การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของเสีย

นางสาวเพ็ญนภา เจริญศิลป์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-7041-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON ON EFFICIENCY OF CONTROL CHARTS FOR DETECTING A SHIFT IN FRACTION NONCONFORMING

Miss Pennapa Charoensin

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Statistics
Faculty of Commerce and Accountancy
Chulalongkorn University

Academic Year 2004
ISBN 974-17-7041-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของเสีย
โดย	นางสาวเพ็ญนภา เจริญศิลป์
สาขาวิชา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา)

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

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพ็ญนภา เจริญศิลป์ : การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของเสีย (A COMPARISON ON EFFICIENCY OF CONTROL CHARTS FOR DETECTING A SHIFT IN FRACTION NONCONFORMING)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ร.อ. มานพ วราภักดิ์ : 180 หน้า. ISBN 974-17-7041-3

ในการทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แผนภูมิอาร์คไซน์ แผนภูมิเรขาคณิต และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ โดยใช้เกณฑ์ควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 (α) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ในกรณีที่ควบคุมค่า α ได้จะทำการเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ของแต่ละแผนภูมิในแต่ละสถานการณ์ ถ้าแผนภูมิใดให้ค่า ARL ต่ำที่สุด จะถือว่าแผนภูมินั้นมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในสถานการณ์นั้น ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ระดับขนาดเล็ก p_0 = 0.0001, 0.0003 , 0.0005 , 0.0007, 0.0009 ระดับขนาดปานกลาง p_0 = 0.001, 0.003 , 0.005 , 0.007, 0.009 , 0.01, 0.03 , 0.05 , 0.07, 0.09 และระดับขนาดใหญ่ p_0 = 0.10 , 0.15 , 0.20 โดยขนาดตัวอย่าง (n) ขึ้นอยู่กับค่า p_0 เมื่อค่า p_0 อยู่ในระดับขนาดเล็ก ค่า n = 100 , 125 , 150 , 175 , 200 , 250 , 300, 350 , 400 , 450 , 500 ค่า p_0 อยู่ในระดับขนาดปานกลาง ค่า n = 5 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 , 40 , 45 , 50 , 100 , 125 , 150 , 175 , 200 , 250 , 300 , 350 , 400 , 450 , 500 และค่า p_0 อยู่ในระดับขนาดใหญ่ ค่า n = 5 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 , 40 , 45 , 50 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของเสียเพิ่มขึ้นเมื่อกระบวนการผิดปกติ 1% , 3% , 5% , 7% , 9% , 10% ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล 1,000 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์ของการทดลอง

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียสามารถควบคุมค่า α ได้ในกรณีต่อไปนี้ แผนภูมิเรขาคณิตควบคุมได้เมื่อ $p_0 \leq$ 0.0009 แผนภูมิอาร์คไซน์ควบคุมได้เมื่อ $np_0 \leq 2$ และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ควบคุมได้เมื่อ $np_0 \geq$ 0.1

2. ที่ทุกระดับการเปลี่ยนแปลงให้ผลการตรวจสอบดังต่อไปนี้ ค่า p_0 อยู่ในระดับขนาดเล็กแผนภูมิเรขาคณิตให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ค่า p_0 อยู่ในระดับขนาดปานกลางและขนาดใหญ่ แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด เมื่อ $np_0 \geq 0.1$ และแผนภูมิอาร์คไซน์ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด เมื่อ $0.005 \leq np_0 < 0.1$

ภาควิชา.....สถิติ.....

สาขาวิชา.....สถิติ.....

ปีการศึกษา.....2547.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

#4482335226 : MAJOR STATISTICS

KEYWORD : CONTROL CHART/FRACTION NONCONFORMING/ARL

PENNAPA CHAROENSIN : A COMPARISON ON EFFICIENCY OF CONTROL CHARTS FOR DETECTING A SHIFT IN FRACTION NONCONFORMING.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CAPT. MANOP VARAPHAKDI,180 pp.

ISBN 974-17-7041-3

The objective of this research is to compare the efficiency of fraction nonconforming charts: Arcsine Chart , Geometric Chart and Synthetic Control Chart. The charts that are in type-I error (α) control will be compared their efficiency. The efficiency of each chart is measured by its average run lengths (ARL). The chart having smallest ARL is considered to be the best. There are three levels of standard fraction nonconforming p_0 : low level p_0 = 0.0001, 0.0003 , 0.0005 , 0.0007 , 0.0009 , medium level p_0 = 0.001, 0.003 , 0.005 , 0.007, 0.009 , 0.01, 0.03, 0.05 , 0.07, 0.09 and high level p_0 = 0.10,0.15, 0.20 . Sample size (n) is set depending on p_0 . 1) If p_0 is in low level then n are 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 , 2) If p_0 is in medium level then n are 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 , 3) If p_0 is in high level then n are 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50. Shift of the fraction of nonconforming are 1%, 3%, 5%, 7%, 9% and 10% , respectively. Data used in this research are generated from the Bernoulli distribution through the Monte Carlo simulation method. The average run length computed for each situation run. The simulation is repeated 1,000 times in each situation.

The results of this research are as follows:

1. In case of usual process . Geometric Chart is in α control if $p_0 \leq$ 0.0009 , Arcsine Chart is in α control if $np_0 \leq$ 2 and Synthetic Control Chart is in α control if $np_0 \geq$ 0.1 .

2. In case of unusual process. If the standard fraction nonconforming p_0 is in low level , the Geometric Chart gives smallest ARL . If p_0 is in medium and high levels $np_0 \geq$ 0.1 , the Synthetic Control Chart gives smallest ARL and 0.005 $\leq np_0 <$ 0.1 , the Arcsine Chart gives smallest ARL .

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

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

Academic year……..…2004……..

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดี จาก รองศาสตราจารย์ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดี จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ในความกรุณาของท่านไว้ ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา และ อาจารย์ ดร.เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์ ในฐานะประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ครู-อาจารย์ ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ศิริรัตน์ ภาศักดี ผู้อำนวยการวิทยาเขตบพิตรพิมุข จักรวรรดิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ อาจารย์ชูศรี ลีตะภวังค์ ผู้ช่วยผู้อำนวยการฝ่ายกิจการพิเศษ และอาจารย์พัศนีย์ นันตา หัวหน้าคณะวิชาศึกษาทั่วไป ที่ท่านได้ให้โอกาสและให้การสนับสนุนการเรียนด้วยดีเสมอมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาเป็นอย่างสูงรวมทั้งขอขอบคุณ พี่ น้อง และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ฌ
สารบัญภาพ		ฑ
บทที่		
1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
	1.3 สมมติฐานของการวิจัย	4
	1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
	1.5 เกณฑ์ในการตัดสินใจ	5
	1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	7
	1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
2	ทฤษฎีและสถิติที่เกี่ยวข้อง	8
	2.1 การแจกแจงแบร์นูลลี	8
	2.2 การแจกแจงทวินาม	9
	2.3 การแจกแจงเรขาคณิต	10
	2.4 แผนภูมิ อาร์คไซน์	12
	2.5 แผนภูมิเรขาคณิต	13
	2.6 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์	16
	2.7 ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1	19
	2.8 ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย	20
3	วิธีดำเนินงานวิจัย	21
	3.1 การวางแผนการทดลอง	21
	3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	22
	3.3 การสร้างเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอ	27

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.4 การสร้างเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบร์นูลลี	28
4	ผลการวิจัย	29
	4.1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม	30
	4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1	44
	4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย	61
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	86
	5.1 สรุปผลการวิจัย	87
	5.2 ข้อเสนอแนะ	88
รายการอ้างอิง		90
บรรณานุกรม		91
ภาคผนวก		92
	ภาคผนวก ก	93
	ภาคผนวก ข	163
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		180

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.0001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 30

4.2 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.0003,0.0005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 31

4.3 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.0007,0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 32

4.4 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 33

4.5 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 34

4.6 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 35

4.7 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 36

4.8 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 37

4.9 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.01 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 38

4.10 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 39

4.11 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.05 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 40

4.12 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 41

4.13 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 42

4.14 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.10,0.15,0.20 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 43

4.15 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.0001,0.0003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 45

4.16 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.0005,0.0007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 46

4.17 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 47

4.18 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 48

4.19 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 49

4.20 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 50

4.21 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 51

4.22 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 52

4.23 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.01 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 53

4.24 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 54

ตารางที่ หน้า

4.25 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.05 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 55
4.26 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 56
4.27 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 57
4.28 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.10,0.15,0.20 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 58
4.29 แสดงวิธีการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า α ไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด
โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n 60
4.30 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.0001,0.0003
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 61
4.31 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.0005,0.0007
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 62
4.32 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 63
4.33 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 64
4.34 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 65
4.35 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 66
4.39 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 67
4.37 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 68
4.38 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.01 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 69
4.39 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 70
4.40 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.05 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 71
4.41 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 72
4.42 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 73
4.43 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.10 ค่า p_0 =0.10,0.15,0.20
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 74
ก1. แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.01 ค่า p_0 =0.0001,0.0003
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 93
ก2. แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.01 ค่า p_0 =0.0005,0.0007
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 94
ก3. แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.01 ค่า p_0 =0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 95
ก4. แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 0.01 ค่า p_0 =0.001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 96

ตารางที่ หน้า

ก5. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 =0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 97
ก6. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 =0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 98
ก7. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 =0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 99
ก8. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 =0.009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 100
ก9. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 =0.01 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 101
ก10. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 =0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 102
ก11. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 =0.05 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 103
ก12. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 =0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 104
ก13. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 =0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 105
ก14. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 =0.10,0.15,0.20
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 106
ก15. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.0001,0.0003
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 107
ก16. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.0005,0.0007
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 108
ก17. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 109
ก18. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 110
ก19. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 111
ก20. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 112
ก21. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 113
ก22. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 114
ก23. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.01 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 115
ก24. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 116
ก25. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.05 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 117
ก26. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 118
ก27. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 119
ก28. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 =0.10,0.15,0.20
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 120

ตารางที่ หน้า

ก29. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.0001,0.0003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 121
ก30. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.0005,0.0007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 122
ก31. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 123
ก32. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 124
ก33. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 125
ก34. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 126
ก35. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 127
ก36. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 128
ก37. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.01 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 129
ก38. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 130
ก39. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.05 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 131
ก40. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 132
ก41. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 133
ก42. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า p_0 =0.10,0.15,0.20 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 134
ก43. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.0001,0.0003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 135
ก44. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.0005,0.0007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 136
ก45. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 137
ก46. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 138
ก47. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 139
ก48. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 140
ก49. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 141
ก50. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 142
ก51. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.01 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 143
ก52. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 144

ตารางที่ หน้า

ก53. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.05 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 145
ก54. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 146
ก55. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 147
ก56. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า p_0 =0.10,0.15,0.20
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 148
ก57. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.0001,0.0003
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 149
ก58. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.0005,0.0007
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 150
ก59. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 151
ก60. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 152
ก61. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 153
ก62. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 154
ก63. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 155
ก64. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 156
ก65. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.01 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 157
ก66. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 158
ก67. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.05 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 159
ก68. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 160
ก69. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 161
ก70. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า p_0 =0.10,0.15,0.20
และกลุ่มตัวอย่างขนาด n 162

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แผนผังสรุปขั้นตอนของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์..... 17

3.1 แผนผังแสดงการหาค่าความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างจะออกนอกการควบคุมเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม..... 24

3.2 แผนผังแสดงวิธีการหาจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย..... 26

4.1 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.0001 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 75

4.2 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.0003 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 75

4.3 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.0005 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 76

4.4 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.0007 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 76

4.5 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.0009 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 77

4.6 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.001 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 77

4.7 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.003 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 78

4.8 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.005 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 78

4.9 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.007 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 79

4.10 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.009 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 79

4.11 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.01 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 80

ภาพที่ หน้า

4.12 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.03
และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 80
4.13 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.05
และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 81
4.14 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.07
และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 81
4.15 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.09
และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 82
4.16 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.10
และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 82
4.17 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.15
และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 83
4.18 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.20
และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n 84

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ มีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตหลาย ๆ กระบวนการ เนื่องจากในการผลิตสินค้าใด ๆ ย่อมต้องการสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพได้ตามมาตรฐานที่กำหนด เพื่อทำให้ผู้ซื้อเกิดความพึงพอใจและเกิดความน่าเชื่อถือในสินค้าหรือผลิตภัณฑ์นั้นๆ ซึ่งข้อกำหนดที่ตั้งขึ้นมาก็คือระดับความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์หรือระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ในการที่จะผลิตสินค้าให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนดนั้น มีปัจจัยหลายๆปัจจัยด้วยกัน เช่น คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และกรรมวิธีการผลิต เป็นต้น แต่ในกระบวนการผลิตมักจะเกิดความผันแปรในกระบวนการผลิตได้เสมอ ซึ่งความผันแปรนี้เป็นสาเหตุให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามที่กำหนด ทำให้ผลิตภัณฑ์บางส่วนมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมความผันแปรของกระบวนการผลิต และหนทางหนึ่งของการควบคุมคือการนำวิธีการทางสถิติเข้ามาใช้ในการควบคุมคุณภาพ โดยการสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพขึ้นมา

แผนภูมิควบคุมคุณภาพเป็นเครื่องมือหนึ่งในทางสถิติ ที่ใช้ในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต ลักษณะของแผนภูมิควบคุมจะเป็นกราฟแสดงการกระจายของค่าวัดของสิ่งที่ต้องการควบคุม แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ดีจะต้องสามารถแสดงค่าวัดที่ผิดปกติ ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตผิดปกติจากมาตรฐานได้เร็วและแม่นยำ

แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ใช้ควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของข้อมูลที่ใช้ คือ แผนภูมิควบคุมตัวแปร (Control Chart for Variable) และแผนภูมิควบคุมคุณลักษณะ (Control Chart for Attribute)

แผนภูมิควบคุมตัวแปร เป็นแผนภูมิควบคุมคุณภาพจากการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยตัวแปรคือ การตรวจวัดที่สามารถวัดได้ในเชิงปริมาณ เช่น น้ำหนัก ปริมาตร ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นต้น สำหรับแผนภูมิควบคุมคุณลักษณะ เป็นแผนภูมิควบคุมคุณภาพจากการตรวจสอบด้วยคุณลักษณะ ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบไม่สามารถวัดค่าได้หรือวัดได้ยาก เช่น รอยตำหนิ ข้อบกพร่อง ใช้ได้หรือใช้ไม่ได้ โดยจะพิจารณาข้อมูลของแต่ละหน่วยของผลิตภัณฑ์

มีข้อบกพร่องหรือไม่มีข้อบกพร่อง เสียหรือไม่เสีย สำหรับในการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาแผนภูมิควบคุมคุณภาพจากการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยคุณลักษณะ

แผนภูมิควบคุมคุณภาพจากการตรวจสอบด้วยคุณลักษณะที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในการตรวจสอบสัดส่วนของเสีย คือ แผนภูมิพี (p-chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงการเปลี่ยนแปลงหรือความผันแปรของสัดส่วนสินค้าเสียหรือถือว่าบกพร่องที่ผลิตขึ้นมาด้วยขอบเขต $p \pm 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$ ซึ่งแผนภูมินี้จัดอยู่ในกลุ่มแผนภูมิ Shewhart เป็นการใช้คุณสมบัติการประมาณด้วยการแจกแจงปกติ สร้างขอบเขตควบคุม $\mu \pm 3\sigma$ โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยของกระบวนการและ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ โดยขอบเขตดังกล่าวมีโอกาสที่จุดตกออกนอกขอบเขตร้อยละ 0.27 เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม การประมาณการแจกแจงทวินามด้วยการแจกแจงปกตินี้ใช้ได้ดีด้วยเงื่อนไข $np > 5$ ซึ่งกล่าวไว้โดย Acheson[1] (Acheson,J.,D. 1986)

ต่อมาได้มีผู้คิดค้นพัฒนาแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียอีกมากมายด้วยวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการและมีความผิดพลาดของการตรวจสอบน้อย

ปี 1997 Thomas P. Ryan & N.C.Schwertman. ได้เสนอการศึกษาขอบเขตที่เหมาะสมสำหรับแผนภูมิควบคุมลักษณะ จากการแปลงข้อมูลด้วยอาร์คไซน์ (Arcsine Tansform) คือ $y = \sin^{-1}\sqrt{\frac{x}{n+1}} + \sin^{-1}\sqrt{\frac{x+1}{n+1}}$ โดยที่ x จำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่างขนาด n ดังนั้น y คือค่าที่ได้จากการแปลงข้อมูลด้วยอาร์คไซน์เพื่อนำมาตรวจสอบกับขอบเขตควบคุมคุณภาพ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกับแผนภูมิพี โดยการศึกษาของ Thomas P. Ryan & N.C.Schwertman ในครั้งนี้ทำการทดลองเมื่อสัดส่วนของเสียมีค่าตั้งแต่ 0.005 ถึง 0.10 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและสัดส่วนของเสียลดลง สรุปได้ว่าการแปลงข้อมูลด้วยอาร์คไซน์ให้ผลการตรวจสอบที่ดีกว่าแผนภูมิพี

ปี ค.ศ. 2000 Thomas P. Ryan ได้เสนอการแปลงข้อมูลที่น่าสนใจเพิ่มขึ้นด้วยฟังก์ชัน

$$y = \sin^{-1}\sqrt{\frac{x+\frac{3}{8}}{n+\frac{3}{4}}}$$

---

[1] Acheson J.,D. 1986. QUALITY CONTROL AND INDUSTRIAL STATISTICS 5th ed.(Ilinois, Homewood):IRWIN , P. 452

ซึ่งเป็นการแปลงข้อมูลที่ให้ผลการตรวจสอบกระบวนการได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชันอาร์คไซน์ ที่ได้เสนอในปี 1997 ด้วยว่าแผนภูมิที่ใช้ในการแปลงข้อมูลด้วยอาร์คไซน์นี้จะช่วยให้ข้อมูลที่มีการแจกแจงทวินามเข้าสู่การแจกแจงปกติและช่วยลดขนาดของกลุ่มตัวอย่างลง

ปี ค.ศ. 2001 Zhang W.,Song Huat Yeo และ Trevor A. Spedding [2] ได้เสนอแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของเสียโดยเกิดจากการรวมกันระหว่างแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np chart) และแผนภูมิคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ CRL (Conforming Run Length Control Chart) พบว่าในการทดลองของ Zhang นี้ได้ทำการทดสอบ (Numerical test) ชี้ให้เห็นว่าแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงกว่าแผนภูมิพี (p-chart) , แผนภูมิควบคุมของเสีย (np chart) และแผนภูมิคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ CRL (Conforming Run Length Control Chart) ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของเสียที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของสีย (δ) เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากสัดส่วนของเสียเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

ปี ค.ศ. 2002 Zhenlin Yang,Min Xie,Vellaisamy Kuralmani และ Kwok-Leung Tsui [3] ได้เสนอแผนภูมิเรขาคณิต(Geometric Chart) ที่มีพื้นฐานมาจากการแจกแจงเรขาคณิต สำหรับกระบวนการตรวจสอบจำนวนของเสีย โดยเฉพาะสำหรับการประยุกต์ในกระบวนการที่มีคุณภาพสูง โดยศึกษาแผนภูมิเรขาคณิตในกรณีที่ทราบค่าสัดส่วนของเสียในการควบคุม และไม่ทราบค่าโดยทำการศึกษาผลกระทบของขนาดตัวอย่างเมื่อสัดส่วนของเสียได้จากการประมาณค่า

จากการศึกษาผลงานต่างๆข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ยังไม่มีผู้ใดศึกษาเปรียบเทียบพร้อมกันมาก่อน แผนภูมิที่สนใจคือแผนภูมิอาร์คไซน์ (Arcsine-Chart) แผนภูมิเรขาคณิต (Geometric Chart) และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) เพื่อเปรียบเทียบว่าแผนภูมิชนิดใดเหมาะที่จะใช้ เมื่อกระบวนการผิดปกติโดยมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียในระดับต่าง ๆ ซึ่งจะทดลองในขนาดตัวอย่างที่แตกต่างกัน แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแต่ละแผนภูมิด้วยการใช้จำนวนตัวอย่างที่ต้องใช้ในการตรวจสอบกระบวนการจนกว่าจะพบการออกนอกการควบคุม คำนวณเป็นค่าเฉลี่ย

---

[2] Zhang Wu , Song Huat Yeo and Trevor A.Spedding. 2001. A Synthetic Control Chart for Detecting Fraction Nonconforming Increases. Journal of Quality Technology 33: P 104-111.

[3] Zhenlin Yang, Min Xie ,Vellaisamy Kuralmani and Kwok-Leung Tsui . 2002.On the Performance of Geomatric Charts with Estimated Control Limits.Journal of Quality Technology 34 : P 448 - 458.

เรียกว่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length; ARL) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของแผนภูมิควบคุมจากการตรวจวัดด้วยคุณลักษณะซึ่งประกอบด้วย

1.1 แผนภูมิอาร์คไซน์ (Arcsine-Chart)

1.2 แผนภูมิเรขาคณิต (Geometric Chart)

1.3 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart)

2. เพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ สำหรับใช้ในการตัดสินใจเลือกแผนภูมิแต่ละชนิดไปใช้ในแต่ละสถานการณ์

1.3 สมมติฐานการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาด้วยสมมติฐานการวิจัย ดังต่อไปนี้

แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียในกระบวนการได้ดีกว่าแผนภูมิอาร์คไซน์ และแผนภูมิควบคุมเรขาคณิตในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยในสัดส่วนของเสีย

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ มีขอบเขตของการศึกษา ดังนี้

1. ข้อมูลที่นำมาศึกษาได้จากการจำลองข้อมูลด้วยการแจกแจงแบบแบร์นูล (Bernoulli Distribution) ให้ $Y_1, Y_2, Y_3, ...Y_n$ แทนค่าวัดของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตที่มีการแจกแจงแบบแบร์นูลลี $Y \sim Ber(p)$ ซึ่ง

$$Y = \begin{cases} 0 & \text{แทนผลิตภัณฑ์ที่ไม่เสีย} \\ 1 & \text{แทนผลิตภัณฑ์ที่เสีย} \end{cases}$$

ดังนั้น $P(Y=y)=(p_1)^{y}(1-p_1)^{1-y}$, $y=0,1$

โดยที่ $p_1=(1+\delta)p_0$, $0 \le (1+\delta)p_0 \le 1$

Y คือ ผลการตรวจลักษณะของตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ

δ คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสีย

p_0 คือ สัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม

p_1 คือ สัดส่วนของเสียที่เปลี่ยนแปลงจากมาตรฐานที่ต้องการควบคุม

โดยที่ $p_1=(1+\delta)p_0$ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม $\delta=0$ แสดงว่าสัดส่วนของเสียไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อกระบวนผิดปกติ $\delta \neq 0$ นั่นคือ ถ้า $\delta<0$ แสดงว่าสัดส่วนของเสียลดลง และถ้า $\delta>0$ แสดงว่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้สนใจกรณีที่สัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นเท่านั้น

2. กำหนดสัดส่วนของเสียเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม (p_0) = 0.0001 , 0.0003 , 0.0005 , 0.0007 , 0.0009 , 0.001 , 0.003 , 0.005 , 0.007 , 0.009 , 0.01 , 0.03 , 0.05 , 0.07 , 0.09 , 0.10 , 0.15 , 0.20

3. กำหนดอัตราเพิ่มขึ้นของสัดส่วนของเสียเท่ากับ $100\delta\%$ ของ p_0 ได้สัดส่วนของเสียที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม $p_1=(1+\delta)p_0$ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้กำหนด δ = 0.01 , 0.03 , 0.05 , 0.07 , 0.09 , 0.10

4. กำหนดขนาดตัวอย่าง n ตามค่า p_0 ดังนี้

- เมื่อ p_0 = 0.0001 ถึง 0.0009 , n = 100 , 125 , 150 ,175 , 200 , 250 , 300 , 400 , 450 , 500
- เมื่อ p_0 = 0.001 ถึง 0.09 , n = 5 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 , 40 , 45 , 50 , 60 , 70 , 80 , 90 , 100 , 150 , 200 , 250 , 300 , 350 , 400 , 450 , 500
- เมื่อ p_0 = 0.10 ถึง 0.20 , n = 5 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 , 40 , 45 , 50

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

1.5 เกณฑ์ในการตัดสินใจ

การวิจัยครั้งนี้ใช้ค่าในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ดังนี้

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

ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 หมายถึงความน่าจะเป็นที่จะเกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม แต่ความเป็นจริงกระบวนการยังคงอยู่ภายใต้การควบคุม แทนด้วย α = P (ค่าตัวอย่าง < ขอบเขตล่างของแผนภูมิควบคุม (LCL) หรือ ค่าตัวอย่าง > ขอบเขต บนของแผนภูมิควบคุม (UCL) | กระบวนการอยู่ในการควบคุม) จะประมาณ α ด้วย $\hat{\alpha}$ ซึ่งกำหนดให้

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{h}\sum_{t=1}^{h} d_t$$

โดยที่ h คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

d_t คือ ลักษณะของค่าวัดกลุ่มตัวอย่างที่ t ในการทดลอง เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

เมื่อ

$$d_t = \begin{cases} 0 & \text{ถ้าค่าวัดกลุ่มตัวอย่างที่ } t \text{ ตกอยู่ในเขตควบคุม } t \\ 1 & \text{ถ้าค่าวัดกลุ่มตัวอย่างที่ } t \text{ ตกออกนอกเขตควบคุม } t \end{cases}$$

2. ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length: ARL)

ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length: ARL)คือจำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องการตรวจสอบจนกระทั่งพบการออกนอกการควบคุม เมื่อกระบวนการเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของเสีย แผนภูมิควบคุมใดให้ค่า ARL ที่ต่ำที่สุดจะเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยค่า ARL สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

โดยที่ k คือ จำนวนครั้งของการทดลองในแต่ละสถานการณ์

L_t คือ จำนวนตัวอย่างที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการผลิตผิดปกติในทดลองครั้งที่ t

ในขั้นตอนนี้จะทำการพิจารณาเฉพาะแผนภูมิควบคุมที่ผ่านการตรวจสอบว่าสามารถควบคุมค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้เท่านั้น

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

คำจำกัดความหลักในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่

1. ขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit ; UCL) คือ ค่าสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม

2. ขอบเขตควบคุมล่าง (Lower Control Limit ; LCL) คือ ค่าต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม

3. ความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length ; ARL) คือ จำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม

4. ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (α) คือ ความน่าจะเป็นที่เกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนออกนอกการควบคุม แต่ความเป็นจริงกระบวนการยังอยู่ภายใต้การควบคุม

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการวิจัยครั้งนี้ คือ

1. เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ จากการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมในกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของเสีย

2. เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้แผนภูมิควบคุมได้อย่างเหมาะสมในแต่ละสถานการณ์

3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมอื่น ๆ สำหรับการควบคุมสัดส่วนของเสียในกระบวนการภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและสถิติที่เกี่ยวข้อง

การควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีสำหรับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบในการวิจัยครั้งนี้คือ แผนภูมิอาร์ค์ไซน์ แผนภูมิเรขาคณิต และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ให้ $Y_1, Y_2, Y_3, \ldots$ แทนค่าวัดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา แบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ กลุ่มละจำนวน n การแบ่งกลุ่มควรให้มีสมาชิกในกลุ่มมีความเหมือนกันมากที่สุด เช่น ผลิตจากคาบเวลาเดียวกัน หรือจากเครื่องจักรตัวเดียวกัน

2.1 การแจกแจงแบร์นูลลี (Bernoulli Distribution)

ผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นมีการแจกแจงแบร์นูลลีด้วยลักษณะดังนี้

ให้ Y_i แทนผลการตรวจสอบลักษณะของผลิตภัณฑ์หน่วยที่ i

และ p คือพารามิเตอร์แทนค่าสัดส่วนของเสีย

n คือขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ

โดยที่

$$Y = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อผลิตภัณฑ์หน่วยที่ i มีลักษณะไม่เป็นของเสีย} \\ 1 & \text{เมื่อผลิตภัณฑ์หน่วยที่ i มีลักษณะเป็นของเสีย} \end{cases}$$

ดังนั้น Y_i จะมีการแจกแจงแบบแบร์นูลลีโดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นคือ

$$f(y;p) = P(Y_i = y) = p^y(1-p)^{1-y}, \quad y = 0,1 \tag{2.1}$$

Y_i มีค่าเฉลี่ย $[E(Y)]$ และความแปรปรวน $[V(Y)]$ ดังนี้

$$\begin{aligned} E(Y) &= \sum_{y=0}^{1} y f(y;p) \\ &= 0(1-p)+1(p) = p \\ E(Y^2) &= \sum_{y=0}^{1} y^2 f(y;p) \\ &= 0^2(1-p)+1^2(p) = p \\ V(Y) &= E(Y^2)-[E(Y)]^2 \\ &= p - p^2 = p(1-p) \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น Y_i มีค่าเฉลี่ย p และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\sqrt{p(1-p)}$

จำนวนของเสีย $X=\sum_{i=1}^{n} Y_i$ และสมมติ $Y_1, Y_2, Y_3, ..., Y_n$ เป็นอิสระต่อกัน

ดังนั้น $X=\sum_{i=1}^{n} Y_i$ มีการแจกแจงทวินาม $b(n, p)$ โดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นคือ

$$f(x;n,p)=P(X=x)=\binom{n}{x}p^x(1-p)^{n-x}\ ,x=0,1,2,...,n$$

$$=\ 0 \qquad \text{อื่น ๆ}$$

2.2 การแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution)

จำนวนของเสียมีการแจกแจงทวินามด้วยลักษณะดังนี้

ให้ X คือ จำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่างขนาด n

n คือ ขนาดตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ

p คือ พารามิเตอร์แทนค่าสัดส่วนของเสีย

ดังนั้นจำนวนของเสียคือ $X=\sum_{i=1}^{n} Y_i$ มีการแจกแจงทวินาม $b(n, p)$ โดย จากหัวข้อ 2.1 มีฟังก์ชันความน่าจะเป็นคือ

$$f(x;n,p)=P(X=x)=\binom{n}{x}p^x(1-p)^{n-x}\ ,x=0,1,2,...,n \qquad (2.2)$$

$$=\ 0 \quad \text{อื่น ๆ}$$

และ X มีค่าเฉลี่ย$[E(X)]$ และความแปรปรวน$[V(X)]$ดังนี้

$$\mu=E(X) \ = \ \sum_{i=1}^{n} E(Y_i)$$
$$= \ np$$

$$\sigma^2=V(X) \ = \ \sum_{i=1}^{n} Var(Y_i)$$
$$= \ np(1-p)$$

เพราะฉะนั้น X มีค่าเฉลี่ย np และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\sqrt{np(1-p)}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 **การแจกแจงเรขาคณิต** (Geometric Distribution)

เมื่อทำการทดลองแบบแบร์นูลลีซ้ำๆ อย่างเป็นอิสระกัน และการทดลองแต่ละครั้งมีความน่าจะเป็นเกิดผลสำเร็จเท่ากับ p , $0 < p \leq 1$ ให้ X แทนจำนวนครั้งไม่เกิดผลสำเร็จก่อนที่จะเกิดผลสำเร็จเป็นครั้งแรกฉะนั้น X มีปริภูมิ $R = \{x : x = 0,1,2,...\}$ และมีความน่าจะเป็น

$P(X = x)$ = $P($ผลไม่สำเร็จเกิดขึ้นในการทดลอง x ครั้งแรกและเกิดผลสำเร็จในการทดลองครั้งที่ $x+1)$

= $q^x p, \qquad q = 1 - p$

ให้ $p(x) = P(X = x) = pq^x$ สำหรับ $x \in R$ และให้ $p(x) = 0$ สำหรับ $x \notin R$ ได้ว่า $p(x) \geq 0$ สำหรับทุกค่า x และ $\sum_x p(x) = \sum_{x=0}^{\infty} pq^x = p\left(\frac{1}{1-q}\right) = 1$ เพราะฉะนั้น $p(x)$ เป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็น

ตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงเรขาคณิต (Geometric distribution) โดยมี p , $0 < p \leq 1$ เป็นพารามิเตอร์เขียนแทนด้วย $X \sim Ge(p)$ ถ้า X มีฟังก์ชันความน่าจะเป็น

$$p(x) = p(x : p) = \begin{cases} pq^x & ; x = 0,1,2,.... \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases} \qquad (2.3)$$

ซึ่ง $q = 1 - p$

และ X มีค่าเฉลี่ย $[E(X)]$ และความแปรปรวน $[V(X)]$ดังนี้

$$E(X) = \sum_{x=0}^{\infty} xpq^x = p(q + 2q^2 + 3q^3 + ...)$$

$$= p\left[q\frac{d}{dq}(q + q^2 + q^3 + ...)\right]$$

$$= p\left[q\frac{d}{dq}\left(\frac{q}{1-q}\right)\right] = \frac{pq}{(1-q)^2} = \frac{q}{p}$$

$$Var(X) = E[X(X-1)] + E(X) - [E(X)]^2$$

โดยที่

$$E[X(X-1)] = \sum_{x=0}^{\infty} x(x-1)pq^x = p(2q^2 + 3\times 2q^3 + 4\times 3q^4 + \ldots)$$

$$= pq\frac{d}{dq}(q^2 + 2q^3 + 3q^4 + \ldots)$$

$$= pq\frac{d}{dq}q(q + 2q^2 + 3q^3 + \ldots)$$

$$= pq\frac{d}{dq}q\left(\frac{q}{(1-q)^2}\right)$$

$$= pq\left[\frac{2(1-q)^2 q + 2q^2(1-q)}{(1-q)^4}\right]$$

$$= pq\left(\frac{2q}{(1-q)^3}\right) = \frac{2q^2}{p^2}$$

เพราะฉะนั้น

$$Var(X) = \frac{2q^2}{p^2} + \frac{q}{p} - \frac{q^2}{p^2} = \frac{q}{p^2}$$

ในกรณีที่สนใจ X เป็นจำนวนครั้งทดลองจนกว่าจะเกิดผลสำเร็จ จะได้ X มีปริภูมิ $R = \{x : x = 1, 2, 3, \ldots\}$ (จะทำการทดลองย่อยอย่างน้อย 1 ครั้ง) และ X มีฟังก์ชันความน่าจะเป็นดังนี้

$P(X = x) = P($ ผลไม่สำเร็จเกิดขึ้นในการทดลอง $x-1$ ครั้งแรกและเกิดผลสำเร็จในการทดลองครั้งที่ $x)$

$$= q^{x-1}p \qquad \text{สำหรับ} \quad x = 1, 2, 3, \ldots \qquad (2.4)$$

$$= 0 \qquad \text{สำหรับค่า } x \text{ อื่นๆ}$$

และกล่าวว่า X มีการแจกแจงเรขาคณิต เช่นกัน ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ถ้ากล่าวถึงการแจกแจงเรขาคณิต $Ge(p)$ โดยหมายถึงการแจกแจงที่มีฟังก์ชันความน่าจะเป็น (2.3)

ถ้าให้ X แทนจำนวนครั้งไม่สำเร็จก่อนจะเกิดผลสำเร็จครั้งแรก และให้ Y แทนจำนวนครั้งทดลองจนกว่าจะเกิดผลสำเร็จครั้งแรก จะได้ความสัมพันธ์ $Y = X + 1$ และฉะนั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$E(Y) = E(X) + 1 = \frac{q}{p} + 1 = \frac{1}{p}$$

$$Var(Y) = Var(X) = \frac{q}{p^2}$$

และ Y มีฟังก์ชันความน่าจะเป็น (2.4)

$$P_y(y) = P(Y = y) = P(X = y - 1) = pq^{y-1} \quad \text{สำหรับ} \quad y = 1, 2, 3, \ldots$$
$$= 0 \qquad \text{อื่นๆ}$$

2.4 **แผนภูมิอาร์คไซน์** (Arcsine -Chart)

ปี ค.ศ. 2000 Thomas P. Ryan ได้เสนอทางเลือกในการใช้แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วยอาร์คไซน์ สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบทวินาม โดยแผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วยอาร์คไซน์ มีลักษณะดังนี้

จากฟังก์ชันที่มีการแจกแจงแบบทวินาม (2.2) และ X_t คือ จำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่างขนาด n ซึ่งอิสระต่อกัน ให้

$$a_t = \sin^{-1}\sqrt{\frac{X_t + 3/8}{n + 3/4}} \quad , t = 1, 2, 3\ldots$$

โดยที่ t แทนคาบเวลาที่สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อหนึ่งกลุ่มการผลิตโดยที่ $t = 1, 2, 3, \ldots$ สามารถประมาณได้ด้วยการแจกแจงปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\sin^{-1}\sqrt{p}$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ $\frac{1}{2\sqrt{n}}$ เมื่อ $\sin^{-1}$ คือฟังก์ชันอาร์คไซน์ในตรีโกณมิติ

ค่าที่นำมาทดสอบกับขอบเขตควบคุมคือค่า $a_t \ , t = 1, 2, 3\ldots$ จากทฤษฎีลิมิตลู่เข้าสู่ศูนย์กลางสามารถสรุปได้ว่า $a_t \sim N(\mu, \sigma^2)$ โดยประมาณ เมื่อกระบวนอยู่ในการควบคุม a_t มี $\mu = \sin^{-1}\sqrt{p_0}$ และ $\sigma = \frac{1}{2\sqrt{n}}$ ดังนั้นขอบเขตการยอมรับ $\mu \pm 3\sigma$ ภายใต้การแจกแจงปกติ ทำให้ได้ขอบเขตการควบคุมคือ

$$UCL = \sin^{-1}\sqrt{p_0} + \frac{3}{2\sqrt{n}}$$

$$LCL = \sin^{-1}\sqrt{p_0} - \frac{3}{2\sqrt{n}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้า a_t มีค่ามากกว่าเขตจำกัดควบคุมบนหรือน้อยกว่าเขตจำกัดล่างกระบวนการไม่อยู่ในเขตควบคุม

2.5 **แผนภูมิควบคุมเรขาคณิต** (Geometric Chart)

ปี ค.ศ. 2002 Zhenlin Yang,Min Xie, Vellaisamy Kural Mani และ Kwok-Leug Tsui ได้เสนอแผนภูมิควบคุมเรขาคณิต (Geometric Chart) เป็นแผนภูมิที่ได้จากการแจกแจงแบบเรขาคณิตเพื่อใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสีย สำหรับกระบวนการที่ต้องการคุณภาพสูงในการผลิตซึ่ง ให้ผลลัพธ์ของการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในแต่ละครั้งเป็นการทดลองแบบแบร์นูลลี โดยกำหนดให้ W_i เป็นจำนวนของไม่เสียที่อยู่ระหว่างของเสียตัวที่ $i-1\,(Y_{i-1})$ กับตัวที่ $i\ \ (Y_i)$ ดังนั้น W_i+1 เป็นตัวแปรสุ่มเรขาคณิตโดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นของ W_i คือ

$$g(w_i) = p_0(1-p_0)^{w_i} \quad w_i = 0,1,2,...$$

ซึ่งได้ $$P(W_i \geq w_i) = (1-p_0)^{w_i}$$

การกำหนดขอบเขตควบคุมแผนภูมิเรขาคณิตกำหนดให้ $P(W_i < LCL) = \frac{\alpha}{2}$ และ $P(W_i > UCL) = \frac{\alpha}{2}$ โดยทั่วไปค่า $\frac{\alpha}{2}$ จะถูกกำหนด และจะทำการออกแบบแผนภูมิได้ดังนี้ สำหรับกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมมีสัดส่วนของเสียเท่ากับ p_0

$$P(W_i < LCL) = \frac{\alpha}{2}$$

$$\sum_{w_i=0}^{LCL-1} (1-p_0)^{w_i} p_0 = \frac{\alpha}{2}$$

$$1-(1-p_0)^{LCL} = \frac{\alpha}{2}$$

และดังนั้น

จะได้ $$LCL = \frac{\ln(1-\alpha/2)}{\ln(1-p_0)}$$

ในทำนองเดียวกันให้

$$P(W_i > UCL) = \frac{\alpha}{2}$$

$$\sum_{w_i=UCL+1}^{\infty} (1-p_0)^{w_i} p_0 = \frac{\alpha}{2}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$(1-p_0)^{UCL+1} = \frac{\alpha}{2}$$

และดังนั้น

จะได้ $$UCL = \frac{\ln(\alpha/2)}{\ln(1-p_0)} - 1$$

โดยกำหนดค่า $\alpha = 0.0027$ ซึ่งเป็นระดับความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ระดับเดียวกับแผนภูมิอาร์คไซน์ ดังนั้นได้ขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิเรขาคณิตดังนี้

$$LCL = \frac{\ln(1-\alpha/2)}{\ln(1-p_0)}$$

เนื่องจากค่า W_i มีค่าเล็ก จะแสดงถึงกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม เพราะฉะนั้นขอบเขตควบคุมนี้จะมีเฉพาะขอบเขตควบคุมล่างเท่านั้น

เกณฑ์การตัดสินใจ

ถ้า W_i มีค่าน้อยกว่าขอบเขตควบคุมล่าง LCL แล้วกระบวนการจะไม่อยู่ภายใต้การควบคุม

2.6 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart)

ปี ค.ศ. 2001 Zhang W.,Song Huat Yeo และ Trevor A. Spedding ได้เสนอแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์เป็นแผนภูมิควบคุมที่มาจากการรวมกันระหว่างแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np-chart)และแผนภูมิคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ CRL (Conforming Run Length Control Chart) ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละแผนภูมิดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย(np-chart) คือแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียในกรณีที่ขนาดตัวอย่างในแต่ละกลุ่มย่อยเท่ากันมีขอบเขตควบคุมดังนี้

$$UCL_{np} = np_0 + 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$$

$$LCL_{np} = np_0 - 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$$

กำหนดให้ X_t เป็นจำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่างขนาด n และ t แทนคาบเวลาที่สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อหนึ่งกลุ่มการผลิตโดยที่ $t = 1, 2, 3, \ldots$ สำหรับแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np-chart) ค่า X_t ที่เหมาะสมควรคือ $X_t \le UCL_{np}$ เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมเนื่องจากลักษณะการผิดปกติเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อจำนวนของเสียมีขนาดสูงในที่นี้คือ UCL_{np}

2. แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์เป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้ควบคุมขนาดตัวอย่างที่ตรวจสอบจนกว่าจะพบ X_t ที่ผิดปกติ

ให้ CRL แทนจำนวน X_t ที่ต้องตรวจสอบจนกว่าจะพบ X_t ที่ผิดปกตินั่นคือ X_t มีค่ามากกว่า UCL_{np} โดยที่ $CRL \sim Ge(p)$ มีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น คือ $P(CRL = x) = q^{x-1}p \quad , x = 1, 2, \ldots$ ซึ่ง $p = P(X_t > UCL$ หรือ $X_t < LCL)$ คือความน่าจะเป็นที่หน่วยตัวอย่าง X_t ผิดปกติเมื่อกรรมวิธีอยู่ภายใต้การควบคุม ดังนั้นเมื่อต้องการตรวจสอบความไม่เป็นปกติของกระบวนจะมีข้อสมมติฐาน ดังนี้

$H_0 : p \le p_0$ (กรรมวิธีอยู่ภายใต้การควบคุม)
$H_1 : p > p_0$ (กรรมวิธีไม่อยู่ภายใต้การควบคุม)

ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ จะมีเพียงขอบเขตควบคุมล่าง (LCL_{CRL}) เพราะว่าเมื่อกระบวนการเกิดความผิดปกติ จะมีผลิตภัณฑ์เสียเกิดขึ้นได้เร็ว ดังนั้นค่า CRL ค่าน้อยเท่านั้นเท่านั้นที่จะบอกความผิดปกติของกระบวนการ

ด้วยแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ มีการตรวจสอบ 2 ครั้ง ดังนั้นจึงมีขอบเขตควบคุม 2 ขอบเขตควบคุมดังนี้

1. แผนภูมิ np มีขอบเขตควบคุมล่าง(LCL_{np}) และขอบเขตควบคุมบน (UCL_{np})ดังนี้

$$UCL_{np} = np_0 + 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$$
$$LCL_{np} = np_0 - 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$$

2. แผนภูมิ CRL มีขอบเขตควบคุม L เป็นขอบเขตควบคุมล่างซึ่งค่า L หาได้ดังนี้

ให้ α เป็นความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของ CRL และ Q_0 คือค่าความน่าจะเป็นจากแผนภูมิควบคุมจำนวนเสียสำหรับตัวอย่างจากสัดส่วนของเสียเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม

$$Q_0 = \quad p = P(X_t > UCL \text{ หรือ } X_t < LCL)$$

$$Q_0 = 1 - \sum_{i=0}^{c} \binom{n}{i} p_0^i (1-p_0)^{n-i}$$

โดยที่ $c = UCL_{np}$

$$L = \frac{\ln(1-\alpha)}{\ln(1-Q_0)} + 1$$

โดยกำหนดค่า $\alpha = 0.0027$ ซึ่งเป็นระดับความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ระดับเดียวกับแผนภูมิอาร์คไซน์ และแผนภูมิเรขาคณิต

เกณฑ์การตัดสินใจ

ในการตัดสินใจว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่จะใช้ขอบเขตควบคุมของทั้งสองแผนภูมิมาใช้ร่วมกันโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณขอบเขตของแผนภูมิควบคุมบนและล่างของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียคือ UCL_{np} และคำนวณขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม CRL คือ L

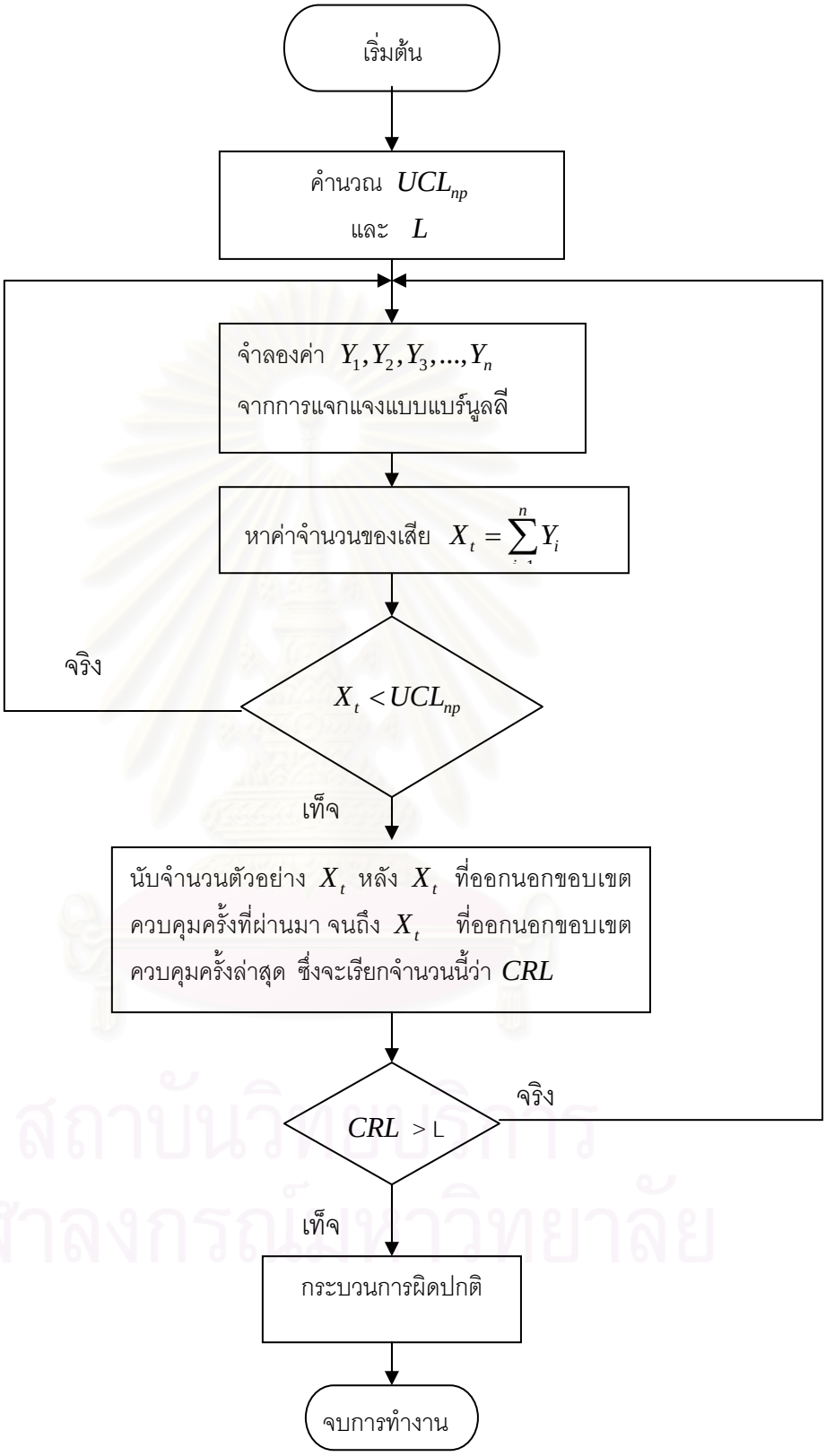
2. สุ่มตัวอย่าง $Y_1, Y_2, Y_3, ..., Y_n$ (Y_i แทนค่าวัดผลิตภัณฑ์โดยมีค่าเท่ากับ1 หรือ 0) จำนวน n ค่า แล้วคำนวณหา $X = \sum_{i=1}^{n} Y_i$ แล้วนำมาใช้ในการตรวจสอบแต่ละครั้ง

3. ถ้าจำนวนของเสีย X มีค่าน้อยกว่าเขตควบคุมบน UCL_{np} ของแผนภูมิควบคุมจำนวนเสีย แสดงว่ากระบวนการอยู่ในการควบคุมให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 1 แต่ถ้าออกนอกเขตควบคุม ให้ทำต่อในขั้นตอนที่ 4

4. นับจำนวนตัวอย่าง X_t หลัง X_t ที่อยู่นอกเขตควบคุมครั้งสุดท้ายที่ผ่านมาจนถึง X_t ที่ออกนอกขอบเขตควบคุมครั้งล่าสุด ซึ่งจะเรียกจำนวนนี้ว่า CRL

5. ถ้าค่า CRL มีค่ามากกว่าเขตจำกัดล่าง L ของแผนภูมิ CRL แสดงว่ากระบวนการยังอยู่ในการควบคุม กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้า CRL มีค่าน้อยกว่าเขตจำกัดควบคุมล่างของแผนภูมิ CRL แสดงว่า กระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม

ขั้นตอนการหาของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์



ภาพที่ 2.1 แผนผังสรุปขั้นตอนของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7 ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 หมายถึงค่าประมาณความน่าจะเป็นที่จะเกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม แต่ความเป็นจริงกระบวนการยังคงอยู่ภายใต้การควบคุมแทนด้วย α ซึ่งเป็น α ของแผนภูมิควบคุมและจะประมาณ α ของแผนภูมิควบคุมด้วยค่าสัดส่วน

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{h}\sum_{t=1}^{h} d_t$$

โดยที่ h คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

d_t คือ ลักษณะของค่าวัดกลุ่มตัวอย่างที่ t ในการทดลอง เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

เมื่อ

$$d_t = \begin{cases} 0 & \text{ถ้าค่าวัดกลุ่มตัวอย่างที่ } t \text{ ตกอยู่ในเขตควบคุม } t \\ 1 & \text{ถ้าค่าวัดกลุ่มตัวอย่างที่ } t \text{ ตกออกนอกเขตควบคุม } t \end{cases}$$

เกณฑ์การตัดสินใจ

การพิจารณาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (α) ของแผนภูมิควบคุมสามารถใช้การทดสอบทวินาม (Binomial Test) ซึ่งจะทดสอบค่า α มีค่าไม่เกินความผิดพลาดที่กำหนด (α_0) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบทวินาม α^* ได้ด้วยสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \alpha \le \alpha_0$$
$$H_1 : \alpha > \alpha_0$$

จะได้ว่า $$P\left[\frac{\hat{\alpha}-\alpha_0}{\sqrt{\alpha_0(1-\alpha_0)/h}} \le Z_{\alpha^*}\right] = 1-\alpha^*$$

หรือ $$P\left[\hat{\alpha} \le \alpha_0 + Z_{\alpha^*}\sqrt{\alpha_0(1-\alpha_0)/h}\right] = 1-\alpha^*$$

เมื่อ α แทนค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

$\hat{\alpha}$ แทนค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

α_0 แทนค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ที่กำหนด

α^* แทนระดับนัยสำคัญของการทดสอบบททวินาม

h แทนจำนวนครั้งของการทดลอง

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงใช้วิธีการทดสอบบททวินามที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยที่ค่า α_0 = 0.0027 และ α^* = 0.05 เพราะฉะนั้น Z_{α^*} = 1.645 ให้ช่วงของการยอมรับความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 $\left(0\ ,\ \alpha_0 + Z_{\alpha^*}\sqrt{\alpha_0(1-\alpha_0)/h}\right)$

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงใช้วิธีการเปรียบค่า $\hat{\alpha}$ ของแผนภูมิควบคุมในกรณีที่ $\delta = 0$ ถ้าค่า $\hat{\alpha}$ มีค่าเกินช่วงของการยอมรับความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จะไม่นำไปตรวจสอบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ในขั้นตอนต่อไปสำหรับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียนั้น

2.8 **ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย** (Average Run Length: ARL)

การตรวจสอบในขั้นตอนนี้จะเลือกตรวจสอบเฉพาะกรณีที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินใจหรือสามารถควบคุมค่า α ในหัวข้อ 2.7 ได้เท่านั้น

ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) คือจำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องการตรวจสอบจนกระทั่งพบการออกนอกการควบคุมในที่นี้จะหาค่า ARL เฉพาะกรณีที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของเสียเพิ่มขึ้น ($\delta > 0$) โดย ค่า ARL สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

โดยที่ k คือ จำนวนครั้งของการทดลองในแต่ละสถานการณ์เพื่อหาความยาววิ่ง

L_t คือ จำนวนตัวอย่างที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนออกนอกการควบคุม ในการทดลองครั้งที่ t

ในการวิจัยครั้งนี้ได้จำกัดค่า L_t ในแต่ละครั้งการทดลองด้วยค่าสูงสุดที่ 1,000 เพื่อป้องกันกรณีเกิดการเวียนไม่มีที่สิ้นสุดในการทดลอง และ 1000 เป็นขนาดตัวอย่างที่มากในการตรวจสอบแต่ละครั้งของการทดลองที่จะสรุปผลได้ ดังนั้นในกรณีที่การทดลองให้ค่า $L_t = 1,000$

แต่ผลการทดสอบยังไม่พบว่ากระบวนการออกนอกการควบคุมจะกำหนดค่า L_t ในรอบนั้นเท่ากับ 1,000

เกณฑ์การตัดสินใจ

เมื่อกระบวนการผิดปกติ ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นคือกระบวนการมีสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นจากสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม ถ้าแผนภูมิควบคุมใดให้ค่า ARL ต่ำที่สุด แสดงว่าแผนภูมิควบคุมนั้น มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการผิดปกติได้ดีที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทั้ง 3 แบบ คือ แผนภูมิอาร์คไซน์ แผนภูมิเรขาคณิต แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ เพื่อเลือกแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่สามารถแจ้งเตือนเมื่อกระบวนการผิดปกติได้เร็วที่สุดตามแต่ละสถานการณ์ โดยตัดสินจากค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ถ้าแผนภูมิควบคุมชนิดใดให้ค่า ARL น้อยที่สุดแสดงว่าแผนภูมินั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล เพื่อหาผลสรุปในการเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ ที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งวิธีดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ข้อกำหนดในการทดลอง

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้กำหนดสถานการณ์ต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบดังนี้

1.สุ่มตัวอย่างแบบไม่คืนที่ขนาด n จากกระบวนการผลิต เพื่อนับจำนวนผลสำเร็จหรือจำนวนของเสีย แทนด้วยตัวแปรสุ่ม X จำนวนของเสียที่ได้จะมีการแจกแจงทวินาม โดยตัวอย่างแต่ละชิ้น แทนด้วยตัวแปรสุ่ม Y_i มีการแจกแจงแบร์นูลลี ให้ $Y_1, Y_2, Y_3, ..., Y_n$ แทนค่าวัดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา แบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ กลุ่มละจำนวน n

โดยที่

$$Y_i = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อผลิตภัณฑ์หน่วยที่ i มีลักษณะไม่เป็นของเสีย} \\ 1 & \text{เมื่อผลิตภัณฑ์หน่วยที่ i มีลักษณะเป็นของเสีย} \end{cases}$$

จำนวนของเสีย $X = \sum_{i=1}^{n} Y_i$ และสมมติ $Y_1, Y_2, Y_3, ..., Y_n$ เป็นอิสระต่อกัน

2. กำหนดระดับสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม p_0 คือ 0.0001 , 0.0003 , 0.0005 , 0.0007 , 0.0009 , 0.001 , 0.003 , 0.005 , 0.007 , 0.009 , 0.01 , 0.03 , 0.05 , 0.07 , 0.09 , 0.10 , 0.15 , 0.20

3. กำหนดอัตราเพิ่มขึ้นของสัดส่วนของเสียเท่ากับ $100\delta\%$ ของ p_0 ได้สัดส่วนของเสียที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม $p_1 = (1+\delta)p_0$ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้กำหนด δ = 0.01 , 0.03 , 0.05 , 0.07 , 0.09 , 0.10

4. กำหนดขนาดตัวอย่าง n ตามค่า p_0 ดังนี้

- เมื่อ $p_0 = 0.0001$ ถึง 0.009 , $n = 100$, 125 ,150 , 175 , 200 , 225 , 250 , 300 , 350 , 400 , 450 , 500
- เมื่อ $p_0 = 0.01$ ถึง 0.09 , $n = 5$, 10 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 , 40 , 45 , 50 , 60 , 70 , 80 , 90 , 100 , 150 , 200 , 250 , 300 , 350 , 400 , 450, 500
- เมื่อ $p_0 = 0.10$ ถึง 0.20 , $n = 5$, 10 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 , 40 , 45 , 50

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) และค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ที่ได้จากการทดสอบแผนภูมิควบคุมของเสียทั้ง 3 แบบ ดังกล่าว เพื่อหาแผนภูมิที่ดีที่สุดในแต่ละสถานการณ์

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีขั้นตอนการศึกษาทดลอง 2 ขั้นตอน คือ การหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) และการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม ดังนี้

ขั้นตอนแรก การหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบ $U(0,1)$
2. จำลองข้อมูลให้มีการแจกแจงแบร์นูลลี $ber(n, p_0)$
3. กำหนดขอบเขตควบคุมสำหรับแต่ละแผนภูมิตามสถานการณ์ที่กำหนด

(1) แผนภูมิอาร์คไซน์ (Arcsine-Chart)

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิอาร์คไซน์ เป็นดังนี้

$$UCL = \sin^{-1}\sqrt{p_0} + \frac{3}{2\sqrt{n}}$$

$$LCL = \sin^{-1}\sqrt{p_0} - \frac{3}{2\sqrt{n}}$$

(2) แผนภูมิเรขาคณิต (Geometric chart)

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิเรขาคณิต เป็นดังนี้

$$UCL = \frac{\ln(\alpha/2)}{\ln(1-p_0)} - 1$$

$$LCL = \frac{\ln(1-\alpha/2)}{\ln(1-p_0)}$$

(3) แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์จะมีขอบเขตควบคุม 2 ขอบเขตควบคุมดังนี้

1. แผนภูมิ np มีขอบเขตควบคุมล่าง(LCL_{np})และขอบเขตควบคุมบน (UCL_{np}) ดังนี้

$$UCL_{np} = np_0 + 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$$
$$LCL_{np} = np_0 - 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$$

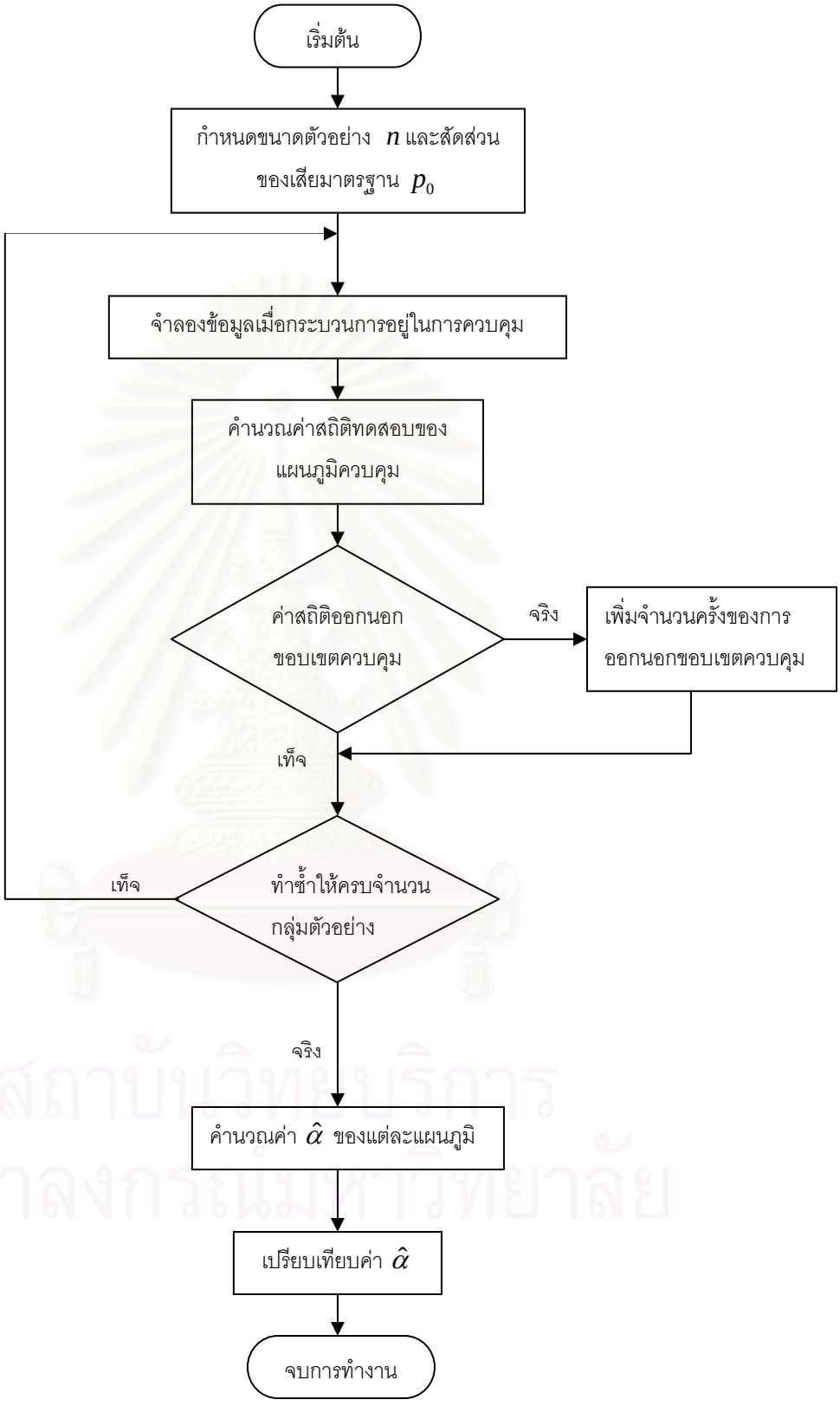
2. แผนภูมิ CRL มีขอบเขตควบคุม L เป็นขอบเขตควบคุมล่าง

$$L = \frac{\ln(1-\alpha)}{\ln(1-Q_0)} + 1$$

4. กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาคำนวณหาค่า $(\hat{\alpha})$ ของแต่ละแผนภูมิทั้งหมด เพื่อนับจำนวนจุดที่ตกออกนอกขอบเขตควบคุมของแต่ละแผนภูมิดังนั้นค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดประเภทที่ 1 $(\hat{\alpha})$ คืออัตราส่วนระหว่างจุดที่ตกออกนอกขอบเขตควบคุมแต่ละแผนภูมิกับจำนวนกลุ่มตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการหาค่าประมาณความผิดพลาดประเภทที่ 1 $(\hat{\alpha})$ แสดงเป็นแผนผังได้ดังนี้



ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงวิธีการหาค่าความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมเมื่อกระบวนอยู่ในการควบคุม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนสอง การหา ARL เมื่อกระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบ $U(0,1)$

2. สร้างข้อมูลที่มีการแจกแจงแบร์นูลลี $ber(n, p_1)$

3. กำหนดขอบเขตควบคุมสำหรับแต่ละแผนภูมิตามสถานการณ์ที่กำหนดเหมือนกับขั้นตอนการหาค่า $\hat{\alpha}$ และคำนวณค่าสถิติของแต่ละแผนภูมิ

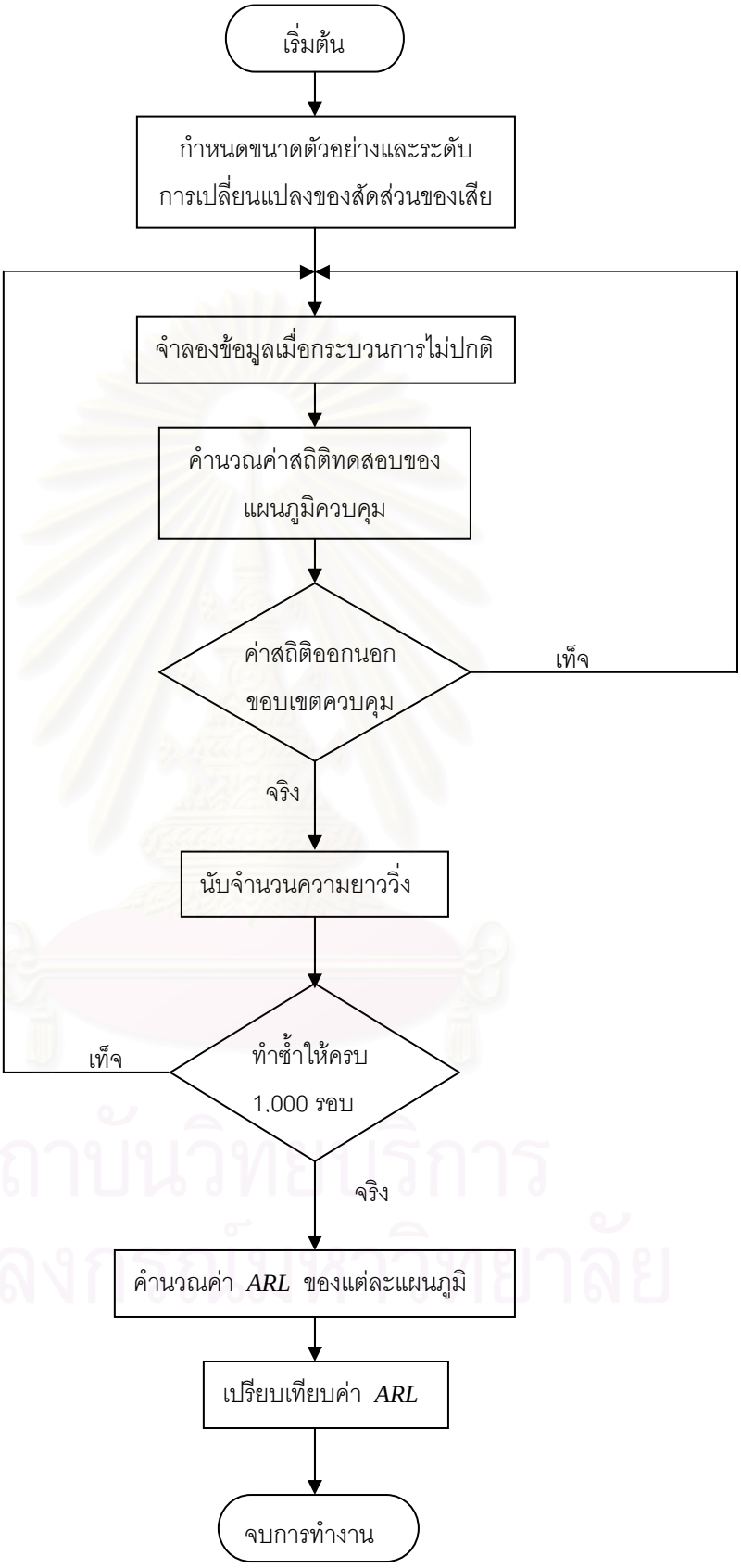
4. ถ้าค่าที่นำมาเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุมมีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือน้อยกว่าขอบเขตควบคุมล่าง ให้กลับไปทำข้อที่ 5 ต่อ แต่ถ้าค่าที่นำมาเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุมมีค่าน้อยกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือมากกว่าขอบเขตควบคุมล่าง ให้เปรียบเทียบค่าตัวต่อไปจนกว่าจะมีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบนหรือน้อยกว่าขอบเขตควบคุมล่าง

5. ทำขั้นที่ 2- 4 ซ้ำ 1,000 รอบแล้วหาจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย

6. เปลี่ยนค่า δ แล้วทำขั้นที่ 2-4 ให้ครบทุกค่าที่เปลี่ยนแปลงไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย(ARL) แสดงเป็นแผนผังได้ดังนี้



ภาพที่ 3.2 แผนผังแสดงวิธีการหาจำนวนค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอ

การผลิตตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง (0,1) เป็นพื้นฐานในการผลิตตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบอื่นๆ ตัวเลขสุ่มที่ผลิตได้ต้องเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และมีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง (0,1) วิธีการผลิตตัวเลขสุ่มที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายวิธีหนึ่งคือ วิธี Mutiplicative Congruential ซึ่งพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1951 โดย Lehmer

$$X_i = (aX_{i-1}) \bmod M \tag{3.1}$$

และ $U_i = X_i / M \;\; ; \; i = 1, 2, 3, \ldots$

โดยที่ X_0 เป็นค่าเริ่มต้น(intial value)

X_i เป็นตัวเลขสุ่มจำนวนเต็มตัวที่ i โดยที่ $0 \le X_i \le M-1$

U_i เป็นตัวเลขสุ่มตัวที่ i โดยที่ $0 \le U_i < 1$

M เป็นค่าคงที่

a เป็นตัวคูณคงที่ (constant multipier)

จากสมการที่ (3.1) X_i คือเศษเหลือเป็นจำนวนเต็มที่ได้จากการหาร aX_{i-1} ด้วย M และเศษเหลือที่ได้จะใช้ในการผลิตตัวเลขสุ่มตัวถัดไป ในการผลิตตัวเลขสุ่มนั้นเมื่อกำหนดให้ X_0 เป็นค่าเริ่มต้นจะได้ตัวเลขสุ่ม $X_1, X_2, X_3, \ldots$ เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง $M-1$ จากนั้นหาร X_i ด้วย M จะได้ตัวเลขสุ่มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ U คือค่าตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง (0,1) ที่ผลิตได้จากวิธีดังกล่าว

การกำหนดค่า M และ a มีความสำคัญมากในการผลิตตัวเลขสุ่ม เพราะต้องการได้เลขสุ่มที่เป็นอิสระกัน มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง 0 ถึง 1 และมีคาบของตัวเลขสุ่มยาวมากพอที่จะใช้งานได้ค่า M และ a ที่ใช้กันมากค่าหนึ่ง สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาด 32 บิตต่อ 1 คำ (1 word) คือ M เท่ากับ $2^{31}-1 = 2147483647$ และค่า a เท่ากับ $7^5 = 16807$ สำหรับ X_0 กำหนดเป็นจำนวนเต็มบวกที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ M

3.3 การสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบร์นูลลี

ในการสร้างตัวแปรสุ่ม Y_i ให้มีการแจกแจงแบร์นูลลี ที่มีพารามิเตอร์เท่ากับ p สามารถทำได้โดยทำการสร้างตัวแปรสุ่ม $Y_1, Y_2, Y_3, ...Y_n$ ซึ่งเป็นอิสระจากกัน และมีการแจกแจงแบบแบร์นูลลีที่มีพารามิเตอร์ p โดยมีเงื่อนไขดังนี้

ถ้า U มีค่าน้อยกว่า p ให้ $Y_i = 1$ (เป็นของเสีย)

ถ้า U มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ p ให้ $Y_i = 0$ (ไม่เป็นของเสีย)

โดยที่ U คือ ตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง (0,1) และกระทำซ้ำทั้งหมด n ครั้ง

โดยใช้พารามิเตอร์ $p = p_0$ สำหรับการหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) และใช้พารามิเตอร์ $p = p_1$ สำหรับขั้นตอนในการหาค่า ARL เมื่อกระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจวัดกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของเสีย ซึ่งแผนภูมิควบคุมคุณภาพทั้ง 3 แบบ คือ แผนภูมิอาร์คไซน์ แผนภูมิเรขาคณิต แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ โดยวิธีการหาค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย(ARL) ของแผนภูมิควบคุมดังกล่าว โดยที่ค่า ARL ของแผนภูมิชนิดใดน้อยที่สุด แสดงว่าแผนภูมินั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุดในกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อต้องการหาผลสรุปว่าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียใด ที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุมได้เร็วที่สุด

การวิจัยครั้งนี้จึงเสนอผลการวิจัย จำแนกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกคือตารางแสดงขอบเขตการควบคุมของแต่ละตัวสถิติทดสอบในสถานการณ์ต่างๆ ที่ศึกษา ส่วนที่ 2 คือ ตารางแสดงค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 $(\hat{\alpha})$ ส่วนที่ 3 แสดงค่า ARL ของแต่ละวิธีการตรวจสอบ โดยกำหนดสัญลักษณ์ต่อไปนี้ใช้แทนความหมายต่าง ๆ คือ

p_0	หมายถึง	ค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม
$p_1 = (1+\delta)p_0$	หมายถึง	ค่าสัดส่วนของเสียเมื่อกระบวนผิดปกติ
δ	หมายถึง	ระดับการเปลี่ยนแปลงของเสียของค่าสัดส่วนของเสีย
n	หมายถึง	ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
ARL	หมายถึง	จำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องการตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการผิดปกติ
A	หมายถึง	วิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิอาร์คไซน์
G	หมายถึง	วิธีกาตรวจสอบด้วยแผนภูมิเรขาคณิต
S	หมายถึง	วิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 ขอบเขตของแผนภูมิควบคุม

ขอบเขตของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบคือ แผนภูมิอาร์คไซน์ (A) แผนภูมิเรขาคณิต(G) และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (S) ถูกสร้างขึ้นในกรณีที่กระบวนการอยู่ในการควบคุมตามสถานการณ์ต่าง ๆ และในกรณีที่ทราบค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม(p_0) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นำเสนอในตารางที่ 4.1- ตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.1 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.0001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A		G	S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.0001	100	0.1600	-0.1400	14	0.3100	0	21
	125	0.1442	-0.1242	14	0.3479	0	20
	150	0.1325	-0.1125	14	0.3824	0	19
	175	0.1234	-0.1034	14	0.4143	0	18
	200	0.1161	-0.0961	14	0.4442	0	18
	225	0.1100	-0.0900	14	0.4725	0	17
	250	0.1049	-0.0849	14	0.4993	0	17
	300	0.0966	-0.0766	14	0.5496	0	14
	350	0.0902	-0.0702	14	0.5962	0	9
	400	0.0850	-0.0650	14	0.6400	0	7
	450	0.0807	-0.0607	14	0.6814	0	6
	500	0.0771	-0.0571	14	0.7208	0	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.0003,0.0005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A		G	S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.0003	100	0.1673	-0.1327	5	0.5495	0	16
	125	0.1515	-0.1168	5	0.6184	0	15
	150	0.1398	-0.1052	5	0.6813	0	11
	175	0.1307	-0.0961	5	0.7398	0	11
	200	0.1234	-0.0887	5	0.7947	0	10
	225	0.1173	-0.0827	5	0.8468	0	9
	250	0.1122	-0.0775	5	0.8965	0	9
	300	0.1039	-0.0693	5	0.9899	0	8
	350	0.0975	-0.0629	5	1.0770	0	8
	400	0.0923	-0.0577	5	1.1591	0	7
	450	0.0880	-0.0534	5	1.2371	0	6
	500	0.0844	-0.0498	5	1.3117	0	5
0.0005	100	0.1724	-0.1276	3	0.7207	0	12
	125	0.1565	-0.1118	3	0.8123	0	11
	150	0.1448	-0.1001	3	0.8964	0	9
	175	0.1358	-0.0910	3	0.9747	0	8
	200	0.1284	-0.0837	3	1.0484	0	8
	225	0.1224	-0.0776	3	1.1185	0	7
	250	0.1172	-0.0725	3	1.1854	0	7
	300	0.1090	-0.0642	3	1.3116	0	7
	350	0.1025	-0.0578	3	1.4297	0	6
	400	0.0974	-0.0526	3	1.5413	0	6
	450	0.0931	-0.0483	3	1.6477	0	5
	500	0.0894	-0.0447	3	1.7496	0	4

ตารางที่ 4.3 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ ค่า p_0 =0.0007,0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A		G	S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.0007	100	0.1765	-0.1235	2	0.8634	0	11
	125	0.1606	-0.1077	2	0.9746	0	9
	150	0.1489	-0.0960	2	1.0768	0	8
	175	0.1398	-0.0869	2	1.1721	0	7
	200	0.1325	-0.0796	2	1.2621	0	7
	225	0.1265	-0.0735	2	1.3477	0	6
	250	0.1213	-0.0684	2	1.4296	0	6
	300	0.1131	-0.0601	2	1.5843	0	6
	350	0.1066	-0.0537	2	1.7294	0	5
	400	0.1015	-0.0485	2	1.8669	0	4
	450	0.0972	-0.0443	2	1.9982	0	3
	500	0.0935	-0.0406	2	2.1242	0	3
0.0009	100	0.1800	-0.1200	2	0.9896	0	11
	125	0.1642	-0.1042	2	1.1183	0	9
	150	0.1525	-0.0925	2	1.2368	0	8
	175	0.1434	-0.0834	2	1.3476	0	7
	200	0.1361	-0.0761	2	1.4522	0	6
	225	0.1300	-0.0700	2	1.5519	0	5
	250	0.1249	-0.0649	2	1.6474	0	5
	300	0.1166	-0.0566	2	1.8281	0	4
	350	0.1102	-0.0502	2	1.9980	0	4
	400	0.1050	-0.0450	2	2.1592	0	3
	450	0.1007	-0.0407	2	2.3133	0	2
	500	0.0971	-0.0371	2	2.4616	0	2

ตารางที่ 4.4 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ $p_0 = 0.001$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A		G	S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.001	5	0.7024	-0.6392	2	0.2170	0	50
	10	0.5060	-0.4427	2	0.3099	0	42
	15	0.4189	-0.3557	2	0.3822	0	40
	20	0.3670	-0.3038	2	0.4441	0	35
	25	0.3316	-0.2684	2	0.4991	0	30
	30	0.3055	-0.2422	2	0.5494	0	27
	35	0.2852	-0.2219	2	0.5960	0	25
	40	0.2688	-0.2055	2	0.6397	0	21
	45	0.2552	-0.1920	2	0.6811	0	19
	50	0.2438	-0.1805	2	0.7205	0	18
	60	0.2253	-0.1620	2	0.7945	0	17
	70	0.2109	-0.1477	2	0.8633	0	15
	80	0.1993	-0.1361	2	0.9281	0	10
	90	0.1897	-0.1265	2	0.9895	0	9
	100	0.1816	-0.1184	2	1.0482	0	7
	125	0.1658	-0.1025	2	1.1851	0	6
	150	0.1541	-0.0908	2	1.3113	0	6
	175	0.1450	-0.0818	2	1.4294	0	5
	200	0.1377	-0.0744	2	1.5410	0	5
	225	0.1316	-0.0684	2	1.6473	0	4
	250	0.1265	-0.0632	2	1.7493	0	4
	300	0.1182	-0.0550	2	1.9423	0	4
	350	0.1118	-0.0486	2	2.1239	0	3
	400	0.1066	-0.0434	2	2.2964	0	2
	450	0.1023	-0.0391	2	2.4615	0	2
	500	0.0987	-0.0355	2	2.6203	0	2

ตารางที่ 4.5 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ p_0 = 0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A		G	S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.003	5	0.7256	-0.6160	1	0.3819	0	48
	10	0.5291	-0.4195	1	0.5488	0	40
	15	0.4421	-0.3325	1	0.6804	0	36
	20	0.3902	-0.2806	1	0.7937	0	31
	25	0.3548	-0.2452	1	0.8954	0	29
	30	0.3287	-0.2191	1	0.9886	0	24
	35	0.3083	-0.1987	1	1.0757	0	23
	40	0.2920	-0.1824	1	1.1577	0	20
	45	0.2784	-0.1688	1	1.2356	0	17
	50	0.2669	-0.1573	1	1.3102	0	11
	60	0.2484	-0.1388	1	1.4509	0	9
	70	0.2341	-0.1245	1	1.5827	0	9
	80	0.2225	-0.1129	1	1.7075	0	8
	90	0.2129	-0.1033	1	1.8265	0	7
	100	0.2048	-0.0952	1	1.9407	0	6
	125	0.1890	-0.0794	1	2.2094	0	5
	150	0.1773	-0.0677	1	2.4594	0	4
	175	0.1682	-0.0586	1	2.6954	0	3
	200	0.1609	-0.0513	1	2.9203	0	3
	225	0.1548	-0.0452	1	3.1361	0	3
	250	0.1497	-0.0401	1	3.3442	0	3
	300	0.1414	-0.0318	1	3.7418	0	2
	350	0.1350	-0.0254	1	4.1195	0	2
	400	0.1298	-0.0202	1	4.4814	0	2
	450	0.1255	-0.0159	1	4.8305	0	1
	500	0.1219	-0.0123	1	5.1687	0	1

ตารางที่ 4.6 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ p_0 = 0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A		G	S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.005	5	0.7416	-0.6001	1	0.4982	0	45
	10	0.5451	-0.4036	1	0.7191	0	38
	15	0.4581	-0.3165	1	0.8945	0	34
	20	0.4062	-0.2646	1	1.0463	0	30
	25	0.3708	-0.2292	1	1.1830	0	26
	30	0.3446	-0.2031	1	1.3090	0	21
	35	0.3243	-0.1828	1	1.4268	0	19
	40	0.3079	-0.1664	1	1.5383	0	17
	45	0.2944	-0.1528	1	1.6445	0	15
	50	0.2829	-0.1414	1	1.7462	0	11
	60	0.2644	-0.1229	1	1.9391	0	11
	70	0.2501	-0.1085	1	2.1204	0	10
	80	0.2385	-0.0969	1	2.2926	0	7
	90	0.2289	-0.0873	1	2.4574	0	6
	100	0.2208	-0.0792	1	2.6160	0	4
	125	0.2049	-0.0634	1	2.9908	0	3
	150	0.1932	-0.0517	1	3.3416	0	3
	175	0.1842	-0.0426	1	3.6742	0	2
	200	0.1768	-0.0353	1	3.9925	0	2
	225	0.1708	-0.0292	1	4.2990	0	2
	250	0.1656	-0.0241	1	4.5957	0	2
	300	0.1574	-0.0158	1	5.1650	0	2
	350	0.1509	-0.0094	1	5.7087	0	2
	400	0.1458	-0.0042	1	6.2320	0	1
	450	0.1415	0.0001	1	6.7387	0	1
	500	0.1379	0.0037	1	7.2315	0	1

ตารางที่ 4.7 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ p_0 = 0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A		G	S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.007	5	0.7546	-0.5871	1	0.5943	0	40
	10	0.5581	-0.3906	1	0.8609	0	33
	15	0.4711	-0.3035	1	1.0737	0	31
	20	0.4192	-0.2516	1	1.2586	0	22
	25	0.3838	-0.2162	1	1.4256	0	19
	30	0.3576	-0.1901	1	1.5800	0	18
	35	0.3373	-0.1698	1	1.7247	0	15
	40	0.3209	-0.1534	1	1.8619	0	15
	45	0.3074	-0.1398	1	1.9928	0	13
	50	0.2959	-0.1284	1	2.1186	0	11
	60	0.2774	-0.1099	1	2.3574	0	8
	70	0.2630	-0.0955	1	2.5826	0	7
	80	0.2515	-0.0839	1	2.7971	0	6
	90	0.2419	-0.0744	1	3.0028	0	4
	100	0.2338	-0.0662	1	3.2012	0	3
	125	0.2179	-0.0504	1	3.6714	0	3
	150	0.2062	-0.0387	1	4.1133	0	3
	175	0.1972	-0.0296	1	4.5338	0	2
	200	0.1898	-0.0223	1	4.9372	0	2
	225	0.1838	-0.0162	1	5.3268	0	2
	250	0.1786	-0.0111	1	5.7047	0	2
	300	0.1704	-0.0028	1	6.4322	0	1
	350	0.1639	0.0036	1	7.1293	0	1
	400	0.1588	0.0088	1	7.8024	0	1
	450	0.1545	0.0131	1	8.4558	0	1
	500	0.1508	0.0167	1	9.0928	0	1

ตารางที่4.8 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ $p_0 = 0.009$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A		G	S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.009	5	0.7658	-0.5758	1	0.6785	0	15
	10	0.5694	-0.3793	1	0.9859	0	35
	15	0.4823	-0.2923	1	1.2323	0	27
	20	0.4304	-0.2404	1	1.4471	0	20
	25	0.3950	-0.2050	1	1.6416	0	17
	30	0.3689	-0.1789	1	1.8218	0	14
	35	0.3486	-0.1585	1	1.9912	0	13
	40	0.3322	-0.1422	1	2.1519	0	12
	45	0.3186	-0.1286	1	2.3056	0	12
	50	0.3071	-0.1171	1	2.4534	0	10
	60	0.2887	-0.0986	1	2.7346	0	9
	70	0.2743	-0.0843	1	3.0004	0	7
	80	0.2627	-0.0727	1	3.2541	0	6
	90	0.2531	-0.0631	1	3.4978	0	5
	100	0.2450	-0.0550	1	3.7332	0	4
	125	0.2292	-0.0392	1	4.2926	0	4
	150	0.2175	-0.0275	1	4.8200	0	3
	175	0.2084	-0.0184	1	5.3230	0	3
	200	0.2011	-0.0111	1	5.8068	0	3
	225	0.1950	-0.0050	1	6.2748	0	2
	250	0.1899	0.0001	1	6.7297	0	2
	300	0.1816	0.0084	1	7.6073	0	2
	350	0.1752	0.0148	1	8.4505	0	1
	400	0.1700	0.0200	1	9.2664	0	1
	450	0.1657	0.0243	1	10.0602	0	1
	500	0.1621	0.0279	1	10.8353	0	1

ตารางที่ 4.9 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ $p_0 = 0.01$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A			S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.01	5	0.7710	-0.5707	1	0.7175	0	32
	10	0.5745	-0.3742	1	1.0439	0	25
	15	0.4875	-0.2871	1	1.3061	0	15
	20	0.4356	-0.2352	1	1.5349	0	15
	25	0.4002	-0.1998	1	1.7425	0	12
	30	0.3740	-0.1737	1	1.9349	0	11
	35	0.3537	-0.1534	1	2.1159	0	11
	40	0.3373	-0.1370	1	2.2879	0	11
	45	0.3238	-0.1234	1	2.4524	0	9
	50	0.3123	-0.1120	1	2.6107	0	8
	60	0.2938	-0.0935	1	2.9121	0	7
	70	0.2795	-0.0791	1	3.1974	0	5
	80	0.2679	-0.0675	1	3.4698	0	4
	90	0.2583	-0.0579	1	3.7318	0	4
	100	0.2502	-0.0498	1	3.9850	0	3
	125	0.2343	-0.0340	1	4.5873	0	2
	150	0.2226	-0.0223	1	5.1558	0	2
	175	0.2136	-0.0132	1	5.6987	0	1
	200	0.2062	-0.0059	1	6.2218	0	1
	225	0.2002	0.0002	1	6.7274	0	1
	250	0.1950	0.0053	1	7.2196	0	1
	300	0.1868	0.0136	1	8.1701	0	1
	350	0.1803	0.0200	1	9.0844	0	1
	400	0.1752	0.0252	1	9.9699	0	1
	450	0.1709	0.0295	1	10.8321	0	1
	500	0.1672	0.0331	1	11.6746	0	1

ตารางที่ 4.10 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ p_0 = 0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A		G	S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.03	5	0.8449	-0.4967	1	1.2943	0	27
	10	0.6484	-0.3003	1	1.9183	0	12
	15	0.5614	-0.2132	1	2.4320	0	9
	20	0.5095	-0.1613	1	2.8887	0	6
	25	0.4741	-0.1259	1	3.3088	0	5
	30	0.4479	-0.0998	1	3.7030	0	4
	35	0.4276	-0.0795	1	4.0776	0	4
	40	0.4112	-0.0631	1	4.4367	0	4
	45	0.3977	-0.0495	1	4.7830	0	3
	50	0.3862	-0.0381	1	5.1187	0	3
	60	0.3677	-0.0196	1	5.7641	0	2
	70	0.3534	-0.0052	1	6.3817	0	1
	80	0.3418	0.0064	1	6.9773	0	1
	90	0.3322	0.0160	1	7.5550	0	1
	100	0.3241	0.0241	1	8.1176	0	1
	125	0.3082	0.0399	1	9.4717	0	1
	150	0.2965	0.0516	1	10.7678	0	1
	175	0.2875	0.0607	1	12.0200	0	1
	200	0.2801	0.0680	1	13.2374	0	1
	225	0.2741	0.0741	1	14.4264	0	1
	250	0.2689	0.0792	1	13.2374	0	1
	300	0.2607	0.0875	1	17.8640	0.1360	1
	350	0.2543	0.0939	1	20.0742	0.9258	1
	400	0.2491	0.0991	1	22.2352	1.7648	1
	450	0.2448	0.1034	1	22.2352	1.7648	1
	500	0.2412	0.1070	1	26.4433	3.5567	1

ตารางที่ 4.11 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ p_0 = 0.05 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A			S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.05	5	0.8963	-0.4453	1	1.7120	0	25
	10	0.6998	-0.2489	1	2.5676	0	17
	15	0.6128	-0.1618	1	3.2823	0	10
	20	0.5609	-0.1099	1	3.9240	0	9
	25	0.5255	-0.0745	1	4.5192	0	8
	30	0.4993	-0.0484	1	5.0812	0	6
	35	0.4790	-0.0281	1	5.6181	0	5
	40	0.4626	-0.0117	1	6.1352	0	4
	45	0.4491	0.0019	1	6.6361	0	4
	50	0.4376	0.0133	1	7.1233	0	3
	60	0.4191	0.0318	1	8.0646	0	3
	70	0.4048	0.0462	1	8.9704	0	2
	80	0.3932	0.0578	1	9.8481	0	1
	90	0.3836	0.0674	1	10.7028	0	1
	100	0.3755	0.0755	1	11.5384	0	1
	125	0.3596	0.0913	1	13.5601	0	1
	150	0.3479	0.1030	1	15.5078	0	1
	175	0.3389	0.1121	1	17.3994	0.1006	1
	200	0.3315	0.1194	1	19.2466	0.7534	1
	225	0.3255	0.1255	1	21.0575	1.4425	1
	250	0.3203	0.1306	1	22.8380	2.1620	1
	300	0.3121	0.1389	1	26.3248	3.6752	1
	350	0.3057	0.1453	1	29.7321	5.2678	1
	400	0.3005	0.1505	1	33.0767	6.9233	1
	450	0.2962	0.1548	1	36.3699	8.6301	1
	500	0.2926	0.1584	1	39.6202	10.3798	1

ตารางที่ 4.12 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ p_0 = 0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A		G	S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.07	5	0.9385	-0.4031	1	2.0616	0	22
	10	0.7420	-0.2067	1	3.1205	0	15
	15	0.6550	-0.1196	1	4.0145	0	10
	20	0.6031	-0.0677	1	4.8232	0	9
	25	0.5677	-0.0323	1	5.5772	0	7
	30	0.5415	-0.0062	1	6.2925	0	6
	35	0.5212	0.0141	1	6.9784	0	5
	40	0.5048	0.0305	1	7.6411	0	5
	45	0.4913	0.0441	1	8.2847	0	4
	50	0.4798	0.0555	1	8.9125	0	3
	60	0.4613	0.0740	1	10.1290	0	2
	70	0.4470	0.0884	1	11.3041	0	1
	80	0.4354	0.1000	1	12.4463	0	1
	90	0.4258	0.1096	1	13.5616	0	1
	100	0.4177	0.1177	1	14.6544	0	1
	125	0.4018	0.1335	1	17.3079	0.1921	1
	150	0.3901	0.1452	1	19.8747	1.1253	1
	175	0.3811	0.1543	1	22.3758	2.1242	1
	200	0.3737	0.1616	1	24.8250	3.1750	1
	225	0.3677	0.1677	1	27.2316	4.2684	1
	250	0.3625	0.1728	1	29.6027	5.3973	1
	300	0.3543	0.1811	1	34.2578	7.7421	1
	350	0.3479	0.1875	1	38.8201	10.1799	1
	400	0.3427	0.1927	1	43.3088	12.6912	1
	450	0.3384	0.1970	1	47.7375	15.2625	1
	500	0.3348	0.2006	1	52.1158	17.8842	1

ตารางที่ 4.13 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ p_0 = 0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A			S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.09	5	0.9753	-0.3663	1	2.3698	0	19
	10	0.7789	-0.1698	1	3.6150	0	11
	15	0.6918	-0.0828	1	4.6751	0	10
	20	0.6399	-0.0309	1	5.6395	0	9
	25	0.6045	0.0045	1	6.5427	0	7
	30	0.5784	0.0307	1	7.4024	0	6
	35	0.5581	0.0510	1	8.2292	0	5
	40	0.5417	0.0673	1	9.02992	0	4
	45	0.5281	0.0809	1	9.80930	0	3
	50	0.5167	0.0924	1	10.5708	0	2
	60	0.4982	0.1109	1	12.0503	0	1
	70	0.4838	0.1252	1	13.4831	0	1
	80	0.4722	0.1368	1	14.8791	0	1
	90	0.4626	0.1464	1	16.2449	0	1
	100	0.4545	0.1545	1	17.5855	4.1455	1
	125	0.4387	0.1704	1	20.8488	1.6512	1
	150	0.4270	0.1820	1	24.0105	2.9850	1
	175	0.4179	0.1911	1	27.1075	4.3925	1
	200	0.4106	0.1985	1	30.1417	5.8583	1
	225	0.4045	0.2045	1	33.1282	7.3718	1
	250	0.3994	0.2097	1	36.0748	8.9252	1
	300	0.3911	0.2179	1	41.8704	12.1296	1
	350	0.3847	0.2243	1	47.5619	15.4381	1
	400	0.3795	0.2295	1	53.1709	18.8291	1
	450	0.3752	0.2338	1	58.7125	22.2875	1
	500	0.3716	0.2374	1	64.1977	25.8024	1

ตารางที่ 4.14 แสดงขอบเขตการควบคุมเมื่อ p_0 = 0.10,0.15,0.20 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	A			S		
		UCL	LCL	LCL	UCL	LCL	L
0.10	5	0.9923	-0.3493	1	2.5125	0	17
	10	0.7959	-0.1528	1	3.846	0	16
	15	0.7088	-0.0658	1	4.9857	0	8
	20	0.6569	-0.0139	1	6.0249	0	5
	25	0.6215	0.0215	1	7.000	0	4
	30	0.5954	0.0477	1	7.9295	0	3
	35	0.5751	0.0680	1	8.8245	0	2
	40	0.5587	0.0844	1	9.6921	0	1
	45	0.5451	0.0979	1	9.6921	0	1
	50	0.5337	0.1094	1	11.3640	0	1
0.15	5	1.0679	-0.2738	1	3.1453	0	15
	10	0.8714	-0.0773	1	4.8875	0	12
	15	0.7844	0.0098	1	6.3988	0	7
	20	0.7325	0.0616	1	7.7906	0	4
	25	0.6971	0.0971	1	9.1061	0	3
	30	0.6709	0.1232	1	10.3673	0	2
	35	0.6506	0.1435	1	11.5874	0	1
	40	0.6342	0.1599	1	12.7750	0	1
	45	0.6207	0.1734	1	13.9359	0	1
	50	0.6092	0.1849	1	15.0746	0	1
0.20	5	1.1331	-0.2085	1	3.6833	0	10
	10	0.9366	-0.0121	1	5.7947	0	9
	15	0.8496	0.0750	1	7.6476	0	5
	20	0.7977	0.1269	1	9.3666	0	3
	25	0.7623	0.1623	1	11.000	0	2
	30	0.7361	0.1884	1	12.5727	0	1
	35	0.7158	0.2087	1	14.0993	0	1
	40	0.6994	0.2251	1	15.5895	0.4105	1
	45	0.6859	0.2387	1	17.0498	0.9502	1
	50	0.6744	0.2501	1	18.4853	1.5147	1

จากตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.14 สรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิอาร์คไซน์

จะเห็นได้ว่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิอาร์คไซน์ขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) และขนาดตัวอย่าง n ซึ่งพบว่าขอบเขตควบคุมมีความกว้างมากขึ้นคือค่าส่วนต่างระหว่าง UCL และ LCL มีค่ามากขึ้นเมื่อมีค่าสัดส่วนของเสีย(p_0) เพิ่มขึ้นแต่ขอบเขตควบคุมมีความกว้างลดลงคือค่าส่วนต่างระหว่าง UCL และ LCL มีค่าลดลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตัวอย่าง n เพิ่มขึ้น ณ ค่าสัดส่วนของมาตรฐานที่ต้องการควบคุม(p_0) คงที่

2. แผนภูมิเรขาคณิต

ขอบเขตควบคุมนี้ไม่จะขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง แต่จะขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนของมาตรฐานที่ต้องการควบคุม(p_0) ซึ่งพบว่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิเรขาคณิตจะมีค่าของขอบเขตล่างลดลงเมื่อค่าสัดส่วนของมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) เพิ่มมากขึ้น และจะมีขอบเขตควบคุมเท่ากัน ณ p_0 คงที่ เมื่อขนาดหน่วยตัวอย่าง n เปลี่ยนไป

3. แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์

ขอบเขตควบคุมของวิธีควบคุมสังเคราะห์ มี 2 ขอบเขตควบคุม อธิบายได้ดังนี้

ขอบเขตควบคุมแรกจะมีเส้นควบคุมบนกับเส้นควบคุมล่าง จะมีการเปลี่ยนแปลงในทุกๆ ค่า เมื่อขนาดตัวอย่าง และค่าสัดส่วนของเสีย(p_0) เปลี่ยนไป ขอบเขตควบคุมจะมีขนาดกว้างขึ้นเมื่อค่าสัดส่วนของเสีย(p_0) เพิ่มขึ้น และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

ขอบเขตที่สองจะมีค่าขอบเขตควบคุมเป็น L จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีเปลี่ยนขนาดตัวอย่าง และค่าสัดส่วนของเสีย ที่ขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น ค่า L จะลดลงหรือเท่าเดิม ในทางกลับกันถ้าขนาดตัวอย่างเท่าเดิมแต่ค่าสัดส่วนของเสียเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ค่าของ L จะมีขนาดเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้น

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

ในขั้นตอนนี้จะทำการพิจารณาเปรียบเทียบค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 $(\hat{\alpha})$ ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ คือแผนภูมิอาร์คไซน์(A) แผนภูมิเรขาคณิต (G) และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (S) เพื่อคัดเลือกแผนภูมิควบคุมที่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ($\delta = 0$) แล้วนำไปพิจารณาเลือกใช้แผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับสถานการณ์ต่างๆ จากค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย(ARL) ในขั้นตอนต่อไป

ดังแสดงในตารางที่ 4.15 ถึง ตารางที่ 4.28 ซึ่งแสดงค่า $\hat{\alpha}$ จำแนกตามตามค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม(p_0) และกลุ่มตัวอย่างขนาด n ถ้าแผนภูมิควบคุมใดให้ค่าไม่เกินช่วงของการยอมรับความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 สรุปว่าแผนภูมิควบคุมนั้นสามารถตรวจสอบกระบวนการได้ตามสถานการณ์ต่างๆ ที่กำหนด โดยตาราง 4.33 จะแสดงแผนภูมิควบคุมที่สามารถควบคุมค่า α ตามสถานการณ์ต่าง ๆ

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.0001,0.0003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.0001	100	0.0001	0.0008	0.0050*
	125	0.0001	0.0008	0.0050*
	150	0.0001	0.0008	0.0049*
	175	0.0001	0.0007	0.0049*
	200	0.0001	0.0007	0.0049*
	225	0.0002	0.0007	0.0048*
	250	0.0002	0.0006	0.0047*
	300	0.0002	0.0005	0.0046*
	350	0.0003	0.0004	0.0043*
	400	0.0004	0.0004	0.0042*
	450	0.0004	0.0003	0.0041*
	500	0.0005	0.0002	0.0039*
0.0003	100	0.0003	0.0015	0.0042*
	125	0.0003	0.0015	0.0041*
	150	0.0003	0.0014	0.0040*
	175	0.0004	0.0014	0.0040*
	200	0.0004	0.0013	0.0039*
	225	0.0004	0.0013	0.0039*
	250	0.0004	0.0013	0.0039*
	300	0.0005	0.0012	0.0038*
	350	0.0005	0.0011	0.0036
	400	0.0006	0.0011	0.0035
	450	0.0008	0.0010	0.0033
	500	0.0010	0.0010	0.0025

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ตารางที่ 4.16 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.0005,0.0007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.0005	100	0.0004	0.0031	0.0042*
	125	0.0004	0.0031	0.0040*
	150	0.0004	0.0031	0.0039*
	175	0.0005	0.0031	0.0037*
	200	0.0005	0.0031	0.0035
	225	0.0005	0.0031	0.0034
	250	0.0007	0.0030	0.0033
	300	0.0008	0.0030	0.0031
	350	0.0009	0.0029	0.0029
	400	0.0010	0.0027	0.0023
	450	0.0014	0.0026	0.0019
	500	0.0015	0.0025	0.0016
0.0007	100	0.0005	0.0031	0.0037*
	125	0.0005	0.0031	0.0037*
	150	0.0007	0.0031	0.0029
	175	0.0008	0.0030	0.0025
	200	0.0008	0.0030	0.0020
	225	0.0009	0.0030	0.0017
	250	0.0010	0.0029	0.0015
	300	0.0013	0.0029	0.0014
	350	0.0015	0.0029	0.0012
	400	0.0017	0.0028	0.0011
	450	0.0019	0.0027	0.0007
	500	0.0020	0.0027	0.0006

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ตารางที่ 4.17 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.0009	100	0.0009	0.0035	0.0038*
	125	0.0010	0.0035	0.0037*
	150	0.0010	0.0034	0.0033
	175	0.0012	0.0033	0.0030
	200	0.0014	0.0033	0.0027
	225	0.0015	0.0032	0.0024
	250	0.0015	0.0031	0.0019
	300	0.0019	0.0029	0.0018
	350	0.0022	0.0028	0.0015
	400	0.0025	0.0028	0.0015
	450	0.0028	0.0027	0.0014
	500	0.0029	0.0026	0.0010

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.001	5	0.0001	0.0051*	0.0098*
	10	0.0001	0.0050*	0.0084*
	15	0.0001	0.0049*	0.0082*
	20	0.0001	0.0049*	0.0075*
	25	0.0001	0.0048*	0.0068*
	30	0.0002	0.0048*	0.0067*
	35	0.0002	0.0047*	0.0065*
	40	0.0003	0.0047*	0.00063*
	45	0.0004	0.0046*	0.0061*
	50	0.0004	0.0046*	0.0050*
	60	0.0005	0.0045*	0.0049*
	70	0.0005	0.0045	0.0046*
	80	0.0006	0.0044	0.0043*
	90	0.0008	0.0044*	0.0039*
	100	0.0009	0.0044*	0.0035
	125	0.0010	0.0043*	0.0033
	150	0.0010	0.0042*	0.0030
	175	0.0011	0.0041*	0.0026
	200	0.0012	0.0041*	0.0024
	225	0.0013	0.0040*	0.0022
	250	0.0015	0.0040*	0.0019
	300	0.0017	0.0039*	0.0016
	350	0.0020	0.0039*	0.0013
	400	0.0024	0.0038*	0.0012
	450	0.0027	0.0037*	0.0011
	500	0.0030	0.0037*	0.0011

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ตารางที่ 4.19 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.003	5	0.0001	0.0078*	0.0077*
	10	0.0001	0.0075*	0.0062*
	15	0.0001	0.0073*	0.0053*
	20	0.0001	0.0070*	0.0044*
	25	0.0002	0.0069*	0.0040*
	30	0.0003	0.0069*	0.0037*
	35	0.0004	0.0067*	0.0030
	40	0.0004	0.0065*	0.0025
	45	0.0005	0.0064*	0.0018
	50	0.0006	0.0063*	0.0018
	60	0.0008	0.0062*	0.0017
	70	0.0010	0.0061*	0.0017
	80	0.0013	0.0061*	0.0015
	90	0.0015	0.0060*	0.0014
	100	0.0019	0.0059*	0.0013
	125	0.0019	0.0058*	0.0013
	150	0.0020	0.0057*	0.0013
	175	0.0021	0.0057*	0.0012
	200	0.0021	0.0056*	0.0011
	225	0.0022	0.0055*	0.0011
	250	0.0023	0.0055*	0.0011
	300	0.0027	0.0054*	0.0010
	350	0.0029	0.0056*	0.0010
	400	0.0030	0.0053*	0.0009
	450	0.0032	0.0051*	0.0008
	500	0.0034	0.0050*	0.0008

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ตารางที่ 4.20 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.005	5	0.0001	0.0081*	0.0058*
	10	0.0001	0.0077*	0.0050*
	15	0.0001	0.0076*	0.0042*
	20	0.0002	0.0076*	0.0035
	25	0.0003	0.0075*	0.0033
	30	0.0004	0.0073*	0.0028
	35	0.0005	0.0072*	0.0023
	40	0.0006	0.0071*	0.0019
	45	0.0008	0.0071*	0.0018
	50	0.0010	0.0070*	0.0017
	60	0.0010	0.0069*	0.0017
	70	0.0013	0.0068*	0.0016
	80	0.0015	0.0067*	0.0015
	90	0.0018	0.0067*	0.0014
	100	0.0020	0.0066*	0.0014
	125	0.0021	0.0066*	0.0013
	150	0.0024	0.0065*	0.0013
	175	0.0025	0.0065*	0.0012
	200	0.0026	0.0064*	0.0011
	225	0.0027	0.0064*	0.0011
	250	0.0028	0.0064*	0.0011
	300	0.0030	0.0063*	0.0010
	350	0.0033	0.0060*	0.0010
	400	0.0035	0.0059*	0.0009
	450	0.0105*	0.0057*	0.0008
	500	0.0306*	0.0057*	0.0007

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ตารางที่ 4.21 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.007	5	0.0001	0.0086*	0.0082*
	10	0.0001	0.0081*	0.0047*
	15	0.0002	0.0078*	0.0025
	20	0.0003	0.0076*	0.0021
	25	0.0004	0.0076*	0.0020
	30	0.0006	0.0074*	0.0019
	35	0.0008	0.0073	0.0019
	40	0.0009	0.0073*	0.0018
	45	0.0009	0.0072*	0.0017
	50	0.0010	0.0071*	0.0017
	60	0.0014	0.0071*	0.0015
	70	0.0016	0.0069*	0.0014
	80	0.0018	0.0068*	0.0013
	90	0.0019	0.0068*	0.0013
	100	0.0022	0.0067*	0.0011
	125	0.0025	0.0067*	0.0011
	150	0.0027	0.0066*	0.0011
	175	0.0028	0.0066*	0.0010
	200	0.0030	0.0065*	0.0010
	225	0.0031	0.0065*	0.0010
	250	0.0033	0.0064*	0.0009
	300	0.0035	0.0064*	0.0009
	350	0.0077*	0.0063*	0.0008
	400	0.0102*	0.0062*	0.0007
	450	0.0284*	0.0061*	0.0007
	500	0.0411*	0.0060*	0.0006

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

<u>ตารางที่ 4.22</u> แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.009	5	0.0001	0.0093*	0.0071*
	10	0.0001	0.0091*	0.0064*
	15	0.0002	0.0091*	0.0035
	20	0.0004	0.0090*	0.0024
	25	0.0004	0.0090*	0.0020
	30	0.0007	0.0089*	0.0015
	35	0.0008	0.0089*	0.0014
	40	0.0008	0.0088*	0.0014
	45	0.0009	0.0087*	0.0013
	50	0.0015	0.0087*	0.0012
	60	0.0015	0.0087*	0.0011
	70	0.0016	0.0086*	0.0011
	80	0.0019	0.0086*	0.0011
	90	0.0024	0.0085*	0.0010
	100	0.0029	0.0083*	0.0009
	125	0.0031	0.0083*	0.0009
	150	0.0035	0.0082*	0.0009
	175	0.0035	0.0081*	0.0008
	200	0.0036	0.0080*	0.0008
	225	0.0042*	0.0079*	0.0008
	250	0.0061*	0.0079*	0.0007
	300	0.0103*	0.0078*	0.0007
	350	0.0115*	0.0077*	0.0007
	400	0.0167*	0.0076*	0.0006
	450	0.0281*	0.0074*	0.0005
	500	0.0443*	0.0073*	0.0005

<u>หมายเหตุ</u> * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ตารางที่ 4.23 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.01 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.01	5	0.0001	0.0113*	0.0037
	10	0.0002	0.0110*	0.0029
	15	0.0003	0.0107*	0.0022
	20	0.0004	0.0107*	0.0017
	25	0.005	0.0106*	0.0017
	30	0.0007	0.0105*	0.0015
	35	0.0009	0.0104*	0.0014
	40	0.0010	0.0103*	0.0013
	45	0.0010	0.0102*	0.0013
	50	0.0010	0.0101*	0.0012
	60	0.0017	0.0101*	0.0012
	70	0.0018	0.0100*	0.0011
	80	0.0020	0.0100*	0.0010
	90	0.0023	0.0098*	0.0010
	100	0.0026	0.0097*	0.0009
	125	0.0030	0.0096*	0.0009
	150	0.0034	0.0095*	0.0009
	175	0.0036	0.0095*	0.0008
	200	0.0057*	0.0094*	0.0008
	225	0.0065*	0.0094*	0.0008
	250	0.0074*	0.0093*	0.0008
	300	0.0141*	0.0092*	0.0007
	350	0.0161*	0.0091*	0.0007
	400	0.0185*	0.0089*	0.0006
	450	0.0223*	0.0087*	0.0005
	500	0.0319*	0.0085*	0.0004

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ตารางที่ 4.24 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.03	5	0.0001	0.0140*	0.0030
	10	0.0002	0.0137*	0.0018
	15	0.0003	0.0135*	0.0010
	20	0.0003	0.0132*	0.0010
	25	0.0004	0.0130*	0.0010
	30	0.0005	0.0129*	0.0009
	35	0.005	0.0127*	0.0009
	40	0.0006	0.0125*	0.0008
	45	0.0007	0.0124*	0.0008
	50	0.0011	0.0123*	0.0008
	60	0.0020	0.0123*	0.0007
	70	0.0103*	0.0121*	0.0007
	80	0.0105*	0.0118*	0.0006
	90	0.0207*	0.0117*	0.0006
	100	0.0581*	0.0115*	0.0005
	125	0.0754*	0.0114*	0.0005
	150	0.0913*	0.0113*	0.0005
	175	0.1072*	0.0112*	0.0005
	200	0.1159*	0.0111*	0.0004
	225	0.1376*	0.0110*	0.0004
	250	0.1481*	0.0110*	0.0004
	300	0.1557*	0.0107*	0.0004
	350	0.1863*	0.0105*	0.0003
	400	0.2087*	0.0102*	0.0003
	450	0.2701*	0.0100*	0.0002
	500	0.2818*	0.0100*	0.0002

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ตารางที่ 4.25 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.05 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.05	5	0.0001	0.0219*	0.0030
	10	0.0002	0.0215*	0.0018
	15	0.003	0.0211*	0.0010
	20	0.0007	0.0210*	0.0009
	25	0.0010	0.0206*	0.0009
	30	0.0023	0.0201*	0.0009
	35	0.0034	0.0198*	0.0009
	40	0.0078*	0.0195*	0.0008
	45	0.0117*	0.0193*	0.0008
	50	0.0871*	0.0190*	0.0008
	60	0.0304*	0.0188*	0.0007
	70	0.0509*	0.0186*	0.0006
	80	0.0613*	0.0185*	0.0005
	90	0.0702*	0.0182*	0.0005
	100	0.0844*	0.0180*	0.0005
	125	0.0883*	0.0178*	0.0004
	150	0.0977*	0.0177*	0.0004
	175	0.1014*	0.0175*	0.0004
	200	0.1035*	0.0174*	0.0004
	225	0.1197*	0.0173*	0.0004
	250	0.1302*	0.0172*	0.0003
	300	0.1367*	0.0169*	0.0003
	350	0.1817*	0.0165*	0.0003
	400	0.2417*	0.0161*	0.0002
	450	0.3523*	0.0150*	0.0002
	500	0.4631*	0.0146*	0.0001

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ตารางที่ 4.26 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.07	5	0.0020	0.0701*	0.0028
	10	0.0025	0.0687*	0.0016
	15	0.0029	0.0669*	0.0014
	20	0.0030	0.0653*	0.0009
	25	0.0036	0.0641*	0.0009
	30	0.0059*	0.0632*	0.0008
	35	0.0183*	0.0591*	0.0007
	40	0.0300*	0.0563*	0.0007
	45	0.0397*	0.0511*	0.0007
	50	0.0466*	0.0481*	0.0006
	60	0.0545*	0.0436*	0.0006
	70	0.0832*	0.0401*	0.0005
	80	0.0956*	0.0358*	0.0005
	90	0.1552*	0.0327*	0.0004
	100	0.2321*	0.0317*	0.0003
	125	0.2865*	0.0312*	0.0003
	150	0.3044*	0.0301*	0.0003
	175	0.3842*	0.0297*	0.0003
	200	0.4170*	0.0293*	0.0003
	225	0.4468*	0.0291*	0.0002
	250	0.4723*	0.0290*	0.0002
	300	0.5534*	0.0285*	0.0002
	350	0.6751*	0.0271*	0.0002
	400	0.7721*	0.0249*	0.0001
	450	0.8405*	0.0237*	0.0001
	500	0.8818*	0.0229*	0.0001

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ตารางที่ 4.27 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.09	5	0.0027	0.0887*	0.0017
	10	0.0028	0.0851*	0.0014
	15	0.0030	0.0823*	0.0010
	20	0.0034	0.0790*	0.0009
	25	0.0039*	0.0756*	0.0009
	30	0.0042*	0.0734*	0.0008
	35	0.0051*	0.0712*	0.0008
	40	0.0073*	0.0701*	0.0007
	45	0.0422*	0.0667*	0.0007
	50	0.0568*	0.0659*	0.0006
	60	0.0735*	0.0632*	0.0005
	70	0.0995*	0.0619*	0.0005
	80	0.1843*	0.0587*	0.0004
	90	0.2817*	0.0573*	0.0004
	100	0.2898*	0.0540*	0.0004
	125	0.3254*	0.0527*	0.0004
	150	0.3821*	0.0519*	0.0004
	175	0.3900*	0.0508*	0.0003
	200	0.4257*	0.0492*	0.0003
	225	0.5193*	0.0461*	0.0003
	250	0.6438*	0.0443*	0.0002
	300	0.7541*	0.0424*	0.0002
	350	0.8276*	0.0405*	0.0001
	400	0.8911*	0.0371*	0.0001
	450	0.9862*	0.0336*	0.0001
	500	0.9971*	0.0315*	0.0001

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ตารางที่ 4.28 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อ ค่า p_0 = 0.10,0.15,0.20 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	$\hat{\alpha}$		
		A	G	S
0.10	5	0.0019	0.1009*	0.0022
	10	0.0021	0.0990*	0.0021
	15	0.0024	0.0998*	0.0013
	20	0.0036	0.1001*	0.0009
	25	0.0072*	0.1010*	0.0008
	30	0.0098*	0.1010*	0.0005
	35	0.0165*	0.1010*	0.0004
	40	0.0268*	0.1010*	0.0003
	45	0.0440*	0.1003*	0.0002
	50	0.0733*	0.1006*	0.0008
0.15	5	0.0022	0.1501 *	0.0008
	10	0.0025	0.1498*	0.0006
	15	0.0037*	0.1485*	0.0005
	20	0.0066*	0.1481*	0.0005
	25	0.0076*	0.1479*	0.0005
	30	0.0122*	0.1477*	0.0004
	35	0.0180*	0.1477*	0.0004
	40	0.0381*	0.1475*	0.0003
	45	0.0450*	0.1473*	0.0003
	50	0.0930*	0.1473*	0.0002
0.20	5	0.0024	0.2014*	0.0017
	10	0.0028	0.2010*	0.0012
	15	0.0039*	0.2007*	0.00019
	20	0.0097*	0.2004*	0.0004
	25	0.0122*	0.2001*	0.0004
	30	0.0356*	0.1998*	0.0003
	35	0.0392*	0.1997*	0.0003
	40	0.0531*	0.1997*	0.0001
	45	0.0600*	0.1995*	0.0001
	50	0.1350*	0.1993*	0.0001

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมที่ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

จากตารางที่ 4.15 ถึง 4.28 สรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิอาร์คไซน์

มีแนวโน้มของค่า $\hat{\alpha}$ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) คงที่ และ n เพิ่มขึ้น เนื่องจากแผนภูมิอาร์คไซน์ เป็นแผนภูมิที่สร้างขึ้นโดยการแปลงข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบทวินามที่มีลักษณะเบ้ขวาเมื่อค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) มีขนาดเล็ก จึงทำให้ค่าตัวอย่างตกออกนอกขอบเขตควบคุมบน (UCL) มากขึ้น ทั้งที่กระบวนการยังคงอยู่ในการควบคุม และเมื่อสังเกตค่า $\hat{\alpha}$ จะเห็นว่าเมื่อขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น หรือค่าสัดส่วนมาตรฐานที่ต้องการควบคุมมีขนาดใหญ่ขึ้นค่า $\hat{\alpha}$ จะมีแนวโน้มเพิ่มตามไปด้วย และพบว่าจะสามารถควบคุมค่า α ได้เมื่อ $np_0 \leq 2$

2. แผนภูมิเรขาคณิต

มีแนวโน้มของค่า $\hat{\alpha}$ ลดลงเรื่อยๆ เมื่อ p_0 มีค่าคงที่ และ n เพิ่มขึ้น และเมื่อ p_0 เมื่อค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า $\hat{\alpha}$ เพิ่มขึ้น และจะควบคุมค่า α เมื่อ p_0 มีขนาดเล็ก เนื่องจากแผนภูมิเรขาคณิตถูกสร้างขึ้นสำหรับการตรวจสอบกระบวนการที่ต้องการคุณภาพสูงจึงต้องการค่าสัดส่วนของเสียที่ค่าเบาบาง และค่าของขอบเขตควบคุมบนและล่างถูกสร้างขึ้นโดยไม่ได้ใช้ขนาดของตัวอย่างจึงพบว่าจะสามารถควบคุมค่า α ได้เมื่อ $p_0 =$ 0.0001 , 0.0003 , 0.0005 , 0.0007 , 0.0009

3. แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์

มีแนวโน้มของค่า $\hat{\alpha}$ ลดลงเรื่อย ๆ เมื่อ p_0 คงที่ และ n เพิ่มขึ้นและสามารถควบคุมค่า α ได้เมื่อ $np_0 > 0.1$

ดังนั้นในการพิจารณาค่า ARL เพื่อคัดเลือกแผนภูมิควบคุมที่ดีที่สุดตามแต่ละสถานการณ์ในขั้นตอนต่อไป จะเลือกพิจารณาเฉพาะแผนภูมิที่สามารถควบคุมค่า α ได้เท่านั้น

โดยผลสรุปของแผนภูมิควบคุมที่มีค่า $\hat{\alpha}$ ไม่เกินช่วงของการยอมรับความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 แสดงไว้ในตารางตารางที่ 4.29 ดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.29 แสดงวิธีการตรวจสอบแผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า $\hat{\alpha}$ ไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

n \ p_0	0.0001	0.0003	0.0005	0.0007	0.0009	0.001	0.003	0.005	0.007	0.009	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.15	0.20
5	-	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S
1	-	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S
15	-	-	-	-	-	A	A	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S
20	-	-	-	-	-	A	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S
25	-	-	-	-	-	A	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S
30	-	-	-	-	-	A	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S
35	-	-	-	-	-	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S
40	-	-	-	-	-	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S	S
45	-	-	-	-	-	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S	S
50	-	-	-	-	-	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S	S
60	-	-	-	-	-	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	-	-	-
70	-	-	-	-	-	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	-	-	-
80	-	-	-	-	-	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	-	-	-
90	-	-	-	-	-	A	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	-	-	-
100	A,G	A,G	A,G	A,G	A,G	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	-	-	-
125	A,G	A,G	A,G	A,G	A,G,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	-	-	-
150	A,G	A,G	A,G	A,G,S	A,G,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	-	-	-
175	A,G	A,G	A,G	A,G,S	A,G,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	-	-	-
200	A,G	A,G	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	-	-	-
225	A,G	A,G	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S	S	-	-	-
250	A,G	A,G	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S	S	-	-	-
300	A,G	A,G	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S	S	S	-	-	-
350	A,G	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S	S	S	-	-	-
400	A,G	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S	S	S	-	-	-
450	A,G	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S	S	S	S	-	-	-
500	A,G	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,G,S	A,S	A,S	S	S	S	S	S	S	S	S	-	-	-

หมายเหตุ A = แผนภูมิอาร์คไซน์ , G = แผนภูมิเรขาคณิต , S = แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ , – หมายถึงในงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาในสถานการณ์ดังกล่าว

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL

จากหัวข้อ 4.2 จะเลือกเฉพาะแผนภูมิควบคุมที่สามารควบคุมค่า α ได้ ตามสถานการณ์ต่างๆ ดังตารางที่ 4.15 - ตารางที่ 4.28 เพื่อนำมาหาค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.30 - ตารางที่ 4.43 และตารางที่ ก1. - ตารางที่ ก70 (ภาคผนวก ก หน้า 93- 162) โดยแสดงเฉพาะค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมที่สามารถควบคุมค่า α ได้เท่านั้น

ตารางที่ 4.30 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า p_0 =0.0001,0.0003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0001	100	534.0640	473.2200*	
	125	521.7550	469.5990*	
	150	510.5140	466.3810*	
	175	498.6190	459.2730*	
	200	488.2470	454.3290*	
	225	476.5140	446.1450*	
	250	468.8120	442.9670*	
	300	452.5040	427.2120*	
	350	441.2630	418.4950*	
	400	429.3680	406.8790*	
	450	413.9960	388.9770*	
	500	396.2630	376.8790*	
0.0003	100	505.3680	456.1810*	
	125	497.0590	441.5600*	
	150	481.8180	430.3420*	
	175	469.9230	423.2340*	
	200	459.5510	418.2900*	
	225	447.8180	410.1060*	
	250	436.1160	401.9280*	
	300	420.8080	391.1730*	
	350	410.5670	379.4560*	394.3200
	400	399.6720	368.8400*	383.5670
	450	385.3000	349.9380*	367.1420
	500	370.5670	340.8400*	356.3560

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.31 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.10 ค่า p_0 = 0.0005,0.0007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0005	100	495.8470	446.8160*	
	125	487.5380	432.1950*	
	150	472.2970	420.9770*	
	175	460.4020	413.8690*	
	200	450.0300	408.9250*	430.3650
	225	438.2970	400.7410*	421.4130
	250	426.5950	392.5630*	413.0460
	300	411.2870	381.8080*	393.2740
	350	401.0460	370.0910*	385.9580
	400	390.1510	359.4750*	375.2050
	450	375.7790	340.5730*	358.7800
	500	361.0460	331.4750*	347.9940
0.0007	100	474.8100	418.5440*	
	125	466.5010	414.9230*	
	150	453.2600	411.7050*	436.1930
	175	441.3650	404.5970*	427.8850
	200	430.9930	399.6530*	419.2440
	225	419.2600	391.4690*	407.7490
	250	407.5580	388.2910*	396.3770
	300	392.2500	375.5360*	384.6140
	350	384.0090	363.8190*	376.1530
	400	372.1140	352.2030*	360.1820
	450	360.7420	337.3010*	352.5290
	500	351.0090	329.2030*	343.7610

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.32 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า $p_0 = 0.0009$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0009	100	467.2890	409.1790*	
	125	458.9800	405.5580*	441.3650
	150	443.7390	402.3400*	429.8890
	175	431.8440	395.2320*	420.5230
	200	421.4720	390.2880*	412.2820
	225	409.7390	382.1040*	400.3870
	250	400.0370	378.9260*	389.0150
	300	386.7290	365.1710*	379.2820
	350	379.4880	354.4540*	365.7910
	400	369.5930	342.8380*	356.8200
	450	357.2210	331.9360*	344.1670
	500	345.4880	322.8380*	335.3990

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.33 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า $p_0 = 0.001$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.001	5	466.7390*		
	10	457.6340*		
	15	444.9090*		
	20	437.5330*		
	25	428.6340*		
	30	423.3250*		
	35	420.3240*		
	40	415.0840*		
	45	412.8080*		
	50	409.6020*		
	60	401.1890*		
	70	396.8170*		
	80	383.8070*		
	90	376.0690*		
	100	373.6280		351.3850*
	125	369.2090		345.4640*
	150	364.3670		337.2830*
	175	357.9510		334.6590*
	200	353.0590		328.8220*
	225	345.8180		320.5140*
	250	337.9230		311.0750*
	300	330.7780		307.0780*
	350	324.5830		297.7690*
	400	319.5510		286.9640*
	450	311.8180		278.3670*
	500	304.3340		271.3560*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.34 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า $p_0 = 0.003$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.003	5	458.1160*		
	10	449.0110*		
	15	436.2860*		
	20	428.9100*		
	25	420.0110*		
	30	414.7020*		
	35	406.4610		399.3950*
	40	404.1850		395.5680*
	45	400.9790		390.0870*
	50	395.5660		384.8460*
	60	386.1940		378.9510*
	70	375.1840		370.5950*
	80	369.4460		359.7310*
	90	365.0050		356.1100*
	100	360.5860		340.1700*
	125	355.7440		334.2490*
	150	349.3280		326.0680*
	175	344.4360		323.4430*
	200	337.1950		317.6070*
	225	329.3510		312.2990*
	250	322.1550		306.8600*
	300	315.9600		295.8630*
	350	310.9280		286.5540*
	400	303.1950		278.7490*
	450	295.7110		267.1520*
	500	288.7110		263.1410*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.35 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า $p_0 = 0.005$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.005	5	436.8650*		
	10	427.7600*		
	15	415.0350*		
	20	407.6590		383.6310*
	25	398.7600		377.4230*
	30	393.4510		370.1150*
	35	390.4500		364.5830*
	40	385.2100		360.7560*
	45	382.9340		355.2750*
	50	379.7280		350.0340*
	60	374.3150		344.1390*
	70	365.9430		337.7830*
	80	353.9330		324.9190*
	90	346.1950		321.2980*
	100	343.7540		316.5730*
	125	339.3350		310.6520*
	150	334.4930		302.4710*
	175	328.0770		299.8470*
	200	323.1850		294.0100*
	225	315.9440		288.7020*
	250	308.0290		283.2630*
	300	300.9040		272.2640*
	350	294.7090		268.9570*
	400	293.6770		260.1520*
	450	281.9440		243.2550*
	500	274.4600		239.5840*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.36 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า $p_0 = 0.007$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.007	5	435.5220*		
	10	426.4170*		
	15	413.6920		388.7140*
	20	406.3160		379.3650*
	25	397.4170		372.4150*
	30	392.1080		368.1270*
	35	389.1070		362.2380*
	40	383.8670		358.4110*
	45	381.5910		352.9300*
	50	378.3850		347.6890*
	60	375.9720		341.7940*
	70	367.6000		337.4380*
	80	355.5950		325.5700*
	90	347.8570		321.9490*
	100	345.4160		317.2240*
	125	340.9970		311.3030*
	150	336.1550		303.1220*
	175	329.7390		300.4980*
	200	324.8470		294.6610*
	225	317.6060		289.3530*
	250	309.7110		283.9140*
	300	302.5660		272.9170*
	350	296.3710		269.6080*
	400	295.3390		260.8030*
	450	283.6060		244.2060*
	500	276.1220		240.1950*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.37 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า $p_0 = 0.009$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.009	5	384.3040*		
	10	381.1990*		
	15	368.4740		342.9280*
	20	361.0980		339.6410*
	25	352.1990		331.9280*
	30	349.1290		325.6410*
	35	343.3020		317.4590*
	40	339.6490		313.6320*
	45	334.3730		308.1510*0
	50	329.1670		302.9100*
	60	320.7540		294.0150*
	70	312.3820		285.6590*
	80	304.3670		274.7990*
	90	296.6290		271.1780*
	100	294.1880		266.4530*
	125	289.7690		260.5320*
	150	284.9270		252.3510*
	175	278.5110		249.7270*
	200	273.6190		243.8900*
	225	266.3780		238.5820*
	250	258.4830		233.1430*
	300	251.3380		222.1460*
	350	245.1430		218.8370*
	400	244.1110		210.0320*
	450	232.3780		193.4350*
	500	224.8940		189.4240*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.38 ตารางแสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า $p_0 = 0.01$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.01	5	330.6180*		
	10	327.5130		284.3480*
	15	314.7880		274.8060*
	20	307.4120		270.5190*
	25	298.5130		274.8060*
	30	295.4430		270.5190*
	35	290.6160		262.3370*
	40	286.9630		258.5100*
	45	282.6870		253.0290*
	50	279.4810		247.7880*
	60	274.0680		241.8930*
	70	265.6960		237.5370*
	80	250.6810		219.6770*
	90	242.9430		216.0560*
	100	240.5020		211.3310*
	125	236.0830		205.4100*
	150	231.2410		197.2290*
	175	224.8250		194.6050*
	200	219.9330		188.7680*
	225	212.6920		183.4600*
	250	204.7970		178.0210*
	300	197.6520		167.0240*
	350	191.4570		163.7150*
	400	190.4250		154.9100*
	450	178.6920		138.3130*
	500	171.2080		134.3020*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.39 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า $p_0 = 0.03$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.03	5	300.0710		267.1190*
	10	296.9660		263.7850*
	15	284.4830		259.2430*
	20	276.3650		252.9560*
	25	271.9160		247.2430*
	30	266.8920		242.9560*
	35	260.0670		234.7740*
	40	254.4160		230.9470*
	45	252.1400		225.4660*
	50	248.9340		220.2250*
	60	241.5210		214.3300*
	70			204.9740*
	80			192.1140*
	90			188.4930*
	100			183.7680*
	125			177.8470*
	150			169.6660*
	175			167.0420*
	200			161.2050*
	225			155.8970*
	250			150.4580*
	300			139.4610*
	350			136.1520*
	400			127.3470*
	450			110.7500*
	500			106.7390*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.40 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า $p_0 = 0.05$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.05	5	269.5240		244.5560*
	10	266.4190		229.2220*
	15	246.3180		221.6800*
	20	243.9360		218.3930*
	25	237.4190		214.6800*
	30	232.3490		209.3930*
	35	227.4810		207.2110*
	40			203.3840*
	45			197.9030*
	50			192.6620*
	60			186.7670*
	70			182.4110*
	80			164.5510*
	90			160.9300*
	100			156.2050*
	125			150.2840*
	150			142.1030*
	175			139.4790*
	200			133.6420*
	225			128.3340*
	250			122.8950*
	300			111.8980*
	350			108.5890*
	400			96.7840*
	450			83.1870*
	500			79.1760*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.41 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า $p_0 = 0.07$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.07	5	241.6350		214.8440*
	10	238.5300		199.3140*
	15	218.4290		192.4670*
	20	216.0470		187.4850*
	25	209.5300		183.7720*
	30			180.4850*
	35			177.3030*
	40			173.4760*
	45			167.9950*
	50			162.7540*
	60			156.8590*
	70			152.5030*
	80			137.6390*
	90			134.0180*
	100			129.2930*
	125			123.3720*
	150			115.1910*
	175			112.5670*
	200			106.7300*
	225			101.4220*
	250			95.9830*
	300			84.9860*
	350			81.6770*
	400			72.8720*
	450			56.2750*
	500			52.2640*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.42 แสดงค่า ARL เมื่อ 0.10 ค่า p_0 = 0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.09	5	210.7460		181.1700*
	10	207.6410		165.6400*
	15	187.5400		158.7930*
	20	185.1580		153.8110*
	25			150.0980*
	30			146.8110*
	35			143.6290*
	40			139.8020*
	45			134.3210*
	50			129.0800*
	60			123.1850*
	70			118.8290*
	80			106.9610*
	90			103.3400*
	100			98.6150*
	125			92.6940*
	150			84.5130*
	175			81.8890*
	200			76.0520*
	225			70.7440*
	250			65.3050*
	300			54.3080*
	350			50.9990*
	400			42.1940*
	450			25.5970*
	500			21.5860*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

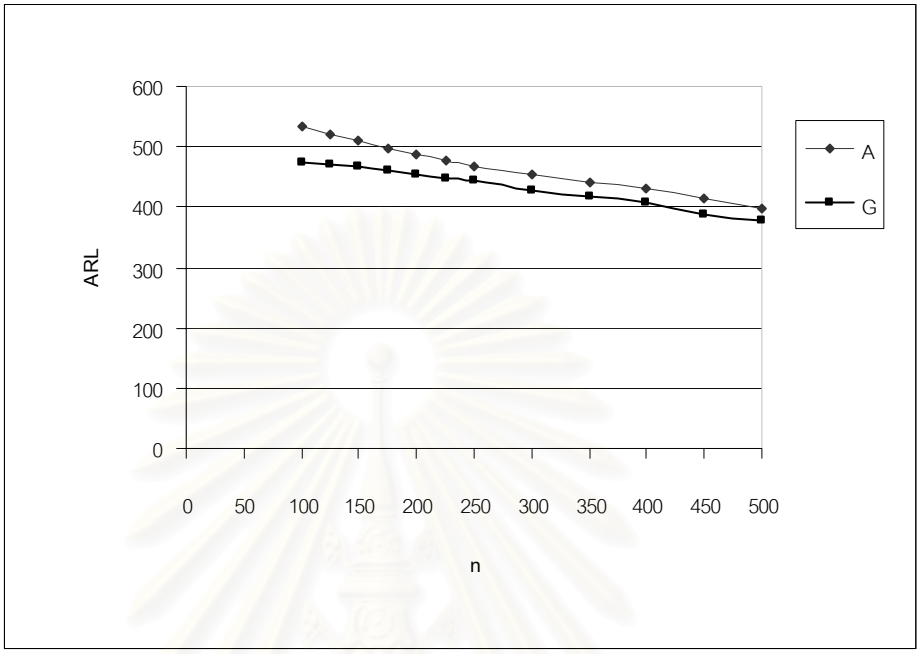
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.43 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.10$ ค่า p_0 = 0.10,0.15,0.20 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

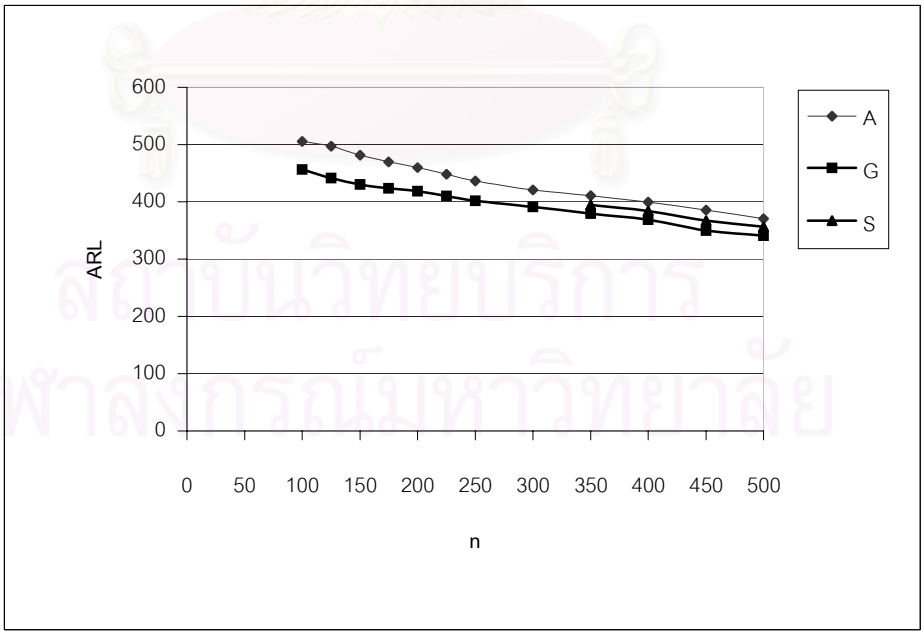
p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.10	5	181.8960		150.3970*
	10	178.7910		134.8670*
	15	158.6900		128.0200*
	20			123.0380*
	25			119.3250*
	30			116.0380*
	35			112.8560*
	40			109.0290*
	45			103.5480*
	50			98.3070*
0.15	5	150.3600		114.9340*
	10	144.2550		99.4040*
	15			80.5730*
	20			75.5910*
	25			71.8780*
	30			68.5910*
	35			65.4090*
	40			61.5820*
	45			56.1010*
	50			50.8600*
0.20	5	106.8040		67.4870*
	10	103.6990		51.9570*
	15			45.1100*
	20			40.1280*
	25			36.4150*
	30			33.1280*
	35			29.9460*
	40			26.1190*
	45			20.6380*
	50			15.3970*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

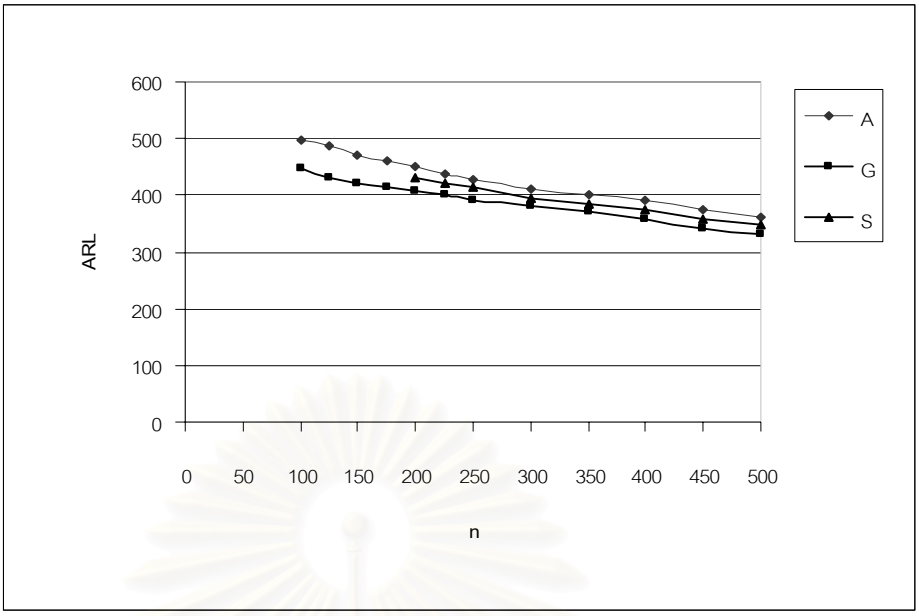
ดังนั้นจากตารางที่ 4.30 ถึง 4.43 จึงสามารถแสดงเป็นภาพที่ 4.1 ถึง 4.18 ด้วยค่าพารามิเตอร์ p_0 , n เมื่อค่า $\delta = 0.01$



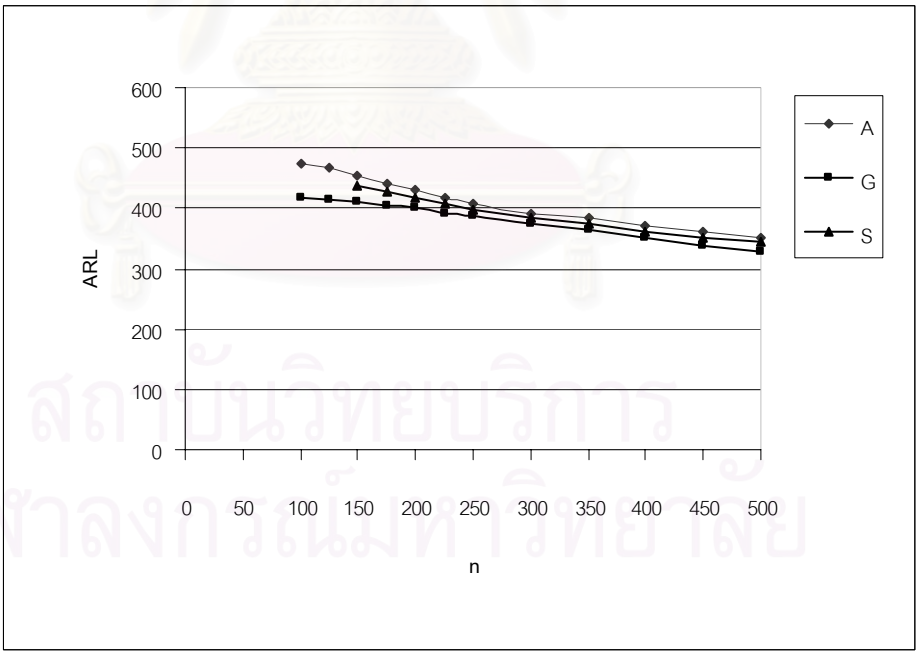
ภาพที่ 4.1 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.01 จำแนกตาม ค่า p_0 = 0.0001 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



ภาพที่ 4.2 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.01 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.0003 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

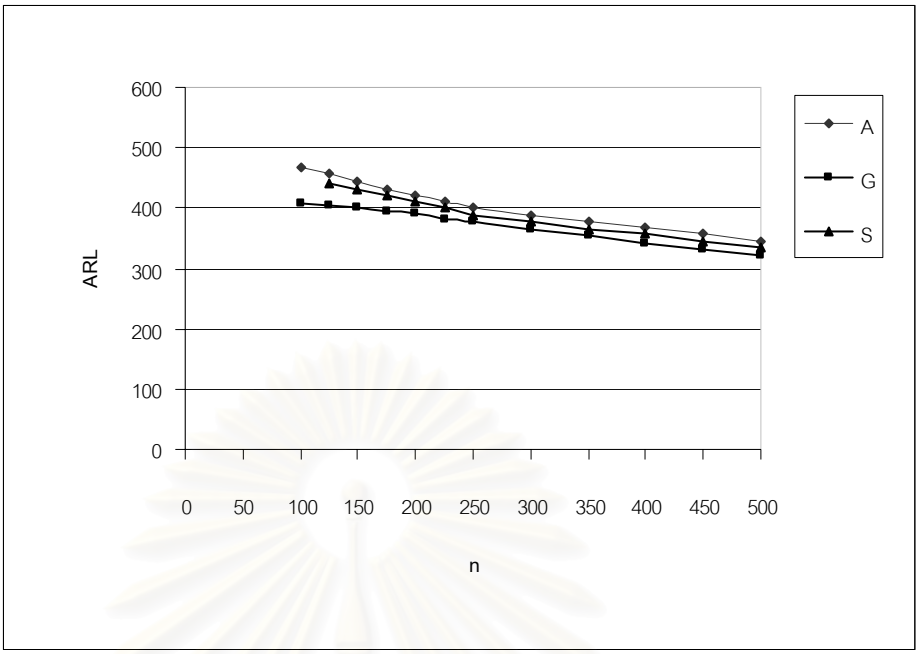


ภาพที่ 4.3 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.01 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.0005 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

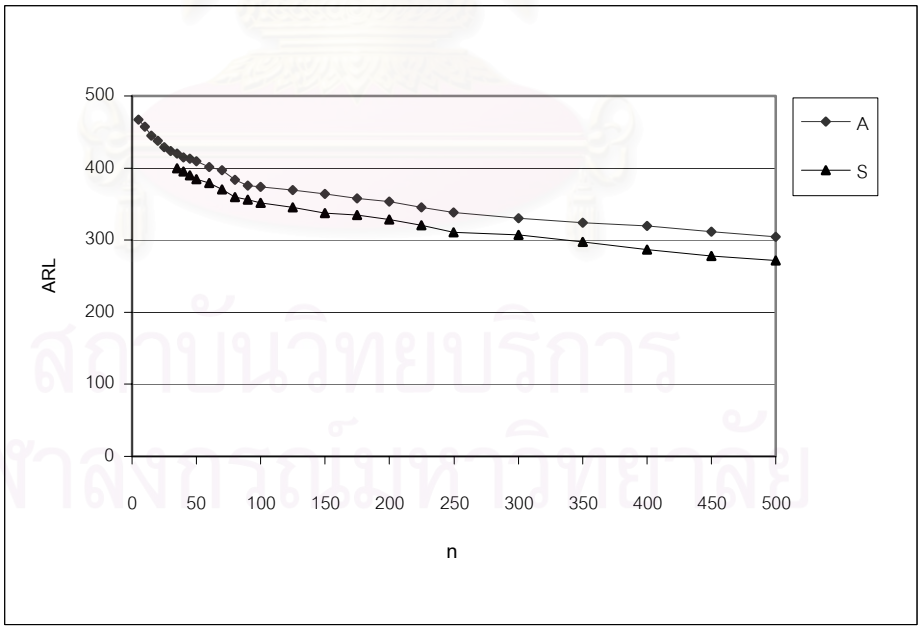


ภาพที่ 4.4 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.0007 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

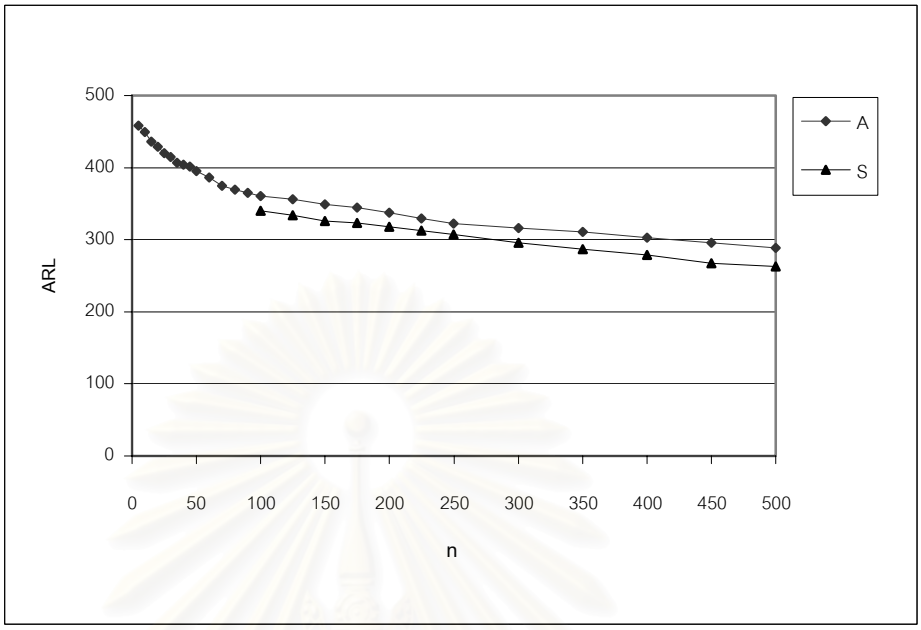
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



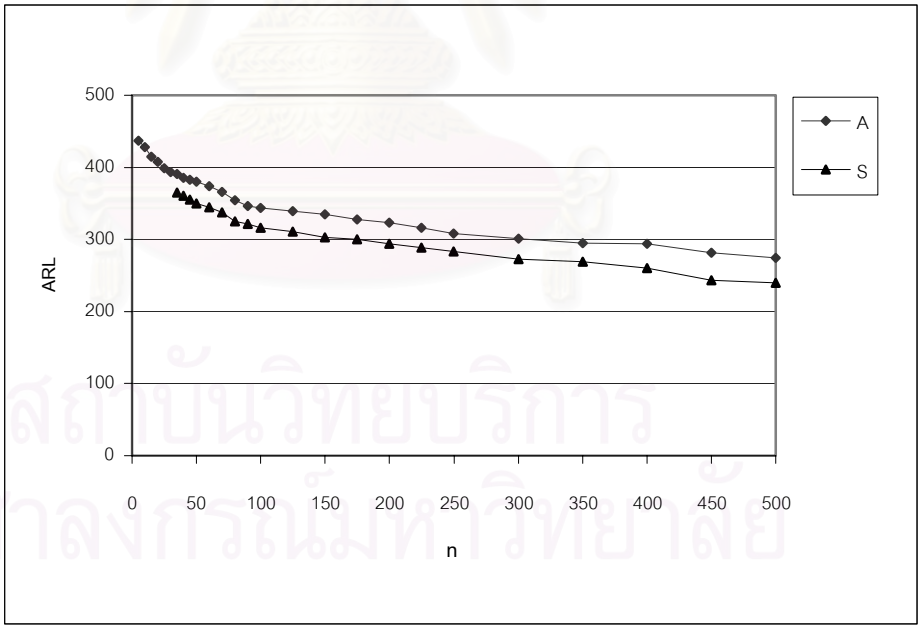
ภาพที่ 4.5 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.0009 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



ภาพที่ 4.6 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.001 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

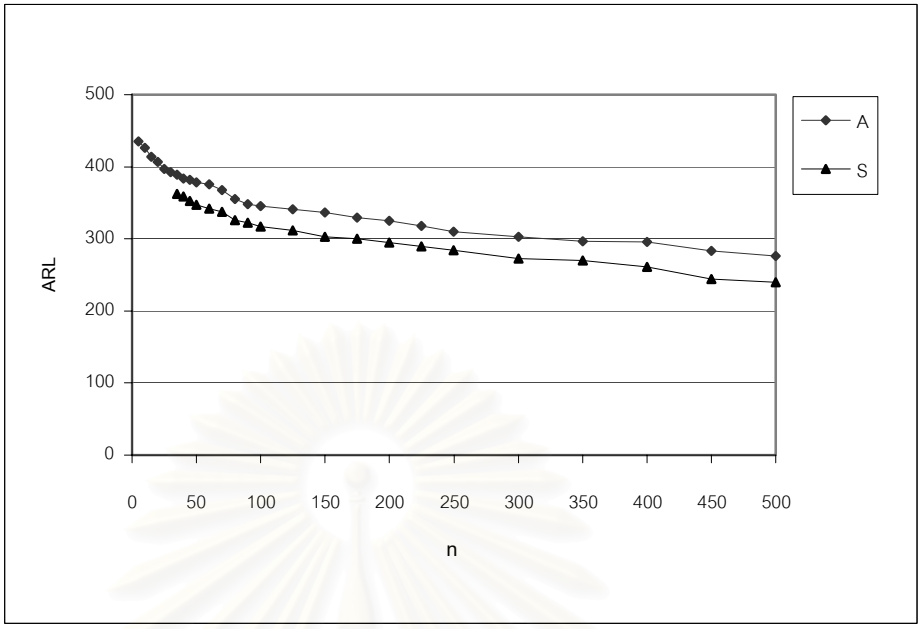


ภาพที่ 4.7 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.003 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

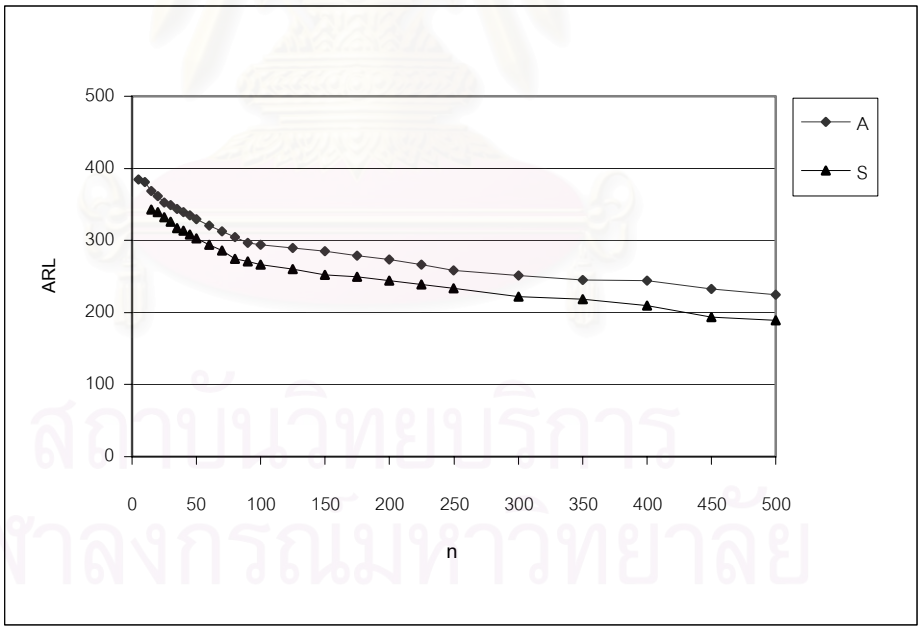


ภาพที่ 4.8 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.005 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

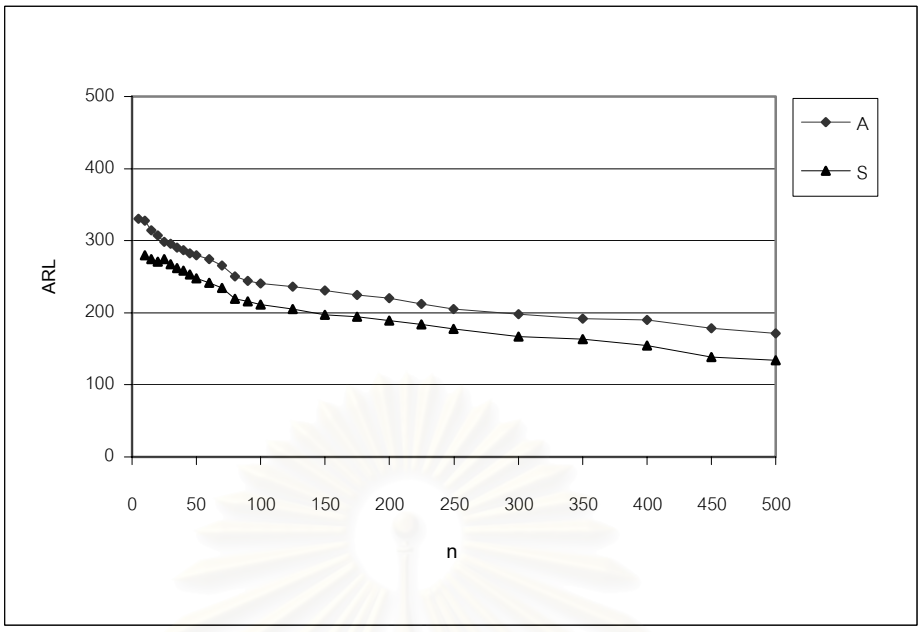


ภาพที่ 4.9 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.007 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

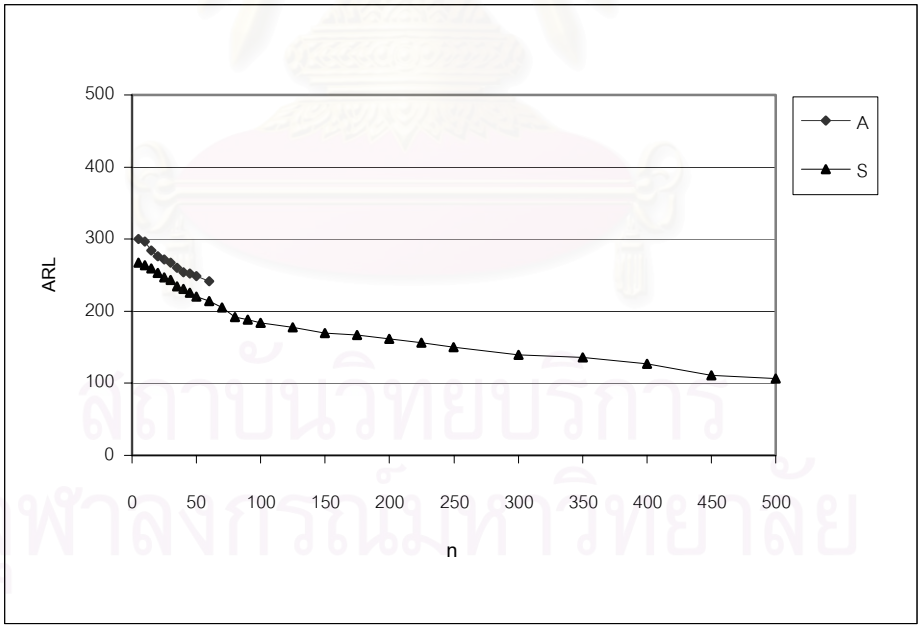


ภาพที่ 4.10 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.009 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

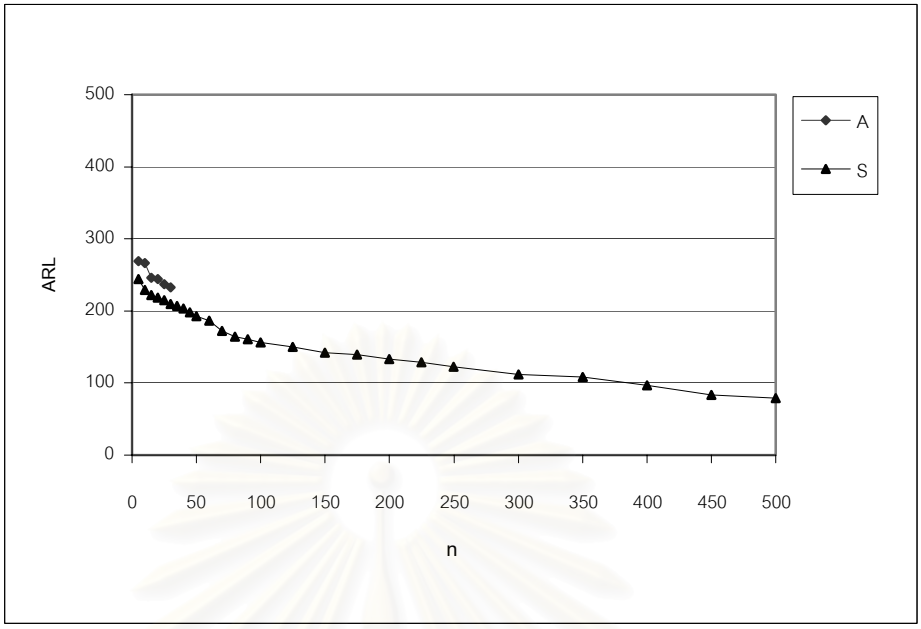
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



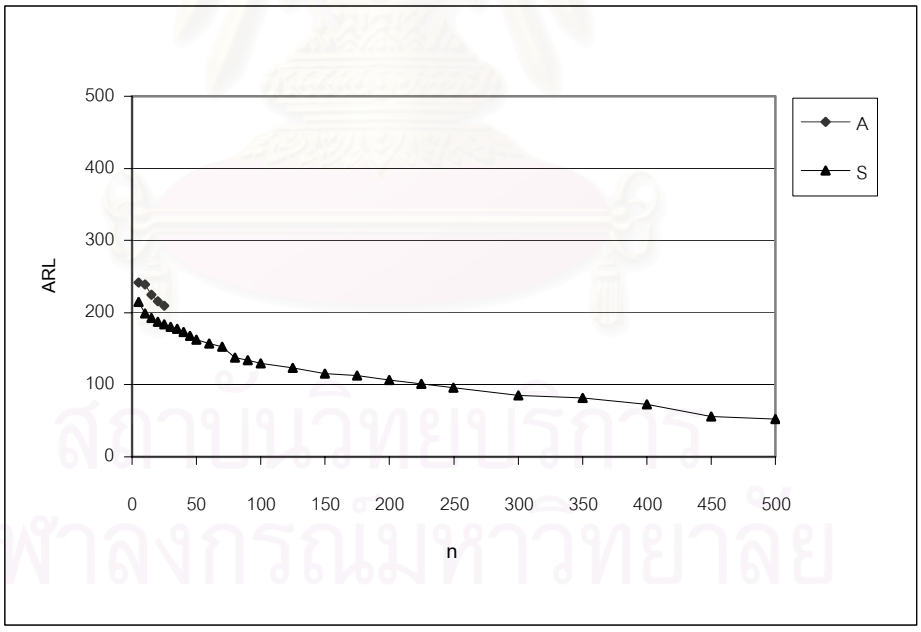
ภาพที่ 4.11 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.01 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



ภาพที่ 4.12 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.03 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

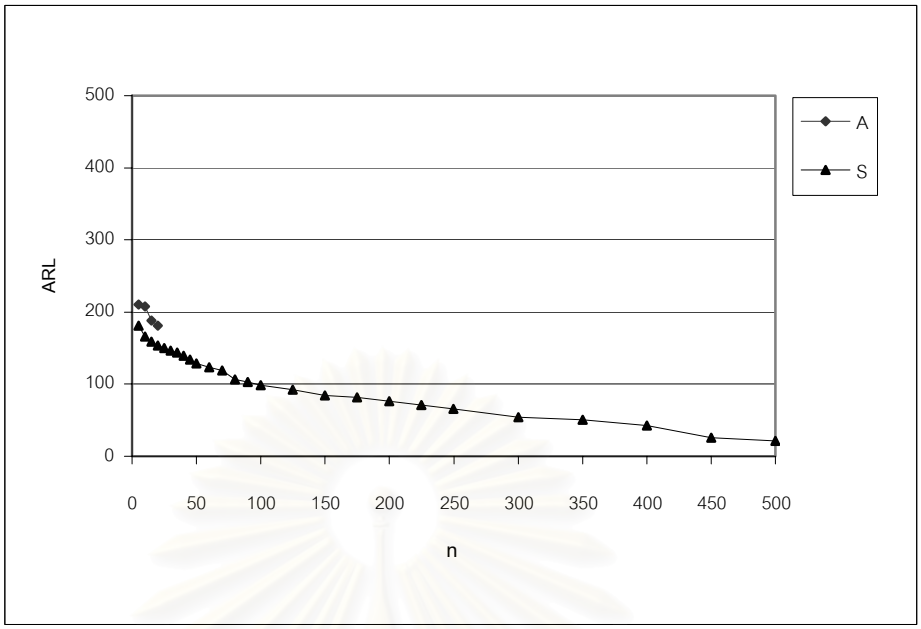


ภาพที่ 4.13 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.05 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

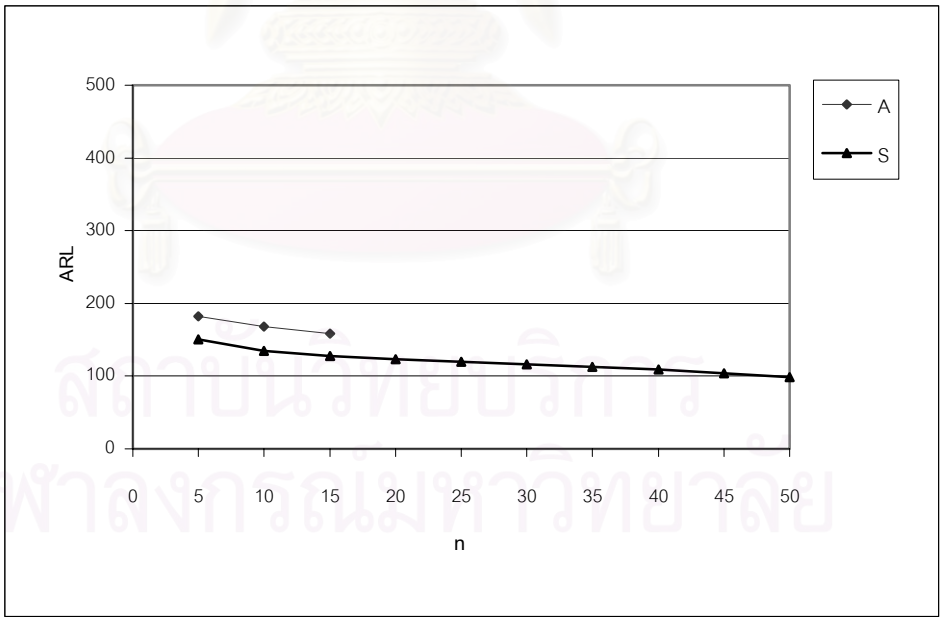


ภาพที่ 4.14 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.07 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

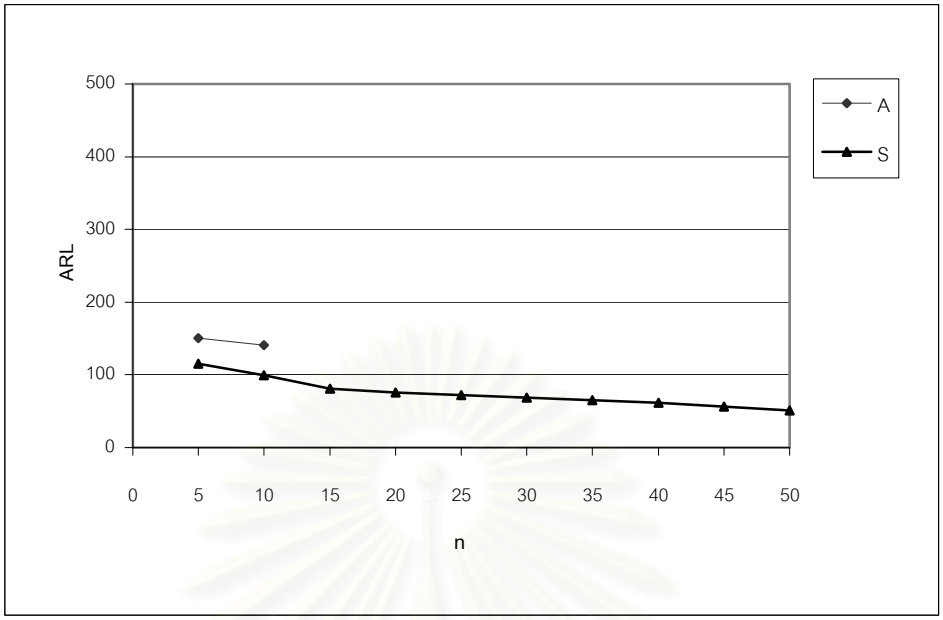
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



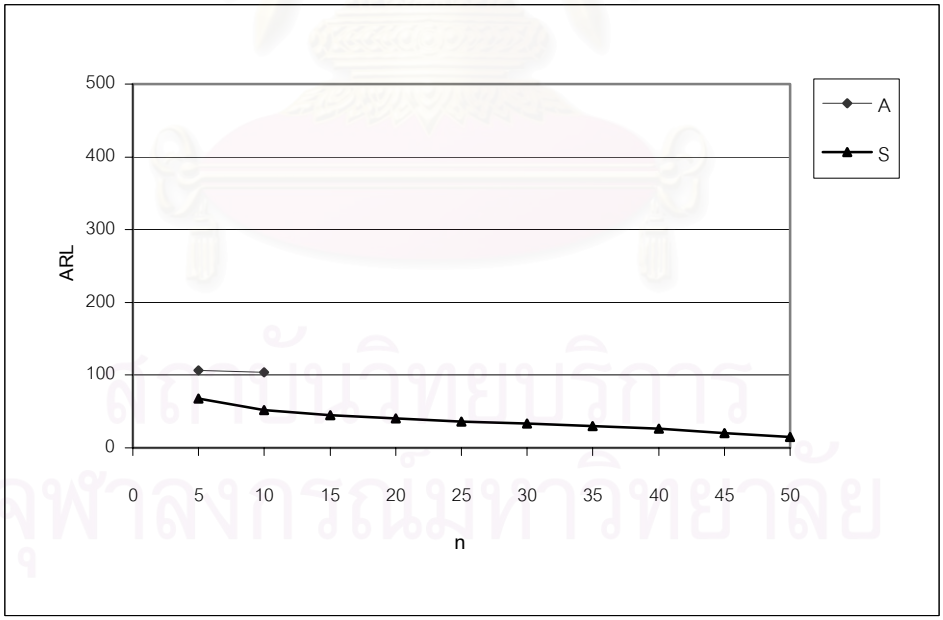
ภาพที่ 4.15 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.09 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



ภาพที่ 4.16 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.10 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



ภาพที่ 4.17 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.15 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



ภาพที่ 4.18 แสดงค่า ARL เมื่อ δ= 0.10 จำแนกตาม ค่า p_0 =0.20 และที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

จากตารางที่ 4.30 ถึง ตารางที่ 4.43 ตารางที่ ก1.- ตารางที่ ก70 (ภาคผนวก ก หน้า 93-162) และภาพที่ 4.1 ถึง ภาพที่ 4.18 สามารถสรุปได้ว่าในกรณีที่ค่า p_0 และ n คงที่ ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยโดยเฉลี่ย(ARL) เมื่อกระบวนการผิดปกติหรือเมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของเสียเพิ่มขึ้น(ในที่นี้คือ $\delta =$ 0.01,0.03,0.05,0.07,0.09,0.10) ค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แบบ พบว่า

แผนภูมิอาร์คไซน์ (A) ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดในกรณีดังต่อไปนี้

ที่ p_0 = 0.0009 เมื่อ $n \leq$ 90

ที่ p_0 = 0.001 เมื่อ $n \leq$ 30

ที่ p_0 = 0.003 เมื่อ $n \leq$ 15

ที่ p_0 = 0.005 เมื่อ $n \leq$ 10

ที่ p_0 = 0.007 เมื่อ $n \leq$ 10

ที่ p_0 = 0.009 เมื่อ $n \leq$ 5

แผนภูมิเรขาคณิต (G) ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดในกรณีดังต่อไปนี้

ที่ p_0 = 0.0001 เมื่อ $n \leq$ 500

ที่ p_0 = 0.0003 เมื่อ $n \leq$ 300

ที่ p_0 = 0.0005 เมื่อ $n \leq$ 175

ที่ p_0 = 0.0007 เมื่อ $n \leq$ 125

ที่ p_0 = 0.0009 เมื่อ $n \leq$ 125

แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (S) ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดในกรณีดังต่อไปนี้

ที่ p_0 = 0.0003 เมื่อ $n \geq$ 350

ที่ p_0 = 0.0005 เมื่อ $n \geq$ 200

ที่ p_0 = 0.0007 เมื่อ $n \geq$ 150

ที่ p_0 = 0.0009 เมื่อ $n \geq$ 150

ที่ p_0 = 0.001 เมื่อ 100 $\leq n \leq$ 500

ที่ p_0 = 0.003 เมื่อ 35 $\leq n \leq$ 500

ที่ p_0 = 0.005 เมื่อ 20 $\leq n \leq$ 500

ที่ p_0 = 0.007 เมื่อ 15 $\leq n \leq$ 500

ที่ p_0 = 0.009 เมื่อ 15 $\leq n \leq$ 500

ที่ p_0 = 0.01 เมื่อ $n \leq$ 500

ที่ p_0 = 0.03 เมื่อ $n \leq$ 500

ที่ p_0 = 0.05 เมื่อ $n \leq$ 500

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่ p_0 = 0.07 เมื่อ $n \leq 500$

ที่ p_0 = 0.09 เมื่อ $n \leq 500$

ที่ p_0 = 0.10 เมื่อ $n \leq 500$

ที่ p_0 = 0.15 เมื่อ $n \leq 500$

ที่ p_0 = 0.20 เมื่อ $n \leq 500$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

Acheson ,J.,D. 1986.Quality Control and Industril Statistics. 5th ed. Homewood , Illinois: IRWIN

Zhang Wu , Song Huat Yeo and Trevor A.Spedding.A Synthetic Control Chart for Detecting Fraction Nonconforming Increases. Journal of Quality Technology 33(2001):104-111.

Zhenlin Yang, Min Xie ,Vellaisamy Kuralmani and Kwok-Leung Tsui .On the Performance of Geomatric Charts with Estimated Control Limits.Journal of Quality Technology 34(2002) : 448 - 458.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรรม

ภาษาไทย

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

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

ภัทราทิพย์ อินปุระ. การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

มานพ วราภักดิ์. การจำลองเบื้องต้น.กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.

มานพ วราภักดิ์. ทฤษฎีความน่าจะเป็น. กรุงเทพมหานคร:ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.

อดิศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์. การควบคุมคุณภาพ .กรุงเทพมหานคร:ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2535.

ภาษาอังกฤษ

Richard E. Devor ,Tsong-how Chang and John W. Sutherland,Statistical Quality Design and Control:Contempory Concepts and Methods.Macmillan,New York,1992.

Thomas P.,Ryan.. Statistical Methods for Quality Improvement:2nd ed. John Wiley, New York,NY,2000.

Thomas P. Ryan and N.,C.,Schwertman.1997.Optimal Limits for Attributes Control Charts,Journal of Quality Thechnology,Vol.29,No.1, January 1997

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การวิจัยครั้งนี้ได้เปรียบเทียบค่าความยาววิ่งเฉลี่ย(ARL)ในกรณีที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นหรือกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียจาก 3 ชนิด คือแผนภูมิอาร์คไซน์(A) แผนภูมิเรขาคณิต(G) และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์(S) เพื่อต้องการหาผลสรุปว่าแผนภูมิควบคุมใดที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุมได้เร็วที่สุด โดยกำหนดค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) และขนาดตัวอย่าง n ดังนี้

เมื่อ $p_0 =$ 0.0001 ถึง 0.009, $n =$ 100,125 ,150,175, 200 ,250, 300 ,400,450,500

เมื่อ $p_0 =$ 0.01 ถึง 0.09, $n =$ 5 , 10,15 , 20 ,25, 30 ,35, 40,45, 50,60,70 ,80 ,90 , 100 , 150, 200 ,250, 300 ,350, 400 ,450, 500

เมื่อ $p_0 =$ 0.10 ถึง 0.20 , $n =$ 5 , 10 ,15 ,20,25,30 ,35, 40 ,45,50

กำหนดอัตราเพิ่มขึ้นของสัดส่วนของเสียเท่ากับ $100\delta\%$ ของ p_0 ได้สัดส่วนของเสียที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม $p_1 = (1+\delta)p_0$ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้กำหนด δ = 0.01 , 0.03 , 0.05 , 0.07 , 0.09 , 0.10

ในการนำเสนอค่า ARL จากการทดลองที่ได้จากแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด จะแสดงเฉพาะค่า ARL ของแผนภูมิที่ให้ค่า $(\hat{\alpha})$ ไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเท่านั้น โดยที่ $\delta =$ 0.01 จะนำเสนอด้วยตารางที่ ก1. - ตารางที่ ก14. , $\delta =$0.03 จะนำเสนอด้วยตารางที่ก15.- ตารางที่ ก28. , $\delta =$ 0.05 จะนำเสนอด้วยตารางที่ ก29. - ตารางที่ ก42. , $\delta =$ 0.07 จะนำเสนอด้วยตารางที่ ก43. - ตารางที่ ก56. และ $\delta =$ 0.09 จะนำเสนอด้วยตารางที่ ก57. – ตารางที่ ก70 ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก1. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 =0.0001,0.0003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0001	100	683.5880	619.2150*	
	125	675.2790	615.5940*	
	150	660.0380	612.3760*	
	175	648.1430	605.2680*	
	200	637.7710	600.3240*	
	225	626.0380	592.1400*	
	250	614.3360	588.9620*	
	300	603.0280	579.2070*	
	350	595.7870	564.4900*	
	400	587.8920	552.8740*	
	450	563.5200	531.9720*	
	500	541.7870	522.8740*	
0.0003	100	661.0400	600.5780*	
	125	652.7310	596.9570*	
	150	637.4900	593.7390*	
	175	625.5950	586.6310*	
	200	615.2230	581.6870*	
	225	603.4900	573.5030*	
	250	591.7880	570.3250*	
	300	580.4800	560.5700*	
	350	573.2390	556.9780*	564.5170
	400	565.3440	548.1730*	551.8160
	450	550.9720	531.5760*	542.7120
	500	539.2390	527.5650*	534.5760

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก2. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 = 0.0005,0.0007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0005	100	638.4920	578.0300*	
	125	630.1830	574.4090*	
	150	614.9420	571.1910*	
	175	603.0470	564.0830*	
	200	592.6750	559.1390*	578.4720
	225	580.9420	550.9550*	567.7240
	250	569.2400	547.3760*	553.3600
	300	557.9320	538.0220*	545.1280
	350	550.6910	529.4300*	532.1460
	400	542.7960	520.6250*	527.8260
	450	528.4240	504.0280*	514.8320
	500	516.6910	500.0170*	504.0280
0.0007	100	614.8410	554.3790*	
	125	606.5320	550.7580*	
	150	591.2910	547.5400*	580.1250
	175	579.3960	540.4320*	571.5840
	200	569.0240	535.4880*	559.7980
	225	557.2910	527.3040*	547.3240
	250	545.5890	524.1260*	536.5410
	300	534.2810	514.3710*	524.2460
	350	527.0400	505.7790*	513.2640
	400	519.1450	496.9740*	507.1590
	450	504.7730	480.3770*	489.6810
	500	493.0400	476.3660*	480.2360

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก3. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 = 0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0009	100	597.5460	537.0840*	
	125	589.2370	533.4630*	576.5410
	150	573.9960	530.2450*	564.6760
	175	562.1010	523.1370*	554.3510
	200	551.7290	518.1930*	543.7490
	225	539.9960	510.0090*	537.2360
	250	528.2940	506.8310*	523.6840
	300	516.9860	497.0760*	512.9420
	350	509.7450	488.4840*	491.1270
	400	501.8500	479.6790*	487.5620
	450	487.4780	463.0820*	469.4290
	500	475.7450	459.0710*	455.6410

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก4. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า $p_0 = 0.001$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.001	5	603.4570*		
	10	594.3520*		
	15	581.6270*		
	20	574.2510*		
	25	565.3520*		
	30	560.0430*		
	35	557.0420*		
	40	551.8020*		
	45	549.5260*		
	50	546.3200*		
	60	543.9070*		
	70	535.5350*		
	80	529.5400*		
	90	521.8020*		
	100	519.3610		487.0300*
	125	514.9420		481.1090*
	150	510.1000		472.9280*
	175	503.6840		470.3040*
	200	498.7920		464.4670*
	225	491.5510		459.1590*
	250	483.6560		453.7200*
	300	476.5110		442.7230*
	350	470.3160		439.4140*
	400	469.2840		430.6090*
	450	457.5510		414.0120*
	500	450.0670		410.0010*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก5. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า $p_0 = 0.003$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.003	5	582.2060*		
	10	573.1010*		
	15	560.3760*		
	20	553.4020*		
	25	544.1010*		
	30	538.7920*		
	35	535.7910		502.4550*
	40	530.5510		498.6280*
	45	528.2750		493.1470*
	50	525.0690		487.9060*
	60	522.6560		482.0110*
	70	514.2840		477.6550*
	80	508.2890		471.7790*
	90	500.5510		468.1580*
	100	498.1100		463.4330*
	125	493.6910		457.5120*
	150	488.8490		449.3310*
	175	482.4330		446.7070*
	200	477.5410		440.8700*
	225	470.3670		435.5620*
	250	462.4050		430.1230*
	300	455.2600		419.1260*
	350	449.0650		415.8170*
	400	448.0330		407.0120*
	450	436.3090		390.4150*
	500	428.8160		386.4040*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก6. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 = 0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.005	5	562.0480*		
	10	552.9430*		
	15	540.2180		
	20	532.8420		492.1890*
	25	523.9430		487.9020*
	30	518.6340		484.8790*
	35	515.6330		479.7200*
	40	510.3930		475.8930*
	45	508.1170		470.4120*
	50	504.9110		465.1710*
	60	502.4980		459.2760*
	70	494.1260		454.9200*
	80	488.1310		449.0440*
	90	480.3930		445.4230*
	100	477.9520		440.6980*
	125	473.5330		434.7170*
	150	468.6910		426.5960*
	175	462.2750		423.9720*
	200	457.3830		418.1350*
	225	450.1420		412.8270*
	250	442.2470		407.3880*
	300	435.1020		396.3910*
	350	428.9070		393.0820*
	400	427.8750		384.2770*
	450	416.1420		367.6800*
	500	408.6580		363.6690*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก7. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 = 0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.007	5	528.3020*		
	10	525.1970*		
	15	512.4720		492.4550*
	20	505.0960		488.1680*
	25	496.1970		472.4550*
	30	485.6470		468.1680*
	35	483.1270		459.9860*
	40	480.3710		456.1590*
	45	477.1650		450.6780*
	50	474.7520		445.4370*
	60	469.5480		439.5420*
	70	466.3800		435.1860*
	80	460.3850		429.3100*
	90	452.6470		425.6890*
	100	450.2060		420.9640*
	125	445.7870		415.0430*
	150	440.9450		406.8620*
	175	434.5290		404.2380*
	200	429.6370		398.4010*
	225	422.3960		393.0930*
	250	414.5010		387.6540*
	300	407.3560		376.6570*
	350	401.1610		373.3480*
	400	400.1290		364.5430*
	450	388.3960		347.9460*
	500	380.9120		343.9350*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก8.แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 = 0.009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.009	5	503.1570*		
	10	500.0520*		
	15	487.3270		464.8780*
	20	479.9510		450.6070*
	25	471.0520		444.8940*
	30	466.9820		440.6070*
	35	460.1550		432.4250*
	40	457.5020		428.5980*
	45	455.2260		423.1170*
	50	452.0200		417.8760*
	60	449.6070		411.9810*
	70	441.2350		407.6250*
	80	435.2400		401.7490*
	90	427.5020		398.1280*
	100	425.0610		393.4030*
	125	420.6420		387.4820*
	150	415.8000		379.3010*
	175	409.3840		376.6770*
	200	404.4920		370.8400*
	225	397.2510		365.5320*
	250	389.3560		360.0930*
	300	382.2110		349.0960*
	350	376.0160		345.7870*
	400	374.9840		336.9820*
	450	363.2510		320.3850*
	500	355.7670		316.3740*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก9. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 = 0.01 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.01	5	474.6100*		
	10	462.5110		426.8750*
	15	458.7860		423.3330*
	20	451.4100		419.0460*
	25	442.5110		417.3330*
	30	437.4410		413.0460*
	35	433.6140		404.8640*
	40	428.9610		401.0370*
	45	426.6850		395.5560*
	50	423.4790		390.3150*
	60	421.0660		384.4200*
	70	412.6940		380.0640*
	80	406.6990		374.1880*
	90	398.9610		370.5670*
	100	396.5200		365.8420*
	125	392.1010		359.9210*
	150	387.2590		351.7400*
	175	380.8430		349.1160*
	200	375.9510		343.2790*
	225	368.7100		337.9710*
	250	360.8150		332.5320*
	300	353.6700		321.5350*
	350	347.4750		318.2260*
	400	346.4430		309.4210*
	450	334.7100		292.8240*
	500	327.2260		288.8130*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก10. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 = 0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.03	5	444.069		419.6460*
	10	440.964		415.3120*
	15	420.863		409.7700*
	20	418.481		395.4830*
	25	411.964		389.7310*
	30	406.894		385.4830*
	35	398.067		377.3010*
	40	395.414		373.4740*
	45	390.138		367.9930*
	50	382.932		362.7520*
	60	376.519		356.8570*
	70			352.5010*
	80			346.6250*
	90			343.0040*
	100			338.2790*
	125			332.3580*
	150			324.1770*
	175			321.5530*
	200			315.7160*
	225			310.4080*
	250			304.9690*
	300			293.9720*
	350			290.6630*
	400			281.8580*
	450			265.2610*
	500			261.2500*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด*

ตารางที่ ก11. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 = 0.05 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.05	5	413.5220		387.0830*
	10	410.4170		371.7490*
	15	390.3160		364.2070*
	20	387.9340		360.9200*
	25	381.4170		357.4170*
	30	376.3470		351.9200*
	35	372.5200		349.7380*
	40			345.9110*
	45			340.4300*
	50			335.1890*
	60			329.2940*
	70			324.9380*
	80			319.0620*
	90			315.4410*
	100			310.7160*
	125			304.7950*
	150			296.6140*
	175			293.9900*
	200			288.1530*
	225			282.8450*
	250			277.4060*
	300			266.4090*
	350			263.1000*
	400			254.2950*
	450			237.6980*
	500			233.6870*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก12. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า p_0 = 0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.07	5	386.9760		359.7160*
	10	383.8710		344.1860*
	15	363.7700		337.3390*
	20	361.3880		332.3560*
	25	354.8710		328.6440*
	30			325.1270*
	35			322.1750*
	40			318.3480*
	45			312.8670*
	50			307.6260*
	60			301.7310*
	70			297.3750*
	80			291.4990*
	90			287.8780*
	100			283.1530*
	125			277.2320*
	150			269.0510*
	175			266.4270*
	200			260.5900*
	225			255.2820*
	250			249.8430*
	300			238.8460*
	350			235.5370*
	400			226.7320*
	450			210.1350*
	500			206.1240*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก13. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ ค่า $p_0 = 0.09$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.09	5	357.4300		328.3870*
	10	354.3250		312.8570*
	15	334.2240		306.0100*
	20	331.8420		301.0280*
	25			297.3150*
	30			294.3270*
	35			290.8460*
	40			287.0190*
	45			281.5380*
	50			276.2970*
	60			270.4020*
	70			266.0460*
	80			260.1700*
	90			256.5490*
	100			251.8240*
	125			245.9030*
	150			237.7220*
	175			235.0980*
	200			229.2610*
	225			223.9530*
	250			218.5140*
	300			207.5170*
	350			204.2080*
	400			195.4030*
	450			178.8060*
	500			174.7950*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก14. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.01$ โดย $p_0 = 0.10, 0.15, 0.20$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.10	5	325.8940		292.9240*
	10	322.7890		277.3940*
	15	302.6880		270.5470*
	20			265.5650*
	25			261.8520*
	30			258.5650*
	35			255.3830*
	40			251.5560*
	45			246.0750*
	50			240.8340*
0.15	5	294.3580		257.4610*
	10	291.2530		241.9310*
	15			235.0840*
	20			230.1020*
	25			226.3890*
	30			223.1020*
	35			219.9200*
	40			216.0930*
	45			210.6120*
	50			205.3710*
0.20	5	262.8220		221.9980*
	10	259.7170		206.4680*
	15			199.6210*
	20			194.6390*
	25			190.9260*
	30			187.6390*
	35			184.4570*
	40			180.6300*
	45			175.1490*
	50			169.9080*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก15. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ โดย p_0 = 0.0001,0.0003และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0001	100	652.0520	591.2310*	
	125	643.7430	587.6100*	
	150	628.5020	584.3920*	
	175	616.6070	577.2840*	
	200	606.2350	572.3400*	
	225	594.5020	564.1560*	
	250	582.8000	560.9780*	
	300	571.4920	551.2230*	
	350	564.2510	536.5060*	
	400	556.3560	524.8900*	
	450	531.9840	503.9880*	
	500	510.2510	494.8900*	
0.0003	100	629.5040	572.5940*	
	125	621.1950	568.9730*	
	150	605.9540	565.7550*	
	175	594.0590	558.6470*	
	200	583.6870	553.7030*	
	225	571.9540	545.5190*	
	250	560.2520	542.3410*	
	300	548.9440	532.5860*	
	350	541.7030	521.5150*	537.8690
	400	533.8080	512.7100*	526.2530
	450	519.4360	496.1130*	515.3510
	500	507.7030	492.1020*	496.2530

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก16. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ โดย p_0 =0.0005,0.0007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0005	100	623.5210	563.2470*	
	125	615.2120	559.6260*	
	150	599.9710	556.4080*	
	175	588.0760	549.3000*	
	200	577.7040	544.3560*	573.1080
	225	565.9710	536.1720*	562.3600
	250	554.2690	532.9940*	547.9960
	300	542.9610	523.2390*	539.7640
	350	535.7200	508.5220*	524.1790
	400	527.8250	496.9060*	515.6140
	450	509.4530	476.0040*	502.3510
	500	481.7200	466.9060*	496.2530
0.0007	100	597.9680	544.6100*	
	125	589.6590	540.9890*	
	150	574.4180	537.7710*	571.7670
	175	562.5230	530.6630*	560.2260
	200	552.1510	525.7190*	549.4400
	225	540.4180	517.5350*	540.9660
	250	528.7160	514.3570*	524.1830
	300	517.4080	504.6020*	512.8880
	350	510.1670	489.8850*	496.0520
	400	502.2720	478.2690*	487.2470
	450	487.9000	457.3670*	470.6500
	500	476.1670	448.2690*	463.6390

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก17. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$, $p_0 = 0.0009$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0009	100	569.0150	509.1000*	
	125	560.7060	505.4790*	534.2150
	150	545.4650	502.2610*	527.3500
	175	533.5700	495.1530*	519.0250
	200	523.1980	490.2090*	507.4230
	225	511.4650	482.0250*	494.9100
	250	499.7630	478.8470*	481.3580
	300	488.4550	469.0920*	470.6160
	350	481.2140	456.0170*	464.3750
	400	473.3190	447.2120*	452.7590
	450	458.9470	430.6150*	441.8570
	500	447.2140	426.6040*	432.7590

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก18. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$, p_0 = 0.001 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.001	5	574.9260*		
	10	565.8210*		
	15	553.0960*		
	20	545.7200*		
	25	536.8210*		
	30	531.5120*		
	35	528.5110*		
	40	523.2710*		
	45	520.9950*		
	50	517.7890*		
	60	515.3760*		
	70	507.0040*		
	80	498.0040*		
	90	490.2660*		
	100	487.8250		480.7200*
	125	483.4060		474.7990*
	150	478.5640		466.6180*
	175	472.1480		463.9940*
	200	467.2560		458.1570*
	225	460.0150		452.8490*
	250	452.1200		447.4100*
	300	444.9750		436.4130*
	350	438.7800		433.1040*
	400	437.7480		424.2990*
	450	426.0150		407.7020*
	500	418.5310		403.6910*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก19. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$, p_0 = 0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.003	5	582.2060*		
	10	573.1010*		
	15	560.3760*		
	20	553.0000*		
	25	544.1010*		
	30	538.7920*		
	35	535.7910		531.6080*
	40	530.5510		527.7810*
	45	528.2750		522.3000*
	50	525.0690		517.0590*
	60	522.6560		511.1640*
	70	514.2840		506.8080*
	80	508.2890		500.9320*
	90	500.5510		497.3110*
	100	498.1100		492.5860*
	125	493.6910		486.6650*
	150	488.8490		478.4840*
	175	482.4330		475.8600*
	200	477.5410		470.0230*
	225	470.3000		464.7150*
	250	462.4050		459.2760*
	300	455.2600		448.2790*
	350	449.0650		444.9700*
	400	448.0330		436.1650*
	450	436.3000		419.5680*
	500	428.8160		415.5570*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก20. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$, p_0 = 0.005 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.005	5	553.6750*		
	10	544.5700*		
	15	531.8450*		
	20	524.4690		520.2610*
	25	515.5700		511.2600*
	30	510.2610		507.0200*
	35	507.2600		499.1410*
	40	502.0200		495.3140*
	45	498.7440		489.8330*
	50	494.5380		484.5920*
	60	490.1250		478.6970*
	70	485.7530		474.3410*
	80	476.7530		465.4690*
	90	469.0150		461.8480*
	100	466.5740		457.1230*
	125	462.1550		451.2020*
	150	457.3130		443.0210*
	175	450.8970		440.3970*
	200	446.0050		434.5600*
	225	438.7640		429.2520*
	250	430.8690		423.8130*
	300	423.7240		412.8160*
	350	417.5290		409.5070*
	400	416.4970		400.7020*
	450	404.7640		384.1050*
	500	397.2800		380.0940*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก21. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$, p_0 = 0.007 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.007	5	499.7710*		
	10	496.6660*		
	15	483.9410		462.1410*
	20	476.5650		457.8540*
	25	467.6660		462.1410*
	30	452.5960		457.8540*
	35	448.7690		449.6720*
	40	454.1160		445.8450*
	45	451.8400		440.3640*
	50	448.6340		435.1230*
	60	446.2210		429.2280*
	70	437.8490		424.8720*
	80	428.8490		416.0000*
	90	421.1110		412.3790*
	100	418.6700		407.6540*
	125	414.2510		401.7330*
	150	409.4090		393.5520*
	175	402.9930		390.9280*
	200	398.1010		385.0910*
	225	390.8600		379.7830*
	250	382.9650		374.3440*
	300	375.8200		363.3470*
	350	369.6250		360.0380*
	400	368.5930		351.2330*
	450	356.8600		334.6360*
	500	349.3760		330.6250*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก22. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$, p_0 = 0.009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.009	5	474.6260*		
	10	471.5210*		
	15	458.7960		434.5800*
	20	451.4200		430.2930*
	25	442.5210		434.5800*
	30	427.4510		430.2930*
	35	423.6240		422.1110*
	40	428.9710		418.2840*
	45	426.6950		412.8030*
	50	423.4890		407.5620*
	60	421.0760		401.6670*
	70	412.7040		397.3110*
	80	403.7040		388.4390*
	90	395.9660		384.8180*
	100	393.5250		380.0930*
	125	389.1060		374.1720*
	150	384.2640		365.9910*
	175	377.8480		363.3670*
	200	372.9560		357.5300*
	225	365.7150		352.2220*
	250	357.8200		346.7830*
	300	350.6750		335.7860*
	350	344.4800		332.4770*
	400	343.4480		323.6720*
	450	331.7150		307.0750*
	500	324.2310		303.0640*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก23. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$, $p_0 = 0.01$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.01	5	446.0850*		
	10	442.9800		416.5610*
	15	430.2550		407.0190*
	20	422.8790		402.7320*
	25	413.9800		407.0190*
	30	398.9100		402.7320*
	35	395.0830		394.5500*
	40	400.4300		390.7230*
	45	398.1540		385.2420*
	50	394.9480		380.0010*
	60	392.5350		374.1060*
	70	384.1630		369.7500*
	80	375.1630		360.8780*
	90	367.4250		357.2570*
	100	364.9840		352.5320*
	125	360.5650		346.6110*
	150	355.7230		338.4300*
	175	349.3070		335.8060*
	200	344.4150		329.9690*
	225	337.1740		324.6610*
	250	329.2790		319.2220*
	300	322.1340		308.2250*
	350	315.9390		304.9160*
	400	314.9070		296.1110*
	450	303.1740		279.5140*
	500	295.6900		275.5030*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก24. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$, $p_0 = 0.03$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.03	5	415.5380		404.3320*
	10	412.4330		388.9980*
	15	389.9500		379.4560*
	20	392.3320		375.1690*
	25	383.4330		379.4560*
	30	368.3630		375.1690*
	35	364.5360		366.9870*
	40	369.8830		363.1600*
	45	367.6070		357.6790*
	50	364.4010		352.4380*
	60	361.9880		346.5430*
	70			342.1870*
	80			333.3150*
	90			329.6940*
	100			324.9690*
	125			319.0480*
	150			310.8670*
	175			308.2430*
	200			302.4060*
	225			297.0980*
	250			291.6590*
	300			280.6620*
	350			277.3530*
	400			268.5480*
	450			251.9510*
	500			247.9400*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก25. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$, $p_0 = 0.05$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.05	5	384.9910		376.7690*
	10	381.8860		361.4350*
	15	361.7850		353.8930*
	20	359.4030		350.6060*
	25	352.8860		346.8930*
	30	347.8160		341.6060*
	35	343.9890		339.4240*
	40			335.5970*
	45			330.1160*
	50			324.8750*
	60			318.9800*
	70			314.6240*
	80			305.7520*
	90			302.1310*
	100			297.4060*
	125			291.4850*
	150			283.3040*
	175			280.6800*
	200			274.8430*
	225			269.5350*
	250			264.0960*
	300			253.0990*
	350			249.7900*
	400			240.9850*
	450			224.3880*
	500			220.3770*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก26. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$, $p_0 = 0.07$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.07	5	358.4450		349.4020*
	10	355.3400		333.8720*
	15	335.2390		327.0250*
	20	332.8570		322.0430*
	25	326.3400		318.3300*
	30			315.0430*
	35			311.8610*
	40			308.0340*
	45			302.5530*
	50			297.3120*
	60			291.4170*
	70			287.0610*
	80			278.1890*
	90			274.5680*
	100			269.8430*
	125			263.9220*
	150			255.7410*
	175			253.1170*
	200			247.2800*
	225			241.9720*
	250			236.5330*
	300			225.5360*
	350			222.2270*
	400			213.4220*
	450			196.8250*
	500			192.8140*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก27. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$, $p_0 = 0.09$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.09	5	328.8990		318.0730*
	10	325.7940		302.5430*
	15	305.6930		295.6960*
	20	303.3110		290.7140*
	25			287.0010*
	30			283.7140*
	35			280.5320*
	40			276.7050*
	45			271.2240*
	50			265.9830*
	60			260.0880*
	70			255.7320*
	80			246.8600*
	90			243.2390*
	100			238.5140*
	125			232.5930*
	150			224.4120*
	175			221.7880*
	200			215.9510*
	225			210.6430*
	250			205.2040*
	300			194.2070*
	350			190.8980*
	400			182.0930*
	450			165.4960*
	500			161.4850*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก28. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.03$ ค่า p_0 = 0.10,0.15,0.20 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.10	5	297.3630		282.6100
	10	294.2580		267.0800
	15	274.1570		260.2330
	20			255.2510
	25			251.5380
	30			248.2510
	35			245.0690
	40			241.2420
	45			235.7610
	50			230.5200
0.15	5	265.8270		247.1470
	10	262.7220		231.6170
	15			221.7740
	20			216.7920
	25			213.0790
	30			209.7920
	35			206.6100
	40			202.7830
	45			197.3020
	50			192.0610
0.20	5	231.2860		208.6880
	10	228.1810		193.1580
	15			186.3110
	20			181.3290
	25			177.6160
	30			174.3290
	35			171.1470
	40			167.3200
	45			161.8390
	50			156.5980

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก29. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า $p_0 = 0.0001, 0.0003$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0001	100	623.5210	563.2470*	
	125	615.2120	559.6260*	
	150	599.9710	556.4080*	
	175	588.0760	549.3000*	
	200	577.7040	544.3560*	
	225	565.9710	536.1720*	
	250	554.2690	532.9940*	
	300	542.9610	523.2390*	
	350	535.7200	508.5220*	
	400	527.8250	496.9060*	
	450	503.4530	476.0040*	
	500	481.7200	466.9060*	
0.0003	100	597.9680	544.6100*	
	125	589.6590	540.9890*	
	150	574.4180	537.7710*	
	175	562.5230	530.6630*	
	200	552.1510	525.7190*	
	225	540.4180	517.5350*	
	250	528.7160	514.3570*	
	300	517.4080	504.6020*	
	350	510.1670	489.8850*	496.0520
	400	502.2720	478.2690*	487.2470
	450	487.9000	457.3670*	470.6500
	500	476.1670	448.2690*	466.6390

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก30. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า $p_0 = 0.0005, 0.0007$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0005	100	593.6470	530.5530*	
	125	585.3380	526.9320*	
	150	570.0970	523.7140*	
	175	558.2020	516.6060*	
	200	547.8300	511.6620*	537.7440
	225	536.0970	503.4780*	526.9960
	250	524.3950	500.3000*	519.6320
	300	513.0870	490.5450*	508.4100
	350	505.8460	475.8280*	491.2710
	400	497.9510	464.2120*	482.9630
	450	473.5790	443.3100*	475.6720
	500	451.8460	434.2120*	462.4150
0.0007	100	568.0940	511.9160*	
	125	559.7850	508.2950*	
	150	544.5440	505.0770*	535.3250
	175	532.6490	497.9690*	527.4090
	200	522.2770	493.0250*	514.8680
	225	510.5440	484.8410*	495.0820
	250	498.8420	481.6630*	488.6080
	300	487.5340	471.9080*	479.8250
	350	480.2930	457.1910*	468.5300
	400	472.3980	445.5750*	452.4350
	450	458.0260	424.6730*	445.8380
	500	446.2930	415.5750*	431.8270

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก31. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า $p_0 = 0.0009$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0009	100	566.4320	516.6260*	
	125	558.1230	513.0050*	531.8890
	150	542.8820	509.7870*	525.0240
	175	530.9870	502.6790*	516.6990
	200	520.6150	497.7350*	505.0970
	225	508.8820	489.5510*	492.5840
	250	497.1800	486.3730*	489.0320
	300	485.8720	476.6180*	478.2900
	350	478.6310	461.9010*	470.5890
	400	470.7360	450.2850*	461.7840
	450	456.3640	429.3830*	455.1870
	500	444.6310	420.2850*	441.1760

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก32. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า $p_0 = 0.001$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.001	5	546.3950*		
	10	537.2900*		
	15	524.5650*		
	20	517.1890*		
	25	508.2900*		
	30	502.9810*		
	35	499.9800*		
	40	494.7400*		
	45	492.4640*		
	50	489.2580*		
	60	486.8450*		
	70	478.4730*		
	80	466.4680*		
	90	458.7300*		
	100	456.2890		445.2570*
	125	451.8700		439.3360*
	150	447.0280		431.1550*
	175	440.6120		428.5310*
	200	435.7200		422.6940*
	225	428.4790		417.3860*
	250	420.5840		411.9470*
	300	413.4390		400.9500*
	350	407.2440		397.6410*
	400	406.2120		388.8360*
	450	394.4790		372.2390*
	500	386.9950		368.2280*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก33. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า $p_0 = 0.003$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.003	5	553.6750*		
	10	544.5700*		
	15	531.8450*		
	20	524.4690*		
	25	515.5700*		
	30	510.2610*		
	35	507.2600		499.1410*
	40	502.0200		495.3140*
	45	499.7440		489.8330*
	50	496.5380		484.5920*
	60	494.1250		478.6970*
	70	485.7530		474.3410*
	80	476.7530		465.4690*
	90	469.0150		461.8480*
	100	466.5740		457.1230*
	125	462.1550		451.2020*
	150	457.3130		443.0210*
	175	450.8970		440.3970*
	200	446.0050		434.5600*
	225	438.7640		429.2520*
	250	430.8690		423.8130*
	300	423.7240		412.8160*
	350	417.5290		409.5070*
	400	416.4970		400.7020*
	450	404.7640		384.1050*
	500	397.2800		380.0940*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก34. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า $p_0 = 0.005$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.005	5	525.1440*		
	10	516.0390*		
	15	503.3140*		
	20	495.9380		486.6400*
	25	487.0390		479.3140*
	30	481.7300		470.2130*
	35	478.7290		466.6740*
	40	473.4890		462.8470*
	45	471.2130		457.3660*
	50	468.0070		452.1250*
	60	465.5940		446.2300*
	70	457.2220		441.8740*
	80	445.2170		430.0060*
	90	437.4790		426.3850*
	100	435.0380		421.6600*
	125	430.6190		415.7390*
	150	425.7770		407.5580*
	175	419.3610		404.9340*
	200	414.4690		399.0970*
	225	407.2280		393.7890*
	250	399.3330		388.3500*
	300	392.1880		377.3530*
	350	385.9930		374.0440*
	400	384.9610		365.2390*
	450	373.2280		348.6420*
	500	365.7440		344.6310*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก35. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า $p_0 = 0.007$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.007	5	471.2400*		
	10	468.1350*		
	15	455.4100		429.6740*
	20	448.0340		425.3870*
	25	439.1350		429.6740*
	30	424.0650		425.3870*
	35	420.2380		417.2050*
	40	425.5850		413.3780*
	45	423.3090		407.8970*
	50	420.1030		402.6560*
	60	417.6900		396.7610*
	70	409.3180		392.4050*
	80	397.3130		380.5370*
	90	389.5750		376.9160*
	100	387.1340		372.1910*
	125	382.7150		366.2700*
	150	377.8730		358.0890*
	175	371.4570		355.4650*
	200	366.5650		349.6280*
	225	359.3240		344.3200*
	250	351.4290		338.8810*
	300	344.2840		327.8840*
	350	338.0890		324.5750*
	400	337.0570		315.7700*
	450	325.3240		299.1730*
	500	317.8400		295.1620*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก36. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า $p_0 = 0.009$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.009	5	446.0950*		
	10	442.9900*		
	15	430.2650		402.1130*
	20	422.8890		397.8260*
	25	413.9900		402.1130*
	30	398.9200		397.8260*
	35	395.0930		389.6440*
	40	400.4400		385.8170*
	45	398.1640		380.3360*
	50	394.9580		375.0950*
	60	392.5450		369.2000*
	70	384.1730		364.8440*
	80	372.1680		352.9760*
	90	364.4300		349.3550*
	100	361.9890		344.6300*
	125	357.5700		338.7090*
	150	352.7280		330.5280*
	175	346.3120		327.9040*
	200	341.4200		322.0670*
	225	334.1790		316.7590*
	250	326.2840		311.3200*
	300	319.1390		300.3230*
	350	312.9440		297.0140*
	400	311.9120		288.2090*
	450	300.1790		271.6120*
	500	292.6950		267.6010*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก37. ตารางแสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า $p_0 = 0.01$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.01	5	417.5540*		
	10	414.4490		384.0940*
	15	401.7240		374.5520*
	20	394.3480		370.2650*
	25	385.4490		374.5520*
	30	370.3790		370.2650*
	35	366.5520		362.0830*
	40	371.8990		358.2560*
	45	369.6230		352.7750*
	50	366.4170		347.5340*
	60	364.0040		341.6390*
	70	355.6320		337.2830*
	80	343.6270		325.4150*
	90	335.8890		321.7940*
	100	333.4480		317.0690*
	125	329.0290		311.1480*
	150	324.1870		302.9670*
	175	317.7710		300.3430*
	200	312.8790		294.5060*
	225	305.6380		289.1980*
	250	297.7430		283.7590*
	300	290.5980		272.7620*
	350	284.4030		269.4530*
	400	283.3710		260.6480*
	450	271.6380		244.0510*
	500	264.1540		240.0400*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก38. ตารางแสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.05 ค่า p_0 = 0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.03	5	387.0070		371.8650*
	10	383.9020		356.5310*
	15	361.4190		346.9890*
	20	363.8010		342.7020*
	25	354.9020		346.9890*
	30	339.8320		342.7020*
	35	336.0050		334.5200*
	40	341.3520		330.6930*
	45	339.0760		325.2120*
	50	335.8700		319.9710*
	60	333.4570		314.0760*
	70			309.7200*
	80			297.8520*
	90			294.2310*
	100			289.5060*
	125			283.5850*
	150			275.4040*
	175			272.7800*
	200			266.9430*
	225			261.6350*
	250			256.1960*
	300			245.1990*
	350			241.8900*
	400			233.0850*
	450			216.4880*
	500			212.4770*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก39. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.05$ ค่า $p_0 = 0.05$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.05	5	356.4600		344.3020*
	10	353.3550		328.9680*
	15	333.2540		321.4260*
	20	330.8720		318.1390*
	25	324.3550		314.4260*
	30	319.2850		309.1390*
	35			306.9570*
	40			303.1300*
	45			297.6490*
	50			292.4080*
	60			286.5130*
	70			282.1570*
	80			270.2890*
	90			266.6680*
	100			261.9430*
	125			256.0220*
	150			247.8410*
	175			245.2170*
	200			239.3800*
	225			234.0720*
	250			228.6330*
	300			217.6360*
	350			214.3270*
	400			205.5220*
	450			188.9250*
	500			184.9140*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก40.</u> ตารางแสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.05 ค่า p_0 = 0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.07	5	329.9140		316.9350*
	10	326.8090		301.4050*
	15	306.7080		294.5580*
	20	304.3260		289.5760*
	25	297.8090		285.8630*
	30			282.5760*
	35			279.3940*
	40			275.5670*
	45			270.0860*
	50			264.8450*
	60			258.9500*
	70			254.5940*
	80			242.7260*
	90			239.1050*
	100			234.3800*
	125			228.4590*
	150			220.2780*
	175			217.6540*
	200			211.8170*
	225			206.5090*
	250			201.0700*
	300			190.0730*
	350			186.7640*
	400			177.9590*
	450			161.3620*
	500			157.3510*

<u>หมายเหตุ</u> * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ ก41.</u> ตารางแสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.05 ค่า p_0 = 0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.09	5	299.0250		283.2610*
	10	295.9200		267.7310*
	15	275.8190		260.8840*
	20	273.4370		255.9020*
	25			252.1890*
	30			248.9020*
	35			245.7200*
	40			241.8930*
	45			236.4120*
	50			231.1710*
	60			225.2760*
	70			220.9200*
	80			212.0480*
	90			208.4270*
	100			203.7020*
	125			197.7810*
	150			189.6000*
	175			186.9760*
	200			181.1390*
	225			175.8310*
	250			170.3920*
	300			159.3950*
	350			156.0860*
	400			147.2810*
	450			130.6840*
	500			126.6730*

<u>หมายเหตุ</u> * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก42. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.05 ค่า p_0 = 0.10,0.15,0.20 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.10	5	268.8320		250.1430*
	10	265.7270		234.6130*
	15	245.6260		227.7660*
	20			222.7840*
	25			219.0710*
	30			215.7840*
	35			212.6020*
	40			208.7750*
	45			203.2940*
	50			198.0530*
0.15	5	237.2960		214.6800*
	10	234.1910		199.1500*
	15			186.3110*
	20			181.3290*
	25			177.6160*
	30			174.3290*
	35			171.1470*
	40			167.3200*
	45			161.8390*
	50			156.5980*
0.20	5	199.7500		173.2250*
	10	196.6450		157.6950*
	15			150.8480*
	20			145.8660*
	25			142.1530*
	30			138.8660*
	35			135.6840*
	40			131.8570*
	45			126.3760*
	50			121.1350*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก43. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.07 ค่า p_0 = 0.0001,0.003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0001	100	594.9900	535.2630*	
	125	586.6810	531.6420*	
	150	571.4400	528.4240*	
	175	559.5450	521.3160*	
	200	549.1730	516.3720*	
	225	537.4400	508.1880*	
	250	525.7380	505.0100*	
	300	514.4300	495.2550*	
	350	507.1890	480.5380*	
	400	499.2940	468.9220*	
	450	474.9220	448.0200*	
	500	453.1890	438.9220*	
0.0003	100	566.4320	516.6260*	
	125	558.1230	513.0050*	
	150	542.8820	509.7870*	
	175	530.9870	502.6790*	
	200	520.6150	497.7350*	
	225	508.8820	489.5510*	
	250	497.1800	486.3730*	
	300	485.8720	476.6180*	
	350	478.6310	461.9010*	470.5890
	400	470.7360	450.2850*	461.7840
	450	456.3640	429.3830*	445.1870
	500	444.6310	420.2850*	431.1760

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก44. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า $p_0 = 0.0005, 0.0007$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0005	100	563.7730	497.8590*	
	125	555.4640	494.2380*	
	150	540.2230	491.0200*	
	175	528.3280	483.9120*	
	200	517.9560	478.9680*	502.3800
	225	506.2230	470.7840*	491.6320
	250	494.5210	467.6060*	484.2680
	300	483.2130	457.8510*	473.0460
	350	475.9720	443.1340*	464.7420
	400	468.0770	431.5180*	452.5600
	450	443.7050	410.6160*	430.2170
	500	421.9720	401.5180*	415.3660
0.0007	100	538.2200	479.2220*	
	125	529.9110	475.6010*	
	150	514.6700	472.3830*	495.9670
	175	502.7750	465.2750*	483.0510
	200	492.4030	460.3310*	472.5100
	225	480.6700	452.1470*	460.7240
	250	468.9680	448.9690*	454.2500
	300	457.6600	439.2140*	445.4670
	350	450.4190	424.4970*	436.4280
	400	442.5240	412.8810*	427.6230
	450	428.1520	391.9790*	411.0260
	500	416.4190	382.8810*	387.0150

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก45. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.07 ค่า p_0 = 0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0009	100	535.9010	488.6420*	
	125	528.5920	485.0210*	493.5630
	150	511.3510	481.8030*	482.6980
	175	496.4560	474.6950*	475.3730
	200	487.0840	469.7510*	462.7710
	225	476.3510	461.5670*	450.2580
	250	465.6490	458.3890*	446.7060
	300	447.3410	448.6340*	435.9640
	350	430.1000	433.9170*	428.1220
	400	422.2050	422.3010*	409.3170
	450	417.8330	401.3990*	392.7200
	500	406.1000	392.3010*	388.7090

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก46. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า $p_0 = 0.001$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.001	5	516.5210		
	10	507.4160*		
	15	494.6910*		
	20	487.3150*		
	25	478.4160*		
	30	473.1070*		
	35	470.1060*		
	40	464.8660*		
	45	462.5900*		
	50	459.3840*		
	60	456.9710*		
	70	448.5990*		
	80	436.5940*		
	90	428.8560*		
	100	426.4150		410.4450*
	125	421.9960		404.5240*
	150	417.1540		396.3430*
	175	410.7380		393.7190*
	200	405.8460		387.8820*
	225	398.6050		382.5740*
	250	390.7100		377.1350*
	300	383.5650		366.1380*
	350	377.3700		362.8290*
	400	376.3380		354.0240*
	450	364.6050		337.4270*
	500	357.1210		333.4160*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก47. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า $p_0 = 0.003$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.003	5	525.1440*		
	10	516.0390*		
	15	503.3140*		
	20	495.9380*		
	25	487.0390*		
	30	481.7300*		
	35	478.7290		466.6740*
	40	473.4890		462.8470*
	45	471.2130		457.3660*
	50	468.0070		452.1250*
	60	465.5940		446.2300*
	70	457.2220		441.8740*
	80	445.2170		430.0060*
	90	437.4790		426.3850*
	100	435.0380		421.6600*
	125	430.6190		415.7390*
	150	425.7770		407.5580*
	175	419.3610		404.9340*
	200	414.4690		399.0970*
	225	407.2280		393.7890*
	250	399.3330		388.3500*
	300	392.1880		377.3530*
	350	385.9930		374.0440*
	400	384.9610		365.2390*
	450	373.2280		348.6420*
	500	365.7440		344.6310*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก48. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า $p_0 = 0.005$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.005	5	495.2700*		
	10	486.1650*		
	15	473.4400*		
	20	466.0640*		453.1460*
	25	457.1650*		447.5840*
	30	451.8560*		439.5610*
	35	448.8550		431.8620*
	40	443.6150		428.0350*
	45	441.3390		422.5540*
	50	438.1330		417.3130*
	60	435.7200		411.4180*
	70	427.3480		407.0620*
	80	415.3430		395.1940*
	90	407.6050		391.5730*
	100	405.1640		386.8480*
	125	400.7450		380.9270*
	150	395.9030		372.7460*
	175	389.4870		370.1220*
	200	384.5950		364.2850*
	225	377.3540		358.9770*
	250	369.4590		353.5380*
	300	362.3140		342.5410*
	350	356.1190		339.2320*
	400	355.0870		330.4270*
	450	343.3540		313.8300*
	500	335.8700		309.8190*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก49. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า $p_0 = 0.007$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.007	5	442.7090*		
	10	439.6040*		
	15	426.8790		397.2070*
	20	419.5030		392.9200*
	25	410.6040		397.2070*
	30	395.5340		392.9200*
	35	391.7070		384.7380*
	40	397.0540		380.9110*
	45	394.7780		375.4300*
	50	391.5720		370.1890*
	60	389.1590		364.2940*
	70	380.7870		359.9380*
	80	365.7770		345.0740*
	90	358.0390		341.4530*
	100	355.5980		336.7280*
	125	351.1790		330.8070*
	150	346.3370		322.6260*
	175	339.9210		320.0020*
	200	335.0290		314.1650*
	225	327.7880		308.8570*
	250	319.8930		303.4180*
	300	312.7480		292.4210*
	350	306.5530		289.1120*
	400	305.5210		280.3070*
	450	293.7880		263.7100*
	500	286.3040		259.6990*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก50. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า $p_0 = 0.009$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.009	5	416.2210*		
	10	413.1160*		
	15	400.3910		367.3010*
	20	393.0150		363.0140*
	25	384.1160		367.3010*
	30	369.0460		363.0140*
	35	365.2190		354.8320*
	40	370.5660		351.0050*
	45	368.2900		345.5240*
	50	365.0840		340.2830*
	60	362.6710		334.3880*
	70	354.2990		330.0320*
	80	342.2940		318.1640*
	90	334.5560		314.5430*
	100	332.1150		309.8180*
	125	327.6960		303.8970*
	150	322.8540		295.7160*
	175	316.4380		293.0920*
	200	311.5460		287.2550*
	225	304.3050		281.9470*
	250	296.4100		276.5080*
	300	289.2650		265.5110*
	350	283.0700		262.2020*
	400	282.0380		253.3970*
	450	270.3050		236.8000*
	500	262.8210		232.7890*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก51. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า $p_0 = 0.01$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.01	5	389.0230*		
	10	385.9180		351.6270*
	15	373.1930		342.0850*
	20	365.8170		337.7980*
	25	356.9180		342.0850*
	30	341.8480		337.7980*
	35	338.0210		329.6160*
	40	343.3680		325.7890*
	45	341.0920		320.3080*
	50	337.8860		315.0670*
	60	335.4730		309.1720*
	70	327.1010		304.8160*
	80	312.0910		289.9520*
	90	304.3530		286.3310*
	100	301.9120		281.6060*
	125	297.4930		275.6850*
	150	292.6510		267.5040*
	175	286.2350		264.8800*
	200	281.3430		259.0430*
	225	274.1020		253.7350*
	250	266.2070		248.2960*
	300	259.0620		237.2990*
	350	252.8670		233.9900*
	400	251.8350		225.1850*
	450	240.1020		208.5880*
	500	232.6180		204.5770*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก52. ตารางแสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.07 ค่า p_0 = 0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.03	5	357.1330		337.0530*
	10	354.0280		321.7190*
	15	331.5450		312.1770*
	20	333.9270		307.8900*
	25	325.0280		312.1770*
	30	309.9580		307.8900*
	35	306.1310		299.7080*
	40	311.4780		295.8810*
	45	309.2020		290.4000*
	50	305.9960		285.1590*
	60	303.5830		279.2640*
	70			274.9080*
	80			263.0400*
	90			259.4190*
	100			254.6940*
	125			248.7730*
	150			240.5920*
	175			237.9680*
	200			232.1310*
	225			226.8230*
	250			221.3840*
	300			210.3870*
	350			207.0780*
	400			198.2730*
	450			181.6760*
	500			177.6650*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก53. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.07 ค่า $p_0 = 0.05$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.05	5	327.9290		311.8350*
	10	324.8240		296.5010*
	15	304.7230		288.9590*
	20	302.3410		285.6720*
	25	295.8240		281.9590*
	30	290.7540		276.6720*
	35			274.4900*
	40			270.6630*
	45			265.1820*
	50			259.9410*
	60			254.0460*
	70			249.6900*
	80			234.8260*
	90			231.2050*
	100			226.4800*
	125			220.5590*
	150			212.3780*
	175			209.7540*
	200			203.9170*
	225			198.6090*
	250			193.1700*
	300			182.1730*
	350			178.8640*
	400			170.0590*
	450			153.4620*
	500			149.4510*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก54. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.07 ค่า p_0 = 0.07 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.07	5	300.0400		282.1230*
	10	296.9350		266.5930*
	15	276.8340		259.7460*
	20	274.4520		254.7640*
	25	267.9350		251.0510*
	30			247.7640*
	35			244.5820*
	40			240.7550*
	45			235.2740*
	50			230.0330*
	60			224.1380*
	70			219.7820*
	80			207.9140*
	90			204.2930*
	100			199.5680*
	125			193.6470*
	150			185.4660*
	175			182.8420*
	200			177.0050*
	225			171.6970*
	250			166.2580*
	300			155.2610*
	350			151.9520*
	400			143.1470*
	450			126.5500*
	500			122.5390*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก55. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า $p_0 = 0.09$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.09	5	270.4940		250.7940*
	10	267.3890		235.2640*
	15	247.2880		228.4170*
	20	244.9060		223.4350*
	25			219.7220*
	30			216.4350*
	35			213.2530*
	40			209.4260*
	45			203.9450*
	50			198.7040*
	60			192.8090*
	70			188.4530*
	80			176.5850*
	90			172.9640*
	100			168.2390*
	125			162.3180*
	150			154.1370*
	175			151.5130*
	200			145.6760*
	225			140.3680*
	250			134.9290*
	300			123.9320*
	350			120.6230*
	400			111.8180*
	450			95.2210*
	500			91.2100*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก56. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.07$ ค่า $p_0 = 0.10,0.15,0.20$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.10	5	238.9580		215.3310*
	10	235.8530		199.8010*
	15	215.7520		192.9540*
	20			187.9720*
	25			184.2590*
	30			180.9720*
	35			177.7900*
	40			173.9630*
	45			168.4820*
	50			163.2410*
0.15	5	207.4220		179.8680*
	10	204.3170		164.3380*
	15			151.4990*
	20			146.5170*
	25			142.8040*
	30			139.5170*
	35			136.3350*
	40			132.5080*
	45			127.0270*
	50			121.7860*
0.20	5	169.8760		138.4130*
	10	166.7710		122.8830*
	15			116.0360*
	20			111.0540*
	25			107.3410*
	30			104.0540*
	35			100.8720*
	40			97.0450*
	45			91.5640*
	50			86.3230*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก57. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.09 ค่า p_0 = 0.0001,0.0003 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0001	100	566.4590	507.2790*	
	125	558.1500	503.6580*	
	150	542.9090	500.4400*	
	175	531.0140	493.3320*	
	200	520.6420	488.3880*	
	225	508.9090	480.2040*	
	250	497.2070	477.0260*	
	300	485.8990	467.2710*	
	350	478.6580	452.5540*	
	400	470.7630	440.9380*	
	450	446.3910	420.0360*	
	500	424.6580	410.9380*	
0.0003	100	534.8960	488.6420*	
	125	526.5870	485.0210*	
	150	511.3460	481.8030*	
	175	499.4510	474.6950*	
	200	489.0790	469.7510*	
	225	477.3460	461.5670*	
	250	465.6440	458.3890*	
	300	454.3360	448.6340*	
	350	447.0950	433.9170*	435.1260
	400	439.2000	422.3010*	426.3210
	450	424.8280	401.3990*	419.7240
	500	413.0950	392.3010*	400.7130

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก58. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า $p_0 = 0.0005,0.0007$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0005	100	533.8990	465.1650*	
	125	525.5900	461.5440*	
	150	510.3490	458.3260*	
	175	498.4540	451.2180*	
	200	488.0820	446.2740*	487.0160
	225	476.3490	438.0900*	476.2680
	250	464.6470	434.9120*	458.9040
	300	453.3390	425.1570*	447.6820
	350	441.0980	410.4400*	435.9210
	400	435.2030	398.8240*	417.2230
	450	412.8310	377.9220*	395.5240
	500	390.0980	368.8240*	384.7160
0.0007	100	508.3460	446.5280*	
	125	500.0370	442.9070*	
	150	484.7960	439.6890*	471.6090
	175	472.9010	432.5810*	468.6930
	200	462.5290	427.6370*	458.1520
	225	450.7960	419.4530*	446.3660
	250	439.0940	416.2750*	432.8920
	300	427.7860	406.5200*	421.1090
	350	420.5450	391.8030*	410.6160
	400	412.6500	380.1870*	392.8110
	450	398.2780	359.2850*	386.2140
	500	386.5450	350.1870*	362.2030

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก59. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.09 ค่า p_0 = 0.0009 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.0009	100	497.3700	440.6580*	
	125	481.0610	437.0370*	454.2350
	150	475.8200	423.8190*	448.3720
	175	463.9250	416.7110*	437.0470
	200	453.5530	401.7670*	426.4450
	225	441.8200	393.5830*	417.9320
	250	430.1180	380.4050*	404.3800
	300	418.8100	372.6500*	393.6380
	350	405.5690	361.9330*	385.6550
	400	394.6740	354.3170*	376.8500
	450	387.3020	343.4150*	360.2530
	500	372.5690	334.3170*	356.2420

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก60. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า $p_0 = 0.001$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.001	5	486.6470*		
	10	477.5420*		
	15	464.8170*		
	20	457.4410*		
	25	448.5420*		
	30	443.2330*		
	35	440.2320*		
	40	434.9920*		
	45	432.7160*		
	50	429.5100*		
	60	427.0970*		
	70	418.7250*		
	80	406.7200*		
	90	398.9820*		
	100	396.5410		375.6330*
	125	392.1220		369.7120*
	150	387.2800		361.5310*
	175	380.8640		358.9070*
	200	375.9720		353.0700*
	225	368.7310		347.7620*
	250	360.8360		342.3230*
	300	353.6910		331.3260*
	350	347.4960		328.0170*
	400	346.4640		319.2120*
	450	334.7310		302.6150*
	500	327.2470		298.6040*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก61. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า $p_0 = 0.003$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.003	5	496.6130*		
	10	487.5080*		
	15	474.7830*		
	20	467.4070*		
	25	458.5080*		
	30	453.1990*		
	35	450.1980		434.2070*
	40	444.9580		430.3800*
	45	442.6820		424.8990*
	50	439.4760		419.6580*
	60	437.0630		413.7630*
	70	428.6910		409.4070*
	80	413.6810		394.5430*
	90	405.9430		390.9220*
	100	403.5020		386.1970*
	125	399.0830		380.2760*
	150	394.2410		372.0950*
	175	387.8250		369.4710*
	200	382.9330		363.6340*
	225	375.6920		358.3260*
	250	367.7970		352.8870*
	300	360.6520		341.8900*
	350	354.4570		338.5810*
	400	353.4250		329.7760*
	450	341.6920		313.1790*
	500	334.2080		309.1680*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก62. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า $p_0 = 0.005$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.005	5	465.3960*		
	10	456.2910*		
	15	443.5660*		
	20	436.1900		422.5670*
	25	427.2910		415.1530*
	30	421.9820		404.2850*
	35	418.9810		397.0500*
	40	413.7410		393.2230*
	45	411.4650		387.7420*
	50	408.2590		382.5010*
	60	405.8460		376.6060*
	70	397.4740		372.2500*
	80	385.4690		360.3820*
	90	377.7310		356.7610*
	100	375.2900		352.0360*
	125	370.8710		346.1150*
	150	366.0290		337.9340*
	175	359.6130		335.3100*
	200	354.7210		329.4730*
	225	347.4800		324.1650*
	250	339.5850		318.7260*
	300	332.4400		307.7290*
	350	326.2450		304.4200*
	400	325.2130		295.6150*
	450	313.4800		279.0180*
	500	305.9960		275.0070*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก63. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า $p_0 = 0.007$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.007	5	412.8350*		
	10	409.7300*		
	15	397.0050		362.3950*
	20	389.6290		358.1080*
	25	380.7300		362.3950*
	30	365.6600		358.1080*
	35	361.8330		349.9260*
	40	367.1800		346.0990*
	45	364.9040		340.6180*
	50	361.6980		335.3770*
	60	359.2850		329.4820*
	70	350.9130		325.1260*
	80	335.9030		310.2620*
	90	328.1650		306.6410*
	100	325.7240		301.9160*
	125	321.3050		295.9950*
	150	316.4630		287.8140*
	175	310.0470		285.1900*
	200	305.1550		279.3530*
	225	297.9140		274.0450*
	250	290.0190		268.6060*
	300	282.8740		257.6090*
	350	276.6790		254.3000*
	400	275.6470		245.4950*
	450	263.9140		228.8980*
	500	256.4300		224.8870*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก64. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า $p_0 = 0.009$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.009	5	387.6900*		
	10	384.5850*		
	15	371.8600		334.8340*
	20	364.4840		330.5470*
	25	355.5850		334.8340*
	30	340.5150		330.5470*
	35	336.6880		322.3650*
	40	342.0350		318.5380*
	45	339.7590		313.0570*
	50	336.5530		307.8160*
	60	334.1400		301.9210*
	70	325.7680		297.5650*
	80	310.7580		282.7010*
	90	303.0200		279.0800*
	100	300.5790		274.3550*
	125	296.1600		268.4340*
	150	291.3180		260.2530*
	175	284.9020		257.6290*
	200	280.0100		251.7920*
	225	272.7690		246.4840*
	250	264.8740		241.0450*
	300	257.7290		230.0480*
	350	251.5340		226.7390*
	400	250.5020		217.9340*
	450	238.7690		201.3370*
	500	231.2850		197.3260*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก65. ตารางแสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.09 ค่า p_0 = 0.01 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.01	5	360.4920*		
	10	357.3870		319.1600*
	15	344.6620		309.6180*
	20	337.2860		305.3310*
	25	328.3870		309.6180*
	30	313.3170		305.3310*
	35	309.4900		297.1490*
	40	314.8370		293.3220*
	45	312.5610		287.8410*
	50	309.3550		282.6000*
	60	306.9420		276.7050*
	70	298.5700		272.3490*
	80	280.5550		254.4890*
	90	272.8170		250.8680*
	100	270.3760		246.1430*
	125	265.9570		240.2220*
	150	261.1150		232.0410*
	175	254.6990		229.4170*
	200	249.8070		223.5800*
	225	242.5660		218.2720*
	250	234.6710		212.8330*
	300	227.5260		201.8360*
	350	221.3310		198.5270*
	400	220.2990		189.7220*
	450	208.5660		173.1250*
	500	201.0820		169.1140*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ ก66. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.09 ค่า p_0 = 0.03 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.03	5	328.6020		304.5860*
	10	325.4970		289.2520*
	15	303.0140		279.7100*
	20	305.3960		275.4230*
	25	296.4970		279.7100*
	30	281.4270		275.4230*
	35	277.6000		267.2410*
	40	282.9470		263.4140*
	45	280.6710		257.9330*
	50	277.4650		252.6920*
	60	275.0520		246.7970*
	70			242.4410*
	80			227.5770*
	90			223.9560*
	100			219.2310*
	125			213.3100*
	150			205.1290*
	175			202.5050*
	200			196.6680*
	225			191.3600*
	250			185.9210*
	300			174.9240*
	350			171.6150*
	400			162.8100*
	450			146.2130*
	500			142.2020*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก67. ตารางแสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ จำแนกตาม ค่า p_0 และ n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.05	5	299.3980		279.3680*
	10	296.2930		264.0340*
	15	276.1920		256.4920*
	20	273.8100		253.2050*
	25	267.2930		249.4920*
	30	262.2230		244.2050*
	35			242.0230*
	40			238.1960*
	45			232.7150*
	50			227.4740*
	60			221.5790*
	70			217.2230*
	80			199.3630*
	90			195.7420*
	100			191.0170*
	125			185.0960*
	150			176.9150*
	175			174.2910*
	200			168.4540*
	225			163.1460*
	250			157.7070*
	300			146.7100*
	350			143.4010*
	400			134.5960*
	450			117.9990*
	500			113.9880*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก68. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า $p_0 = 0.07$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.07	5	270.1660		247.3110*
	10	267.0610		231.7810*
	15	246.9600		224.9340*
	20	244.5780		219.9520*
	25	238.0610		216.2390*
	30			212.9520*
	35			209.7700*
	40			205.9430*
	45			200.4620*
	50			195.2210*
	60			189.3260*
	70			184.9700*
	80			173.1020*
	90			169.4810*
	100			164.7560*
	125			158.8350*
	150			150.6540*
	175			148.0300*
	200			142.1930*
	225			136.8850*
	250			131.4460*
	300			120.4490*
	350			117.1400*
	400			108.3350*
	450			91.7380*
	500			87.7270*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก69. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta =$ 0.09 ค่า p_0 = 0.09 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.09	5	240.6200		215.9820*
	10	237.5150		200.4520*
	15	217.4140		193.6050*
	20	215.0320		188.6230*
	25			184.9100*
	30			181.6230*
	35			178.4410*
	40			174.6140*
	45			169.1330*
	50			163.8920*
	60			157.9970*
	70			153.6410*
	80			141.7730*
	90			138.1520*
	100			133.4270*
	125			127.5060*
	150			119.3250*
	175			116.7010*
	200			110.8640*
	225			105.5560*
	250			100.1170*
	300			89.1200*
	350			85.8110*
	400			77.0060*
	450			60.4090*
	500			56.3980*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก70. แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 0.09$ ค่า $p_0 = 0.10,0.15,0.20$ และกลุ่มตัวอย่างขนาด n

p_0	n	ARL		
		A	G	S
0.10	5	210.4270		182.8640*
	10	207.3220		167.3340*
	15	187.2210		160.4870*
	20			155.5050*
	25			151.7920*
	30			148.5050*
	35			145.3230*
	40			141.4960*
	45			136.0150*
	50			130.7740*
0.15	5	178.8910		147.4010*
	10	175.7860		131.8710*
	15			116.0360*
	20			111.0540*
	25			107.3410*
	30			104.0540*
	35			100.8720*
	40			97.0450*
	45			91.5640*
	50			86.3230*
0.20	5	138.3400		102.9500*
	10	135.2350		87.4200*
	15			80.5730*
	20			75.5910*
	25			71.8780*
	30			68.5910*
	35			65.4090*
	40			61.5820*
	45			56.1010*
	50			50.8600*

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ภาคผนวก ข

โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างตัวเลขสุ่ม

โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลี

โปรแกรมสำหรับคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด

โปรแกรมสำหรับคำนวณค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างตัวเลขสุ่ม

```
!********** COMPUTER RANDOM VARIBLE******************!
FUNCTION RAND(IX)
INTEGER IX
REAL FLT
                IX=IX*16807
        IF(IX.LE.0.0)THEN
                IX=IX+2147483647+1
        ENDIF
           FLT=IX
                RAND=FLT*0.4654413E-9
RETURN
END
```

โปรแกรมย่อยสำหรับสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลี

```
!***********COMPUTER BERNUOLLI  VARIABLE*********!
FUNCTION   BER(P1,IX)
INTEGER    IX
REAL       P1,BER
                        VALUE=RAND(IX)
                        IF(VALUE.LE.P1)THEN
                                BER=1.0
                        ELSE
                                BER=0.0
                        END IF
END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมสำหรับคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างจะออกนอกขอบเขตควบคุมเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด

```
!************************************************************************!
!******************MAIN PROGRAM*********************************!
!************************************************************************!
INTEGER   IX,NROUND
REAL      P0,P1,N,DELTA,YY,CLLA,CULA ,SNPLL,SNPUL,SCLL,SCRL,ALP
DIMENSION XB(600)
COMMON/SEED/IX
PRINT*,' '
PRINT*,'ENTER VALUE OF P0(0-1)'
READ*,P0
PRINT*,' '
PRINT*,'ENTER VALUE OF DELTA'
READ*,DELTA
PRINT*,'  '
PRINT*,'ENTER NUBER OF SIZE'
READ*,N
PRINT*,' '
PRINT*,'ENTER ISEED'
READ*,IX
PRINT*,' '
PRINT*,'ENTER NUMBER OF ROUND'
READ*,NROUND
!**********************SET INTIAL VALUE*****************!
!NROUND=1000
P1=DELTA*P0
!************** COMPUTER CONTROL LIMIT *******************!
CULA = SINH(SQRT(P0)) + (3/(2*SQRT(N)))
CLLA = SINH(SQRT(P0)) - (3/(2*SQRT(N)))
CULG=ALOG(0.00135)/ALOG(1-P0)
```

```
CLLG=1+ALOG(0.99865)/ALOG(1-P0)
SNPUL=P0+3.0*SQRT(N*P0*(1-P0))
SNPLL=P0-3.0*SQRT(N*P0*(1-P0))
CALL FINDQ(N,P0,SQ)
SCRL = (ALOG(1-0.0027)/ALOG(SQ)) +1
SCLL = SCRL+1
PRINT*,'SCLL=',SCLL
CALL ALPS(N,NROUND,P1,SUMXB,SNPUL,SNPLL,SCLL,ALP)
PRINT*,'ALPS=',ALP
CALL ALPA(N,NROUND,P1,SUMXB,CLLA,CULA,YY,ALP)
        PRINT*,'ALPA =',ALP
CALL ALPG(N,NROUND,P1,SUMXB,CLLA,CULA,YY,ALP)
        PRINT*,'ALPG =',ALP
END

!********** COMPUTER RANDOM VARIBLE******************!
FUNCTION RAND(IX)
INTEGER IX
REAL FLT
                IX=IX*16807
        IF(IX.LE.0.0)THEN
                IX=IX+2147483647+1
        ENDIF
           FLT=IX
                RAND=FLT*0.4654413E-9
RETURN
END

!***********COMPUTER BERNUOLLI  VARIABLE*********!
FUNCTION   BER(P1,IX)
INTEGER    IX
REAL       P1,BER
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    VALUE=RAND(IX)
                    IF(VALUE.LE.P1)THEN
                        BER=1.0
                    ELSE
                        BER=0.0
                    END IF
END

!*******COMPUTER  BINOMIAL VARIABLE**************!
SUBROUTINE  BI(P1,XB)
DIMENSION XB(600)
COMMON/SEED/IX
INTEGER IX
REAL P1,XB
                    BN=BER(P1,IX)
                    IF(BN.EQ.1.0)THEN
                        XB=1.0
                        ELSE
                        XB=0.0
                    END IF
RETURN
END
!******** COMPUTER ALPHA********************
SUBROUTINE ALPA(N,NROUND,P1,SUMXB,CLLA,CULA,YY,ARL)
DIMENSION XB(600)
REAL   RL,N
!RL=0.0
SUMNP= 0.0
DO 50  J=1,NROUND
                SUMXB=0.0
                DO 10 I=1,N
                CALL BI(P1,XB)
```

```
                SUMXB=SUMXB+XB(I)
        !WRITE(1,*)I,XB(I),SUMXB
        10 CONTINUE
                XBAR=SUMXB/N
           YY=SINH(SQRT((SUMXB+(3/8))/(N+(3/4))))
           !YY=SINH(SQRT(XBAR))
                IF(YY.LT.CLLA.OR.YY.GT.CULA.OR.RL.GT.1000)THEN
                        RL=1.0
                ELSE
                        RL=0.0
                END IF
        SUMNP=SUMNP+RL
50  CONTINUE
        !WRITE(3,*)SUMNP
        ARL = SUMNP/NROUND
        RETURN
        END
SUBROUTINE ALPG(N,NROUND,P1,SUMXB,CLLA,CULA,YY,ARL)
SUMNS= 0.0
CRL=0.0
RL=0.0
SUMNG=0.0
DO 50  I=1,N
SUMNS=0.0
S(0)=0.0
9   CRL=CRL+1
        VALUE=RAND(IX)
        IF(VALUE.LE.P1)THEN
                GOTO 20
                ELSE
                GOTO 9
                END IF
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
20        SUMNS=SUMNS+CRL
          S(I)=SUMNS
          SXG=S(I)-S(I-1)-1
    SUMSXG=SUMSXG+SXG
IF(SXG.LT.CLLG.OR.SXG.GT.CULG)THEN
                    RL=1.0
          ELSE
                    RL=0.0
          END IF
          SUMNG=SUMNG+RL
50  CONTINUE
PRINT*,'SUMSXG=',SUMSXG
PRINT*,'SUMNG=',SUMNG
          ALP = SUMNG/N
PRINT*,'ALPG=',ALP
END
SUBROUTINE ALPS(N,NROUND,P1,SUMXB,SNPUL,SNPLL,SCLL,ALP)
DIMENSION XB(600)
INTEGER CRL,SCLL,SNPUL,SNPLL
SUMNS= 0.0
CRL=0.0
DO 50  I=1,NROUND
          SUMXB=0.0
   DO 55 J=1,N
    CALL BI(P1,XB)
          SUMXB=SUMXB+XB(J)
   55 CONTINUE
     CRL=CRL+1
          IF(SUMXB.LT.SNPLL.OR.SUMXB.GT.SNPUL)THEN
                    GOTO 20
                    ELSE
                    GOTO 50
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    END IF
 20 IF(CRL.LE.SCLL)THEN
          RL=1.0
          ELSE
          RL=0.0
          END IF
          SUMNS=SUMNS+RL
50  CONTINUE
                    ALP=SUMNS/NROUND
          RETURN
          END
SUBROUTINE FINDQ(N,P0,SQ)
DIMENSION  F(40),PR(40)  ,BINO(40),Q(40)
INTEGER  X,N,C,J,F,M ,PX,PA ,MFT,MFC
REAL  BINO,A ,P0 ,SQ
          SNPUL=N*P0+3.0*SQRT(N*P0*(1-P0))
          C= SNPUL+1
          A=(1-P0)**N
          J=0.0
          MFT=1
          MFC=1
          SUMQ=0.0
 DO       77  K=1,C
          X=N-K+1
          J=0.0
          MFT=1
          MFC=1
 IF(X.LE.N)THEN
DO 10 I=X,N
          M=J+1
          J=M
          F(J)=I
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
10 CONTINUE
 DO 15 I=1,K
        FT=F(I)
        MFT=MFT*FT
        FC=I
        MFC=MFC*FC
15 CONTINUE
        BINO(K)=MFT/MFC
 ELSE
        BINO(K)=1
 END IF
        PX=K
        PA=N-K
        PR(K)=(P0**PX)*((1-P0)**PA)
        Q(K)=BINO(K)*PR(K)
                SUMQ=SUMQ+Q(K)
77 CONTINUE
                SQ=SUMQ+A
RETURN
END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมสำหรับคำนวณค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ยของแผนภูมิทั้ง 3 ชนิด

```
!*************************************************************************!
!******************MAIN PROGRAM*********************************!
!*************************************************************************!
INTEGER   IX,NROUND,SXG    ,CULG,CLLG
REAL      P0,P1,N,DELTA,CLLA,CULA SCRL,SCLL ,SNPLLL,SNPULL ,C
COMMON/SEED/IX
PRINT*,'ENTER VALUE OF P0(0-1)'
READ*,P0
PRINT*,'ENTER VALUE OF DELTA'
READ*,DELTA
PRINT*,'ENTER NUBER OF SIZE'
READ*,N
PRINT*,'ENTER NUMBER OF ROUND'
READ*,NROUND
P1=DELTA*P0
!************** COMPUTER CONTROL LIMIT ********************!
CULA = SINH(SQRT(P0)) + 3/(2*SQRT(N))
CLLA = SINH(SQRT(P0)) - 3/(2*SQRT(N))
!PRINT*,'CULA=',        CULA
!PRINT*,'CLLA=',        CLLA
CULG=ALOG(0.00135)/ALOG(1-P0)
CLLG=1+ALOG(0.99865)/ALOG(1-P0)
SNPULL=N*P0+3.0*SQRT(N*P0*(1-P0))
!SNPUL=SNPULL+1
SNPLLL=N*P0-3.0*SQRT(N*P0*(1-P0))
                    IF(SNPLL .LT.0.0)THEN
                            SNPLL =0.0
 !SNPLL=SNPLLL+1
                     END IF
CALL FINDQ0(N,P0,SQ0)
```

```
SCRL = (ALOG(1-0.0027)/ALOG(SQ0))+1
SCLL=SCRL+1
PRINT*,'SCLL=',SCLL
CALL ARLS(N,NROUND,P1,SUMXB,SNPUL,SNPLL,SCLL,ARL)
PRINT*,'ARLS=',ARL
CALL ARLA(N,NROUND,P1,SUMXB,CLLA,CULA,YY,ARL)
PRINT*,'ARLA=',ARL
END
!********** COMPUTER RANDOM VARIBLE******************!
FUNCTION RAND(IX)
INTEGER IX
REAL FLT
        IX=IX*16807
    IF(IX.LE.0.0)THEN
        IX=IX+2147483647+1
    ENDIF
      FLT=IX
        RAND=FLT*0.4654413E-9
RETURN
END
!**********COMPUTER BERNUOLLI  VARIABLE*********!
FUNCTION   BER(P1,IX)
INTEGER    IX
REAL       P1,BER
                VALUE=RAND(IX)
                IF(VALUE.LE.P1)THEN
                    BER=1.0
                ELSE
                    BER=0.0
                END IF
END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
!*******COMPUTER  BINOMIAL VARIABLE*************!
SUBROUTINE  BI(P1,XB)
DIMENSION XB(600)
COMMON/SEED/IX
INTEGER IX
REAL P1,XB
                        BN=BER(P1,IX)
                        IF(BN.EQ.1.0)THEN
                                XB=1.0
                                ELSE
                                XB=0.0
                        END IF
RETURN
END

!******** COMPUTER ARL*******************
SUBROUTINE ARLA(N,NROUND,P1,SUMXB,CLLA,CULA,YY,ARL)
DIMENSION XB(600)
REAL   RL,N
RL=0.0
SUMNP= 0.0
DO 50  J=1,NROUND
9       RL=RL+1
                SUMXB=0.0
        DO 10 I=1,N
                CALL BI(P1,XB)
                SUMXB=SUMXB+XB(I)
        !WRITE(1,*)I,XB(I),SUMXB
        10 CONTINUE
        YY=SINH(SQRT((SUMXB+(3/8))/(N+(3/4))))
                !       YY=SINH(SQRT(SUMXB/N))
                !       YY=SINH((SUMXB+(3/8))/(N+(3/4)))
```

```
!         PRINT*,'YY=',YY
                  IF(YY.LT.CLLA.OR.YY.GT.CULA.OR.RL.GT.1000)THEN
                        SUMNP=SUMNP+RL
                        RL=0.0
                  ELSE
                        GOTO 9
                  END IF
!                 PRINT*,'SUMNP =',SUMNP
50  CONTINUE
!PRINT*,'SUMNP =',SUMNP
         ARL = SUMNP/NROUND
         RETURN
         END
*********
SUBROUTINE ARLG(N,NROUND,P1,SUMXB,CLLA,CULA,YY,ARL)
DIMENSION S(100000)
SUMNS= 0.0
CRL=0.0
RL=0.0
SUMNG=0.0
DO 80 J=1,1000
10 RL=RL+1
DO 50  I=1,N
SUMNS=0.0
S(0)=0.0
 9    CRL=CRL+1
         VALUE=RAND(IX)
         IF(VALUE.LE.P1)THEN
                  GOTO 20
                  ELSE
                  GOTO 9
                  END IF
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
20        SUMNS=SUMNS+CRL
          S(I)=SUMNS
          SXG=S(I)-S(I-1)-1
   SUMSXG=SUMSXG+SXG
IF(SXG.LT.CLLG.OR.SXG.GT.CULG.OR.RL.GT.1000)THEN
                  SUMNG=SUMNG+RL
                  RL=0.0
                  ELSE
                  GOTO 10
                  END IF
! PRINT*,'SUMNG=',SUMNG
50  CONTINUE
80  CONTINUE
PRINT*,'SUMSXG=',SUMSXG
PRINT*,'SUMNG=',SUMNG
                  ARL= SUMNG/1000
PRINT*,'ARLG=',ALP
END
!******** COMPUTER ARL*******************
SUBROUTINE ARLS(N,NROUND,P1,SUMXB,SNPUL,SNPLL,SCLL,ARL)
DIMENSION XB(600)
REAL    RL
INTEGER CRL,SCLL
RL=0.0
SUMNS= 0.0
CRL=0.0
DO 50  I=1,NROUND
9         RL=RL+1
          SUMXB=0.0
  DO 55 J=1,N
    CALL BI(P1,XB)
           SUMXB=SUMXB+XB(J)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
 55 CONTINUE
    CRL=CRL+1
        IF(SUMXB.LT.SNPLL.OR.SUMXB.GT.SNPUL)THEN
            GOTO 20
            ELSE
            GOTO 9
            END IF
 20 IF(CRL.LE.SCLL)THEN
        SUMNS=SUMNS+RL
        RL=0.0
        CRL=0.0
        ELSE
        CRL=0.0
        GOTO 9
        END IF
50  CONTINUE
            ARL=SUMNS/NROUND
      RETURN
      END
SUBROUTINE FINDQ0(N,P0,SQ0)
DIMENSION  F(40),PR(40)  ,BINO(40),Q(40)
INTEGER  X,N,C,J,F,M ,PX,PA ,MFT,MFC ,SNPUL
REAL  BINO,A ,P0 ,SQ0
      SNPUL=N*P0+3*SQRT(N*P0*(1-P0))
      C= SNPUL
      A=(1-P0)**N
      J=0.0
      MFT=1
      MFC=1
      SUMQ=0.0
DO    77  K=1,C
      X=N-K+1
```

```
        J=0.0
        MFT=1
        MFC=1
 IF(X.LE.N)THEN
DO 10 I=X,N
        M=J+1
        J=M
        F(J)=I
10 CONTINUE
 DO 15 I=1,K
        FT=F(I)
        MFT=MFT*FT
        FC=I
        MFC=MFC*FC
15 CONTINUE
        BINO(K)=MFT/MFC
 ELSE
        BINO(K)=1
 END IF
        PX=K
        PA=N-K
        PR(K)=(P0**PX)*((1-P0)**PA)
        Q(K)=BINO(K)*PR(K)
                SUMQ=SUMQ+Q(K)
77 CONTINUE
                SQ0=SUMQ+A
!PRINT *,'SQ0=',SQ0
PRINT *,'SQ0=',SQ0
!80 FORMAT(F20.4)
RETURN
END
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเพ็ญนภา เจริญศิลป์ เกิดเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2518 ที่จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาการศึกษาศาสตรบัณฑิต (กศ.บ) สาขาวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย