวง มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวงตามวิธีการในส่วนที่ 1

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

ขั้นตอนที่ 3 นำค่า $\bar{x}$ ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาเปรียบเทียบกับขอบเขตของแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวงจะได้ค่าคะแนนให้เท่ากับค่า s_i ถ้าค่า $\bar{x}$ ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มากกว่าค่า $\ll_0$ จะได้ค่า s_i ที่มี

เครื่องหมายเป็นบวก ($\sim_i$) แต่ถ้าค่า $\bar{x}$ ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 น้อยกว่า $\ll_0$ จะได้ค่า s_t ที่มี
เครื่องหมายเป็นลบ ($\sim_j$)

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

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

2) ถ้าค่า s_t กับ s_{t-1} มีค่าเป็นบวกหรือลบต่างกัน จะได้ค่า s_t ใหม่ คือ s_t ในปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 5 ถ้าค่า s_t ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 น้อยกว่า 3 หรือมากกว่า -3 แสดงว่ากระบวนการยังอยู่
ภายใต้ขอบเขตควบคุมให้กลับไปทำขั้นที่ 2 แต่ถ้าค่า s_t มากกว่าหรือเท่ากับ 3 หรือน้อยกว่าหรือ
เท่ากับ -3 แสดงว่ากระบวนการเริ่มมีความผิดปกติ

เกณฑ์การตัดสินใจเป็นดังนี้

ถ้าค่า $s_t \geq 3$ หรือ $s_t \leq -3$ แสดงว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม (Reynolds, 1971)

4. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA Control Chart)

Steiner (1999) ได้พัฒนาแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็วโดยขอบเขตควบคุมจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และแผนภูมินี้
จะมีขอบเขตควบคุมที่แคบลงจากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลในช่วงข้อมูลแรกเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่
เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยของกระบวนการ

ตัวสถิติของแผนภูมิ คือ

$$W_j = a\bar{x}_j + (1-a)W_{j-1} \quad (2)$$

โดยที่ W_j คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของทุกค่าเฉลี่ยตัวอย่าง และกำหนดค่าเริ่มต้น $W_0 = \ll_0$

$\bar{x}_j$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกลุ่มที่ j

a คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ โดยที่ $0 < a \leq 1$

ขอบเขตควบคุม เป็นดังนี้

$$UCL = \ll_0 + L \pm \left\{ \left(1 - (1-f)^{1+a(j-1)} \right) \sqrt{\frac{a[1-(1-a)^{2j}]}{(2-a)n}} \right\}$$

$$CL = \ll_0$$

$$LCL = \ll_0 - L \pm \left\{ \left(1 - (1-f)^{1+a(j-1)} \right) \sqrt{\frac{a[1-(1-a)^{2j}]}{(2-a)n}} \right\}$$

โดยที่ L คือ สัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม ซึ่งจะเลือกค่า L โดยจำลองข้อมูลตามตัวแบบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม และหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_0) เท่ากับ ARL_0 ของแผนภูมิ RUNSUM จะเลือกค่า L นั้นมาใช้ในการวิจัย

$$f \text{ คือ ค่าคงที่ในการปรับ } 0 < f \leq 1 \text{ และ } a = \frac{-2 / (\log(f) - 1)}{19}$$

ค่าคงที่ของแผนภูมิ (a, f, L) ที่นำมาเปรียบเทียบคือ $(0.1, 0.9, L), (0.2, 0.9, L), (0.3, 0.9, L), (0.4, 0.9, L), (0.5, 0.9, L), (0.6, 0.9, L), (0.7, 0.9, L), (0.8, 0.9, L), (0.9, 0.9, L)$

ทั้งนี้ในแต่ละชุดของค่าคงที่จะหาค่า L โดยการจำลองข้อมูลตามตัวแบบ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมและหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL_0) ค่า L ใดที่ให้ค่า ARL_0 เท่ากับ ARL_0 ของแผนภูมิ RUNSUM จะเลือกค่า L นั้นนำมาใช้ในการวิจัย

จากนั้นเมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงในสถานการณ์ต่างๆ จะเลือกค่าคงที่ (a, f, L) ที่ได้จากข้างต้น ชุดที่ทำให้ค่า ARL_1 ต่ำที่สุด ซึ่งหมายความว่า ค่าคงที่ (a, f, L) ชุดที่ให้ค่า ARL_1 ต่ำที่สุด จะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการดีที่สุด
เกณฑ์การตัดสินใจเป็นดังนี้

ถ้าค่าสถิติ W_j ตกอยู่นอกขอบเขตควบคุม จะถือว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม

5. แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS Control Chart)

Lucas (1982) เสนอแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม ซึ่งเป็นการรวมกันระหว่างขอบเขตของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม โดยจะทำการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1 ด้วยตัวแปรสุ่ม Z_i ซึ่งค่าเฉลี่ย $\bar{x}_i$ มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_0 ความแปรปรวนเป็น $\frac{\sigma^2}{n}$ ดังนั้น

$$Z_j = \frac{\bar{x}_j - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}} \sim N(0,1) \quad (3)$$

ในการหาค่าผลรวมสะสมของความคลาดเคลื่อนด้วยตัวแปรสุ่ม Z_i คือหาค่าผลรวมสะสมที่คลาดเคลื่อนทางด้านบวก แทนด้วย S_{H_i} และค่าสะสมที่คลาดเคลื่อนทางด้านลบ แทนด้วย S_{L_i} จะได้ว่า

$$\begin{aligned} S_{H_j} &= \max \{0, (Z_j - k) + S_{H_{(j-1)}}\} \\ S_{L_j} &= \max \{0, (-Z_j - k) + S_{L_{(j-1)}}\} \end{aligned} \quad (4)$$

โดย k คือค่าอ้างอิงของแผนภูมิ มีค่าเท่ากับ $\frac{\Phi \pm}{2}$

การกำหนดค่าเริ่มต้น

การกำหนดค่าเริ่มต้นของ S_{H_0} และ S_{L_0} โดยปกติจะมีค่าเป็น 0 แต่จากการศึกษาของ Lucas และ Crosier (1982) ได้แนะนำที่ค่าเริ่มต้น $S_{H_0} = S_{L_0} = h/2$ ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจสอบกระบวนการได้รวดเร็วขึ้น

ขอบเขตควบคุมเป็นดังนี้

จากตัวแปรสุ่ม Z_i ที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ 1 จะได้ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ซึ่งแทนด้วย SCL โดย $SCL = 3$ (Lucas, 1982) และความยาวของช่วงควบคุม H ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม คือ $H = 5\pm$ (Montgomery, 2009)

เกณฑ์การตัดสินใจเป็นดังนี้

กระบวนการตอกอยู่นอกขอบเขตควบคุม เมื่อค่าสถิติ $|Z_j|$ มีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุม SCL นั่นคือ $|Z_j| > SCL$ หรือค่าสถิติ S_{H_j} หรือ S_{L_j} มีค่ามากกว่าความยาวของช่วงควบคุม H นั่นคือ $S_{H_j} > H$ หรือ $S_{L_j} > H$

6. แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA Control Chart)

Khoo and Sim (2005) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA) โดยทำการเพิ่มค่าอินเตอร์ควอไทล์เรนจ์ (Interquartile Range : IQR) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยของกระบวนการ โดยที่ $IQR_j = Q_{3j} - Q_{1j}$ เมื่อ Q_{3j} และ Q_{1j} คือค่าควอไทล์ที่ 3 และค่าควอไทล์ที่ 1 ของกลุ่มย่อยที่ j ตามลำดับเมื่อ $j = 1, 2, 3, \dots, l$ ซึ่ง l คือจำนวนชุดตัวอย่าง

ตัวสถิติของแผนภูมิ คือ

$$W_j = a\bar{x}_j + (1-a)W_{j-1}$$

โดยที่ W_j คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของทุกค่าเฉลี่ยตัวอย่าง และกำหนดค่าเริ่มต้น $W_0 = \ll_0$

$\bar{x}_j$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกลุ่มที่ j

a คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ โดยที่ $0 < a \leq 1$

ขอบเขตควบคุมเป็นดังนี้

$$UCL = \ll_0 + G_1 \overline{IQR}$$

$$CL = \ll_0$$

$$LCL = \ll_0 - G_1 \overline{IQR}$$

(5)

โดยที่ G_1 คือ สัมประสิทธิ์ความกว้างของขอบเขตควบคุม โดยเปิดจากตารางผนวกที่ ข1

$$\overline{IQR} = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l IQR_j \quad \text{โดย } l \text{ คือจำนวนชุดตัวอย่าง}$$

เกณฑ์การตัดสินใจเป็นดังนี้

ถ้าค่าสถิติ W_j ตกอยู่นอกขอบเขตควบคุม จะถือว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม

7. เกณฑ์การพิจารณาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม

การพิจารณาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำเป็นต้องมีหลักการในการวัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมเพื่อเป็นที่ยืนยันถึงความสามารถในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการจากค่าตัวแปรซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะปกติที่กำหนด ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้จำนวนชุดตัวอย่างเฉลี่ยก่อนที่จะตรวจพบการเปลี่ยนแปลงครั้งแรกของค่าตัวแปร (Average Run Length : ARL_1) เป็นค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แผนภูมิ โดยมีหลักการดังนี้

เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยกระบวนการจะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 2 หรือกล่าวว่าเมื่อสมมติฐานเป็นเท็จแต่ยอมรับว่าเป็นจริงค่าที่จะสามารถตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเท่ากับ $1 - \beta$ (อำนาจการทดสอบ) เมื่อพิจารณากระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนชุดตัวอย่าง $r - 1$ ไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งชุดตัวอย่างที่ r จึงสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงได้ดังนั้นจึงได้

$$f(r) = r^{-1}(1 - \beta)^{r-1} \text{ เมื่อ } r=1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

นั่นคือ R มีการแจกแจงแบบเรขาคณิตจำนวนชุดตัวอย่างเฉลี่ยก่อนที่แผนภูมิควบคุมจะตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการเป็นครั้งแรกจะได้หาได้จาก

$$\begin{aligned} ARL_1 &= E(R) = \sum_{r=1}^{\infty} r \cdot r^{-1}(1 - \beta)^{r-1} \\ &= \sum_{r=1}^{\infty} r^{r-1} - \sum_{r=1}^{\infty} r^r \\ &= [1 + 2 + 3 + 4 + \dots] - [1 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + \dots] \\ &= [1 + \beta + \beta^2 + \dots] \end{aligned} \quad (7)$$

ค่า β มีขอบเขตในช่วง $(0, 1)$ และจากสมการ (7) เป็นอนุกรมเรขาคณิต จะได้

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \beta} \quad (8)$$

เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุมจะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ I หรือกล่าวว่าเมื่อสมมติฐานเป็นจริงแต่ปฏิเสธค่าที่ยอมรับว่ากระบวนการอยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุมเท่ากับ $1 - \alpha$ เมื่อพิจารณาว่ากระบวนการเกิดการยอมรับจำนวนชุดตัวอย่าง $r - 1$ จนกระทั่งชุดตัวอย่างที่ r จึงปฏิเสธ (บ่งชี้ว่ากระบวนการผิดปกติ) จะได้ว่า มีการแจกแจงแบบเรขาคณิตโดยมีฟังก์ชันความหนาแน่นคือ

$$f(r) = (1 - \alpha)^{r-1} \alpha \text{ เมื่อ } r=1, 2, 3, \dots$$

โดยมีจำนวนชุดตัวอย่างเฉลี่ยคือ

$$\begin{aligned}
 ARL_0 &= E(r) = \sum_{r=1}^{\infty} r(1-\sim)^{r-1}(1-(1-\sim)) \\
 &= \sum_{r=1}^{\infty} r(1-\sim)^{r-1} - \sum_{r=1}^{\infty} r(1-\sim)^r \\
 &= [1 + 2(1-\sim) + 3(1-\sim)^2 + \dots] \\
 &\quad - [(1-\sim) + 2(1-\sim)^2 + 3(1-\sim)^3 + \dots] \\
 &= [1 + (1-\sim) + (1-\sim)^2 + \dots] \tag{9}
 \end{aligned}$$

ค่า $1-\sim$ มีขอบเขตในช่วง $(0,1)$ และสมการ (9) เป็นอนุกรมเรขาคณิต จะได้ว่า

$$ARL_0 = \frac{1}{1-(1-\sim)} = \frac{1}{\sim} \tag{10}$$

เกณฑ์ในการพิจารณาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพคือแผนภูมิที่ให้ค่า ARL_1 ต่ำเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรีศณี (2544) ได้ศึกษาหาขอบเขตควบคุมและประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในค่าเฉลี่ยโดยใช้จำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยเป็นสิ่งที่เปรียบเทียบโดยเปรียบเทียบภายใต้ตัวแบบอนุกรมเวลา กรณีค่าเฉลี่ยคงที่ที่แผนภูมิควบคุมที่ใช้ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ -Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (CUSUM) และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.5\sigma, 0.6\sigma, 0.7\sigma, \dots, 1.5\sigma, 2.0\sigma, 2.5\sigma, 3.0\sigma$ ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มคือ $\pm^2 = 1$ ขนาดตัวอย่าง $n = 2, 3, 4, 5, \dots, 14$ และ 15 ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่ออยู่ภายใต้การควบคุมเท่ากับ 5 ค่า ARL_0 เริ่มต้นสำหรับแผนภูมิสังเคราะห์เท่ากับ 300, 370 และ 400 ผลวิจัยพบว่าแต่ละแผนภูมิจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นขณะที่ระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยมีค่ามากขึ้น ยกเว้นแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากสำหรับการเปลี่ยนแปลงที่ระดับต่ำ และขนาดตัวอย่างที่น้อยแผนภูมิควบคุม

สังเคราะห์มีประสิทธิภาพมากที่สุดเกือบทุกสถานการณ์ที่ศึกษาทั้งนี้ บางสถานการณ์จะมีแผนภูมิควบคุมมากกว่าหนึ่งชนิดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดใกล้เคียงกัน

นิยม (2545) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 แบบในกระบวนการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยซึ่งแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แบบประกอบด้วยแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ - Chart) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 4, 5, 6, ..., 50 และระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยคือ 0.5σ , 0.6σ , ..., 5σ ผลการวิจัยพบว่าที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยระดับน้อย 0.5, 0.8 เมื่อขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 4 ถึง 6 แผนภูมิควบคุม RUNSUM จะมีค่า ARL_1 ต่ำสุด เมื่อขนาดตัวอย่าง 7 ถึง 8 แผนภูมิควบคุม RUNSUM และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ 300 จะมีค่า ARL_1 ต่ำสุด แต่ขนาดตัวอย่าง 9 หรือมากกว่าแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ 300 จะมีค่า ARL_1 ต่ำที่สุดที่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 0.9, 2.0 เมื่อขนาดตัวอย่าง 4 ถึง 6 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ 300 และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ 370 จะมีค่า ARL_1 ต่ำสุด แต่ขนาดตัวอย่าง 7 ถึง 10 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ จะมีค่า ARL_1 ต่ำสุด นอกจากนี้เมื่อขนาดตัวอย่าง 15 หรือมากกว่า พบว่าทุกแผนภูมิควบคุมมีค่า ARL_1 เท่ากัน

นภัสพร (2545) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยในค่าเฉลี่ยโดยแผนภูมิควบคุมที่ศึกษาได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (EWMA) แผนภูมิควบคุมรวมค่าเฉลี่ยและผลรวมสะสม (CS) และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) โดยเปรียบเทียบจำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL_1 ภายใต้ตัวแบบอนุกรมเวลาแบบค่าเฉลี่ยคงที่เฉพาะช่วงเวลาโดยตัวอย่างสุ่มจากประชากรที่มี การแจกแจงปกติค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100 ความแปรปรวนเท่ากับ 100 ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 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 ผลการวิจัยพบว่าระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยน้อยมีค่าระหว่าง 1 ถึง 5 เมื่อขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 2 ถึง 4 แผนภูมิควบคุม CS และแผนภูมิควบคุม EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่เมื่อขนาดตัวอย่าง 5 ถึง 6 แผนภูมิควบคุม EWMA มีประสิทธิภาพมากที่สุดและขนาดตัวอย่าง 7 หรือมากกว่า 7 แผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ เมื่อ $ARL_0 = 200$ มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ชรณินทร์ (2553) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตผลการวิจัยพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง 2-6 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย $0.2\pm - 0.6\pm$ แผนภูมิ RUNSUM มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่เมื่อขนาดตัวอย่าง 8 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย $1.6\pm - 2.0\pm$ แผนภูมิ EWMA มีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อขนาดตัวอย่าง 7 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย $0.8\pm - 2.0\pm$ แผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์ มีประสิทธิภาพดีที่สุด และขนาดตัวอย่าง 10 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย $1.6\pm - 2.0\pm$ แผนภูมิ Fuzzy p มีประสิทธิภาพดีที่สุด

Lucas (1982) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (Combined Shewhart-CUSUM Control Chart : CS) ซึ่งพัฒนาจากแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม โดยรวมขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยกับแผนภูมิควบคุมสะสม ทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถใช้กับกระบวนการที่มีทั้งการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการน้อย และการเปลี่ยนแปลงมากได้พร้อมกัน

Champ and Rigdon (1997) เสนอแผนภูมิควบคุมคุณภาพ พบว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (Run Sum Control Chart : RUNSUM) เป็นแผนภูมิควบคุมอย่างง่ายแต่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตได้ดี วิธีการควบคุมผลรวมแบบวิ่ง คือการใช้ค่า $\bar{x}$ ที่ได้จากผลลัพธ์ของกระบวนการทำซ้ำกันหลายๆครั้ง โดยใช้วิธีการจำลองข้อมูลเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length : ARL) ระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยกับกฎการวิ่ง ($\bar{X}$ -Chart with Run Rule) กับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยแบบวิ่ง (RUNSUM) ซึ่งพบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยแบบวิ่ง มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในค่าเฉลี่ยได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยกับกฎการวิ่ง

Steiner (1999) เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (Exponential Weighted Moving Average Control Chart with Fast Initial Response: FIR-EWMA) โดยทำการเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลซึ่งมีขอบเขตควบคุมคงที่ (Exponential Weighted Moving Average Chart : EWMA) กับแผนภูมิควบคุมเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Exponential Weighted Moving Average Control Chart with Varying Control Limit) พบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลซึ่งมีขอบเขตควบคุม

เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลซึ่งมีขอบเขตควบคุมคงที่ นอกจากนี้ Steiner ได้พัฒนาแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA) ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการด้วย

Borror *et al.* (1999) ได้ศึกษาแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ และแผนภูมิควบคุม EWMA ที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1 และได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่เปลี่ยนแปลง ค่า ARL_0 เท่ากับ 370.4 ภายใต้สมมติฐานของค่าสังเกตที่สุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติรวมทั้งแสดงให้เห็นว่าแผนภูมิควบคุม EWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยภายใต้สมมติฐานของค่าสังเกตที่มีการแจกแจงแบบปกติและมีการแจกแจงไม่เป็นปกติคือมีการแจกแจงแบบทีและแบบแกมมา ซึ่งได้มีการสรุปไว้ว่าแผนภูมิควบคุม EWMA สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$

Vera *et al.* (2004) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม CUSUM และแผนภูมิควบคุม EWMA เพื่อค้นคว้าว่าแผนภูมิทั้งสองแบบนี้สามารถใช้งานได้ดีในช่วงใดเพื่อตรวจพบความเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของกระบวนการ โดยใช้ค่า ARL_1 เป็นตัวเปรียบเทียบความสามารถพบว่าแผนภูมิควบคุม CUSUM ไม่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเมื่อระดับของการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง $\pm 1\pm$ แต่สำหรับแผนภูมิควบคุม EWMA สามารถตรวจพบความเปลี่ยนแปลงในช่วงที่กล่าวมาได้ดีกว่า

Khoo and Sim (2005) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Robust Exponentially Weighted Moving Average Control Chart : REWMA) โดยทำการเปรียบเทียบจำนวนการออกนอกการควบคุม ระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักเอกซ์โพเนนเชียลมาตรฐาน (Standard Exponential Weighted Moving Average Control Chart : EWMA-SQ) กับแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA) พบว่าแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA) มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในค่าเฉลี่ยได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักเอกซ์โพเนนเชียลมาตรฐาน (EWMA-SQ)

Luo *et al.* (2009) ได้ศึกษาเรื่องแผนภูมิควบคุมปรับ CUSUM กับช่วงการสุ่มตัวอย่างของตัวแปร ผลการวิจัย พบว่าแผนภูมิควบคุม VSI ACUSUM ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการของแผนภูมิควบคุม ACUSUM ทั้งสถานะศูนย์และสถานะคงที่ และมีประสิทธิภาพดีกว่าทั้งแผนภูมิ DCUSUM และแผนภูมิการรวม Shewhart-CUSUM (SC) ซึ่งมีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยขนาดเล็กและขนาดกลาง

Zhou *et al.* (2010) ได้ศึกษาเรื่องแผนภูมิควบคุมโดยอาศัยพื้นฐานจากการทดสอบอัตราส่วนความควรจะเป็น (Likelihood Ratio Test) สำหรับการตรวจจับค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่เปลี่ยนไป ผลการวิจัยพบว่า สำหรับค่า h^2 ที่ต่างกัน (h^2 เป็นเวลาสำหรับการเตือน) กำหนด $ARL_0 = 370$ และพิจารณาค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปที่ $\phi = 0.5$, $\phi = 1$ และความแปรปรวน $\pm = 1.5$, $\pm = 2$ และทั้งค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนเปลี่ยนแปลงไปที่ $\phi = 0.5$, $\pm = 1.5$ และ $\phi = 1$, $\pm = 2$ เป็นไปตามที่คาดหวัง ค่าคาดหวังที่ล่าช้า (Expected Delay) จะคงที่หรือน้อยลงถ้าเวลาเปลี่ยนที่ h^2 ขนาดใหญ่สำหรับการควบคุมเพราะเราสามารถได้รับข้อมูล IC มากขึ้นถ้า h^2 ขนาดใหญ่ สำหรับค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงแผนภูมิ *ELM* ให้ความล่าช้าที่สั้นที่สุดสำหรับทุก h^2 ที่พิจารณา สำหรับความแปรปรวนที่เปลี่ยนแปลงไป แผนภูมิ *ELV* มีประสิทธิภาพดีกว่าถ้า $h^2 \geq 3$ และสำหรับทั้งค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่เปลี่ยนแปลงไปและเมื่อการเปลี่ยนแปลงมีขนาดเล็ก ($\phi = 0.5$, $\pm = 1.5$) แผนภูมิ *ELMV* มีประสิทธิภาพดีกว่าถ้า $h^2 \geq 15$ และแผนภูมิ *ELMV* มีประสิทธิภาพด้อยกว่าเมื่อเทียบกับ *NCS* และ *ELR* ถ้า $h^2 < 15$ แต่เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงมีขนาดใหญ่ ($\phi = 1$, $\pm = 2$) แผนภูมิ *ELMV* มีประสิทธิภาพดีทุกค่า h^2

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ของภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. โปรแกรมภาษา R 3.0.1

วิธีการ

ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิดคือแผนภูมิควบคุม RUNSUM แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA แผนภูมิควบคุม CS และแผนภูมิควบคุม REWMA ภายใต้สถานการณ์ต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้จำลองข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติโดยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) โดยกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติเท่ากับ 50 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. จำลองข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

1.1 การจำลองข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

1.1.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ μ_0 เท่ากับ 50 กำหนดจำนวนชุดตัวอย่าง (I) โดยกำหนด I เท่ากับ 20, 40 และ 100 และกำหนดขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30

1.1.2 สร้างเลขสุ่ม U_1, U_2 ที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง (0,1) และเป็นอิสระจากกัน

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

1.1.4 สร้างข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ย μ_0 และความแปรปรวน $\pm^2$

ดังนี้

$$X_i = \pm Z + \ll_0 \text{ เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, N$$

โดย X_i คือ ค่าข้อมูลที่ i

$\ll_0$ คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ในการควบคุม เมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์

ปกติ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 50

$\pm^2$ คือ ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ เมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติ

กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

Z คือ ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0

และความแปรปรวนเท่ากับ 1 เขียนแทนด้วย $Z \sim N(0,1)$

N คือ ขนาดประชากร

1.1.5 สุ่มข้อมูลจากข้อ 1.1.4 ให้มีขนาดตัวอย่างเท่ากับ n และจำนวนชุดตัวอย่างเท่ากับ l และหาค่า $\bar{x}_j$ โดยที่ $j = 1, 2, \dots, l$

1.2 การจำลองข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไป

1.2.1 กำหนดพารามิเตอร์ $\ll_1 = \ll_0 + \Phi\pm$ โดยค่าพารามิเตอร์ $\ll_0$ เท่ากับ 50 กำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\Phi\pm$) เท่ากับ $0.2\sigma, 0.4\sigma, 0.6\sigma, 0.8\sigma, 1.0\sigma, 1.2\sigma, 1.6\sigma, 2.0\sigma, 5.0\sigma$ และกำหนดขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30 กำหนดจำนวนชุดตัวอย่าง (l) โดยกำหนด l เท่ากับ 20, 40 และ 100

1.2.2 สร้างเลขสุ่ม U_1, U_2 ที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง (0,1) และเป็นอิสระจากกัน

$$1.2.3. \text{ สร้างค่า } Z = (-2\ln U_1)^{\frac{1}{2}} \cos(2\pi U_2)$$

1.2.4 สร้างข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ย $\ll_1$ และความแปรปรวน $\pm^2$

ดังนี้

$$X_i = \pm Z + \ll_1 = \pm Z + (\ll_0 + \Phi \pm) \text{ เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, N$$

โดย X_i คือ ค่าข้อมูลที่ i

$\ll_0$ คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ในการควบคุม เมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 50

$\ll_1$ คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงไป เท่ากับ $\ll_1 = \ll_0 + \Phi \pm$

$\pm^2$ คือ ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ เมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์ปกติ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

Z คือ ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1 เขียนแทนด้วย $Z \sim N(0,1)$

N คือ ขนาดประชากร

1.2.5 สุ่มชุดข้อมูลจากข้อ 1.2.4 ให้มีขนาดตัวอย่างของแต่ละขนาดตัวอย่างเท่ากับ n และจำนวนชุดตัวอย่างเท่ากับ l และหาค่า $\bar{x}_j$ โดยที่ $j = 1, 2, \dots, l$

2. การหาค่าขีดจำกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิ RUNSUM, แผนภูมิ FIR-EWMA, แผนภูมิ CS และแผนภูมิ REWMA

2.1 สร้างแผนภูมิควบคุม RUNSUM และคำนวณค่า ARL_1 มีขั้นตอนดังนี้

2.1.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ $\ll_0$ เท่ากับ 50 และ $\pm^2$ เท่ากับ 1 และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\Phi \pm$) เท่ากับ $0.2\sigma, 0.4\sigma, 0.6\sigma, 0.8\sigma, 1.0\sigma, 1.2\sigma, 1.6\sigma, 2.0\sigma, 5.0\sigma$ และกำหนดขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30

2.1.2 สร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ RUNSUM (Champ and Rigdon, 1997) ดังนี้

$$\ll_0 \pm \frac{1\pm}{\sqrt{n}}, \ll_0 \pm \frac{2\pm}{\sqrt{n}}, \ll_0 \pm \frac{3\pm}{\sqrt{n}}$$

2.1.3 นำค่า $\bar{x}_j$ โดยที่ $j = 1, 2, \dots, l$ ไปหาพื้นที่คะแนนของ RUNSUM ให้มีค่าเท่ากับ S_t

2.1.4 เปรียบเทียบ S_t กับ S_{t-1} ถ้าเครื่องหมายเหมือนกันจะได้ $S_t = S_t + S_{t-1}$ ถ้าเครื่องหมายต่างกัน $S_t = S_{t-1}$

2.1.5 ถ้า $S_t \geq 3$ หรือ $S_t \leq -3$ แสดงว่ากระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงจากค่าเฉลี่ยที่กำหนด

2.1.6 ถ้าค่าสถิติมากกว่าเท่ากับ 3 หรือน้อยกว่าเท่ากับ -3 ให้ไปทำข้อที่ 2.1.7 แต่ถ้าค่าสถิติที่นำมาเปรียบเทียบน้อยกว่า 3 หรือ มากกว่า -3 ให้นำค่าสถิติตัวต่อไปมาเปรียบเทียบจนกว่าจะมีค่าที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุม

2.1.7 ทำซ้ำในข้อ 1.1.5 และข้อ 2.1.3 -2.1.6 จำนวน 1,000 รอบ สำหรับแต่ละสถานการณ์ แล้วหาผลรวมของค่าสถิติที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุมทั้งหมด

2.1.8 นำค่าที่ได้จากข้อ 2.1.7 มาหารด้วยจำนวนรอบ คือ 1,000 จะได้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2 () เพื่อนำมาหาความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (ARL_1) ดังนี้

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \quad}$$

2.2. สร้างแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA และคำนวณค่า ARL_1 มีขั้นตอนดังนี้

2.2.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ κ_0 เท่ากับ 50 และ $\pm^2$ เท่ากับ 1 และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\Phi \pm$) เท่ากับ $0.2\sigma, 0.4\sigma, 0.6\sigma, 0.8\sigma, 1.0\sigma, 1.2\sigma, 1.6\sigma, 2.0\sigma, 5.0\sigma$ และกำหนดขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30 และกำหนดค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (a) เท่ากับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 โดยกำหนดค่าคงที่ในการปรับของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA เท่ากับ 0.9

2.2.2 สร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA (Steiner, 1999) ดังนี้

$$UCL = \bar{x}_0 + L \pm \left\{ \left(1 - (1 - f)^{1+a(j-1)} \right) \sqrt{\frac{a \left[1 - (1 - a)^{2j} \right]}{(2 - a)n}} \right\}$$

$$CL = \bar{x}_0$$

$$LCL = \bar{x}_0 - L \pm \left\{ \left(1 - (1 - f)^{1+a(j-1)} \right) \sqrt{\frac{a \left[1 - (1 - a)^{2j} \right]}{(2 - a)n}} \right\}$$

โดยทำการคำนวณขีดจำกัดควบคุมด้วยค่า L เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ค่า L ใดที่ให้ค่า ARL_0 เท่ากับ ARL_0 ของแผนภูมิ RUNSUM จะเลือกค่า L นั้นนำมาใช้ในการวิจัย

2.2.3 นำข้อมูลที่สร้างจากขั้นตอนที่ 1 มาคำนวณค่าสถิติของแผนภูมิ FIR-EWMA ดังนี้

$$W_j = a\bar{x}_j + (1 - a)W_{j-1}$$

โดยที่ W_j คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของทุกค่าเฉลี่ยตัวอย่าง และกำหนดค่าเริ่มต้น $W_0 = \bar{x}_0$

$\bar{x}_j$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกลุ่มที่ j

a คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ โดยที่ $0 < a \leq 1$

2.2.4 นำค่าสถิติมาเปรียบเทียบกับขีดจำกัดควบคุม เพื่อหาจำนวนของค่าสถิติที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุม โดยถ้าค่าสถิติที่มากกว่าขีดจำกัดควบคุมบนหรือน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง ให้ไปทำข้อที่ 2.2.5 แต่ถ้าค่าสถิติที่นำมาเปรียบเทียบมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมบนหรือมากกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง ให้นำค่าสถิติตัวต่อไปมาเปรียบเทียบจนกว่าจะมีค่าออกนอกขีดจำกัดควบคุม

2.2.5 ทำซ้ำใน ข้อ 1.1.5 และข้อ 2.2.3 -2.2.4 จำนวน 1,000 รอบ สำหรับแต่ละสถานการณ์ แล้วหาผลรวมของค่าสถิติที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุมทั้งหมด

2.2.6 นำค่าที่ได้จากข้อ 2.2.5 มาหารด้วยจำนวนรอบ คือ 1,000 จะได้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2 () เพื่อนำมาหาความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (ARL_1) ดังนี้

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \quad}$$

2.3 สร้างแผนภูมิควบคุม CS และคำนวณค่า ARL_1 มีขั้นตอนดังนี้

2.3.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ $\ll_0$ เท่ากับ 50 และ $\pm^2$ เท่ากับ 1 เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\Phi\pm$) เท่ากับ $0.2\sigma, 0.4\sigma, 0.6\sigma, 0.8\sigma, 1.0\sigma, 1.2\sigma, 1.6\sigma, 2.0\sigma, 5.0\sigma$ และกำหนดขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30

2.3.2 สร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ CS (Lucas, 1982) โดย $H = 5\pm$ และ $SCL=3$

2.3.3 คำนวณค่าของ Z_j ดังนี้

$$Z_j = \frac{\bar{x}_i - \ll_0}{\pm / \sqrt{n}}$$

2.3.4 คำนวณค่า k ดังนี้

$$k = \frac{\Phi\pm}{2}$$

2.3.5 คำนวณค่าสถิติของแผนภูมิ CS ดังนี้

$$S_{H_j} = \max \{0, (Z_j - k) + S_{H(j-1)}\}$$

$$S_{L_j} = \max \{0, (-Z_j - k) + S_{L(j-1)}\}$$

โดย ค่าเริ่มต้นของ $S_{H_0} = S_{L_0} = h/2$

2.3.6 นำค่าสถิติมาเปรียบเทียบกับขีดจำกัดควบคุม เพื่อหาจำนวนของค่าสถิติที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุม โดยถ้าค่าสถิติที่มากกว่าขีดจำกัดควบคุมบนหรือน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง ให้ไปทำข้อที่ 2.3.7 แต่ถ้าค่าสถิติที่นำมาเปรียบเทียบกับมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมบนหรือมากกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง ให้นำค่าสถิติตัวต่อไปมาเปรียบเทียบจนกว่าจะมีค่าออกนอกขีดจำกัดควบคุม

2.3.7 ทำซ้ำในข้อ 1.1.5 และข้อ 2.3.2-2.3.6 จำนวน 1,000 รอบ สำหรับแต่ละสถานการณ์ แล้วหาผลรวมของค่าสถิติที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุมทั้งหมด

2.3.8 นำค่าที่ได้จากข้อ 2.3.7 มาหารด้วยจำนวนรอบ คือ 1,000 จะได้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2 () เพื่อนำมาหาความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (ARL_1) ดังนี้

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \text{ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2}}$$

2.4 สร้างแผนภูมิควบคุม REWMA และคำนวณค่า ARL_1 มีขั้นตอนดังนี้

2.4.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ «₀ เท่ากับ 50 และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\Phi \pm$) เท่ากับ $0.2\sigma, 0.4\sigma, 0.6\sigma, 0.8\sigma, 1.0\sigma, 1.2\sigma, 1.6\sigma, 2.0\sigma, 5.0\sigma$ และกำหนดขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30 และหาค่า G_1 จากตารางภาคผนวกที่ ข1

2.4.2 สร้างขอบเขตควบคุมของแผนภูมิ REWMA (Khoo and Sim, 2005) ดังนี้

$$UCL = \text{«}_0 + G_1 \overline{IQR}$$

$$CL = \text{«}_0$$

$$LCL = \text{«}_0 - G_1 \overline{IQR}$$

โดยที่ $\overline{IQR} = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l IQR_j$ โดย l คือจำนวนชุดตัวอย่าง

2.4.3 นำข้อมูลที่สร้างจากขั้นตอนที่ 1 มาคำนวณค่าสถิติของแผนภูมิ REWMA ดังนี้

$$W_j = a\bar{x}_j + (1-a)W_{j-1}$$

โดยที่ W_j คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของทุกค่าเฉลี่ยตัวอย่าง และกำหนดค่าเริ่มต้น $W_0 = \bar{x}_0$

$\bar{x}_j$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกลุ่มที่ j

a คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ โดยที่ $0 < a \leq 1$

2.4.4 นำค่าสถิติมาเปรียบเทียบกับขีดจำกัดควบคุม เพื่อหาจำนวนของค่าสถิติที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุม โดยถ้าค่าสถิติที่มากกว่าขีดจำกัดควบคุมบนหรือน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง ให้ไปทำข้อที่ 2.4.5 แต่ถ้าค่าสถิติที่นำมาเปรียบเทียบมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดควบคุมบนหรือมากกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง ให้นำค่าสถิติตัวต่อไปมาเปรียบเทียบจนกว่าจะมีค่าออกนอกขีดจำกัดควบคุม

2.4.5 ทำซ้ำในข้อ 1.1.5 และข้อ 2.4.3 -2.4.4 จำนวน 1,000 รอบ สำหรับแต่ละสถานการณ์ แล้วหาผลรวมของค่าสถิติที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุมทั้งหมด

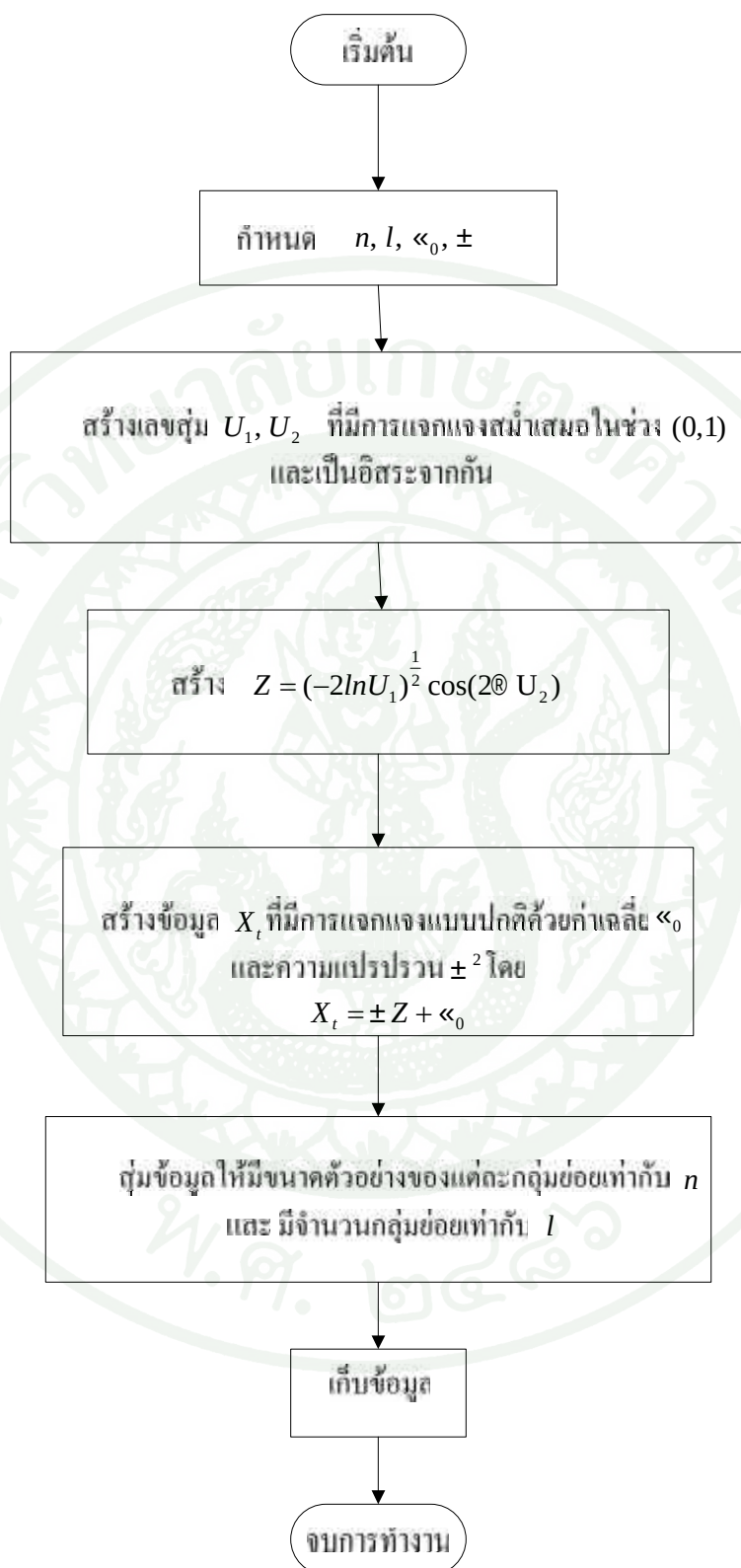
2.4.6 นำค่าที่ได้จากข้อ 2.4.5 มาหารด้วยจำนวนรอบ คือ 1,000 จะได้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2 () เพื่อนำมาหาความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (ARL_1) ดังนี้

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \quad}$$

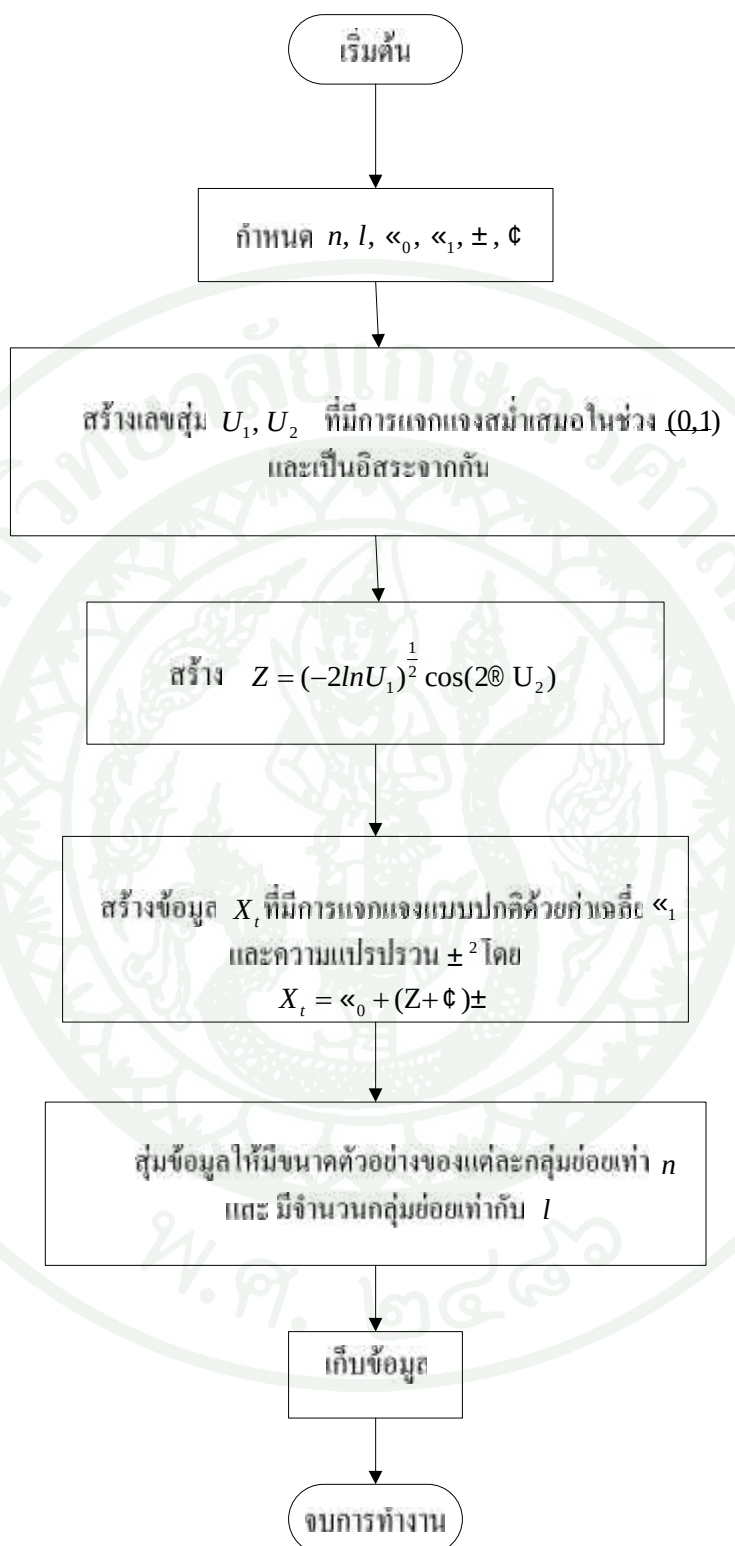
3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

เกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แผนภูมิ คือใช้ค่า ARL_1 ในการพิจารณา ซึ่งถ้าแผนภูมิใดมีค่า ARL_1 ต่ำที่สุดจะเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีที่สุด

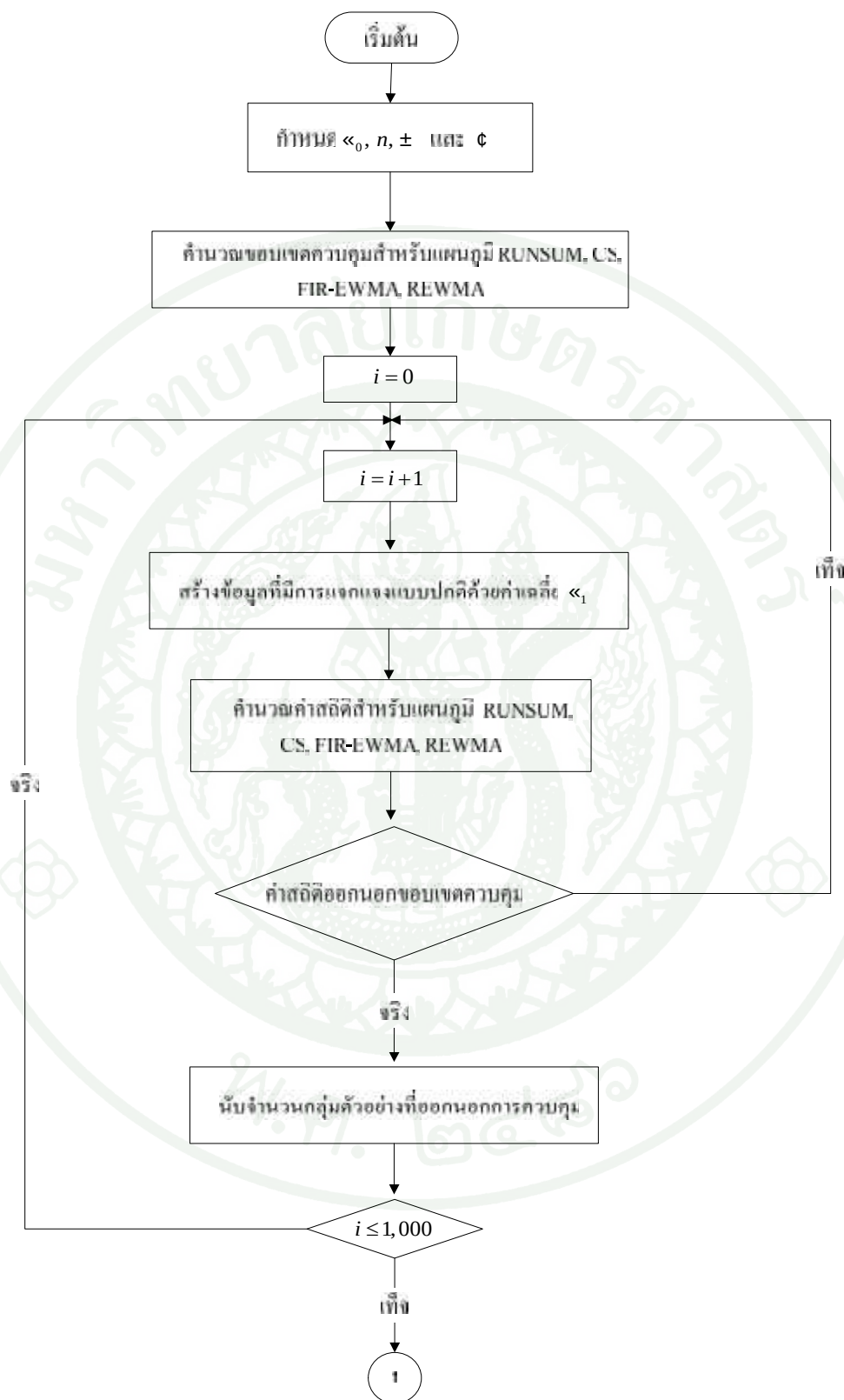




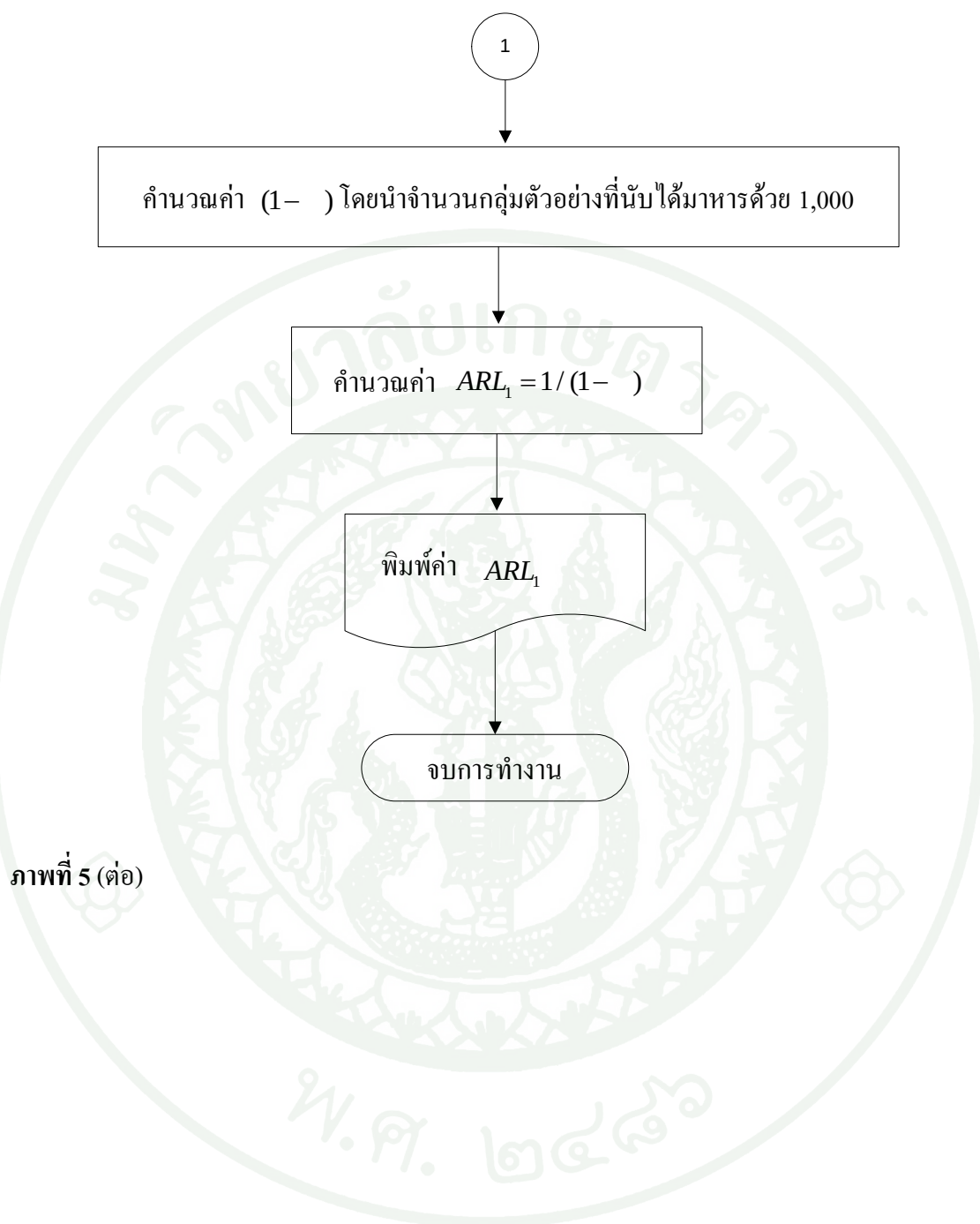
ภาพที่ 3 แผนผังการเขียนโปรแกรมการจำลองข้อมูลเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม



ภาพที่ 4 แผนผังการเขียนโปรแกรมการจำลองข้อมูลเมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 5 แผนผังการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์ แผนภูมิควบคุม 4 แผนภูมิ



ภาพที่ 5 (ต่อ)

ผลและวิจารณ์

ผล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่อปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ จำนวนชุดตัวอย่าง (I) ขนาดตัวอย่าง (n) และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\Phi \pm$) โดยศึกษาแผนภูมิควบคุม 4 ชนิดคือแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA) โดยเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด ใช้ค่า ARL_1 ซึ่งแผนภูมิควบคุมที่มีค่า ARL_1 ต่ำที่สุดจะเป็นแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเนื่องจากสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่ขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\Phi = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0$ และ 5.0) และจากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ผู้วิจัยเลือกค่า $\alpha = 0.1$ เพราะให้ค่า ARL_1 ต่ำที่สุด จากตารางภาคผนวกที่ ค1-ค24

ตารางที่ 1 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 20$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	83.330	1.706*	ใกล้∞	16.670
	0.4	27.780	1.000*	ใกล้∞	2.650
	0.6	11.630	1.000*	ใกล้∞	1.203
	0.8	5.260	1.000*	ใกล้∞	1.020*
	1	3.210	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	2.058	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.300	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.050	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
3	0.2	55.560	1.381*	500.000	8.475
	0.4	19.230	1.000*	ใกล้∞	1.490
	0.6	6.933	1.000*	ใกล้∞	1.025
	0.8	3.521	1.000*	ใกล้∞	1.002
	1	2.062	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	1.427	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.063	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.005	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
4	0.2	58.824	1.056*	ใกล้∞	4.673
	0.4	15.152	1.000*	ใกล้∞	1.163
	0.6	4.717	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	0.8	2.364	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1	1.517	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	1.202	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.013	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*

ตารางที่ 1 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	41.667	1.010*	ใกล้∞	2.950
	0.4	8.065	1.000*	ใกล้∞	1.066
	0.6	3.367	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	0.8	1.859	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1	1.248	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	1.073	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.002	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
6	0.2	33.333	1.005*	500.000	2.639
	0.4	8.065	1.000*	ใกล้∞	1.031
	0.6	2.941	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	0.8	1.563	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1	1.175	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	1.037	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.002	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
7	0.2	34.483	1.000*	ใกล้∞	2.066
	0.4	6.536	1.000*	ใกล้∞	1.007
	0.6	2.618	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	0.8	1.401	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1	1.086	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	1.013	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*

ตารางที่ 1 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.182	1.000*	ไกลล์	1.681
	0.4	3.846	1.000*	ไกลล์	1.001
	0.6	1.577	1.000*	ไกลล์	1.000*
	0.8	1.109	1.000*	ไกลล์	1.000*
	1	1.018	1.000*	ไกลล์	1.000*
	1.2	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
14	0.2	14.085	1.000*	500.000	1.244
	0.4	2.513	1.000*	ไกลล์	1.000*
	0.6	1.274	1.000*	ไกลล์	1.000*
	0.8	1.030	1.000*	ไกลล์	1.000*
	1	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
	1.2	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
20	0.2	9.260	1.000*	500.000	1.060
	0.4	1.845	1.000*	ไกลล์	1.000*
	0.6	1.082	1.000*	ไกลล์	1.000*
	0.8	1.003	1.000*	ไกลล์	1.000*
	1	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
	1.2	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ไกลล์	1.000*

ตารางที่ 1 (ต่อ)

n	Φ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.618	1.000*	1000.000	1.011
	0.4	1.339	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	0.6	1.009	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	0.8	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	1	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	1.2	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.1$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในกรณีที่กระบวนการอยู่ภายนอกการควบคุม (พิจารณาตามแถว)

จากตารางที่ 1 และภาพที่ 7 พบว่ากรณีที่ $l = 20$ ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง (n) เมื่อระดับของ Φ เพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น (n) นอกจากนี้พบว่าเมื่อระดับ $\Phi > 1$ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มต่ำและคงที่ แสดงว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีเมื่อ $\Phi > 1$

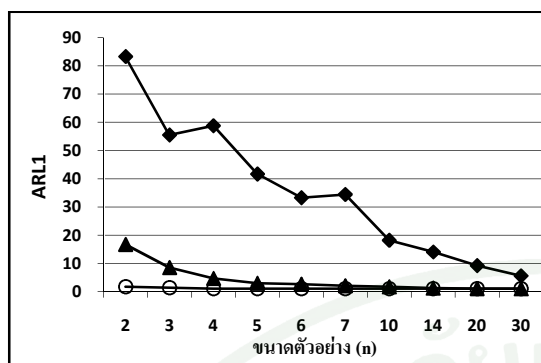
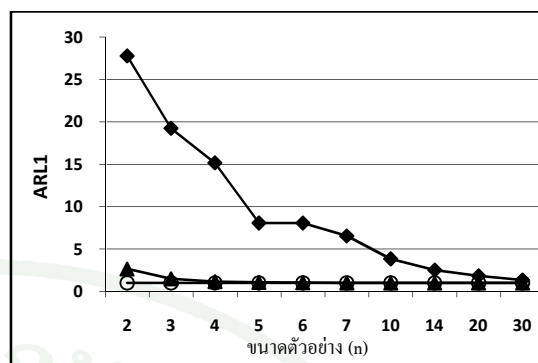
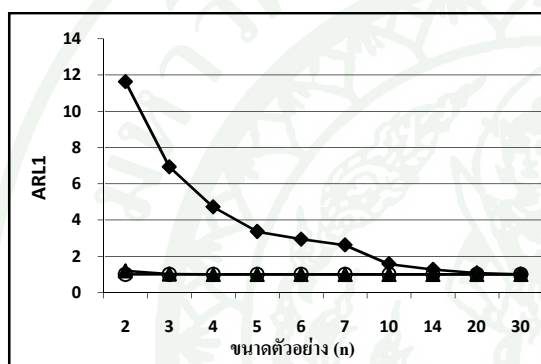
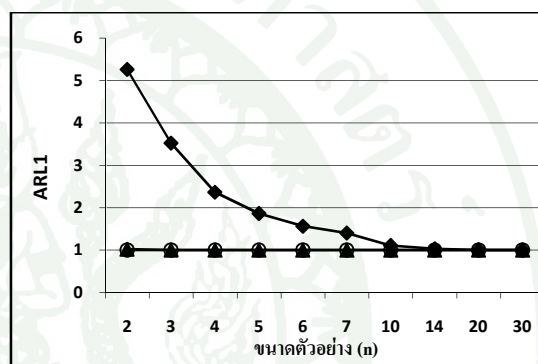
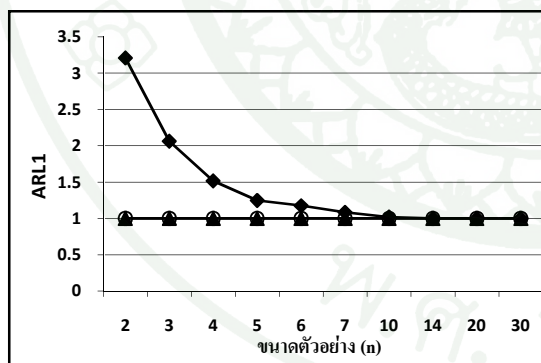
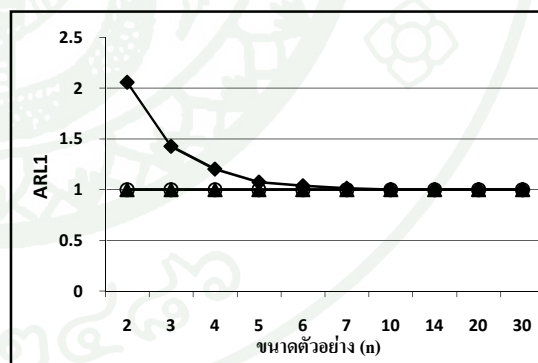
เมื่อ Φ มีระดับค่าต่างๆ และทุกระดับขนาดตัวอย่าง n แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็วมีค่า ARL_1 ค่อนข้างต่ำและคงที่ แสดงว่าทุกระดับของขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ และในทุกระดับขนาดตัวอย่างจะตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของ

กระบวนการจึงส่งผลต่อค่า ARL_1 มีค่าต่ำ กล่าวคือแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้รวดเร็ว

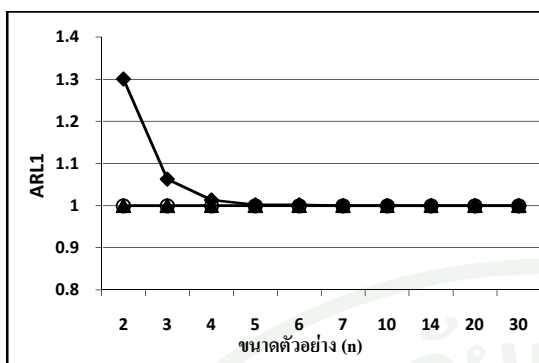
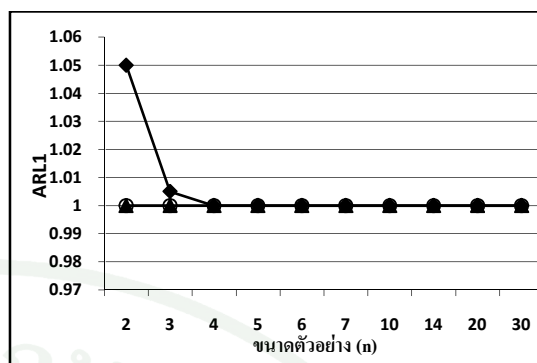
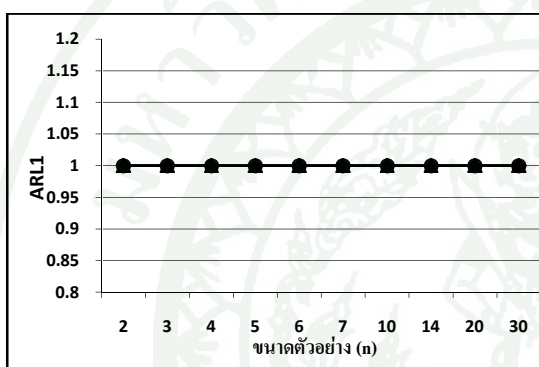
เมื่อ $\Phi = 0.2$ และขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น พบว่าแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีประสิทธิภาพดีขึ้น เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น (n) นอกจากนี้พบว่าเมื่อ $\Phi > 0.2$ แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มต่ำและค่อนข้างคงที่ แสดงว่าแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี เมื่อ $\Phi > 0.2$

เมื่อทุกระดับขนาดตัวอย่าง (n) และเกือบทุกระดับของ Φ ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) เข้าใกล้ ∞ แสดงว่าเกือบทุกระดับของขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วมจะตรวจไม่พบการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ จึงส่งผลให้ค่า ARL_1 มีค่าสูงมาก

ผลการวิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้ เนื่องจากแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) มีค่า ARL_1 สูงมากในทุกสถานการณ์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในทุกสถานการณ์ที่ศึกษา และ ผลจากการเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมอีก 3 ชนิดปรากฏดังภาพที่ 6-7

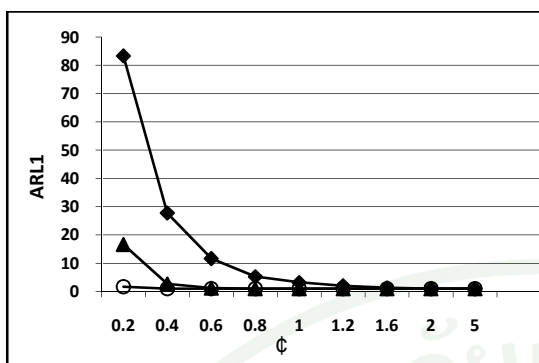
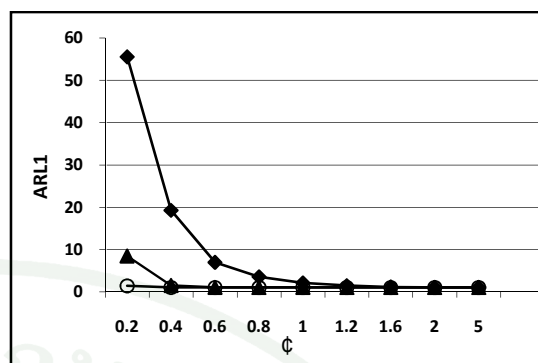
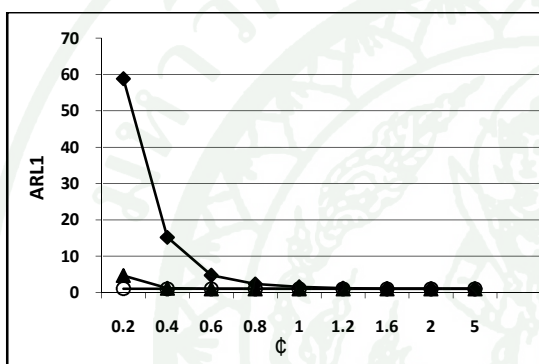
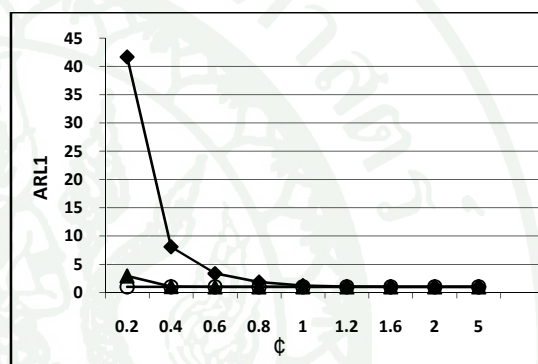
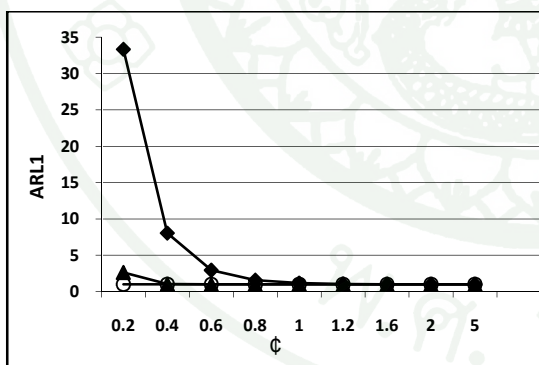
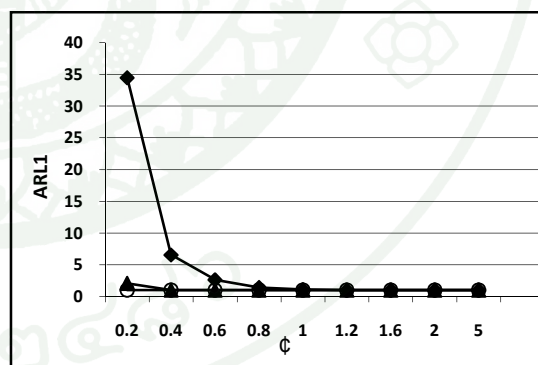
(a) $\phi = 0.2$ (b) $\phi = 0.4$ (c) $\phi = 0.6$ (d) $\phi = 0.8$ (e) $\phi = 1.0$ (f) $\phi = 1.2$

ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 20$ เมื่อ n เปลี่ยนแปลงไป และ ϕ มีขนาดต่างกัน

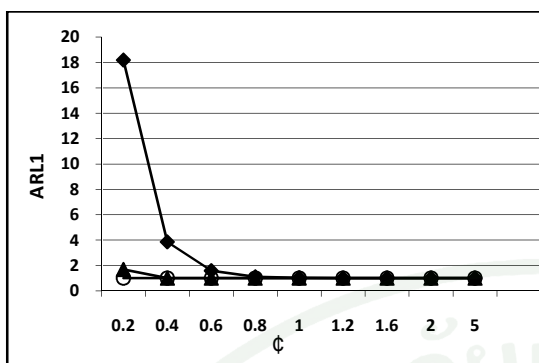
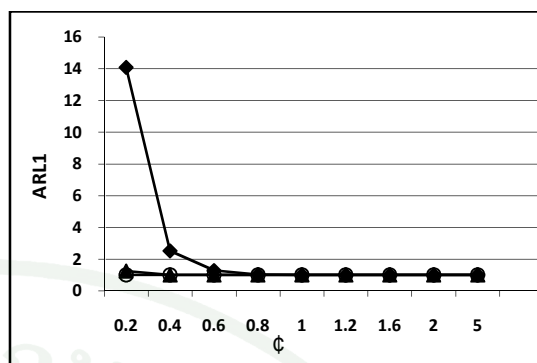
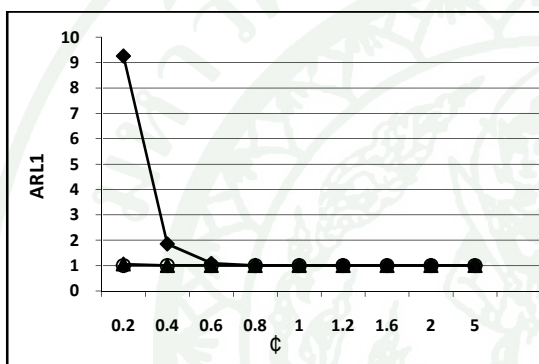
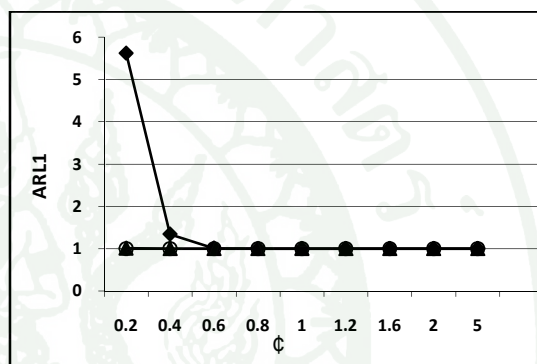
(g) $\phi = 1.6$ (h) $\phi = 2.0$ (i) $\phi = 5.0$

◆-RUNSUM ○-FIR-EWMA ($\alpha = 0.1$) ▲-REWMA ($\alpha = 0.1$)

ภาพที่ 6 (ต่อ)

(a) $n = 2$ (b) $n = 3$ (c) $n = 4$ (d) $n = 5$ (e) $n = 6$ (f) $n = 7$

ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 20$ เมื่อ ϕ เปลี่ยนแปลงไป และ n ในระดับต่างกัน

(g) $n=10$ (h) $n=14$ (i) $n=20$ (j) $n=30$

◆-RUNSUM ○-FIR-EWMA ($\alpha = 0.1$) ▲-REWMA ($\alpha = 0.1$)

ภาพที่ 7 (ต่อ)

จากภาพที่ 6 กรณี 1 เท่ากับ 20 เมื่อขนาดตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงไปสามารถสรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) มีประสิทธิภาพดีเมื่อสุดเมื่อระดับค่า $\Phi = 0.2$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6$) และ $\Phi = 0.4$ ($n = 2, 3$)

2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากเมื่อระดับค่า $\Phi = 0.2$ ($n = 7, 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 0.4$ ($n = 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20$), $\Phi = 0.6$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14$), $\Phi = 0.8$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10$), $\Phi = 1$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7$), $\Phi = 1.2$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6$), $\Phi = 1.6$ ($n = 2, 3, 4$) และ $\Phi = 2$ ($n = 2, 3$)

3. แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากคือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) และ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวงเมื่อระดับ $\Phi = 0.4$ ($n = 30$), $\Phi = 0.6$ ($n = 20, 30$), $\Phi = 0.8$ ($n = 14, 20, 30$), $\Phi = 1$ ($n = 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 1.2$ ($n = 7, 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 1.6$ ($n = 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 2$ ($n = 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30$) และ $\Phi = 5$ ทุกระดับของขนาดตัวอย่าง

4. เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น กรณี Φ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย พบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล มีค่า ARL_1 ค่อนข้างคงที่ ส่วนแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวง มีค่า ARL_1 ลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในกรณี Φ มีการเปลี่ยนแปลงมาก แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวงมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก

จากภาพที่ 7 กรณี 1 เท่ากับ 20 เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไป สามารถสรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) มีประสิทธิภาพในการตรวจพบขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุด เมื่อ $n = 2, 3$ ($\Phi = 0.2, 0.4$), $n = 4, 5, 6, 7$ และ 10 ($\Phi = 0.2$)

2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) และ แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากเมื่อ $n = 2, 3$ ($\Phi = 0.6, 0.8, 1.0$), $n = 4, 5, 6, 7$ ($\Phi = 0.4, 0.6, 0.8$), $n = 10$ ($\Phi = 0.4, 0.6$), $n = 14, 20$ ($\Phi = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$) และ $n = 30$ ($\Phi = 0.2, 0.4$)

3. แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากคือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งเมื่อ $n = 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ($\Phi = 1.2, 1.6, 2, 5$), $n = 10, 14, 20$ ($\Phi = 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 5$) และ $n = 30$ ($\Phi = 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 5$)

4. เมื่อ Φ เพิ่มขึ้นในทุกระดับขนาดตัวอย่าง พบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลมีค่า ARL_1 ค่อนข้างคงที่ ส่วนแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งมีค่า ARL_1 ลดลงเมื่อ Φ มีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 40$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	66.667	1.664*	ใกล้∞	13.699
	0.4	23.256	1.000*	ใกล้∞	2.278
	0.6	11.111	1.000*	ใกล้∞	1.135
	0.8	5.405	1.000*	ใกล้∞	1.008
	1	3.356	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	2.141	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.300	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.051	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
3	0.2	76.923	1.464*	ใกล้∞	14.706
	0.4	19.231	1.000*	ใกล้∞	1.724
	0.6	6.993	1.000*	ใกล้∞	1.038
	0.8	3.401	1.000*	ใกล้∞	1.002
	1	2.020	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	1.418	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.057	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.006	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
4	0.2	55.556	1.104*	1000	6.098
	0.4	13.514	1.000*	ใกล้∞	1.230
	0.6	4.673	1.000*	ใกล้∞	1.003
	0.8	2.364	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1	1.543	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	1.205	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.012	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*

ตารางที่ 2 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	45.456	1.028*	ใกล้เคียง	3.226
	0.4	8.065	1.000*	ใกล้เคียง	1.057
	0.6	3.636	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	0.8	1.862	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1	1.250	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.2	1.078	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.6	1.002	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
6	0.2	40.000	1.014*	1000.000	3.861
	0.4	7.463	1.000*	ใกล้เคียง	1.056
	0.6	3.049	1.000*	ใกล้เคียง	1.001
	0.8	1.637	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1	1.202	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.2	1.045	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
7	0.2	37.037	1.000*	ใกล้เคียง	2.646
	0.4	7.042	1.000*	ใกล้เคียง	1.009
	0.6	2.525	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	0.8	1.414	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1	1.086	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.2	1.008	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*

ตารางที่ 2 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	17.857	1.000*	ใกล้∞	1.475
	0.4	3.636	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	0.6	1.605	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	0.8	1.107	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1	1.009	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
14	0.2	12.658	1.000*	ใกล้∞	1.258
	0.4	2.695	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	0.6	1.289	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	0.8	1.035	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
20	0.2	9.434	1.000*	ใกล้∞	1.072
	0.4	1.862	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	0.6	1.082	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	0.8	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.2	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้∞	1.000*

ตารางที่ 2 (ต่อ)

n	Φ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.181	1.000*	ใกล้ ∞	1.008
	0.4	1.294	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	0.6	1.008	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	0.8	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	1	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	1.2	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.1$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในกรณีที่กระบวนการอยู่ภายนอกการควบคุม (พิจารณาตามแถว)

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 8 พบว่ากรณีที่ $l = 40$ ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง (n) เมื่อระดับของ Φ เพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น (n) นอกจากนี้พบว่าเมื่อระดับ $\Phi > 1$ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มต่ำและคงที่ แสดงว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีเมื่อ $\Phi > 1$

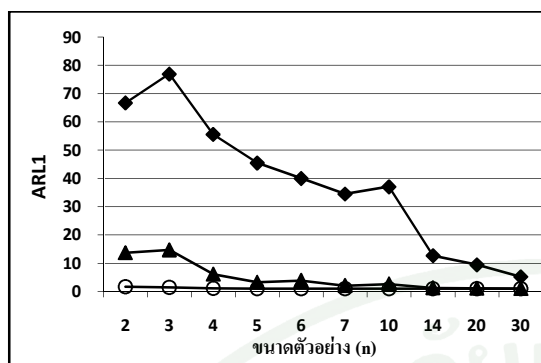
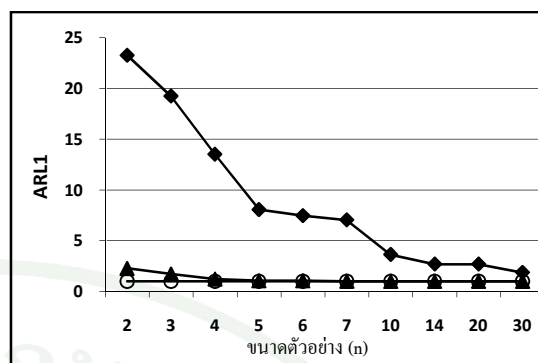
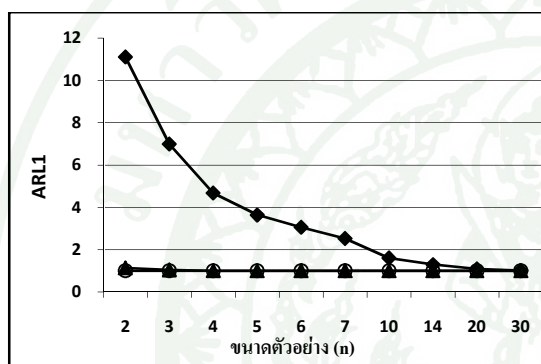
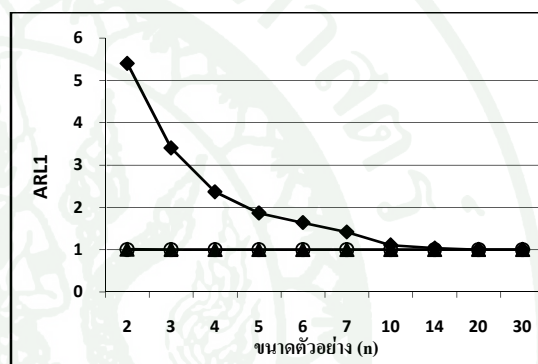
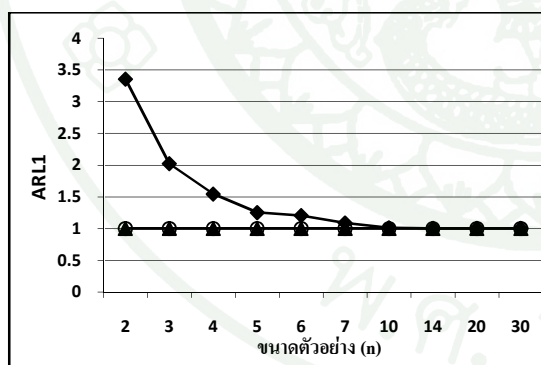
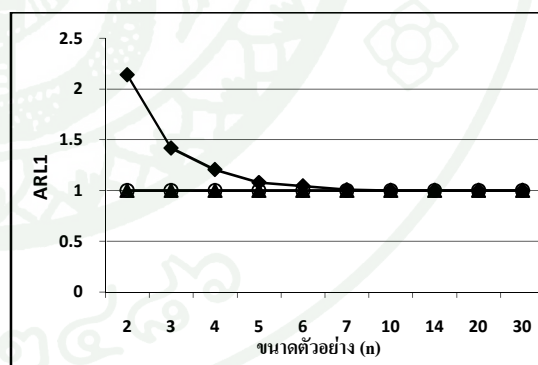
เมื่อ Φ มีระดับค่าต่างๆ และทุกระดับขนาดตัวอย่าง n แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็วมีค่า ARL_1 ค่อนข้างต่ำและคงที่ แสดงว่าทุกระดับของขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ และในทุกระดับขนาดตัวอย่างจะตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของ

กระบวนการจึงส่งผลต่อค่า ARL_1 มีค่าต่ำ กล่าวคือแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้รวดเร็ว

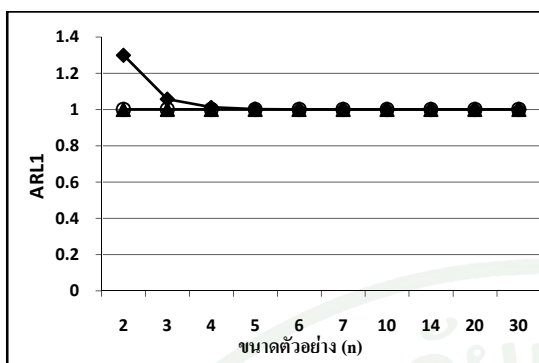
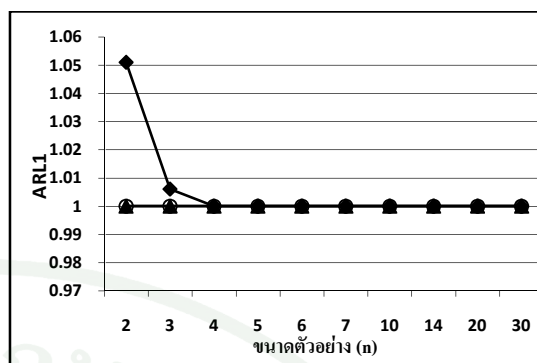
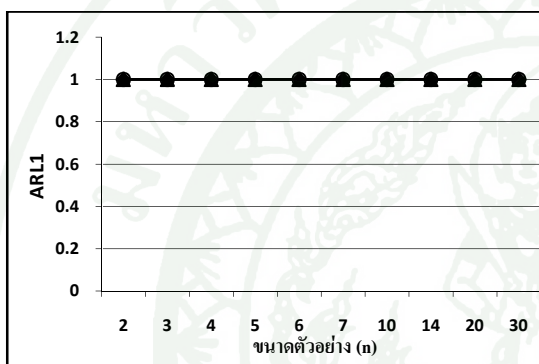
เมื่อ $\Phi = 0.2$ และขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น พบว่าแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น (n) นอกจากนี้พบว่าเมื่อ $\Phi > 0.2$ แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มต่ำและค่อนข้างคงที่ แสดงว่าแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี เมื่อ $\Phi > 0.2$

เมื่อทุกระดับขนาดตัวอย่าง (n) และเกือบทุกระดับของ Φ ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) เข้าใกล้ ∞ แสดงว่าเกือบทุกระดับของขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วมจะตรวจไม่พบการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ จึงส่งผลให้ค่า ARL_1 มีค่าสูงมาก

ผลการวิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้ เนื่องจากแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) มีค่า ARL_1 สูงมากในทุกสถานการณ์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในทุกสถานการณ์ที่ศึกษา และ ผลจากการเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมอีก 3 ชนิดปรากฏดังภาพที่ 8-9

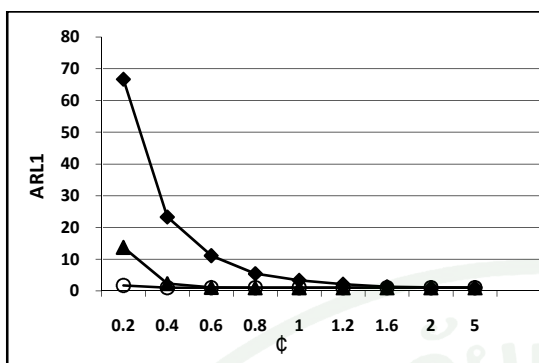
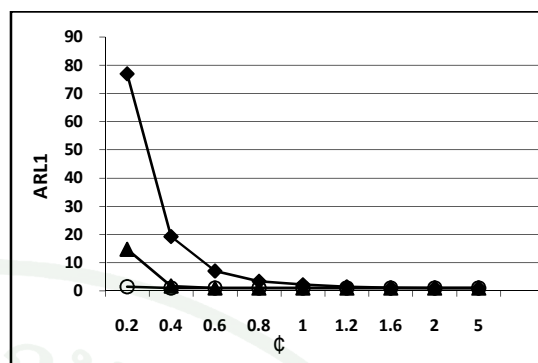
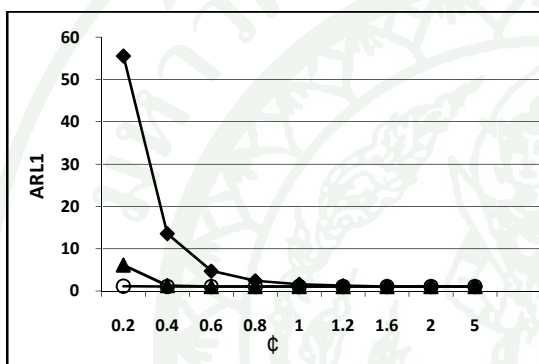
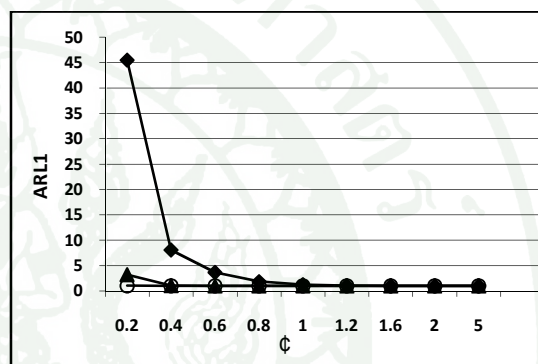
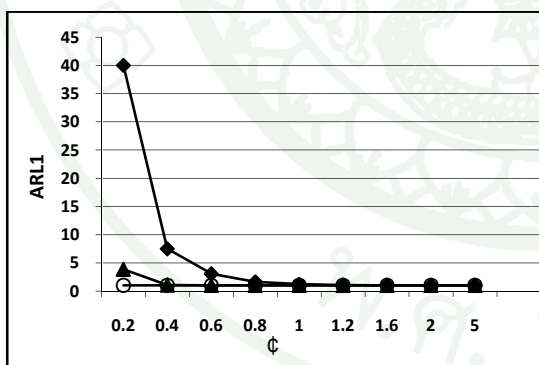
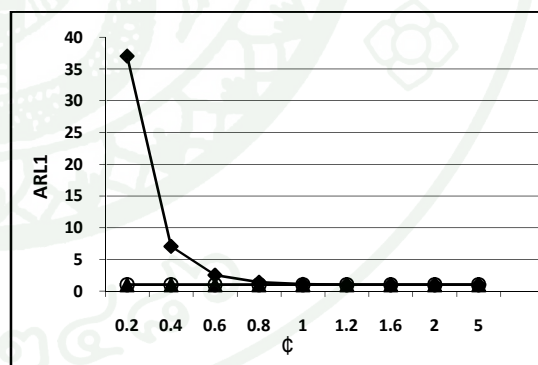
(a) $\phi = 0.2$ (b) $\phi = 0.4$ (c) $\phi = 0.6$ (d) $\phi = 0.8$ (e) $\phi = 1.0$ (f) $\phi = 1.2$

ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 40$ เมื่อ n เปลี่ยนแปลงไป และ ϕ มีขนาดต่างกัน

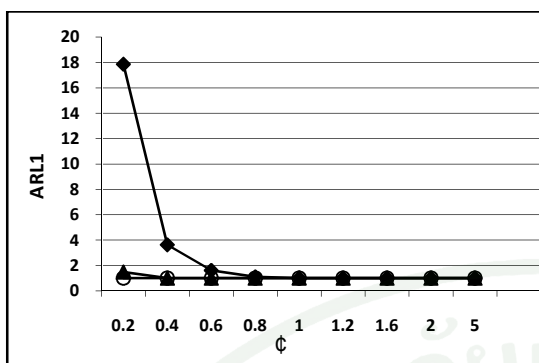
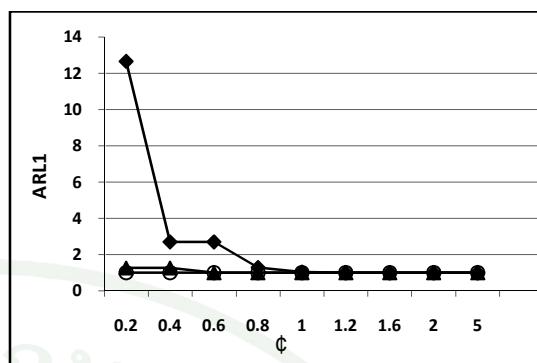
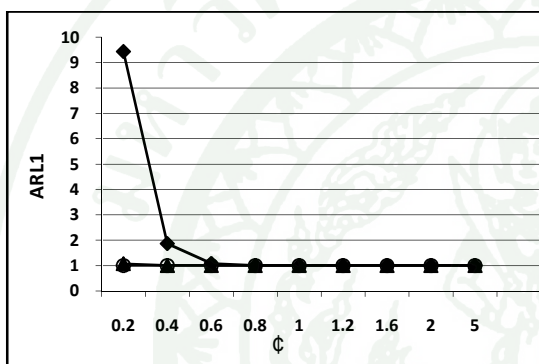
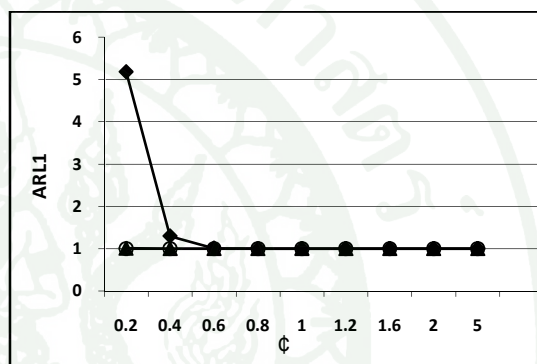
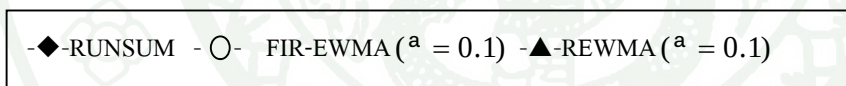
(g) $\Phi = 1.6$ (h) $\Phi = 2.0$ (i) $\Phi = 5.0$

-◆- RUNSUM -○- FIR-EWMA ($\alpha = 0.1$) -▲- REWMA ($\alpha = 0.1$)

ภาพที่ 8 (ต่อ)

(a) $n = 2$ (b) $n = 3$ (c) $n = 4$ (d) $n = 5$ (e) $n = 6$ (f) $n = 7$

ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 40$ เมื่อ ϕ เปลี่ยนแปลงไป และ n ในระดับค่าต่างกัน

(g) $n=10$ (h) $n=14$ (i) $n=20$ (j) $n=30$ 

ภาพที่ 9 (ต่อ)

จากภาพที่ 8 กรณี 1 เท่ากับ 40 เมื่อขนาดตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไป สามารถสรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อระดับค่า $\Phi = 0.2$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6$), $\Phi = 0.4$ ($n = 2, 3$)

2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากที่สุดที่ระดับค่า $\Phi = 0.2$ ($n = 7, 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 0.4$ ($n = 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 0.6$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14$), $\Phi = 0.8$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10$), $\Phi = 1$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7$), $\Phi = 1.2$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6$), $\Phi = 1.6$ ($n = 2, 3, 4$) และ $\Phi = 2$ ($n = 2, 3$)

3. แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากที่สุดคือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวงเมื่อระดับค่า $\Phi = 0.6$ ($n = 20, 30$), $\Phi = 0.8$ ($n = 14, 20, 30$), $\Phi = 1$ ($n = 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 1.2$ ($n = 7, 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 1.6$ ($n = 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 2$ ($n = 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30$) และ $\Phi = 5$ ทุกระดับของขนาดตัวอย่าง

4. เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น กรณี Φ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย พบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล มีค่า ARL_1 ค่อนข้างคงที่ ส่วนแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวง มีค่า ARL_1 ลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในกรณี Φ มีการเปลี่ยนแปลงมาก แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวงมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก

จากภาพที่ 9 กรณี 1 เท่ากับ 40 เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไป สามารถสรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) มีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อ $n = 2, 3, 4, 5, 6$ ($\Phi = 0.2$)

2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากเมื่อ $n = 2$ ($\Phi = 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2$), $n = 3, 4$ ($\Phi = 0.4, 0.6, 0.8, 1$), $n = 5, 6, 7$ ($\Phi = 0.4, 0.6, 0.8$), $n = 7, 10, 14$ ($\Phi = 0.2, 0.4, 0.6$), $n = 20$ ($\Phi = 0.2, 0.4, 0.6$) และ $n = 30$ ($\Phi = 0.2, 0.4$)

3. แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากคือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) และ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวงเมื่อ $n = 2$ ($\Phi = 1.6, 2, 5$), $n = 3, 4$ ($\Phi = 1.2, 1.6, 2, 5$), $n = 5, 6, 7$ ($\Phi = 1, 1.2, 1.6, 2, 5$), $n = 10, 14$ ($\Phi = 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 5$), $n = 20$ ($\Phi = 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 5$) และ $n = 30$ ($\Phi = 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 5$)

4. เมื่อ Φ เพิ่มขึ้นในทุกระดับขนาดตัวอย่าง พบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลมีค่า ARL_1 ก่อนข้างคงที่ ส่วนแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวงมีค่า ARL_1 ลดลงเมื่อ Φ มีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 100$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	142.857	3.195*	ใกล้ ๐	13.514
	0.4	27.778	1.000*	ใกล้ ๐	2.058
	0.6	11.494	1.000*	ใกล้ ๐	1.103
	0.8	5.319	1.000*	ใกล้ ๐	1.002
	1	3.067	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	1.2	2.053	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	1.6	1.279	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	2	1.043	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
3	0.2	90.909	1.290*	ใกล้ ๐	10.870
	0.4	20.408	1.000*	ใกล้ ๐	1.458
	0.6	6.803	1.000*	ใกล้ ๐	1.013
	0.8	3.534	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	1	2.049	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	1.2	1.437	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	1.6	1.056	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	2	1.002	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
4	0.2	58.824	1.156*	ใกล้ ๐	4.673
	0.4	13.699	1.000*	ใกล้ ๐	1.152
	0.6	4.484	1.000*	ใกล้ ๐	1.001
	0.8	2.326	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	1	1.538	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	1.2	1.215	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	1.6	1.008	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้ ๐	1.000*

ตารางที่ 3 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	34.483	1.014*	1000.000	2.625
	0.4	8.197	1.000*	ใกล้เคียง	1.041
	0.6	3.367	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	0.8	1.815	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1	1.269	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.2	1.075	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.6	1.001	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
6	0.2	43.478	1.010*	1000.000	3.676
	0.4	8.264	1.000*	ใกล้เคียง	1.047
	0.6	3.058	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	0.8	1.645	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1	1.195	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.2	1.056	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
7	0.2	35.714	1.003*	ใกล้เคียง	2.066
	0.4	6.711	1.000*	ใกล้เคียง	1.003
	0.6	2.506	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	0.8	1.420	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1	1.093	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.2	1.011	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*

ตารางที่ 3 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิความคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.519	1.000*	ใกล้เคียง	1.815
	0.4	3.937	1.000*	ใกล้เคียง	1.001
	0.6	1.684	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	0.8	1.140	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1	1.019	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.2	1.001	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
14	0.2	13.333	1.000*	ใกล้เคียง	1.264
	0.4	2.732	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	0.6	1.284	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	0.8	1.036	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.2	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
20	0.2	8.547	1.000*	ใกล้เคียง	1.040
	0.4	1.835	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	0.6	1.074	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	0.8	1.003	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.2	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้เคียง	1.000*

ตารางที่ 3 (ต่อ)

n	Φ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.952	1.000*	ใกล้ ∞	1.004
	0.4	1.318	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	0.6	1.009	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	0.8	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	1	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	1.2	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	1.6	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	2	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*
	5	1.000*	1.000*	ใกล้ ∞	1.000*

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.1$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในกรณีที่กระบวนการอยู่ภายนอกการควบคุม (พิจารณาตามแถว)

จากตารางที่ 3 และภาพที่ 11 พบว่ากรณีที่ $l = 100$ ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง (n) เมื่อระดับของ Φ เพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น (n) นอกจากนี้พบว่าเมื่อระดับ $\Phi > 1$ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มต่ำและคงที่ แสดงว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีเมื่อ $\Phi > 1$

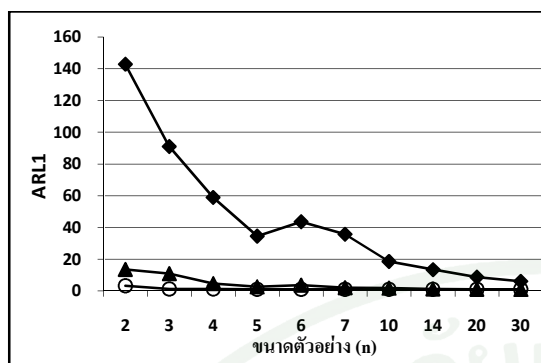
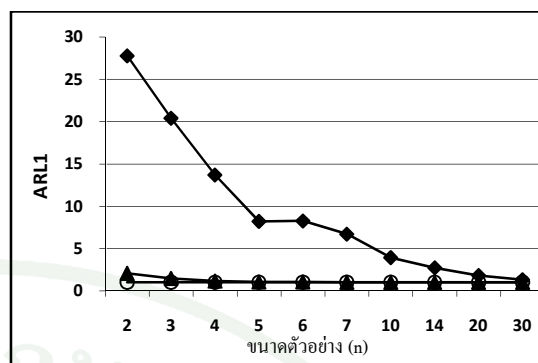
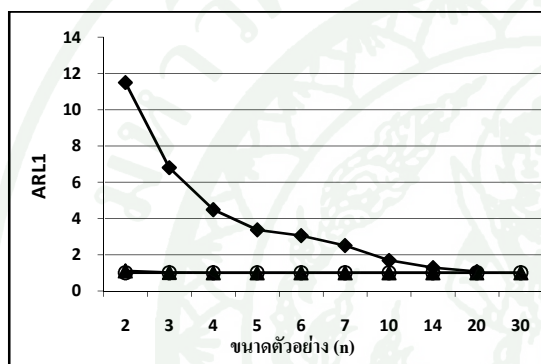
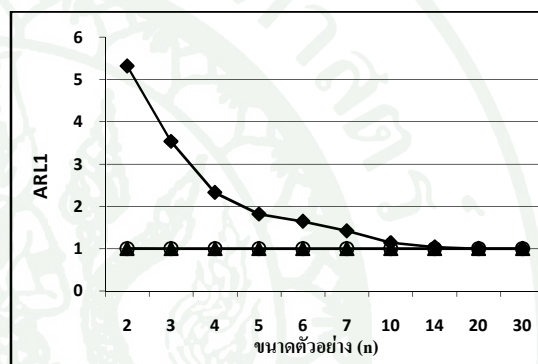
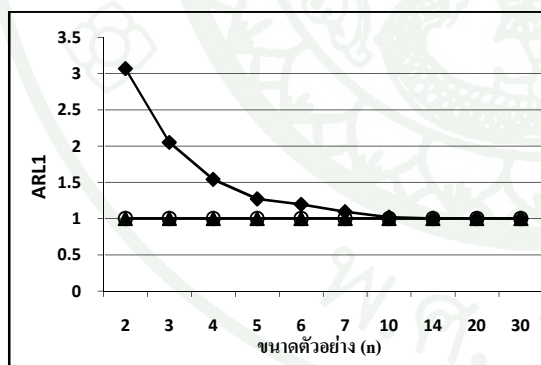
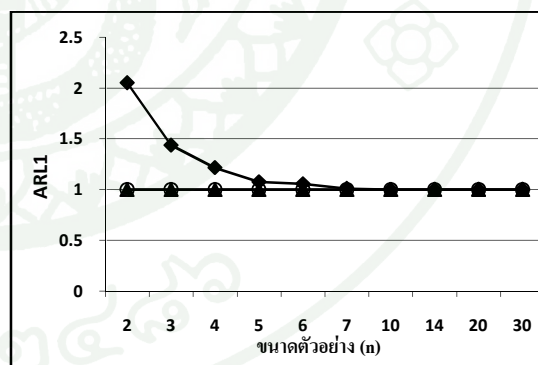
เมื่อ Φ มีระดับค่าต่างๆ และทุกระดับขนาดตัวอย่าง n แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็วมีค่า ARL_1 ค่อนข้างต่ำและคงที่ แสดงว่าทุกระดับของขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ และในทุกระดับขนาดตัวอย่างจะตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของ

กระบวนการจึงส่งผลต่อค่า ARL_1 มีค่าต่ำ กล่าวคือแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้รวดเร็ว

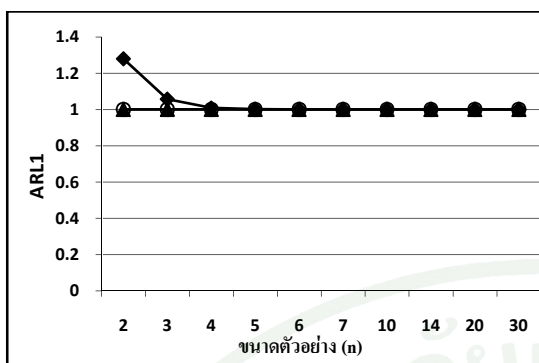
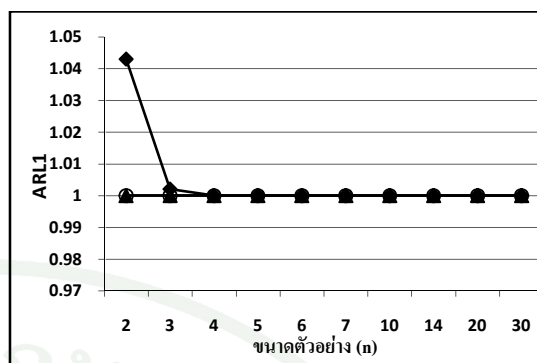
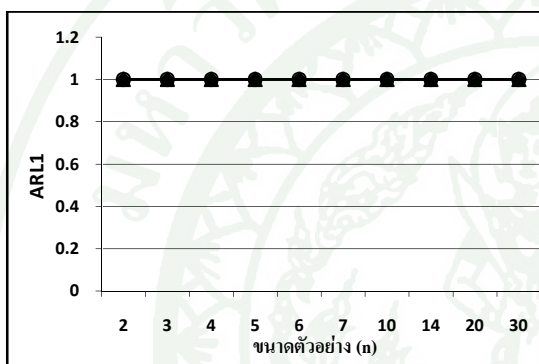
เมื่อ $\Phi = 0.2$ และขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น พบว่าแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น (n) นอกจากนี้พบว่าเมื่อ $\Phi > 0.2$ แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลให้ค่า ARL_1 มีแนวโน้มต่ำและค่อนข้างคงที่ แสดงว่าแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี เมื่อ $\Phi > 0.2$

เมื่อทุกระดับขนาดตัวอย่าง (n) และเกือบทุกระดับของ Φ ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) เข้าใกล้ ∞ แสดงว่าเกือบทุกระดับของขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วมจะตรวจไม่พบการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ จึงส่งผลให้ค่า ARL_1 มีค่าสูงมาก

ผลการวิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้ เนื่องจากแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) มีค่า ARL_1 สูงมากในทุกสถานการณ์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในทุกสถานการณ์ที่ศึกษา และ ผลจากการเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมอีก 3 ชนิดปรากฏดังภาพที่ 10-11

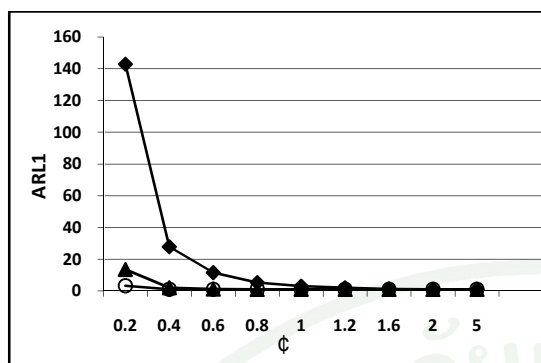
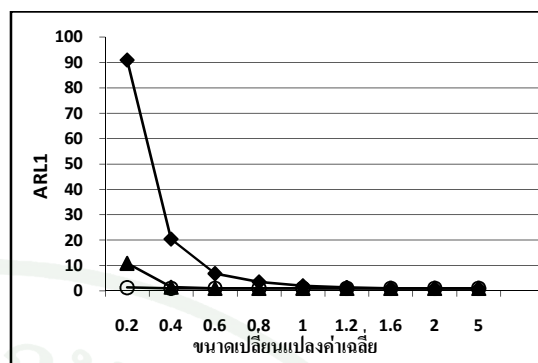
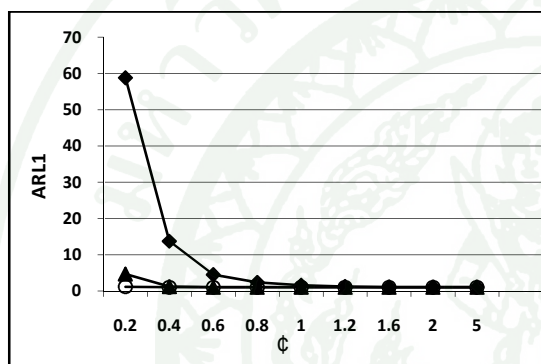
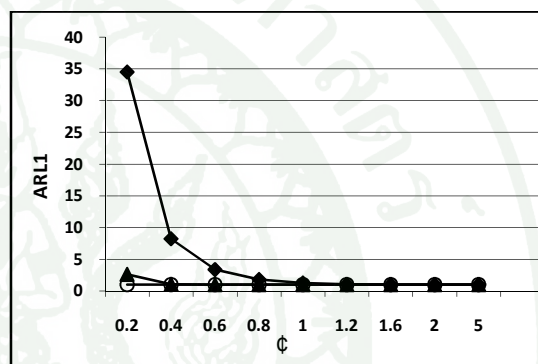
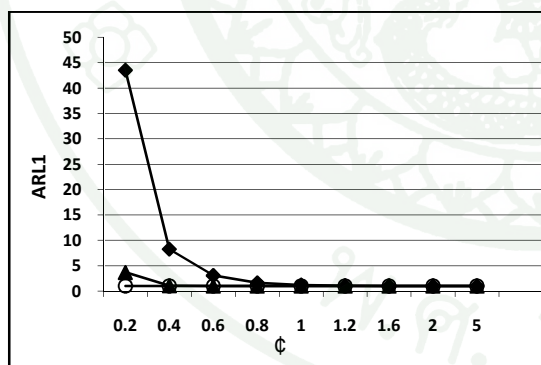
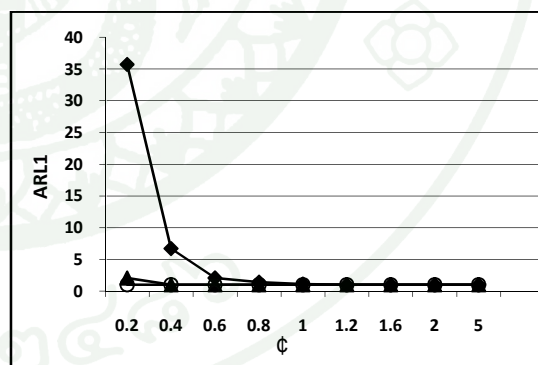
(a) $\phi = 0.2$ (b) $\phi = 0.4$ (c) $\phi = 0.6$ (d) $\phi = 0.8$ (e) $\phi = 1.0$ (f) $\phi = 1.2$

ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 100$ เมื่อ n เปลี่ยนแปลงไป และ ϕ มีขนาดต่างกัน

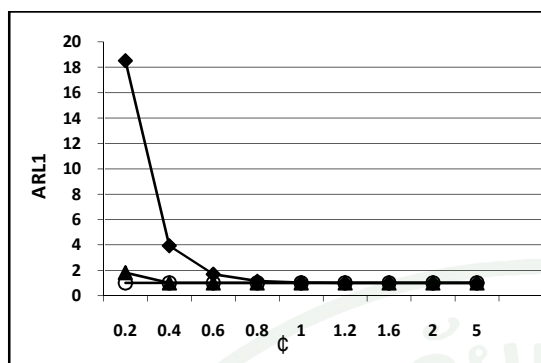
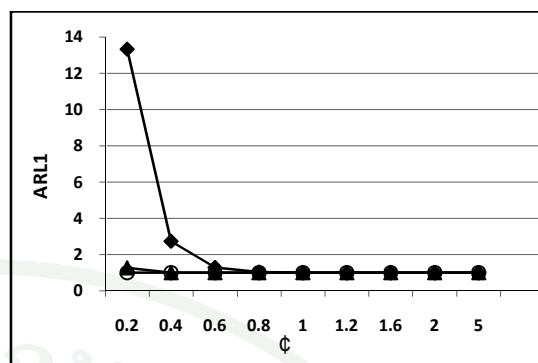
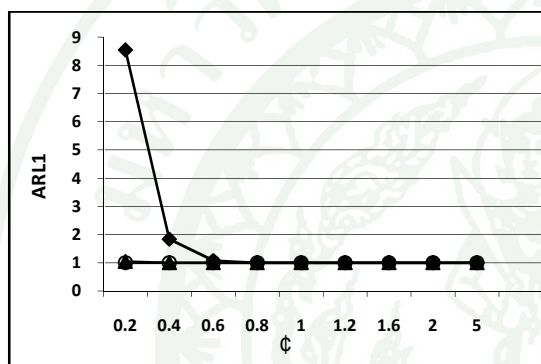
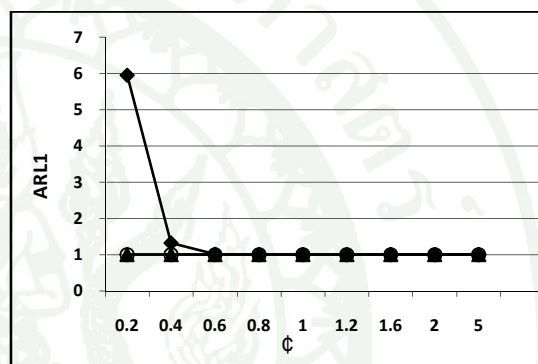
(g) $\phi = 1.6$ (h) $\phi = 2.0$ (i) $\phi = 5.0$

-◆- RUNSUM -○- FIR-EWMA ($\alpha = 0.1$) -▲- REWMA ($\alpha = 0.1$)

ภาพที่ 10 (ต่อ)

(a) $n = 2$ (b) $n = 3$ (c) $n = 4$ (d) $n = 5$ (e) $n = 6$ (f) $n = 7$

ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบค่า ARL_1 ของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ $l = 100$ เมื่อ ϕ เปลี่ยนแปลงไป และ n ในระดับค่าต่างกัน

(g) $n=10$ (h) $n=14$ (i) $n=20$ (j) $n=30$

-◆-RUNSUM -○- FIR-EWMA ($\alpha = 0.1$) -▲-REWMA ($\alpha = 0.1$)

ภาพที่ 11 (ต่อ)

จากภาพที่ 10 กรณิ I เท่ากับ 100 เมื่อขนาดตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไป สามารถสรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) มีค่าค่อนข้างคงที่และมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อระดับค่า $\Phi = 0.2$ ($n = 2, 3, 4$) และ $\Phi = 0.4$ ($n = 2, 3$)

2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากเมื่อระดับค่า $\Phi = 0.2$ ($n = 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30$),

$\Phi = 0.4$ ($n = 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20$), $\Phi = 0.6$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14$), $\Phi = 0.8$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10$), $\Phi = 1$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7$), $\Phi = 1.2$ ($n = 2, 3, 4, 5, 6$), $\Phi = 1.6$ ($n = 2, 3, 4$) และ $\Phi = 2$ ($n = 2, 3$)

3. แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากคือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งเมื่อระดับค่า $\Phi = 0.4$ ($n = 30$), $\Phi = 0.6$ ($n = 20, 30$), $\Phi = 0.8$ ($n = 14, 20, 30$), $\Phi = 1$ ($n = 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 1.2$ ($n = 7, 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 1.6$ ($n = 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30$), $\Phi = 2$ ($n = 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30$) และ $\Phi = 5$ ทุกระดับของขนาดตัวอย่าง

4. เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น กรณี Φ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย พบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล มีค่า ARL_1 ค่อนข้างคงที่ ส่วนแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง มีค่า ARL_1 ลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในกรณี Φ มีการเปลี่ยนแปลงมาก แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก

จากภาพที่ 11 กรณี I เท่ากับ 100 เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงไป สามารถสรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการดีที่สุด เมื่อ $n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14$ ($\Phi = 0.2$)

2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากที่สุดที่ $n = 2, 3$ ($\Phi = 0.4, 0.6, 0.8, 1$), $n = 4, 5, 6, 7$ ($\Phi = 0.4, 0.6, 0.8$), $n = 10, 14$ ($\Phi = 0.4, 0.6$), $n = 20$ ($\Phi = 0.2, 0.4, 0.6$) และ $n = 30$ ($\Phi = 0.2, 0.4$)

3. แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากคือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\alpha = 0.1$) แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.1$) และ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งเมื่อ $n = 2, 3$ ($\Phi = 1.2, 1.6, 2, 5$), $n = 4, 5, 6, 7$ ($\Phi = 1, 1.2, 1.6, 2, 5$), $n = 10, 14$ ($\Phi = 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 5$), $n = 20$ ($\Phi = 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 5$) และ $n = 30$ ($\Phi = 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 5$)

4. เมื่อ Φ เพิ่มขึ้นในทุกระดับขนาดตัวอย่าง พบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว และแผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลมีค่า ARL_1 ก่อนข้างคงที่ ส่วนแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งมีค่า ARL_1 ลดลงเมื่อ Φ มีค่าเพิ่มขึ้น

วิจารณ์

เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้น และขนาดตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้นพบว่า แผนภูมิควบคุมจะมีค่า ARL_1 ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเมื่อกระบวนการผลิตเกิดการเปลี่ยนแปลงมาก แผนภูมิควบคุมก็สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการได้เร็วขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ ปรศน์ (2544) นกัศพร (2545) นิยม (2545) อภิวันท์ (2548) และ ธรณินทร์ (2553)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) และ แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA) พบว่าแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เมื่อค่า $f = 0.9$ และ α มีค่าน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Steiner (1999) สำหรับแผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการไปจากเป้าหมายมาก แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการไปจากเป้าหมายน้อยแล้ว แผนภูมิควบคุม RUNSUM มีประสิทธิภาพด้อยกว่าแผนภูมิควบคุมชนิดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Champ and Rigdon (1997) นอกจากนี้พบว่าแผนภูมิควบคุม CS จะมีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี เมื่อกำหนดให้ $h/2$ เป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lucas (1982) และแผนภูมิควบคุม REWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดี เมื่อ a มีค่าน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khoo and Sim (2006)

เมื่อแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากคือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($a = 0.1$) แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล ($a = 0.1$) และ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่งแล้ว แผนภูมิที่แนะนำให้ใช้คือแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง เพราะแผนภูมิควบคุมผลรวมสามารถนำไปใช้ได้ง่ายที่สุด และแผนภูมิควบคุมที่ไม่แนะนำให้ใช้คือแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($a = 0.1$) เพราะเป็นแผนภูมิที่วิธีการหาค่าค่อนข้างยุ่งยาก

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการ 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง (RUNSUM) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว (FIR-EWMA) แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม (CS) แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล (REWMA) ในสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้ คือ ขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\Phi \pm$) มีค่าตั้งแต่ 0.2σ , 0.4σ , 0.6σ , 0.8σ , 1.0σ , 1.2σ , 1.6σ , 2.0σ , 5.0σ ขนาดตัวอย่าง (n) ที่พิจารณาในแต่ละกลุ่มย่อยเท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14, 20, 30 และจำนวนชุดตัวอย่าง (h) เท่ากับ 20, 40, 100 คุณภาพผลิตภัณฑ์มีการแจกแจงความน่าจะเป็นปกติ การดำเนินงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม R 3.0.1 จำลองข้อมูลและวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการของ แผนภูมิควบคุม 4 ชนิด ดังกล่าวข้างต้น

จากตารางที่ 4 เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม กรณีเมื่อระดับ $\Phi = 0.2$ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็วมีประสิทธิภาพดีที่สุด กรณีเมื่อระดับ $0.4 \leq \Phi \leq 1.0$ พบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว และ แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ เมื่อระดับ $\Phi > 1.0$ แผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่ตอบสนองอย่างรวดเร็ว แผนภูมิควบคุมความแรงค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ปรับน้ำหนักแบบเอกซ์โพเนนเชียล และแผนภูมิควบคุมผลรวมแบบวิ่ง มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม พบว่าแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมชีวฮาร์ทร่วม มีประสิทธิภาพในการตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการต่ำที่สุดทุกระดับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

ตารางที่ 4 แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับสถานการณ์ต่างๆ เมื่อกระบวนการอยู่
ภายนอกการควบคุม

n	ϕ	จำนวนชุดตัวอย่าง (l)		
		20	40	100
2	0.2	FIR	FIR	FIR
	0.4	FIR	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.6	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.8	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	1	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	1.2	FRR	FIR-REWMA	FRR
	1.6	FRR	FRR	FRR
	2	FRR	FRR	FRR
	5	FRR	FRR	FRR
3	0.2	FIR	FIR	FIR
	0.4	FIR	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.6	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.8	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	1	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	1.2	FRR	FRR	FRR
	1.6	FRR	FRR	FRR
	2	FRR	FRR	FRR
	5	FRR	FRR	FRR
4	0.2	FIR	FIR	FIR
	0.4	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.6	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.8	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	1	FRR	FIR-REWMA	FRR
	1.2	FRR	FRR	FRR
	1.6	FRR	FRR	FRR
	2	FRR	FRR	FRR
	5	FRR	FRR	FRR

ตารางที่ 4 (ต่อ)

n	ϕ	จำนวนชุดตัวอย่าง (l)		
		20	40	100
5	0.2	FIR	FIR	FIR
	0.4	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.6	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.8	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	1	FRR	FRR	FRR
	1.2	FRR	FRR	FRR
	1.6	FRR	FRR	FRR
	2	FRR	FRR	FRR
	5	FRR	FRR	FRR
6	0.2	FIR	FIR	FIR
	0.4	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.6	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.8	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	1	FRR	FRR	FRR
	1.2	FRR	FRR	FRR
	1.6	FRR	FRR	FRR
	2	FRR	FRR	FRR
	5	FRR	FRR	FRR
7	0.2	FIR	FIR-REWMA	FIR
	0.4	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.6	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.8	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	1	FRR	FRR	FRR
	1.2	FRR	FRR	FRR
	1.6	FRR	FRR	FRR
	2	FRR	FRR	FRR
	5	FRR	FRR	FRR

ตารางที่ 4 (ต่อ)

n	ϕ	จำนวนชุดตัวอย่าง (l)		
		20	40	100
10	0.2	FIR	FIR-REWMA	FIR
	0.4	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.6	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.8	FRR	FRR	FRR
	1	FRR	FRR	FRR
	1.2	FRR	FRR	FRR
	1.6	FRR	FRR	FRR
	2	FRR	FRR	FRR
	5	FRR	FRR	FRR
14	0.2	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR
	0.4	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.6	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.8	FRR	FIR-REWMA	FRR
	1	FRR	FRR	FRR
	1.2	FRR	FRR	FRR
	1.6	FRR	FRR	FRR
	2	FRR	FRR	FRR
	5	FRR	FRR	FRR
20	0.2	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.4	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.6	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.8	FRR	FIR-REWMA	FRR
	1	FRR	FRR	FRR
	1.2	FRR	FRR	FRR
	1.6	FRR	FRR	FRR
	2	FRR	FRR	FRR
	5	FRR	FRR	FRR

ตารางที่ 4 (ต่อ)

n	ϕ	จำนวนชุดตัวอย่าง (l)		
		20	40	100
30	0.2	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.4	FIR-REWMA	FIR-REWMA	FIR-REWMA
	0.6	FRR	FRR	FRR
	0.8	FRR	FRR	FRR
	1	FRR	FRR	FRR
	1.2	FRR	FRR	FRR
	1.6	FRR	FRR	FRR
	2	FRR	FRR	FRR
	5	FRR	FRR	FRR

หมายเหตุ FIR คือ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\alpha = 0.1$)

FIR-REWMA คือ แผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\alpha = 0.1$) และ แผนภูมิควบคุม REWMA ($\alpha = 0.1$)

FRR คือแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA ($\alpha = 0.1$) และ แผนภูมิควบคุม REWMA ($\alpha = 0.1$) และ แผนภูมิควบคุม RUNSUM

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาข้อมูลคุณภาพการแจกแจงแบบอื่นๆ เช่นการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล
2. เลือกใช้แผนภูมิควบคุมอื่นๆในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เช่น แผนภูมิควบคุม Cusum Chart for Preliminary หรือ แผนภูมิควบคุม DCUSUM

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- จุฑาภรณ์ สันสมบุญทอง. 2554. การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. จามจุรีโปรดักท์, กรุงเทพฯ.
- ธิดาเดิยม มยุรีสุวรรณค์. 2546. การควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ
- ธรณินทร์ ศัจจวิริยทรัพย์. 2553. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมคุณภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นภัสพร เรือรพัฒนะวงศ์. 2545. การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยในค่าเฉลี่ย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิยม เจริญสุข โสภณ. 2545. การเปรียบเทียบแผนภูมิ ควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ปรัศนี ทิพย์โสคติ. 2544. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับตรวจจับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในค่าเฉลี่ย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- พชัย ขาวเหลือง และ วรรณการ์ สวรรค์โพธิ์พันธุ์. 2550. การจัดการธุรกิจด้วย Excel. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์เคทีพี, กรุงเทพฯ.
- อภิวัฒน์ พัฒนสุขเกษม. 2548. แผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- Amirzadeh, V., M. Mashaallah and P. Abbas. 2009. Construction of p-chart using degree of nonconformity. **Information Science**. 179: 150-160.
- Borror, C.M., D.C. Montgomery and G.C. Runger. 1999. Robustness of the EWMA control chart to non-normality. **Journal of Quality Technology**. 31: 309-316.
- Champ, C.W. and S.E. Rigdon. 1997. An Analysis of RUNSUM Control Chart. **Journal of Quality Technology**. 29: 407-417.
- Lucas, J.M. 1982. Combined Shewhart-CUSUM quality control schemes. **Journal of Quality Technology**. 2: 51-58.
- Lucas, J.M. and R.B. Crosier. 1982. Fast Initial Response for CUSUM Quality Control Schemes, **Techonometrics**. 24: 199-205.
- Luo, Y., Z. Li and Z. Wang. 2009. Adaptive CUSUM control chart with variable sampling intervals. **Computational Statistics and Data Analysis**. 53: 2693-2701.
- Kume, H. 1985. **Statistical Methods for Quality Improvement**. 3A Corporation, Tokyo.
- Khoo, M. and S. Sim. 2005. A robust exponentially weighted moving average control chart for the process mean. **Journal of Modern Applied Statistical Methods**. 2: 464-474.
- Montgomery, D.C. 2009. **Introduction to Statistical Quality Control**. 6th ed. John Wiley and Sons, New York.
- Reynolds, J.H. 1971. The Run Sum Control Chart Procedure. **Journal of Quality Technology**. 3: 23-27.

Shewhart, W.A. 1924. **Economic control of quality manufactured product.** Van Nostrand Reinhold, Princeton.

Steiner, S.H. 1999. EWMA control charts with time-varying control limits and fast initial response. **Journal of Quality Technology.** 1: 75-86.

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.** 46: 707-724.

Zhou, Q., Y. Luo and Z. Wang. 2010. A control chart based on likelihood ratio test for detecting patterned mean and variance shifts. **Computational Statistics and Data Analysis.** 54: 1634-1645.





ภาคผนวก ก

โปรแกรมในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด

ตัวอย่างโปรแกรมของทั้ง 4 แผนภูมิควบคุม กรณีกระบวนการอยู่ในการควบคุม

```

set.seed(123456)
data=rnorm(100000,mu,sigma)
options()
{
  # loof 1000
  TotalRunsum <-rep(0,rep)
  TotalFi<-rep(0,rep)
  TotalRe <-rep(0,rep)
  TotalCS <-rep(0,rep)
  for(k in 1:rep)
  {
    Score <-rep(0,l)
    Score[1]=0.1
    Sc <-rep(0,l)
    Varf <-rep(0,l)
    Total2<-rep(0,l)
    Uclf <-rep(0,l)
    Lclf <-rep(0,l)
    W <- rep(0,l)
    Xbar <-rep(0,l)
    Iqr <- rep(0,l)
    Z <- rep(0,l)
    Sh <-rep(0,l)
    Sl <-rep(0,l)
    Ch <-rep(0,l)
    Cl <-rep(0,l)
    Totalc <-rep(0,l)
    Totalc1<-rep(0,l)
    Total3<-rep(0,l)
    for (i in 1:l)
    {
      {
        population=data
        Sample=sample(population,n)
        Ks=ks.test(Sample,pnorm,mu,sigma)
        pvalue=Ks$p.value
        while(pvalue<=0.05){
          Sample=sample(population,n)
          Ks=ks.test(Sample,pnorm,mu,sigma)
          pvalue=Ks$p.value}
        Xbar[i]=mean(Sample)
        Iqr[i]=IQR(Sample)
      }
    }

    # CS control chart

    k1=(deta*sigma)/2
    Z[i]=(Xbar[i]-mu)/(sigma/(n)^(1/2))
    Sh0=2.5
    Sl0=2.5

    if(i==1){
      Ch[i]=(Z[i]-k1)+Sh0
      Cl[i]=((-Z[i])-k1)+Sl0
    }
  }
}

```

```

Sh[i]=max(0, Ch[i])
Sl[i]=max(0, Cl[i])}

if(i>1){
  Ch[i]=(Z[i]-k1)+Sh[i-1]
  Cl[i]=((-Z[i])-k1)+Sl[i-1]
  Sh[i]=max(0, Ch[i])
  Sl[i]=max(0, Cl[i])}

SCL=3
H=(h*sigma)
if (abs(Z[i])>=SCL){
  Totalc[i]=1}
if (Sh[i]>=H || Sl[i]>=H){
  Totalc[i]=1
}else{
  Totalc[i]=0}

# REWMA control chart
if (i==1){
  W[i]=lamda*Xbar[i]+((1-lamda)*mu)}
if(i>1){
  W[i]=lamda*Xbar[i]+((1-lamda)*W[i-1])}

# FIR-EWMA control chart
a=(-2/(log10(f))-1)/19
Varf[i]=(((1-(1-f)^(1+a*(i-1))))*(((lamda*(1-
(1-lamda)^(2*i)))/((2-lamda)*n)))^(1/2)
Uclf[i]=mu+(L*sigma*Varf[i])
Lclf[i]=mu-(L*sigma*Varf[i])

if (W[i]<Lclf[i]||W[i]>Uclf[i] ){

Total2[i]=1
}else{
Total2[i]=0 }

cat("\n\nSample: ",i," = ",Sample,"\n")
cat("Xbar:",Xbar[i],"\n")
cat ("W: ",i," = ",W[i],"\n")

#cat CS
cat ("SH: ",i," = ",Sh[i],"\n")
cat ("SL: ",i," = ",Sl[i],"\n")
cat ("Z: ",i," = ",Z[i],"\n")
cat("\n\nUCL_FIR:",Uclf[i],"\n")
cat("\nLCL_FIR:",Lclf[i],"\n")
cat("\nTotal Fir:",Total2,"\n")
cat ("\n\nTotalC:",Totalc,"\n")
}

Iqrbar=mean(Iqr)
Ucl=mu+(g*Iqrbar)
Lcl=mu-(g*Iqrbar)
Totalc1[i]=sum(Totalc[i])

```

```

        if (Totalc1[i]>=1){
            Total3[i]=1
        }else{
            Total3[i]=0}
# RUNSUM Control chart

for (i in 1:l)
{
    Xbarbar=mean(Xbar)
    S0=mu
    S1=mu+(1*sigma/sqrt(n))
    S2=mu+(2*sigma/sqrt(n))
    S3=mu+(3*sigma/sqrt(n))
    S11=mu-(1*sigma/sqrt(n))
    S21=mu-(2*sigma/sqrt(n))
    S31=mu-(3*sigma/sqrt(n))

    if (Xbar[i]>=S0){
        if (Xbar[i]<S1)
        Sc[i]=0.1}
        if (Xbar[i]>=S1){
            if (Xbar[i]<S2)
            Sc[i]=1}
            if (Xbar[i]>=S2){
                if (Xbar[i]<S3 )
                Sc[i]=2}
                if (Xbar[i]>=S3 ){
                    Sc[i]=3}
                    if (Xbar[i]<=S0){
                        if (Xbar[i]>S11)
                        Sc[i]=-0.1}
                        if (Xbar[i]<=S11){
                            if (Xbar[i]>S21)
                            Sc[i]=-1}
                            if (Xbar[i]<=S21){
                                if (Xbar[i]>S31 )
                                Sc[i]=-2}
                                if (Xbar[i]<=S31 ){
                                    Sc[i]=-3}

                                if(i>1){
                                    if (Sc[i-1]>0&&Sc[i]>0){
                                        Score[i]=Sc[i-1]+Sc[i]
                                    }else{
                                        Score[i]=Sc[i]}}

                                if(i>1){
                                    if (Sc[i-1]<0&&Sc[i]<0){
                                        Score[i]=Sc[i-1]+Sc[i]
                                    }else{
                                        Score[i]=Sc[i]}}

                                }
                                cat ("\n\n S3:",S3,"\n")
                                cat ("\n\n S2:",S2,"\n")
                                cat ("\n\n S1:",S1,"\n")
                                cat ("\n\n S0:",S0,"\n")

```

```

cat ("\n\n S-1:",S11,"\n")
cat ("\n\n S-2:",S21,"\n")
cat ("\n\n S-3:",S31,"\n")
cat ("\n\n S:",Sc,"\n")
cat ("\n\n Score:",Score,"\n")

    if (Score[i]>=3.1||Score[i]<=-3.1){
        TotalRun=1
    }else{
        TotalRun=0}

    if (W[i]>=Ucl ||W[i]<=Lcl ){
        Total=1
    }else{
        Total=0 }

cat ("\n\n UCL:",Ucl,"\n")
cat ("\n\n LCL:",Lcl,"\n")
cat ("\n\n H:",H,"\n")

Total2=sum(Total2)
if (Total2>=1){
    Total2=1
}else{
    Total2=0}

TotalRe[k]=sum(Total)
TotalFi[k]=sum(Total2)
TotalCS[k]=sum(Total3)
TotalRunsum[k]=sum(TotalRun)
}

TotalR=sum(TotalRe)
Beta=TotalR/rep
ARLewma=1/Beta

TotalF=sum(TotalFi)
Beta2=TotalF/rep
ARLFir=1/Beta2

TotalCs=sum(TotalCS)
Beta3=TotalCs/rep
ARLCS=1/Beta3
TotalRuns=sum(TotalRunsum)
Beta4=TotalRuns/rep
ARLRun=1/Beta4
}

cat ("\n\n TotalR:",TotalR,"\n")
cat ("\n\n TotalCS:",TotalCs,"\n")
cat ("\n\n TotalF:",TotalF,"\n")
cat ("\n\n TotalRunSum:",TotalRuns,"\n")

cat ("\n\n ARL of REWAM:",ARLewma,"\n")
cat ("\n\n ARL of FIR-EWMA:",ARLFir,"\n")
cat ("\n\n ARL of CS:",ARLCS,"\n")
cat ("\n\n ARL of RunSum:",ARLRun,"\n")
}

```

ตัวอย่างโปรแกรมของทั้ง 4 แผนภูมิควบคุม กรณีกระบวนการออกนอกการควบคุม

```

set.seed(123456)
data=rnorm(100000,mu,sigma)
options()

{  # loof 1000
  TotalRunsum <-rep(0,rep)
  TotalFi<-rep(0,rep)
  TotalRe <-rep(0,rep)
  TotalCS <-rep(0,rep)
  for(k in 1:rep)
  {
    Score <-rep(0,l)
    Score[1]=0.1
    Sc <-rep(0,l)
    Varf <-rep(0,l)
    Total2 <-rep(0,l)
    Uclf <-rep(0,l)
    Lclf <-rep(0,l)
    W <- rep(0,l)
    Xbar <-rep(0,l)
    Iqr <- rep(0,l)
    Z <- rep(0,l)
    Sh <-rep(0,l)
    Sl <-rep(0,l)
    Ch <-rep(0,l)
    Cl <-rep(0,l)
    Totalc <-rep(0,l)
    Totalc1 <-rep(0,l)
    Total3 <-rep(0,l)
    for (i in 1:l)
    {
      {
        mu1=mu+(deta*sigma)
        population=data
        Sample=sample(population,n)
        Ks=ks.test(Sample,pnorm,mu,sigma)
        pvalue=Ks$p.value
        while(pvalue<=0.05){
          Sample=sample(population,n)
          Ks=ks.test(Sample,pnorm,mu,sigma)
          pvalue=Ks$p.value}
        Sample2=Sample+(deta*sigma)
        Xbar[i]=mean(Sample2)
        Iqr[i]=IQR(Sample)
      }
    }

    # CS control chart

    k1=(deta*sigma)/2
    Z[i]=(Xbar[i]-mu1)/(sigma/(n)^(1/2))
    Sh0=h/2
    Sl0=h/2

    if(i==1){

```



```

Ch[i]=(Z[i]-k1)+Sh0
Cl[i]=((-Z[i])-k1)+Sl0
Sh[i]=max(0,Ch[i])
Sl[i]=max(0,Cl[i])}

if(i>1){
  Ch[i]=(Z[i]-k1)+Sh[i-1]
  Cl[i]=((-Z[i])-k1)+Sl[i-1]
  Sh[i]=max(0,Ch[i])
  Sl[i]=max(0,Cl[i])}

  SCL=3
  H=(h*sigma)
  if (abs(Z[i])>=SCL){
    Totalc[i]=1}
  if (Sh[i]>=H ||Sl[i]>=H){
    Totalc[i]=1
  }else{
    Totalc[i]=0}

# REWMA control chart

if (i==1){
  W[i]=lamda*Xbar[i]+((1-lamda)*mu1)}
if(i>1){
  W[i]=lamda*Xbar[i]+((1-lamda)*W[i-1])}

# FIR-EWMA control chart

a=(-2/(log10(f))-1)/19
Varf[i]=(((1-(1-f)^(1+a*(i-1))))*((lamda*(1-
(1-lamda)^(2*i)))/((2-lamda)*n))^(1/2)
Uclf[i]=mu+(L*sigma*Varf[i])
Lclf[i]=mu-(L*sigma*Varf[i])

if (W[i]<Lclf[i]||W[i]>Uclf[i] ){

Total2[i]=1
}else{
Total2[i]=0 }

cat("\n\nSample: ",i," = ",Sample,"\n")
cat("\n\nSample2: ",i," = ",Sample2,"\n")
cat("Xbar:",Xbar[i],"\n")
cat ("W: ",i," = ",W[i],"\n")

#cat CS
cat ("SH: ",i," = ",Sh[i],"\n")
cat ("SL: ",i," = ",Sl[i],"\n")
cat ("Z: ",i," = ",Z[i],"\n")
cat("\n\nUCL_FIR:",Uclf[i],"\n")
cat("\nLCL_FIR:",Lclf[i],"\n")
cat("\nTotal Fir:",Total2,"\n")
cat ("\n\nTotalC:",Totalc,"\n")

}

```

```

Iqrbar=mean(Iqr)
Ucl=mu+(g*Iqrbar)
Lcl=mu-(g*Iqrbar)

Totalc1[i]=sum(Totalc[i])
if (Totalc1[i]>=1){
Total3[i]=1
}else{
Total3[i]=0}
# RUNSUM Control chart
for (i in 1:l)
{
Xbarbar=mean(Xbar)
S0=mu
S1=mu+(1*sigma/sqrt(n))
S2=mu+(2*sigma/sqrt(n))
S3=mu+(3*sigma/sqrt(n))
S11=mu-(1*sigma/sqrt(n))
S21=mu-(2*sigma/sqrt(n))
S31=mu-(3*sigma/sqrt(n))

if (Xbar[i]>=S0){
if (Xbar[i]<S1)
Sc[i]=0.1}
if (Xbar[i]>=S1){
if (Xbar[i]<S2)
Sc[i]=1.1}
if (Xbar[i]>=S2){
if (Xbar[i]<S3 )
Sc[i]=2.1}
if (Xbar[i]>=S3 ){
Sc[i]=3.1}
if (Xbar[i]<=S0){
if (Xbar[i]>S11)
Sc[i]=-0.1}
if (Xbar[i]<=S11){
if (Xbar[i]>S21)
Sc[i]=-1.1}
if (Xbar[i]<=S21){
if (Xbar[i]>S31 )
Sc[i]=-2.1}
if (Xbar[i]<=S31 ){
Sc[i]=-3.1}

if(i>1){
if (Sc[i-1]>0)
if(Sc[i]>0){
Score[i]=Sc[i-1]+Sc[i]
}else{
Score[i]=Sc[i]}}

if(i>1){
if (Sc[i-1]<0)
if (Sc[i]<0){
Score[i]=Sc[i-1]+Sc[i]

```

```

    }else{
        Score[i]=Sc[i]}
    }

    cat ("\n\n S3:",S3,"\n")
    cat ("\n\n S2:",S2,"\n")
    cat ("\n\n S1:",S1,"\n")
    cat ("\n\n S0:",S0,"\n")
    cat ("\n\n S-1:",S11,"\n")
    cat ("\n\n S-2:",S21,"\n")
    cat ("\n\n S-3:",S31,"\n")
    cat ("\n\n S:",Sc,"\n")
    cat ("\n\n Score:",Score,"\n")

    if (Score[i]>=3.1||Score[i]<=-3.1){
        TotalRun=1
    }else{
        TotalRun=0}

    if (W[i]>=Ucl ||W[i]<=Lcl ){
        Total=1
    }else{
        Total=0 }

    cat ("\n\n UCL:",Ucl,"\n")
    cat ("\n\n LCL:",Lcl,"\n")
    cat ("\n\n H:",H,"\n")

    Total2=sum(Total2)
    if (Total2>=1){
        Total2=1
    }else{
        Total2=0}

    TotalRe[k]=sum(Total)
    TotalFi[k]=sum(Total2)
    TotalCS[k]=sum(Total3)
    TotalRunsum[k]=sum(TotalRun)
}

TotalR=sum(TotalRe)
Beta=TotalR/rep
ARLRewma=1/Beta

TotalF=sum(TotalFi)
Beta2=TotalF/rep
ARLFir=1/Beta2

TotalCs=sum(TotalCS)
Beta3=TotalCs/rep
ARLCS=1/Beta3

TotalRuns=sum(TotalRunsum)
Beta4=TotalRuns/rep

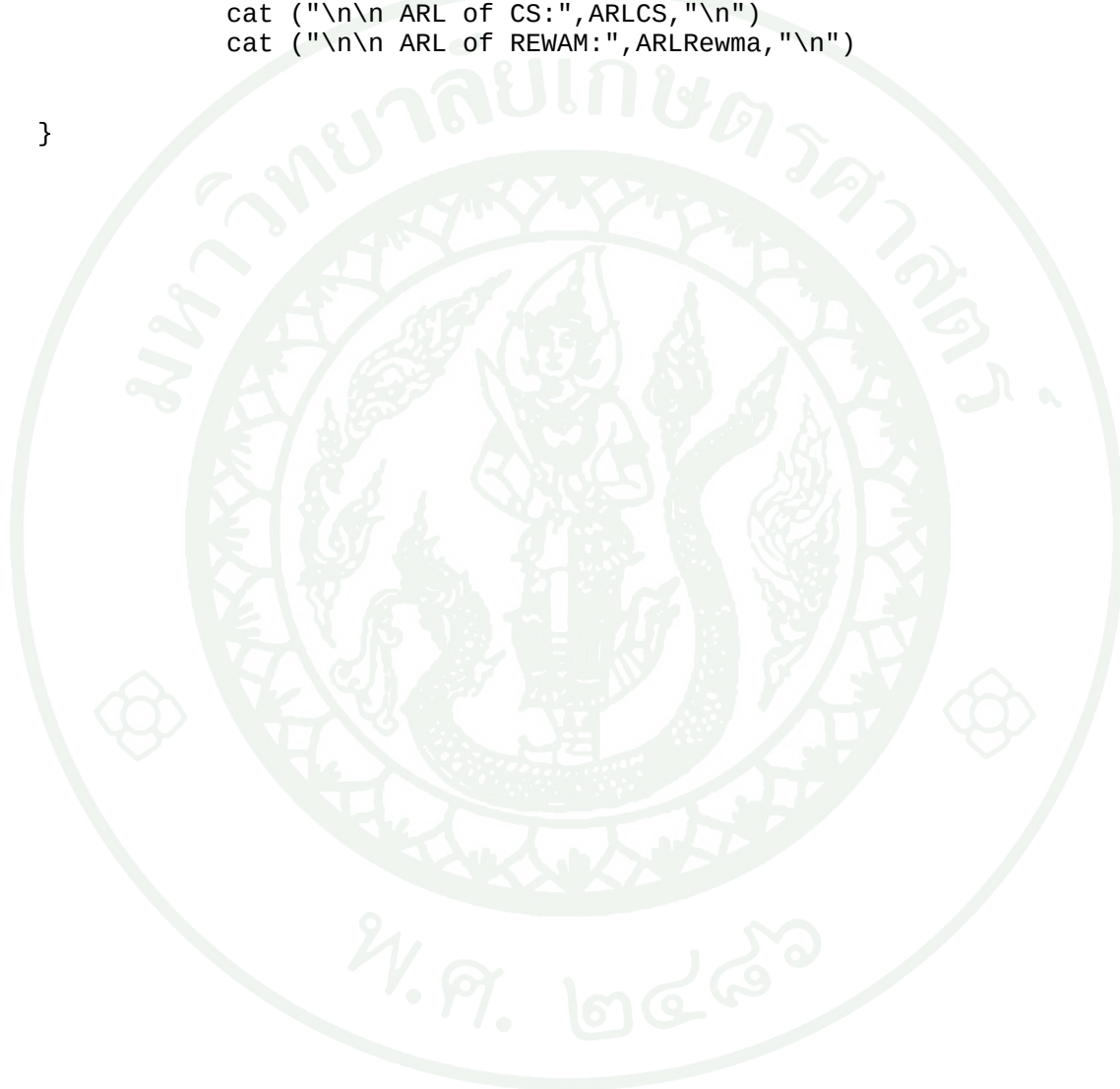
```

```

        ARLRun=1/Beta4
    }
    cat ("\n\n TotalR:",TotalR,"\n")
    cat ("\n\n TotalCS:",TotalCs,"\n")
    cat ("\n\n TotalF:",TotalF,"\n")
    cat ("\n\n TotalRunSum:",TotalRuns,"\n")

    cat ("\n\n ARL of RunSum:",ARLRun,"\n")
    cat ("\n\n ARL of FIR-EWMA:",ARLFir,"\n")
    cat ("\n\n ARL of CS:",ARLCS,"\n")
    cat ("\n\n ARL of REWAM:",ARLRewma,"\n")
}

```





ภาคผนวก ข
ตารางค่า ARL_0 ของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าคงที่ ARL_0 ของ G_1 , L และ h ของแต่ละแผนภูมิ

l	n	ค่าคงที่			
		ARL_0	G_1	L	h
20	2	200	0.78	3.05	22
	3	250	0.4	3.305	23
	4	111	0.295	3.03	23.5
	5	143	0.247	3.065	21.9
	6	167	0.212	3.09	21.4
	7	143	0.181	2.97	20
	10	143	0.16	3.08	23.8
	14	333	0.13	3.3	23.5
	20	200	0.102	3.25	23
	30	200	0.079	0.09	3.23
40	2	168	0.73	3.2	30
	3	333	0.44	3.48	35
	4	200	0.315	3.35	33.5
	5	167	3.25	3.25	32.7
	6	250	0.24	3.47	32.7
	7	200	0.2	3.25	31
	10	143	0.15	3.2	32.5
	14	200	0.128	3.35	33.8
	20	250	0.105	3.35	32.5
	30	1000	0.009	3.33	33.5
100	2	500	0.72	3.85	56
	3	250	0.405	3.5	51
	4	250	0.295	3.7	51
	5	125	0.233	3.45	49
	6	200	0.253	3.55	53
	7	125	0.1645	3.492	47.5
	10	125	0.1645	3.492	47.5
	14	200	0.13	3.465	53.8

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

l	n	ค่าคงที่			
		ARL_0	G_1	L	h
100	20	143	0.095	3.42	50
	30	125	0.079	3.285	48.7

หมายเหตุ G_1 คือ สัมประสิทธิ์ความกว้างของแผนภูมิควบคุม REWMA

L คือ สัมประสิทธิ์ความกว้างของแผนภูมิควบคุม FIR-EWMA

h คือ สัมประสิทธิ์ความกว้างของแผนภูมิควบคุม CS



ภาคผนวก ค
ตารางค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด

ตารางผนวกที่ ค1 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ $l=20$ และ $\alpha = 0.2$

n	Φ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	83.330	7.463	ใกล้∞	52.632
	0.4	27.780	1.346	ใกล้∞	7.143
	0.6	11.630	1.005	ใกล้∞	2.513
	0.8	5.260	1.000	ใกล้∞	1.381
	1	3.210	1.000	ใกล้∞	1.101
	1.2	2.058	1.000	ใกล้∞	1.013
	1.6	1.300	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.050	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	55.560	6.452	500.000	38.462
	0.4	19.230	1.183	ใกล้∞	4.132
	0.6	6.933	1.000	ใกล้∞	1.558
	0.8	3.521	1.000	ใกล้∞	1.064
	1	2.062	1.000	ใกล้∞	1.008
	1.2	1.427	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.063	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.005	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	58.824	2.695	ใกล้∞	11.111
	0.4	15.152	1.015	ใกล้∞	2.128
	0.6	4.717	1.000	ใกล้∞	1.124
	0.8	2.364	1.000	ใกล้∞	1.005
	1	1.517	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.202	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.013	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	41.667	2.016	1000.000	8.264
	0.4	8.065	1.001	ใกล้∞	1.706
	0.6	3.367	1.000	ใกล้∞	1.062
	0.8	1.859	1.000	ใกล้∞	1.003
	1	1.248	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.073	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	33.333	1.805	500.000	5.780
	0.4	8.065	1.001	ใกล้∞	1.351
	0.6	2.941	1.000	ใกล้∞	1.025
	0.8	1.563	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.175	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.037	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	34.483	1.616	ใกล้∞	6.060
	0.4	6.536	1.000	ใกล้∞	1.309
	0.6	2.618	1.000	ใกล้∞	1.008
	0.8	1.401	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.013	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.182	1.166	ใกล้เคียง	3.509
	0.4	3.846	1.000	ใกล้เคียง	1.075
	0.6	1.577	1.000	ใกล้เคียง	1.001
	0.8	1.109	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1	1.018	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
14	0.2	14.085	1.047	500.000	2.169
	0.4	2.513	1.000	ใกล้เคียง	1.010
	0.6	1.274	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	0.8	1.030	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
20	0.2	9.260	1.001	500.000	1.587
	0.4	1.845	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	0.6	1.082	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	0.8	1.003	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.618	1.000	1000.000	1.339
	0.4	1.339	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.2$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ๒ ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 20$ และ $\alpha = 0.3$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	83.330	14.706	ใกล้∞	52.632
	0.4	27.780	2.288	ใกล้∞	11.905
	0.6	11.630	1.134	ใกล้∞	4.425
	0.8	5.260	1.005	ใกล้∞	2.075
	1	3.210	1.000	ใกล้∞	1.333
	1.2	2.058	1.000	ใกล้∞	1.116
	1.6	1.300	1.000	ใกล้∞	1.004
	2	1.050	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	55.560	14.085	ใกล้∞	62.500
	0.4	19.230	2.020	ใกล้∞	7.937
	0.6	6.933	1.070	ใกล้∞	2.494
	0.8	3.521	1.000	ใกล้∞	1.312
	1	2.062	1.000	ใกล้∞	1.078
	1.2	1.427	1.000	ใกล้∞	1.014
	1.6	1.063	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.005	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	58.824	4.878	ใกล้∞	16.949
	0.4	15.152	1.198	ใกล้∞	3.279
	0.6	4.717	1.000	ใกล้∞	1.497
	0.8	2.364	1.000	ใกล้∞	1.065
	1	1.517	1.000	ใกล้∞	1.003
	1.2	1.202	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.013	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๒ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	41.667	3.704	1000.000	13.514
	0.4	8.065	1.088	ใกล้∞	2.857
	0.6	3.367	1.000	ใกล้∞	1.305
	0.8	1.859	1.000	ใกล้∞	1.025
	1	1.248	1.000	ใกล้∞	1.003
	1.2	1.073	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	33.333	4.000	1000.000	9.259
	0.4	8.065	1.044	ใกล้∞	1.967
	0.6	2.941	1.000	ใกล้∞	1.115
	0.8	1.563	1.000	ใกล้∞	1.007
	1	1.175	1.000	ใกล้∞	1.001
	1.2	1.037	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	34.483	2.825	ใกล้∞	8.850
	0.4	6.536	1.016	ใกล้∞	1.799
	0.6	2.618	1.000	ใกล้∞	1.075
	0.8	1.401	1.000	ใกล้∞	1.002
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.013	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิความคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.182	1.996	ใกล้∞	6.494
	0.4	3.846	1.002	ใกล้∞	1.429
	0.6	1.577	1.000	ใกล้∞	1.014
	0.8	1.109	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.018	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	14.085	1.387	ใกล้∞	3.472
	0.4	2.513	1.000	ใกล้∞	1.106
	0.6	1.274	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.030	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.260	1.109	ใกล้∞	2.959
	0.4	1.845	1.000	ใกล้∞	1.026
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.618	1.025	ใกล้ ∞	1.996
	0.4	1.339	1.000	ใกล้ ∞	1.003
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.3$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค3 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.4$

n	Φ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	83.330	1.706	ใกล้∞	16.670
	0.4	27.780	1.000	ใกล้∞	2.650
	0.6	11.630	1.000	ใกล้∞	1.203
	0.8	5.260	1.000	ใกล้∞	1.020
	1	3.210	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	2.058	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.300	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.050	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	55.560	1.381	ใกล้∞	8.475
	0.4	19.230	1.000	ใกล้∞	1.490
	0.6	6.933	1.000	ใกล้∞	1.025
	0.8	3.521	1.000	ใกล้∞	1.002
	1	2.062	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.427	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.063	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.005	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	58.824	1.056	ใกล้∞	4.673
	0.4	15.152	1.000	ใกล้∞	1.163
	0.6	4.717	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	2.364	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.517	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.202	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.013	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	41.667	1.010	1000.000	2.950
	0.4	8.065	1.000	ใกล้∞	1.066
	0.6	3.367	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.859	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.248	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.073	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	33.333	1.005	1000.000	2.639
	0.4	8.065	1.000	ใกล้∞	1.031
	0.6	2.941	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.563	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.175	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.037	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	34.483	1.000	ใกล้∞	2.066
	0.4	6.536	1.000	ใกล้∞	1.007
	0.6	2.618	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.401	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.013	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๓ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.182	1.000	ใกล้∞	1.681
	0.4	3.846	1.000	ใกล้∞	1.001
	0.6	1.577	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.109	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.018	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	14.085	1.000	ใกล้∞	1.244
	0.4	2.513	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.6	1.274	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.030	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.260	1.000	ใกล้∞	1.060
	0.4	1.845	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.618	1.000	ใกล้ ∞	1.011
	0.4	1.339	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.4$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค4 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.5$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	83.330	19.231	ใกล้∞	90.909
	0.4	27.780	4.505	ใกล้∞	21.277
	0.6	11.630	1.667	ใกล้∞	9.009
	0.8	5.260	1.087	ใกล้∞	4.425
	1	3.210	1.004	ใกล้∞	2.421
	1.2	2.058	1.000	ใกล้∞	1.637
	1.6	1.300	1.000	ใกล้∞	1.131
	2	1.050	1.000	ใกล้∞	1.013
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	55.560	45.455	500.000	125.000
	0.4	19.230	5.814	ใกล้∞	18.182
	0.6	6.933	1.645	ใกล้∞	5.917
	0.8	3.521	1.072	ใกล้∞	2.584
	1	2.062	1.001	ใกล้∞	1.580
	1.2	1.427	1.000	ใกล้∞	1.190
	1.6	1.063	1.000	ใกล้∞	1.016
	2	1.005	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	58.824	12.658	ใกล้∞	37.037
	0.4	15.152	2.012	ใกล้∞	6.623
	0.6	4.717	1.062	ใกล้∞	2.688
	0.8	2.364	1.000	ใกล้∞	1.585
	1	1.517	1.000	ใกล้∞	1.164
	1.2	1.202	1.000	ใกล้∞	1.040
	1.6	1.013	1.000	ใกล้∞	1.001
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๓4 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	41.667	9.709	1000.000	30.303
	0.4	8.065	1.629	ใกล้∞	5.988
	0.6	3.367	1.033	ใกล้∞	2.320
	0.8	1.859	1.000	ใกล้∞	1.376
	1	1.248	1.000	ใกล้∞	1.074
	1.2	1.073	1.000	ใกล้∞	1.008
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	33.333	11.494	500.000	27.027
	0.4	8.065	1.572	ใกล้∞	4.878
	0.6	2.941	1.010	ใกล้∞	1.894
	0.8	1.563	1.000	ใกล้∞	1.215
	1	1.175	1.000	ใกล้∞	1.022
	1.2	1.037	1.000	ใกล้∞	1.003
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	34.483	5.952	ใกล้∞	14.706
	0.4	6.536	1.196	ใกล้∞	3.425
	0.6	2.618	1.002	ใกล้∞	1.479
	0.8	1.401	1.000	ใกล้∞	1.081
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.011
	1.2	1.013	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค4 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.182	4.785	ใกล้∞	17.544
	0.4	3.846	1.079	ใกล้∞	2.907
	0.6	1.577	1.000	ใกล้∞	1.309
	0.8	1.109	1.000	ใกล้∞	1.032
	1	1.018	1.000	ใกล้∞	1.001
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	14.085	2.347	500.000	8.197
	0.4	2.513	1.002	ใกล้∞	1.656
	0.6	1.274	1.000	ใกล้∞	1.058
	0.8	1.030	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.260	1.678	500.000	7.143
	0.4	1.845	1.000	ใกล้∞	1.395
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.012
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.618	1.130	1000.000	3.788
	0.4	1.339	1.000	ใกล้ ∞	1.096
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.5$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ๕ ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.6$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	83.330	34.483	ใกล้∞	66.667
	0.4	27.780	7.246	ใกล้∞	22.222
	0.6	11.630	2.404	ใกล้∞	10.000
	0.8	5.260	1.250	ใกล้∞	5.291
	1	3.210	1.027	ใกล้∞	3.067
	1.2	2.058	1.000	ใกล้∞	1.980
	1.6	1.300	1.000	ใกล้∞	1.244
	2	1.050	1.000	ใกล้∞	1.045
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	55.560	37.037	500.000	142.857
	0.4	19.230	6.494	ใกล้∞	19.231
	0.6	6.933	1.883	ใกล้∞	6.803
	0.8	3.521	1.121	ใกล้∞	3.226
	1	2.062	1.006	ใกล้∞	1.835
	1.2	1.427	1.000	ใกล้∞	1.333
	1.6	1.063	1.000	ใกล้∞	1.045
	2	1.005	1.000	ใกล้∞	1.003
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	58.824	17.241	ใกล้∞	45.455
	0.4	15.152	2.793	ใกล้∞	8.929
	0.6	4.717	1.199	ใกล้∞	3.571
	0.8	2.364	1.003	ใกล้∞	1.953
	1	1.517	1.000	ใกล้∞	1.346
	1.2	1.202	1.000	ใกล้∞	1.101
	1.6	1.013	1.000	ใกล้∞	1.006
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๕ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	41.667	12.658	ใกล้∞	33.333
	0.4	8.065	1.942	ใกล้∞	7.092
	0.6	3.367	1.067	ใกล้∞	2.778
	0.8	1.859	1.000	ใกล้∞	1.656
	1	1.248	1.000	ใกล้∞	1.181
	1.2	1.073	1.000	ใกล้∞	1.037
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.002
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	33.333	14.706	500.000	40.000
	0.4	8.065	1.938	ใกล้∞	6.410
	0.6	2.941	1.041	ใกล้∞	2.415
	0.8	1.563	1.000	ใกล้∞	1.435
	1	1.175	1.000	ใกล้∞	1.106
	1.2	1.037	1.000	ใกล้∞	1.013
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	34.483	10.101	ใกล้∞	26.316
	0.4	6.536	1.515	ใกล้∞	4.739
	0.6	2.618	1.008	ใกล้∞	1.894
	0.8	1.401	1.000	ใกล้∞	1.198
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.041
	1.2	1.013	1.000	ใกล้∞	1.003
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๕ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.182	5.780	ใกล้∞	22.222
	0.4	3.846	1.144	ใกล้∞	3.536
	0.6	1.577	1.001	ใกล้∞	1.511
	0.8	1.109	1.000	ใกล้∞	1.086
	1	1.018	1.000	ใกล้∞	1.005
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	14.085	3.623	500.000	10.204
	0.4	2.513	1.020	ใกล้∞	2.088
	0.6	1.274	1.000	ใกล้∞	1.142
	0.8	1.030	1.000	ใกล้∞	1.004
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.260	1.961	500.000	8.197
	0.4	1.845	1.000	ใกล้∞	1.621
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.031
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๕ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.618	1.435	1000.000	4.762
	0.4	1.339	1.000	ใกล้ ∞	1.200
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.002
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.6$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ๓6 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.7$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	83.330	45.455	ใกล้∞	62.500
	0.4	27.780	9.524	ใกล้∞	25.641
	0.6	11.630	2.941	ใกล้∞	11.765
	0.8	5.260	1.439	ใกล้∞	6.452
	1	3.210	1.082	ใกล้∞	3.731
	1.2	2.058	1.008	ใกล้∞	2.445
	1.6	1.300	1.000	ใกล้∞	1.399
	2	1.050	1.000	ใกล้∞	1.100
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	55.560	76.923	500.000	125.000
	0.4	19.230	12.346	ใกล้∞	18.519
	0.6	6.933	3.390	ใกล้∞	8.000
	0.8	3.521	1.379	ใกล้∞	3.731
	1	2.062	1.052	ใกล้∞	2.257
	1.2	1.427	1.000	ใกล้∞	1.529
	1.6	1.063	1.000	ใกล้∞	1.094
	2	1.005	1.000	ใกล้∞	1.013
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	58.824	20.000	ใกล้∞	66.667
	0.4	15.152	3.623	ใกล้∞	11.628
	0.6	4.717	1.350	ใกล้∞	4.566
	0.8	2.364	1.019	ใกล้∞	2.433
	1	1.517	1.000	ใกล้∞	1.629
	1.2	1.202	1.000	ใกล้∞	1.248
	1.6	1.013	1.000	ใกล้∞	1.024
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.002
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๓6 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	41.667	14.925	ใกล้∞	41.667
	0.4	8.065	2.571	ใกล้∞	8.771
	0.6	3.367	1.155	ใกล้∞	3.717
	0.8	1.859	1.005	ใกล้∞	1.972
	1	1.248	1.000	ใกล้∞	1.379
	1.2	1.073	1.000	ใกล้∞	1.107
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.006
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	33.333	25.641	500.000	37.037
	0.4	8.065	2.674	ใกล้∞	7.143
	0.6	2.941	1.133	ใกล้∞	2.755
	0.8	1.563	1.001	ใกล้∞	1.592
	1	1.175	1.000	ใกล้∞	1.198
	1.2	1.037	1.000	ใกล้∞	1.040
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.001
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	34.483	12.048	ใกล้∞	43.478
	0.4	6.536	1.739	ใกล้∞	7.299
	0.6	2.618	1.030	ใกล้∞	2.611
	0.8	1.401	1.000	ใกล้∞	1.468
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.110
	1.2	1.013	1.000	ใกล้∞	1.031
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๓6 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.182	6.993	ใกล้∞	31.250
	0.4	3.846	1.279	ใกล้∞	4.608
	0.6	1.577	1.002	ใกล้∞	1.894
	0.8	1.109	1.000	ใกล้∞	1.189
	1	1.018	1.000	ใกล้∞	1.028
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.003
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	14.085	4.405	500.000	12.658
	0.4	2.513	1.059	ใกล้∞	2.584
	0.6	1.274	1.000	ใกล้∞	1.295
	0.8	1.030	1.000	ใกล้∞	1.032
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	9.260	2.128	9.260	500.000	9.901
	1.845	1.001	1.845	ใกล้∞	1.938
	1.082	1.000	1.082	ใกล้∞	1.098
	1.003	1.000	1.003	ใกล้∞	1.003
	1.000	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.000	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.000	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.000	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.000	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๓6 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.618	1.565	1000.000	6.622
	0.4	1.339	1.000	ใกล้ ∞	1.353
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.008
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.7$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ๗ ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 20$ และ $a = 0.8$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	83.330	76.923	ใกล้ ∞	76.923
	0.4	27.780	13.889	ใกล้ ∞	31.250
	0.6	11.630	4.484	ใกล้ ∞	14.493
	0.8	5.260	1.931	ใกล้ ∞	7.874
	1	3.210	1.215	ใกล้ ∞	4.926
	1.2	2.058	1.026	ใกล้ ∞	3.030
	1.6	1.300	1.000	ใกล้ ∞	1.664
	2	1.050	1.000	ใกล้ ∞	1.229
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
3	0.2	55.560	111.111	500.000	166.667
	0.4	19.230	21.739	ใกล้ ∞	29.412
	0.6	6.933	5.051	ใกล้ ∞	10.870
	0.8	3.521	1.898	ใกล้ ∞	5.102
	1	2.062	1.167	ใกล้ ∞	3.175
	1.2	1.427	1.009	ใกล้ ∞	2.028
	1.6	1.063	1.000	ใกล้ ∞	1.211
	2	1.005	1.000	ใกล้ ∞	1.040
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
4	0.2	58.824	25.641	ใกล้ ∞	66.667
	0.4	15.152	4.630	ใกล้ ∞	16.129
	0.6	4.717	1.626	ใกล้ ∞	5.848
	0.8	2.364	1.054	ใกล้ ∞	3.155
	1	1.517	1.001	ใกล้ ∞	1.988
	1.2	1.202	1.000	ใกล้ ∞	1.453
	1.6	1.013	1.000	ใกล้ ∞	1.071
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.009
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๗ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	41.667	19.231	1000.000	43.478
	0.4	8.065	3.650	ใกล้∞	10.989
	0.6	3.367	1.335	ใกล้∞	4.425
	0.8	1.859	1.020	ใกล้∞	2.370
	1	1.248	1.000	ใกล้∞	1.600
	1.2	1.073	1.000	ใกล้∞	1.212
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.016
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	33.333	35.714	500.000	38.462
	0.4	8.065	3.436	ใกล้∞	8.130
	0.6	2.941	1.266	ใกล้∞	3.300
	0.8	1.563	1.007	ใกล้∞	1.855
	1	1.175	1.000	ใกล้∞	1.350
	1.2	1.037	1.000	ใกล้∞	1.099
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.003
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	34.483	13.699	ใกล้∞	47.619
	0.4	6.536	2.004	ใกล้∞	9.346
	0.6	2.618	1.053	ใกล้∞	3.155
	0.8	1.401	1.000	ใกล้∞	1.733
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.227
	1.2	1.013	1.000	ใกล้∞	1.063
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.002
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๗ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.182	6.944	ใกล้∞	28.571
	0.4	3.846	1.357	ใกล้∞	5.495
	0.6	1.577	1.004	ใกล้∞	2.227
	0.8	1.109	1.000	ใกล้∞	1.355
	1	1.018	1.000	ใกล้∞	1.076
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.007
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	14.085	6.452	500.000	16.949
	0.4	2.513	1.147	ใกล้∞	3.356
	0.6	1.274	1.000	ใกล้∞	1.520
	0.8	1.030	1.000	ใกล้∞	1.092
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.005
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.260	2.404	500.000	10.638
	0.4	1.845	1.006	ใกล้∞	2.183
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.190
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.011
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๗ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.618	1.786	1000.000	7.092
	0.4	1.339	1.000	ใกล้ ∞	1.524
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.8$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ๘ ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 20$ และ $\alpha = 0.9$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	83.330	76.923	ใกล้ ∞	90.909
	0.4	27.780	17.544	ใกล้ ∞	35.714
	0.6	11.630	6.250	ใกล้ ∞	18.181
	0.8	5.260	2.415	ใกล้ ∞	9.804
	1	3.210	1.376	ใกล้ ∞	6.369
	1.2	2.058	1.082	ใกล้ ∞	4.000
	1.6	1.300	1.000	ใกล้ ∞	2.070
	2	1.050	1.000	ใกล้ ∞	1.395
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
3	0.2	55.560	142.857	500.000	166.667
	0.4	19.230	31.250	ใกล้ ∞	32.258
	0.6	6.933	7.407	ใกล้ ∞	11.905
	0.8	3.521	2.545	ใกล้ ∞	6.024
	1	2.062	1.348	ใกล้ ∞	3.676
	1.2	1.427	1.052	ใกล้ ∞	2.410
	1.6	1.063	1.000	ใกล้ ∞	1.360
	2	1.005	1.000	ใกล้ ∞	1.088
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
4	0.2	58.824	32.258	ใกล้ ∞	71.429
	0.4	15.152	6.579	ใกล้ ∞	18.868
	0.6	4.717	2.058	ใกล้ ∞	6.897
	0.8	2.364	1.157	ใกล้ ∞	3.597
	1	1.517	1.007	ใกล้ ∞	2.273
	1.2	1.202	1.000	ใกล้ ∞	1.626
	1.6	1.013	1.000	ใกล้ ∞	1.157
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.018
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๘ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	41.667	30.303	1000.000	47.619
	0.4	8.065	5.435	ใกล้ ∞	12.658
	0.6	3.367	1.692	ใกล้ ∞	5.208
	0.8	1.859	1.060	ใกล้ ∞	2.786
	1	1.248	1.002	ใกล้ ∞	1.802
	1.2	1.073	1.000	ใกล้ ∞	1.379
	1.6	1.002	1.002	ใกล้ ∞	1.042
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.005
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
6	0.2	33.333	40.000	500.000	43.478
	0.4	8.065	4.444	ใกล้ ∞	9.346
	0.6	2.941	1.429	ใกล้ ∞	4.132
	0.8	1.563	1.022	ใกล้ ∞	2.188
	1	1.175	1.000	ใกล้ ∞	1.527
	1.2	1.037	1.000	ใกล้ ∞	1.223
	1.6	1.002	1.000	ใกล้ ∞	1.010
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
7	0.2	34.483	17.544	ใกล้ ∞	55.556
	0.4	6.536	2.532	ใกล้ ∞	11.494
	0.6	2.618	1.126	ใกล้ ∞	3.937
	0.8	1.401	1.000	ใกล้ ∞	2.096
	1	1.086	1.000	ใกล้ ∞	1.399
	1.2	1.013	1.013	ใกล้ ∞	1.131
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.009
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๘ (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.182	7.194	ใกล้∞	33.333
	0.4	3.846	1.481	ใกล้∞	8.000
	0.6	1.577	1.014	ใกล้∞	2.732
	0.8	1.109	1.000	ใกล้∞	1.603
	1	1.018	1.000	ใกล้∞	1.168
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.033
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	14.085	7.937	500.000	25.000
	0.4	2.513	1.259	ใกล้∞	4.587
	0.6	1.274	1.001	ใกล้∞	1.880
	0.8	1.030	1.000	ใกล้∞	1.206
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.029
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.001
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.260	3.344	500.000	15.625
	0.4	1.845	1.035	ใกล้∞	3.030
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.355
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.055
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.002
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๘ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.618	2.370	1000.000	8.065
	0.4	1.339	1.000	ใกล้ ∞	1.761
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.073
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.9$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ๙ ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 40$ และ $\alpha = 0.2$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	66.667	6.452	ใกล้∞	45.455
	0.4	23.256	1.233	ใกล้∞	6.897
	0.6	11.111	1.002	ใกล้∞	2.342
	0.8	5.405	1.000	ใกล้∞	1.302
	1	3.356	1.000	ใกล้∞	1.055
	1.2	2.141	1.000	ใกล้∞	1.008
	1.6	1.300	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.051	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	76.923	6.993	ใกล้∞	35.714
	0.4	19.231	1.155	ใกล้∞	4.386
	0.6	6.993	1.000	ใกล้∞	1.529
	0.8	3.401	1.000	ใกล้∞	1.072
	1	2.020	1.000	ใกล้∞	1.009
	1.2	1.418	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.057	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.006	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	55.556	2.857	1000.000	12.346
	0.4	13.514	1.014	ใกล้∞	2.208
	0.6	4.673	1.000	ใกล้∞	1.147
	0.8	2.364	1.000	ใกล้∞	1.004
	1	1.543	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.205	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.012	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ๙ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	45.456	2.433	1000.000	7.299
	0.4	8.065	1.004	ใกล้เคียง	1.603
	0.6	3.636	1.000	ใกล้เคียง	1.037
	0.8	1.862	1.000	ใกล้เคียง	1.001
	1	1.250	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.2	1.078	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.6	1.002	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	11.000	ใกล้เคียง	1.000
6	0.2	40.000	2.028	1000.000	8.929
	0.4	7.463	1.000	ใกล้เคียง	1.587
	0.6	3.049	1.000	ใกล้เคียง	1.032
	0.8	1.637	1.000	ใกล้เคียง	1.001
	1	1.202	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.2	1.045	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
7	0.2	37.037	1.739	ใกล้เคียง	6.329
	0.4	7.042	1.000	ใกล้เคียง	1.305
	0.6	2.525	1.000	ใกล้เคียง	1.006
	0.8	1.414	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1	1.086	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.2	1.008	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000

ตารางผนวกที่ ๙ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	17.857	1.161	ใกล้เคียง	3.322
	0.4	3.636	1.000	ใกล้เคียง	1.065
	0.6	1.605	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	0.8	1.107	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1	1.009	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
14	0.2	12.658	1.044	ใกล้เคียง	2.359
	0.4	2.695	1.000	ใกล้เคียง	1.008
	0.6	1.289	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	0.8	1.035	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
20	0.2	9.434	1.002	500.000	1.647
	0.4	1.862	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	0.6	1.082	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000

\

ตารางผนวกที่ ๙ (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.181	1.000	1000.000	1.536
	0.4	1.294	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.2$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ 10 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 40$ และ $\alpha = 0.3$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	66.667	13.333	ใกล้∞	34.483
	0.4	23.256	2.049	ใกล้∞	8.850
	0.6	11.111	1.075	ใกล้∞	3.279
	0.8	5.405	1.003	ใกล้∞	1.721
	1	3.356	1.000	ใกล้∞	1.211
	1.2	2.141	1.000	ใกล้∞	1.059
	1.6	1.300	1.000	ใกล้∞	1.001
	2	1.051	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	76.923	15.152	ใกล้∞	38.462
	0.4	19.231	1.745	ใกล้∞	6.452
	0.6	6.993	1.019	ใกล้∞	2.277
	0.8	3.401	1.000	ใกล้∞	1.261
	1	2.020	1.000	ใกล้∞	1.064
	1.2	1.418	1.000	ใกล้∞	1.010
	1.6	1.057	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.006	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	55.556	5.050	1000.000	21.739
	0.4	13.514	1.131	ใกล้∞	4.049
	0.6	4.673	1.000	ใกล้∞	1.552
	0.8	2.364	1.000	ใกล้∞	1.087
	1	1.543	1.000	ใกล้∞	1.007
	1.2	1.205	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.012	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค10 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	45.456	4.878	ใกล้∞	13.158
	0.4	8.065	1.066	ใกล้∞	2.703
	0.6	3.636	1.000	ใกล้∞	1.258
	0.8	1.862	1.000	ใกล้∞	1.022
	1	1.250	1.000	ใกล้∞	1.002
	1.2	1.078	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	40.000	4.405	1000.000	14.493
	0.4	7.463	1.030	ใกล้∞	2.513
	0.6	3.049	1.000	ใกล้∞	1.199
	0.8	1.637	1.000	ใกล้∞	1.014
	1	1.202	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.045	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	37.037	3.185	ใกล้∞	8.547
	0.4	7.042	1.008	ใกล้∞	1.773
	0.6	2.525	1.000	ใกล้∞	1.060
	0.8	1.414	1.000	ใกล้∞	1.002
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.008	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค10 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	17.857	1.686	ใกล้∞	5.495
	0.4	3.636	1.000	ใกล้∞	1.348
	0.6	1.605	1.000	ใกล้∞	1.004
	0.8	1.107	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.009	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	12.658	1.267	ใกล้∞	4.049
	0.4	2.695	1.000	ใกล้∞	1.114
	0.6	1.289	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.035	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.434	1.057	ใกล้∞	2.896
	0.4	1.862	1.000	ใกล้∞	1.028
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค10 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.181	1.002	ใกล้ ∞	2.336
	0.4	1.294	1.000	ใกล้ ∞	1.003
	0.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.3$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค11 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 40$ และ $\alpha = 0.4$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	66.667	15.385	ใกล้∞	62.500
	0.4	23.256	2.755	ใกล้∞	15.152
	0.6	11.111	1.203	ใกล้∞	5.319
	0.8	5.405	1.009	ใกล้∞	2.703
	1	3.356	1.000	ใกล้∞	1.631
	1.2	2.141	1.000	ใกล้∞	1.247
	1.6	1.300	1.000	ใกล้∞	1.016
	2	1.051	1.000	ใกล้∞	1.001
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	76.923	25.000	ใกล้∞	50.000
	0.4	19.231	2.985	ใกล้∞	9.901
	0.6	6.993	1.131	ใกล้∞	3.546
	0.8	3.401	1.002	ใกล้∞	1.692
	1	2.020	1.000	ใกล้∞	1.182
	1.2	1.418	1.000	ใกล้∞	1.056
	1.6	1.057	1.000	ใกล้∞	1.001
	2	1.006	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	55.556	7.576	1000.000	27.027
	0.4	13.514	1.377	ใกล้∞	5.348
	0.6	4.673	1.006	ใกล้∞	2.105
	0.8	2.364	1.000	ใกล้∞	1.245
	1	1.543	1.000	ใกล้∞	1.054
	1.2	1.205	1.000	ใกล้∞	1.006
	1.6	1.012	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค11 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	45.456	7.874	ใกล้∞	16.129
	0.4	8.065	1.250	ใกล้∞	3.745
	0.6	3.636	1.000	ใกล้∞	1.580
	0.8	1.862	1.000	ใกล้∞	1.117
	1	1.250	1.000	ใกล้∞	1.006
	1.2	1.078	1.000	ใกล้∞	1.002
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	40.000	7.194	1000.000	21.277
	0.4	7.463	1.134	ใกล้∞	3.802
	0.6	3.049	1.000	ใกล้∞	1.522
	0.8	1.637	1.000	ใกล้∞	1.068
	1	1.202	1.000	ใกล้∞	1.005
	1.2	1.045	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	37.037	4.202	ใกล้∞	13.158
	0.4	7.042	1.032	ใกล้∞	2.558
	0.6	2.525	1.000	ใกล้∞	1.247
	0.8	1.414	1.000	ใกล้∞	1.014
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.001
	1.2	1.008	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค11 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิความคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	17.857	2.188	ใกล้∞	8.197
	0.4	3.636	1.000	ใกล้∞	1.748
	0.6	1.605	1.000	ใกล้∞	1.060
	0.8	1.107	1.000	ใกล้∞	1.001
	1	1.009	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	12.658	1.524	ใกล้∞	6.667
	0.4	2.695	1.000	ใกล้∞	1.404
	0.6	1.289	1.000	ใกล้∞	1.008
	0.8	1.035	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.434	1.189	ใกล้∞	4.310
	0.4	1.862	1.000	ใกล้∞	1.125
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค11 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.181	1.062	ใกล้ ∞	2.584
	0.4	1.294	1.000	ใกล้ ∞	1.022
	0.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.4$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค12 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 40$ และ $\alpha = 0.5$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	66.667	21.739	ใกล้ ∞	66.667
	0.4	23.256	3.676	ใกล้ ∞	19.231
	0.6	11.111	1.403	ใกล้ ∞	7.576
	0.8	5.405	1.033	ใกล้ ∞	3.597
	1	3.356	1.000	ใกล้ ∞	2.141
	1.2	2.141	1.000	ใกล้ ∞	1.515
	1.6	1.300	1.000	ใกล้ ∞	1.087
	2	1.051	1.000	ใกล้ ∞	1.005
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
3	0.2	76.923	43.478	500.000	52.632
	0.4	19.231	5.000	ใกล้ ∞	11.905
	0.6	6.993	1.401	ใกล้ ∞	4.566
	0.8	3.401	1.011	ใกล้ ∞	2.242
	1	2.020	1.000	ใกล้ ∞	1.374
	1.2	1.418	1.000	ใกล้ ∞	1.124
	1.6	1.057	1.000	ใกล้ ∞	1.010
	2	1.006	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
4	0.2	55.556	11.236	1000.000	35.714
	0.4	13.514	1.751	ใกล้ ∞	7.692
	0.6	4.673	1.017	ใกล้ ∞	2.933
	0.8	2.364	1.000	ใกล้ ∞	1.563
	1	1.543	1.000	ใกล้ ∞	1.170
	1.2	1.205	1.000	ใกล้ ∞	1.041
	1.6	1.012	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค12 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	45.456	10.870	ใกล้∞	22.727
	0.4	8.065	1.580	ใกล้∞	5.525
	0.6	3.636	1.008	ใกล้∞	2.217
	0.8	1.862	1.000	ใกล้∞	1.314
	1	1.250	1.000	ใกล้∞	1.074
	1.2	1.078	1.000	ใกล้∞	1.005
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	40.000	9.346	1000.000	27.778
	0.4	7.463	1.383	ใกล้∞	5.714
	0.6	3.049	1.002	ใกล้∞	2.045
	0.8	1.637	1.000	ใกล้∞	1.235
	1	1.202	1.000	ใกล้∞	1.030
	1.2	1.045	1.000	ใกล้∞	1.001
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	37.037	5.587	ใกล้∞	14.706
	0.4	7.042	1.091	ใกล้∞	3.205
	0.6	2.525	1.000	ใกล้∞	1.471
	0.8	1.414	1.000	ใกล้∞	1.071
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.006
	1.2	1.008	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค12 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	17.857	3.077	ใกล้∞	12.821
	0.4	3.636	1.006	ใกล้∞	2.415
	0.6	1.605	1.000	ใกล้∞	1.211
	0.8	1.107	1.000	ใกล้∞	1.007
	1	1.009	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	12.658	1.730	500.000	8.130
	0.4	2.695	1.000	ใกล้∞	1.684
	0.6	1.289	1.000	ใกล้∞	1.044
	0.8	1.035	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.434	1.431	ใกล้∞	6.452
	0.4	1.862	1.000	ใกล้∞	1.372
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.007
	0.8	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค12 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.181	1.131	ใกล้ ∞	3.922
	0.4	1.294	1.000	ใกล้ ∞	1.100
	0.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.5$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค13 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 40$ และ $\alpha = 0.6$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	66.667	24.390	ใกล้∞	71.429
	0.4	23.256	4.717	ใกล้∞	20.833
	0.6	11.111	1.639	ใกล้∞	9.434
	0.8	5.405	1.075	ใกล้∞	4.464
	1	3.356	1.003	ใกล้∞	2.755
	1.2	2.141	1.000	ใกล้∞	1.812
	1.6	1.300	1.000	ใกล้∞	1.193
	2	1.051	1.000	ใกล้∞	1.022
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	76.923	90.909	500.000	66.667
	0.4	19.231	10.000	ใกล้∞	16.393
	0.6	6.993	2.347	ใกล้∞	6.250
	0.8	3.401	1.136	ใกล้∞	3.012
	1	2.020	1.004	ใกล้∞	1.825
	1.2	1.418	1.000	ใกล้∞	1.280
	1.6	1.057	1.000	ใกล้∞	1.033
	2	1.006	1.000	ใกล้∞	1.001
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	55.556	13.513	1000.000	58.824
	0.4	13.514	2.128	ใกล้∞	10.101
	0.6	4.673	1.057	ใกล้∞	3.861
	0.8	2.364	1.000	ใกล้∞	2.033
	1	1.543	1.000	ใกล้∞	1.357
	1.2	1.205	1.000	ใกล้∞	1.109
	1.6	1.012	1.000	ใกล้∞	1.006
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค13 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	45.456	22.222	ใกล้∞	27.778
	0.4	8.065	2.481	ใกล้∞	6.757
	0.6	3.636	1.049	ใกล้∞	2.833
	0.8	1.862	1.000	ใกล้∞	1.531
	1	1.250	1.000	ใกล้∞	1.171
	1.2	1.078	1.000	ใกล้∞	1.028
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.001
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	40.000	13.889	1000.000	38.462
	0.4	7.463	1.667	ใกล้∞	8.197
	0.6	3.049	1.007	ใกล้∞	2.667
	0.8	1.637	1.000	ใกล้∞	1.473
	1	1.202	1.000	ใกล้∞	1.115
	1.2	1.045	1.000	ใกล้∞	1.011
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	37.037	6.494	ใกล้∞	21.739
	0.4	7.042	1.181	ใกล้∞	4.219
	0.6	2.525	1.001	ใกล้∞	1.821
	0.8	1.414	1.000	ใกล้∞	1.179
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.025
	1.2	1.008	1.000	ใกล้∞	1.001
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค13 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	17.857	4.762	ใกล้∞	18.868
	0.4	3.636	1.041	ใกล้∞	3.195
	0.6	1.605	1.000	ใกล้∞	1.425
	0.8	1.107	1.000	ใกล้∞	1.054
	1	1.009	1.000	ใกล้∞	1.001
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	12.658	2.151	ใกล้∞	10.753
	0.4	2.695	1.000	ใกล้∞	2.174
	0.6	1.289	1.000	ใกล้∞	1.157
	0.8	1.035	1.000	ใกล้∞	1.005
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.434	1.848	ใกล้∞	7.042
	0.4	1.862	1.000	ใกล้∞	1.616
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.028
	0.8	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค13 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.181	1.199	ใกล้ ∞	4.926
	0.4	1.294	1.000	ใกล้ ∞	1.206
	0.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.001
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.6$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ 14 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 40$ และ $\alpha = 0.7$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	66.667	30.303	ใกล้ ∞	55.556
	0.4	23.256	5.952	ใกล้ ∞	22.222
	0.6	11.111	2.053	ใกล้ ∞	10.638
	0.8	5.405	1.175	ใกล้ ∞	5.263
	1	3.356	1.013	ใกล้ ∞	3.247
	1.2	2.141	1.000	ใกล้ ∞	2.137
	1.6	1.300	1.000	ใกล้ ∞	1.328
	2	1.051	1.000	ใกล้ ∞	1.070
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
3	0.2	76.923	166.667	ใกล้ ∞	76.923
	0.4	19.231	19.231	ใกล้ ∞	18.519
	0.6	6.993	3.802	ใกล้ ∞	7.752
	0.8	3.401	1.410	ใกล้ ∞	3.663
	1	2.020	1.022	ใกล้ ∞	2.208
	1.2	1.418	1.000	ใกล้ ∞	1.543
	1.6	1.057	1.000	ใกล้ ∞	1.082
	2	1.006	1.000	ใกล้ ∞	1.011
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
4	0.2	55.556	16.949	1000.000	125.000
	0.4	13.514	2.755	ใกล้ ∞	15.152
	0.6	4.673	1.135	ใกล้ ∞	5.848
	0.8	2.364	1.000	ใกล้ ∞	2.653
	1	1.543	1.000	ใกล้ ∞	1.706
	1.2	1.205	1.000	ใกล้ ∞	1.290
	1.6	1.012	1.000	ใกล้ ∞	1.038
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.001
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค14 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	45.456	27.027	ใกล้∞	37.037
	0.4	8.065	3.195	ใกล้∞	9.009
	0.6	3.636	1.906	ใกล้∞	3.906
	0.8	1.862	1.001	ใกล้∞	2.012
	1	1.250	1.000	ใกล้∞	1.357
	1.2	1.078	1.000	ใกล้∞	1.119
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.002
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	40.000	23.256	1000.000	40.000
	0.4	7.463	2.156	ใกล้∞	10.416
	0.6	3.049	1.042	ใกล้∞	3.401
	0.8	1.637	1.000	ใกล้∞	1.783
	1	1.202	1.000	ใกล้∞	1.244
	1.2	1.045	1.000	ใกล้∞	1.058
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	37.037	12.195	ใกล้∞	37.037
	0.4	7.042	1.499	ใกล้∞	6.250
	0.6	2.525	1.004	ใกล้∞	2.439
	0.8	1.414	1.000	ใกล้∞	1.427
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.099
	1.2	1.008	1.000	ใกล้∞	1.016
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค14 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	17.857	6.993	ใกล้∞	19.608
	0.4	3.636	1.144	ใกล้∞	3.788
	0.6	1.605	1.000	ใกล้∞	1.669
	0.8	1.107	1.000	ใกล้∞	1.120
	1	1.009	1.000	ใกล้∞	1.006
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.001
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	12.658	2.427	1000.000	13.889
	0.4	2.695	1.002	ใกล้∞	2.646
	0.6	1.289	1.000	ใกล้∞	1.318
	0.8	1.035	1.000	ใกล้∞	1.029
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.434	2.681	ใกล้∞	8.772
	0.4	1.862	1.001	ใกล้∞	1.949
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.081
	0.8	1.000	1.000	ใกล้∞	1.001
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค14 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.181	1.431	ใกล้ ∞	5.848
	0.4	1.294	1.000	ใกล้ ∞	1.342
	0.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.009
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $a = 0.7$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ 15 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 40$ และ $\alpha = 0.8$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	66.667	47.619	ใกล้ ∞	50.000
	0.4	23.256	12.195	ใกล้ ∞	22.222
	0.6	11.111	3.558	ใกล้ ∞	11.364
	0.8	5.405	1.575	ใกล้ ∞	5.714
	1	3.356	1.074	ใกล้ ∞	3.636
	1.2	2.141	1.005	ใกล้ ∞	2.481
	1.6	1.300	1.000	ใกล้ ∞	1.481
	2	1.051	1.000	ใกล้ ∞	1.133
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
3	0.2	76.923	200.000	ใกล้ ∞	90.909
	0.4	19.231	31.250	ใกล้ ∞	20.000
	0.6	6.993	6.711	ใกล้ ∞	8.621
	0.8	3.401	2.070	ใกล้ ∞	4.329
	1	2.020	1.133	ใกล้ ∞	2.646
	1.2	1.418	1.004	ใกล้ ∞	1.835
	1.6	1.057	1.000	ใกล้ ∞	1.161
	2	1.006	1.000	ใกล้ ∞	1.022
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
4	0.2	55.556	23.810	1000.000	125.000
	0.4	13.514	4.000	ใกล้ ∞	18.519
	0.6	4.673	1.351	ใกล้ ∞	7.407
	0.8	2.364	1.011	ใกล้ ∞	3.322
	1	1.543	1.000	ใกล้ ∞	2.037
	1.2	1.205	1.000	ใกล้ ∞	1.486
	1.6	1.012	1.000	ใกล้ ∞	1.081
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.006
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค15 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	45.456	43.478	ใกล้∞	32.258
	0.4	8.065	4.115	ใกล้∞	9.090
	0.6	3.636	1.314	ใกล้∞	3.386
	0.8	1.862	1.009	ใกล้∞	2.232
	1	1.250	1.000	ใกล้∞	1.475
	1.2	1.078	1.000	ใกล้∞	1.198
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.010
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	40.000	27.778	ใกล้∞	45.455
	0.4	7.463	2.564	ใกล้∞	12.195
	0.6	3.049	1.096	ใกล้∞	4.464
	0.8	1.637	1.000	ใกล้∞	2.155
	1	1.202	1.000	ใกล้∞	1.410
	1.2	1.045	1.000	ใกล้∞	1.135
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.004
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	37.037	14.085	ใกล้∞	66.667
	0.4	7.042	1.715	ใกล้∞	8.929
	0.6	2.525	1.014	ใกล้∞	3.247
	0.8	1.414	1.000	ใกล้∞	1.751
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.233
	1.2	1.008	1.000	ใกล้∞	1.058
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.001
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค15 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	17.857	8.264	ใกล้∞	26.316
	0.4	3.636	1.269	ใกล้∞	4.950
	0.6	1.605	1.000	ใกล้∞	2.016
	0.8	1.107	1.000	ใกล้∞	1.272
	1	1.009	1.000	ใกล้∞	1.038
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.003
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	12.658	3.279	ใกล้∞	16.949
	0.4	2.695	1.017	ใกล้∞	3.279
	0.6	1.289	1.000	ใกล้∞	1.500
	0.8	1.035	1.000	ใกล้∞	1.088
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.004
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.434	3.322	ใกล้∞	11.236
	0.4	1.862	1.002	ใกล้∞	2.525
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.215
	0.8	1.000	1.000	ใกล้∞	1.014
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค15 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.181	1.613	ใกล้ ∞	9.346
	0.4	1.294	1.000	ใกล้ ∞	1.706
	0.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.054
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $a = 0.8$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค16 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 40$ และ $\alpha = 0.9$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	66.667	62.500	ใกล้ ∞	58.824
	0.4	23.256	17.857	ใกล้ ∞	32.258
	0.6	11.111	5.208	ใกล้ ∞	15.873
	0.8	5.405	2.037	ใกล้ ∞	8.130
	1	3.356	1.218	ใกล้ ∞	4.926
	1.2	2.141	1.024	ใกล้ ∞	3.247
	1.6	1.300	1.000	ใกล้ ∞	1.792
	2	1.051	1.000	ใกล้ ∞	1.279
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
3	0.2	76.923	166.667	500.000	100.000
	0.4	19.231	31.250	ใกล้ ∞	27.027
	0.6	6.993	7.937	ใกล้ ∞	11.364
	0.8	3.401	2.433	ใกล้ ∞	5.714
	1	2.020	1.294	ใกล้ ∞	3.356
	1.2	1.418	1.018	ใกล้ ∞	2.268
	1.6	1.057	1.000	ใกล้ ∞	1.316
	2	1.006	1.000	ใกล้ ∞	1.066
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
4	0.2	55.556	35.714	1000.000	250.000
	0.4	13.514	5.650	ใกล้ ∞	32.258
	0.6	4.673	1.718	ใกล้ ∞	10.638
	0.8	2.364	1.056	ใกล้ ∞	5.076
	1	1.543	1.002	ใกล้ ∞	2.695
	1.2	1.205	1.000	ใกล้ ∞	1.838
	1.6	1.012	1.000	ใกล้ ∞	1.182
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.034
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค16 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	45.456	43.478	1000.000	32.258
	0.4	8.065	4.808	ใกล้∞	10.101
	0.6	3.636	1.524	ใกล้∞	5.181
	0.8	1.862	1.022	ใกล้∞	2.604
	1	1.250	1.000	ใกล้∞	1.724
	1.2	1.078	1.000	ใกล้∞	1.310
	1.6	1.002	1.000	ใกล้∞	1.034
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	40.000	31.250	1000.000	52.632
	0.4	7.463	3.257	ใกล้∞	16.393
	0.6	3.049	1.217	ใกล้∞	5.714
	0.8	1.637	1.002	ใกล้∞	2.632
	1	1.202	1.000	ใกล้∞	1.689
	1.2	1.045	1.000	ใกล้∞	1.264
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.015
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	37.037	20.408	ใกล้∞	52.632
	0.4	7.042	2.525	ใกล้∞	8.621
	0.6	2.525	1.071	ใกล้∞	3.472
	0.8	1.414	1.000	ใกล้∞	1.901
	1	1.086	1.000	ใกล้∞	1.337
	1.2	1.008	1.000	ใกล้∞	1.103
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.004
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค16 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	17.857	9.524	ใกล้∞	35.714
	0.4	3.636	1.372	ใกล้∞	6.098
	0.6	1.605	1.004	ใกล้∞	2.469
	0.8	1.107	1.000	ใกล้∞	1.475
	1	1.009	1.000	ใกล้∞	1.109
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.010
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	12.658	4.149	500.000	19.608
	0.4	2.695	1.047	ใกล้∞	4.348
	0.6	1.289	1.000	ใกล้∞	1.828
	0.8	1.035	1.000	ใกล้∞	1.196
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.027
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.003
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	9.434	3.802	ใกล้∞	16.667
	0.4	1.862	1.004	ใกล้∞	3.401
	0.6	1.082	1.000	ใกล้∞	1.439
	0.8	1.000	1.000	ใกล้∞	1.049
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.003
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค16 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.181	1.957	ใกล้ ∞	8.621
	0.4	1.294	1.000	ใกล้ ∞	1.848
	0.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.088
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.9$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค17 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.2$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	142.857	14.706	ใกล้∞	37.037
	0.4	27.778	1.481	ใกล้∞	6.711
	0.6	11.494	1.004	ใกล้∞	2.288
	0.8	5.319	1.000	ใกล้∞	1.276
	1	3.067	1.000	ใกล้∞	1.044
	1.2	2.053	1.000	ใกล้∞	1.001
	1.6	1.279	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.043	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	90.909	5.917	500.000	29.412
	0.4	20.408	1.066	ใกล้∞	3.717
	0.6	6.803	1.000	ใกล้∞	1.344
	0.8	3.534	1.000	ใกล้∞	1.029
	1	2.049	1.000	ใกล้∞	1.001
	1.2	1.437	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.056	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.002	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	58.824	2.674	ใกล้∞	11.111
	0.4	13.699	1.002	ใกล้∞	2.128
	0.6	4.484	1.000	ใกล้∞	1.124
	0.8	2.326	1.000	ใกล้∞	1.005
	1	1.538	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.215	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.008	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค17 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	34.483	2.105	1000.000	6.329
	0.4	8.197	1.001	ใกล้∞	1.513
	0.6	3.367	1.000	ใกล้∞	1.031
	0.8	1.815	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.269	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.075	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.001	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	43.478	1.701	1000.000	11.628
	0.4	8.264	1.000	ใกล้∞	1.724
	0.6	3.058	1.000	ใกล้∞	1.046
	0.8	1.645	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.195	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.056	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	35.714	1.669	ใกล้∞	4.673
	0.4	6.711	1.000	ใกล้∞	1.183
	0.6	2.506	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.420	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.093	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.011	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค17 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.519	1.088	ใกล้∞	3.717
	0.4	3.937	1.000	ใกล้∞	1.093
	0.6	1.684	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.140	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.019	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.001	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	13.333	1.006	500.000	2.584
	0.4	2.732	1.000	ใกล้∞	1.016
	0.6	1.284	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.036	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	8.547	1.000	ใกล้∞	1.531
	0.4	1.835	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.6	1.074	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค17 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.952	1.000	ใกล้ ∞	1.153
	0.4	1.318	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.2$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค18 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.3$

n	Φ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	142.857	35.714	ใกล้ ∞	38.462
	0.4	27.778	2.882	ใกล้ ∞	8.475
	0.6	11.494	1.081	ใกล้ ∞	3.205
	0.8	5.319	1.000	ใกล้ ∞	1.669
	1	3.067	1.000	ใกล้ ∞	1.202
	1.2	2.053	1.000	ใกล้ ∞	1.047
	1.6	1.279	1.000	ใกล้ ∞	1.001
	2	1.043	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
3	0.2	90.909	11.905	ใกล้ ∞	52.632
	0.4	20.408	1.420	ใกล้ ∞	5.714
	0.6	6.803	1.000	ใกล้ ∞	2.137
	0.8	3.534	1.000	ใกล้ ∞	1.221
	1	2.049	1.000	ใกล้ ∞	1.026
	1.2	1.437	1.000	ใกล้ ∞	1.004
	1.6	1.056	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.002	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
4	0.2	58.824	6.060	ใกล้ ∞	21.739
	0.4	13.699	1.092	ใกล้ ∞	3.425
	0.6	4.484	1.000	ใกล้ ∞	1.499
	0.8	2.326	1.000	ใกล้ ∞	1.065
	1	1.538	1.000	ใกล้ ∞	1.003
	1.2	1.215	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค18 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	34.483	3.584	1000.000	9.259
	0.4	8.197	1.012	ใกล้∞	2.155
	0.6	3.367	1.000	ใกล้∞	1.199
	0.8	1.815	1.000	ใกล้∞	1.014
	1	1.269	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.075	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.001	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	43.478	3.106	1000.000	21.277
	0.4	8.264	1.005	ใกล้∞	2.695
	0.6	3.058	1.000	ใกล้∞	1.253
	0.8	1.645	1.000	ใกล้∞	1.015
	1	1.195	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.056	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	35.714	3.135	ใกล้∞	7.353
	0.4	6.711	1.000	ใกล้∞	1.650
	0.6	2.506	1.000	ใกล้∞	1.042
	0.8	1.420	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.093	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.011	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค18 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.519	1.389	ใกล้∞	5.988
	0.4	3.937	1.000	ใกล้∞	1.381
	0.6	1.684	1.000	ใกล้∞	1.021
	0.8	1.140	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.019	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.001	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	13.333	1.054	ใกล้∞	4.587
	0.4	2.732	1.000	ใกล้∞	1.135
	0.6	1.284	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.036	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	8.547	1.006	ใกล้∞	2.392
	0.4	1.835	1.000	ใกล้∞	1.012
	0.6	1.074	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค18 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.952	1.000	ใกล้ ∞	1.595
	0.4	1.318	1.000	ใกล้ ∞	1.001
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $a = 0.3$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค19 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.4$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	142.857	38.467	ใกล้ ∞	55.556
	0.4	27.778	4.274	ใกล้ ∞	13.333
	0.6	11.494	1.263	ใกล้ ∞	4.608
	0.8	5.319	1.002	ใกล้ ∞	2.519
	1	3.067	1.000	ใกล้ ∞	1.531
	1.2	2.053	1.000	ใกล้ ∞	1.202
	1.6	1.279	1.000	ใกล้ ∞	1.007
	2	1.043	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
3	0.2	90.909	29.412	ใกล้ ∞	71.429
	0.4	20.408	2.558	ใกล้ ∞	9.001
	0.6	6.803	1.056	ใกล้ ∞	3.322
	0.8	3.534	1.000	ใกล้ ∞	1.704
	1	2.049	1.000	ใกล้ ∞	1.166
	1.2	1.437	1.000	ใกล้ ∞	1.028
	1.6	1.056	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.002	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
4	0.2	58.824	10.753	ใกล้ ∞	32.258
	0.4	13.699	1.364	ใกล้ ∞	5.291
	0.6	4.484	1.000	ใกล้ ∞	2.028
	0.8	2.326	1.000	ใกล้ ∞	1.259
	1	1.538	1.000	ใกล้ ∞	1.034
	1.2	1.215	1.000	ใกล้ ∞	1.003
	1.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค19 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	34.483	4.587	1000.000	14.085
	0.4	8.197	1.044	ใกล้∞	3.226
	0.6	3.367	1.000	ใกล้∞	1.520
	0.8	1.815	1.000	ใกล้∞	1.085
	1	1.269	1.000	ใกล้∞	1.007
	1.2	1.075	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.001	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	43.478	5.378	1000.000	28.571
	0.4	8.264	1.036	ใกล้∞	3.861
	0.6	3.058	1.000	ใกล้∞	1.548
	0.8	1.645	1.000	ใกล้∞	1.086
	1	1.195	1.000	ใกล้∞	1.005
	1.2	1.056	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	35.714	5.464	ใกล้∞	14.286
	0.4	6.711	1.013	ใกล้∞	2.660
	0.6	2.506	1.000	ใกล้∞	1.244
	0.8	1.420	1.000	ใกล้∞	1.013
	1	1.093	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.011	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค19 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิความคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.519	1.529	ใกล้∞	10.309
	0.4	3.937	1.000	ใกล้∞	1.869
	0.6	1.684	1.000	ใกล้∞	1.085
	0.8	1.140	1.000	ใกล้∞	1.005
	1	1.019	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.001	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	13.333	1.189	ใกล้∞	6.849
	0.4	2.732	1.000	ใกล้∞	1.420
	0.6	1.284	1.000	ใกล้∞	1.012
	0.8	1.036	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	8.547	1.031	ใกล้∞	3.236
	0.4	1.835	1.000	ใกล้∞	1.094
	0.6	1.074	1.000	ใกล้∞	1.000
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค19 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.952	1.000	ใกล้ ∞	1.949
	0.4	1.318	1.000	ใกล้ ∞	1.006
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.4$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค20 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.5$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	142.857	47.619	ใกล้ ∞	83.333
	0.4	27.778	6.944	ใกล้ ∞	19.608
	0.6	11.494	1.629	ใกล้ ∞	6.060
	0.8	5.319	1.034	ใกล้ ∞	3.356
	1	3.067	1.000	ใกล้ ∞	1.972
	1.2	2.053	1.000	ใกล้ ∞	1.429
	1.6	1.279	1.000	ใกล้ ∞	1.063
	2	1.043	1.000	ใกล้ ∞	1.002
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
3	0.2	90.909	52.632	ใกล้ ∞	90.909
	0.4	20.408	5.000	ใกล้ ∞	15.873
	0.6	6.803	1.295	ใกล้ ∞	5.319
	0.8	3.534	1.000	ใกล้ ∞	2.457
	1	2.049	1.000	ใกล้ ∞	1.513
	1.2	1.437	1.000	ใกล้ ∞	1.149
	1.6	1.056	1.000	ใกล้ ∞	1.006
	2	1.002	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
4	0.2	58.824	12.346	ใกล้ ∞	66.667
	0.4	13.699	1.570	ใกล้ ∞	9.804
	0.6	4.484	1.007	ใกล้ ∞	3.003
	0.8	2.326	1.000	ใกล้ ∞	1.645
	1	1.538	1.000	ใกล้ ∞	1.196
	1.2	1.215	1.000	ใกล้ ∞	1.031
	1.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค20 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	34.483	5.102	1000.000	20.408
	0.4	8.197	1.094	ใกล้∞	4.739
	0.6	3.367	1.000	ใกล้∞	1.953
	0.8	1.815	1.000	ใกล้∞	1.259
	1	1.269	1.000	ใกล้∞	1.050
	1.2	1.075	1.000	ใกล้∞	1.005
	1.6	1.001	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	43.478	8.065	1000.000	26.316
	0.4	8.264	1.148	ใกล้∞	4.367
	0.6	3.058	1.000	ใกล้∞	1.808
	0.8	1.645	1.000	ใกล้∞	1.203
	1	1.195	1.000	ใกล้∞	1.031
	1.2	1.056	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	35.714	7.194	ใกล้∞	23.256
	0.4	6.711	1.065	ใกล้∞	4.184
	0.6	2.506	1.000	ใกล้∞	1.661
	0.8	1.420	1.000	ใกล้∞	1.104
	1	1.093	1.000	ใกล้∞	1.005
	1.2	1.011	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค20 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.519	2.079	ใกล้∞	16.129
	0.4	3.937	1.000	ใกล้∞	2.584
	0.6	1.684	1.000	ใกล้∞	1.239
	0.8	1.140	1.000	ใกล้∞	1.026
	1	1.019	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.001	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	13.333	1.377	ใกล้∞	10.417
	0.4	2.732	1.000	ใกล้∞	1.822
	0.6	1.284	1.000	ใกล้∞	1.064
	0.8	1.036	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	8.547	1.062	ใกล้∞	4.878
	0.4	1.835	1.000	ใกล้∞	1.277
	0.6	1.074	1.000	ใกล้∞	1.007
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค20 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.952	1.002	ใกล้ ∞	2.740
	0.4	1.318	1.000	ใกล้ ∞	1.057
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.5$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค21 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.6$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	142.857	52.632	ใกล้ ∞	111.111
	0.4	27.778	8.065	ใกล้ ∞	26.316
	0.6	11.494	1.873	ใกล้ ∞	9.615
	0.8	5.319	1.085	ใกล้ ∞	4.405
	1	3.067	1.000	ใกล้ ∞	2.681
	1.2	2.053	1.000	ใกล้ ∞	1.876
	1.6	1.279	1.000	ใกล้ ∞	1.188
	2	1.043	1.000	ใกล้ ∞	1.018
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
3	0.2	90.909	71.429	ใกล้ ∞	142.857
	0.4	20.408	8.695	ใกล้ ∞	23.810
	0.6	6.803	1.783	ใกล้ ∞	8.000
	0.8	3.534	1.034	ใกล้ ∞	3.623
	1	2.049	1.000	ใกล้ ∞	2.066
	1.2	1.437	1.000	ใกล้ ∞	1.418
	1.6	1.056	1.000	ใกล้ ∞	1.034
	2	1.002	1.000	ใกล้ ∞	1.002
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
4	0.2	58.824	17.241	ใกล้ ∞	142.857
	0.4	13.699	1.965	ใกล้ ∞	14.286
	0.6	4.484	1.029	ใกล้ ∞	4.386
	0.8	2.326	1.000	ใกล้ ∞	2.159
	1	1.538	1.000	ใกล้ ∞	1.418
	1.2	1.215	1.000	ใกล้ ∞	1.153
	1.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.004
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค21 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	34.483	9.615	1000.000	25.641
	0.4	8.197	1.393	ใกล้∞	6.452
	0.6	3.367	1.000	ใกล้∞	2.688
	0.8	1.815	1.000	ใกล้∞	1.531
	1	1.269	1.000	ใกล้∞	1.148
	1.2	1.075	1.000	ใกล้∞	1.032
	1.6	1.001	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	43.478	10.526	1000.000	29.412
	0.4	8.264	1.299	ใกล้∞	5.208
	0.6	3.058	1.000	ใกล้∞	2.252
	0.8	1.645	1.000	ใกล้∞	1.372
	1	1.195	1.000	ใกล้∞	1.080
	1.2	1.056	1.000	ใกล้∞	1.012
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	35.714	12.500	ใกล้∞	37.037
	0.4	6.711	1.264	ใกล้∞	5.714
	0.6	2.506	1.000	ใกล้∞	2.169
	0.8	1.420	1.000	ใกล้∞	1.266
	1	1.093	1.000	ใกล้∞	1.042
	1.2	1.011	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค21 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.519	2.801	ใกล้∞	20.000
	0.4	3.937	1.001	ใกล้∞	3.300
	0.6	1.684	1.000	ใกล้∞	1.456
	0.8	1.140	1.000	ใกล้∞	1.083
	1	1.019	1.000	ใกล้∞	1.008
	1.2	1.001	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	13.333	1.675	ใกล้∞	13.514
	0.4	2.732	1.000	ใกล้∞	2.262
	0.6	1.284	1.000	ใกล้∞	1.172
	0.8	1.036	1.000	ใกล้∞	1.010
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	8.547	1.212	ใกล้∞	5.529
	0.4	1.835	1.000	ใกล้∞	1.479
	0.6	1.074	1.000	ใกล้∞	1.024
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค21 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.952	1.008	ใกล้ ∞	3.390
	0.4	1.318	1.000	ใกล้ ∞	1.121
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.001
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.6$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค22 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.7$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	142.857	66.667	ใกล้ ∞	111.111
	0.4	27.778	10.101	ใกล้ ∞	31.250
	0.6	11.494	2.304	ใกล้ ∞	12.195
	0.8	5.319	1.181	ใกล้ ∞	5.495
	1	3.067	1.007	ใกล้ ∞	3.322
	1.2	2.053	1.000	ใกล้ ∞	2.232
	1.6	1.279	1.000	ใกล้ ∞	1.351
	2	1.043	1.000	ใกล้ ∞	1.065
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
3	0.2	90.909	71.429	ใกล้ ∞	142.857
	0.4	20.408	9.090	ใกล้ ∞	31.250
	0.6	6.803	2.037	ใกล้ ∞	10.309
	0.8	3.534	1.078	ใกล้ ∞	4.651
	1	2.049	1.000	ใกล้ ∞	2.653
	1.2	1.437	1.000	ใกล้ ∞	1.733
	1.6	1.056	1.000	ใกล้ ∞	1.110
	2	1.002	1.000	ใกล้ ∞	1.008
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
4	0.2	58.824	32.258	ใกล้ ∞	125.000
	0.4	13.699	3.086	ใกล้ ∞	16.393
	0.6	4.484	1.103	ใกล้ ∞	5.682
	0.8	2.326	1.001	ใกล้ ∞	2.597
	1	1.538	1.000	ใกล้ ∞	1.647
	1.2	1.215	1.000	ใกล้ ∞	1.271
	1.6	1.008	1.000	ใกล้ ∞	1.016
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค22 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	34.483	14.706	1000.000	34.483
	0.4	8.197	1.821	ใกล้∞	8.696
	0.6	3.367	1.005	ใกล้∞	3.322
	0.8	1.815	1.000	ใกล้∞	1.890
	1	1.269	1.000	ใกล้∞	1.285
	1.2	1.075	1.000	ใกล้∞	1.088
	1.6	1.001	1.000	ใกล้∞	1.001
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	43.478	12.500	1000.000	38.462
	0.4	8.264	1.468	ใกล้∞	6.623
	0.6	3.058	1.001	ใกล้∞	2.755
	0.8	1.645	1.000	ใกล้∞	1.610
	1	1.195	1.000	ใกล้∞	1.108
	1.2	1.056	1.000	ใกล้∞	1.040
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	35.714	15.625	ใกล้∞	34.483
	0.4	6.711	1.515	ใกล้∞	6.623
	0.6	2.506	1.000	ใกล้∞	2.597
	0.8	1.420	1.000	ใกล้∞	1.490
	1	1.093	1.000	ใกล้∞	1.091
	1.2	1.011	1.000	ใกล้∞	1.014
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค22 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.519	3.367	ใกล้ ∞	20.833
	0.4	3.937	1.005	ใกล้ ∞	3.831
	0.6	1.684	1.000	ใกล้ ∞	1.695
	0.8	1.140	1.000	ใกล้ ∞	1.161
	1	1.019	1.000	ใกล้ ∞	1.021
	1.2	1.001	1.000	ใกล้ ∞	1.001
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
14	0.2	13.333	1.789	ใกล้ ∞	16.393
	0.4	2.732	1.000	ใกล้ ∞	2.941
	0.6	1.284	1.000	ใกล้ ∞	1.333
	0.8	1.036	1.000	ใกล้ ∞	1.043
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
20	0.2	8.547	1.422	ใกล้ ∞	6.993
	0.4	1.835	1.000	ใกล้ ∞	1.783
	0.6	1.074	1.000	ใกล้ ∞	1.087
	0.8	1.003	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค22 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.952	1.037	ใกล้ ∞	4.329
	0.4	1.318	1.000	ใกล้ ∞	1.264
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.005
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.7$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค23 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.8$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	142.857	125.000	ใกล้∞	111.111
	0.4	27.778	16.129	ใกล้∞	40.000
	0.6	11.494	3.571	ใกล้∞	14.286
	0.8	5.319	1.486	ใกล้∞	6.757
	1	3.067	1.047	ใกล้∞	3.906
	1.2	2.053	1.001	ใกล้∞	2.681
	1.6	1.279	1.000	ใกล้∞	1.567
	2	1.043	1.000	ใกล้∞	1.160
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	90.909	83.333	ใกล้∞	125.000
	0.4	20.408	13.158	ใกล้∞	32.258
	0.6	6.803	3.086	ใกล้∞	11.628
	0.8	3.534	1.261	ใกล้∞	5.435
	1	2.049	1.007	ใกล้∞	3.289
	1.2	1.437	1.000	ใกล้∞	2.137
	1.6	1.056	1.000	ใกล้∞	1.223
	2	1.002	1.000	ใกล้∞	1.034
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	58.824	27.778	ใกล้∞	28.571
	0.4	13.699	3.279	ใกล้∞	8.197
	0.6	4.484	1.179	ใกล้∞	3.521
	0.8	2.326	1.001	ใกล้∞	2.114
	1	1.538	1.000	ใกล้∞	1.481
	1.2	1.215	1.000	ใกล้∞	1.076
	1.6	1.008	1.000	ใกล้∞	1.004
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	28.571

ตารางผนวกที่ ค23 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	34.483	21.277	1000.000	41.667
	0.4	8.197	2.257	ใกล้เคียง	11.767
	0.6	3.367	1.028	ใกล้เคียง	4.348
	0.8	1.815	1.000	ใกล้เคียง	2.315
	1	1.269	1.000	ใกล้เคียง	1.541
	1.2	1.075	1.000	ใกล้เคียง	1.186
	1.6	1.001	1.000	ใกล้เคียง	1.015
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
6	0.2	43.478	10.526	1000.000	52.632
	0.4	8.264	1.524	ใกล้เคียง	7.634
	0.6	3.058	1.003	ใกล้เคียง	3.311
	0.8	1.645	1.000	ใกล้เคียง	1.852
	1	1.195	1.000	ใกล้เคียง	1.339
	1.2	1.056	1.000	ใกล้เคียง	1.100
	1.6	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.002
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
7	0.2	35.714	18.519	ใกล้เคียง	33.333
	0.4	6.711	1.183	ใกล้เคียง	8.000
	0.6	2.506	1.002	ใกล้เคียง	3.165
	0.8	1.420	1.000	ใกล้เคียง	1.721
	1	1.093	1.000	ใกล้เคียง	1.211
	1.2	1.011	1.000	ใกล้เคียง	1.047
	1.6	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้เคียง	1.000

ตารางผนวกที่ ค23 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.519	4.566	ใกล้∞	18.182
	0.4	3.937	1.029	ใกล้∞	4.292
	0.6	1.684	1.000	ใกล้∞	1.931
	0.8	1.140	1.000	ใกล้∞	1.253
	1	1.019	1.000	ใกล้∞	1.046
	1.2	1.001	1.000	ใกล้∞	1.006
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
14	0.2	13.333	1.953	ใกล้∞	20.408
	0.4	2.732	1.000	ใกล้∞	3.650
	0.6	1.284	1.000	ใกล้∞	1.585
	0.8	1.036	1.000	ใกล้∞	1.093
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.008
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
20	0.2	8.547	1.645	ใกล้∞	7.937
	0.4	1.835	1.000	ใกล้∞	2.183
	0.6	1.074	1.000	ใกล้∞	1.163
	0.8	1.003	1.000	ใกล้∞	1.011
	1	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค23 (ต่อ)

n	$\$$	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.952	1.098	ใกล้ ∞	5.681
	0.4	1.318	1.000	ใกล้ ∞	1.429
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.021
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.8$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ตารางผนวกที่ ค24 ค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดเมื่อ $l = 100$ และ $a = 0.9$

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
2	0.2	142.857	111.111	ใกล้∞	125.000
	0.4	27.778	23.256	ใกล้∞	41.667
	0.6	11.494	5.682	ใกล้∞	16.129
	0.8	5.319	2.079	ใกล้∞	8.621
	1	3.067	1.156	ใกล้∞	4.484
	1.2	2.053	1.009	ใกล้∞	3.049
	1.6	1.279	1.000	ใกล้∞	1.799
	2	1.043	1.000	ใกล้∞	1.272
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
3	0.2	90.909	90.909	ใกล้∞	125.000
	0.4	20.408	16.129	ใกล้∞	38.461
	0.6	6.803	3.831	ใกล้∞	15.625
	0.8	3.534	1.475	ใกล้∞	6.803
	1	2.049	1.040	ใกล้∞	3.968
	1.2	1.437	1.000	ใกล้∞	2.625
	1.6	1.056	1.000	ใกล้∞	1.425
	2	1.002	1.000	ใกล้∞	1.097
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
4	0.2	58.824	32.258	ใกล้∞	166.667
	0.4	13.699	4.717	ใกล้∞	62.500
	0.6	4.484	1.399	ใกล้∞	15.625
	0.8	2.326	1.013	ใกล้∞	5.814
	1	1.538	1.000	ใกล้∞	3.030
	1.2	1.215	1.000	ใกล้∞	1.976
	1.6	1.008	1.000	ใกล้∞	1.221
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.028
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค24 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
5	0.2	34.483	23.810	1000.000	47.619
	0.4	8.197	2.695	ใกล้∞	16.393
	0.6	3.367	1.074	ใกล้∞	5.618
	0.8	1.815	1.000	ใกล้∞	2.907
	1	1.269	1.000	ใกล้∞	1.897
	1.2	1.075	1.000	ใกล้∞	1.340
	1.6	1.001	1.000	ใกล้∞	1.044
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.001
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
6	0.2	43.478	14.085	1000.000	62.500
	0.4	8.264	1.786	ใกล้∞	10.204
	0.6	3.058	1.012	ใกล้∞	4.202
	0.8	1.645	1.000	ใกล้∞	2.203
	1	1.195	1.000	ใกล้∞	1.513
	1.2	1.056	1.000	ใกล้∞	1.199
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.008
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
7	0.2	35.714	20.408	ใกล้∞	41.667
	0.4	6.711	2.037	ใกล้∞	10.309
	0.6	2.506	1.011	ใกล้∞	3.984
	0.8	1.420	1.000	ใกล้∞	2.174
	1	1.093	1.000	ใกล้∞	1.403
	1.2	1.011	1.000	ใกล้∞	1.122
	1.6	1.000	1.000	ใกล้∞	1.002
	2	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค24 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
10	0.2	18.519	6.757	ใกล้ ∞	25.000
	0.4	3.937	1.107	ใกล้ ∞	5.780
	0.6	1.684	1.000	ใกล้ ∞	2.381
	0.8	1.140	1.000	ใกล้ ∞	1.458
	1	1.019	1.000	ใกล้ ∞	1.140
	1.2	1.001	1.000	ใกล้ ∞	1.021
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
14	0.2	13.333	2.053	ใกล้ ∞	27.778
	0.4	2.732	1.000	ใกล้ ∞	4.975
	0.6	1.284	1.000	ใกล้ ∞	1.988
	0.8	1.036	1.000	ใกล้ ∞	1.222
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.036
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.002
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
20	0.2	8.547	1.842	ใกล้ ∞	10.101
	0.4	1.835	1.000	ใกล้ ∞	2.725
	0.6	1.074	1.000	ใกล้ ∞	1.335
	0.8	1.003	1.000	ใกล้ ∞	1.051
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.001
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

ตารางผนวกที่ ค24 (ต่อ)

n	ϕ	แผนภูมิควบคุม			
		RUNSUM	FIR-EWMA	CS	REWMA
30	0.2	5.952	1.172	1000.000	7.092
	0.4	1.318	1.000	ใกล้ ∞	1.715
	0.6	1.009	1.000	ใกล้ ∞	1.070
	0.8	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.002
	1	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	1.6	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	2	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000
	5	1.000	1.000	ใกล้ ∞	1.000

หมายเหตุ แผนภูมิ FIR-EWMA และ แผนภูมิควบคุม REWMA ใช้ $\alpha = 0.9$

ใกล้ ∞ หมายถึง ไม่มีค่าสถิติของตัวอย่างที่สุ่มมาออกนอกขีดจำกัดการควบคุม

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายสัญญาชัย ทองสุขใส
วัน เดือน ปี ที่เกิด	เกิดวันที่ 25 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2532
สถานที่เกิด	อำเภอลำทับ จังหวัดกระบี่
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (สถิติธุรกิจและการประกันภัย) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (2554)
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนการศึกษาผู้ช่วยสอน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2555 และพ.ศ. 2556)