



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สถิติ)

ปริญญา

สถิติ

สาขา

สถิติ

ภาควิชา

เรื่อง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย

A Comparison on Efficiency of Control Chart for Number of Non-conforming

นามผู้วิจัย นางสาวพัฒนาวิไล อินไหม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สมบูรณ์ สุขพงษ์, M.S.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์อภิญา หิรัญวงษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์อำไพ ทองธีรภาพ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย

A Comparison on Efficiency of Control Chart for Number of Non-conforming

โดย

นางสาวพัฒนาวิไล อินใหม่

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิต)

พ.ศ. 2552

พัฒนาวิไล อินใหม่ 2552: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ) สาขาสถิติ ภาควิชาสถิติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: รองศาสตราจารย์สมบูรณ์ สุขพงษ์, 94 หน้า

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np-chart) แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ (CRL-chart) แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ (SCRL-chart) และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (synthetic-chart) เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงทวินาม ปัจจัยต่างๆที่นำมาศึกษา ดังนี้ ค่าสัดส่วนของเสีย (p_0) 5 ขนาด คือ 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1 ขนาดตัวอย่าง (n) 7 ขนาด คือ 5, 10, 20, 30, 50, 100 และ 150 และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) 7 ขนาด คือ 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0, 3.0, 4.0 เท่า รวมทั้งสิ้น 245 กรณี เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม คือ ความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) เมื่อกระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลง และค่า Average Run Length (ARL) เมื่อกระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลง ในการวิจัยได้จำลองข้อมูล แต่ละกรณีจำนวน 10,000 ครั้ง

ผลการวิจัย พบว่า เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม โดยมีค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.07 และ 0.1 แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียและแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์สามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง แต่แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพดีกว่า ส่วนแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ทุกขนาดตัวอย่าง ยกเว้นขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 และ 150 เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุมหรือสัดส่วนของเสียมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ที่ขนาดตัวอย่างแต่ละขนาด แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์มีประสิทธิภาพมากที่สุด ส่วนแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพมากที่สุดในกรณีที่สัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.05, 0.07 และ 0.1 และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียมีค่าเท่ากับ 3.0 และ 4.0 เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 20 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อสัดส่วนของเสียมีค่าต่ำกว่า 0.05 และขนาดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียมีค่าต่ำกว่า 3.0

Phatthanawilai Inmai 2009: A Comparison on Efficiency of Control Chart for Number of Non-conforming. Master of Science (Statistics), Major Field: Statistics, Department of Statistics. Thesis Advisor: Associate Professor Somboon Sukpong, M.S. 94 pages.

The objective of this research was to compare the efficiency of np control chart, CRL control chart, SCRL control chart and synthetic control chart when the probability distribution of the data was binomial distribution. The factors concerned were fraction non-conforming (p_0) at 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, and 0.1. Sample size (n) at 5, 10, 20, 30, 50, 100, and 150, and shift of fraction non-conforming (δ) at 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0, 3.0, and 4.0. Total cases were 245 cases. The criteria used to meet this objective were the Probability of Type I Error ($\hat{\alpha}$) while the process was in control, and Average Run Length while the process was out of control. The data were generated with 10,000 times.

The results were as follows; for the situation that process was in control, with the fraction non-conforming of 0.07 and 0.1, np control chart and synthetic control chart were able to control the probability of type I error in every sample size. However, synthetic control chart performed better. CRL control chart could also control the probability of type I error in every sample size, except 100 and 150. For the situation that process was out of control, CRL control chart was the most efficient control chart at each sample size. When fraction non-conforming were 0.05, 0.07, 0.1 and shift of fraction non-conforming were 3.0 and 4.0, synthetic control chart was the most efficient control chart. Moreover, with sample size larger than 20, synthetic control chart was the most efficient control chart, when fraction non-conforming was less than 0.05 and shift of fraction non-conforming were below 3.0.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สมบูรณ์ สุขพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์อภิญา หิรัญวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในระหว่างดำเนินการวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นได้อย่างสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แนวคิดในแง่ต่างๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการอำนวยความสะดวกและติดต่อประสานงานในด้านต่างๆ ด้วยดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา สมาชิกในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดี และขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้กันในทุกๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถผ่านพ้นอุปสรรคจนประสบความสำเร็จในวันนี้

พัฒนาวิไล อินไหม

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	31
ผลและวิจารณ์	46
ผล	46
วิจารณ์	73
สรุปและข้อเสนอแนะ	75
สรุป	75
ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	82
ภาคผนวก	84
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	94

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด	48
2	ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 เท่ากับ 0.01	53
3	ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 เท่ากับ 0.03	57
4	ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 เท่ากับ 0.05	61
5	ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 เท่ากับ 0.07	65
6	ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 เท่ากับ 0.1	69
7	แผนภูมิควบคุมที่สามารถควบคุมค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (α) ได้ในแต่ละสถานการณ์	77
8	แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อสัดส่วนของเสีย ขนาดตัวอย่าง และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเปลี่ยนแปลงไป	79
 ตารางผนวกที่		
1	ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1 และ n เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 100 และ 150	85

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การใช้เทคนิคเชิงสถิติในการควบคุมคุณภาพ	7
2 แผนภูมิควบคุมเชิงสถิติ	9
3 ขอบเขตการยอมรับ	15
4 ขอบเขตการยอมรับ $np \pm 3\sigma$	18
5 ตัวอย่าง CRL และ SCRL	19
6 ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np Control Chart)	37
7 ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ (CRL Control Chart)	39
8 ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิควบคุมผลรวมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ (SCRL Control Chart)	41
9 ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart)	43
10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.01	55
11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.03	59
12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.05	63
13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.07	67
14 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.1	71

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ย
p_0	=	สัดส่วนของเสียที่ต้องการควบคุม
p_1	=	สัดส่วนของเสียที่เปลี่ยนแปลงไป
n	=	ขนาดตัวอย่าง
δ	=	ขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย
np	=	แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย
CRL	=	แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์
SCRL	=	แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์
Synthetic	=	แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์
$\hat{\alpha}$	=	ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1
α_0	=	ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ที่กำหนด ซึ่ง ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 0.0027
ARL	=	จำนวนชุดตัวอย่างเฉลี่ยที่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลง
LCL	=	ขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุม
UCL	=	ขอบเขตควบคุมบนของแผนภูมิควบคุม
CL	=	เส้นแกนกลาง
∞	=	ค่าอนันต์
U(0,1)	=	ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง (0,1)
μ_{CRL}	=	ค่าเฉลี่ยของ CRL
i	=	ลำดับของผลิตภัณฑ์เสีย ; $i = 0, 1, 2, \dots, n$
Q_0	=	ค่าความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างออกนอกการควบคุม เมื่อ กระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม
d_t	=	ดัชนีชี้วัดว่าจำนวนของเสียกลุ่มที่ t ในการทดลองอยู่ในขอบเขต การควบคุมหรือไม่ เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม
t	=	ครั้งที่ของจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่นำมาตรวจสอบ เมื่อ $t = 1, 2, \dots, 10,000$
$\hat{\beta}$	=	ค่าประมาณของความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างอยู่ในการควบคุม เมื่อ กระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย

A Comparison on Efficiency of Control Chart for Number of Non-conforming

คำนำ

ในปัจจุบันการแข่งขันในธุรกิจและอุตสาหกรรมมีมากขึ้น โดยเฉพาะหลักการและวิธีการที่เลือกใช้ในการควบคุมคุณภาพต้องเป็นที่ยอมรับของทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่น่าเชื่อถือของผู้บริโภคหรือการให้บริการที่ดีเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้ธุรกิจและอุตสาหกรรมนั้นๆ ประสบผลสำเร็จ ความไม่สม่ำเสมอของกระบวนการผลิตหรือความแปรปรวนของกระบวนการผลิตย่อมเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา สาเหตุที่ทำให้กระบวนการผลิตผิดปกติไปนั้นอาจเนื่องมาจากปัจจัยการผลิต คือ เครื่องจักร คนทำงาน หรือวัตถุดิบ ปัจจัยการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นส่งผลให้กระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนดด้วย ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไม่ตรงตามข้อกำหนด ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการเชิงสถิติเพื่อเตือนให้ผู้ผลิตรู้ว่ากระบวนการผลิตได้เปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนดไว้ นั่นก็คือ แผนภูมิควบคุม (Shewart, 1980)

แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นเครื่องมือตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวกำหนดความสามารถของกระบวนการผลิต การวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมอย่างสม่ำเสมอจะทำให้ผู้ผลิตสามารถปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะมีผลให้ความผันแปรของกระบวนการผลิตลดลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ แผนภูมิควบคุมคุณภาพสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท โดยพิจารณาจากค่าวัดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุม คือ แผนภูมิควบคุมเชิงผันแปร (Control Chart for Variables) และแผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ (Control Charts for Attributes)

แผนภูมิควบคุมเชิงผันแปร เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ที่สามารถวัดค่าได้ด้วยการชั่ง ตวง วัด เช่น ปริมาณกาแฟบรรจุขวด เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน น้ำหนักของชิ้นงาน เปอร์เซ็นต์น้ำตาล อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เป็นต้น แผนภูมิควบคุมประเภทนี้ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ Control Chart) ของ Shewhart เป็นแผนภูมิที่ใช้

ควบคุมค่าเฉลี่ย โดยใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าวัดคุณภาพ แผนภูมิควบคุมพิสัย (R Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมค่าความผันแปรหรือค่าการกระจาย โดยใช้พิสัยเป็นค่าวัด แผนภูมิควบคุมการกระจาย (S Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นค่าวัด ซึ่งจะมีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุมพิสัย แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (CUSUM Control Chart) เป็นแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ซึ่งมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงไปของค่าเฉลี่ยได้ดีกว่าแผนภูมิค่าเฉลี่ยของ Shewhart เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และใช้ได้ดีเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1 หน่วย (Reynolds and Stoumbos, 2000) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเอกซ์โปเนนเชียล (EWMA Control Chart) สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยจากกระบวนการผลิตได้อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและใช้ได้ดีเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1 หน่วยเช่นเดียวกับแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (Michael, 2004) นอกจากนั้นยังมีแผนภูมิอื่นๆ เช่น แผนภูมิควบคุมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Regression Control Chart) แผนภูมิควบคุมมัธยฐาน ($\tilde{x}$ Control Chart) เป็นต้น

แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ เป็นแผนภูมิควบคุมกระบวนการผลิตที่ค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุมสามารถหาได้ด้วยการแจกแจง เช่น จำนวนผลิตภัณฑ์ดีหรือเสีย จำนวนข้อบกพร่องหรือจำนวนตำหนิในผลิตภัณฑ์ เป็นต้น แผนภูมิควบคุมประเภทนี้ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (P Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิต แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมจำนวนของเสียในกระบวนการผลิต แผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ (C Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมจำนวนรอยตำหนิหรือข้อบกพร่องทั้งหมดที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ และแผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิต่อหน่วย (U Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมจำนวนรอยตำหนิต่อหน่วยที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์ (สุมิตรา, 2543; Juran, 1998)

ต่อมาได้มีผู้คิดค้นพัฒนาแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียขึ้นอีกหลายแผนภูมิเพื่อที่จะสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในสถานการณ์ต่างๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Wu and Spedding (1999) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มรันเรนจ์ (Conforming Run Length Control Chart; CRL) ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมเชิงคุณภาพชนิดหนึ่งที่มีวิธีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เสียดังนี้ คือ เริ่มตรวจสอบผลิตภัณฑ์ไปจนกว่าจะพบผลิตภัณฑ์เสียชิ้นแรกจึงหยุดทำการ

ตรวจสอบ แล้วนับเป็นค่า CRL ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ใช้การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทุกชิ้น (100%) และใช้ ATS (Average Time to Signal) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมแต่ละชนิด

Wu *et al* (2001) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ (Sum of Conforming Run Length Control Chart; SCRL) ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมที่ได้จากการรวมจำนวนคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ (CRL) จำนวน i ครั้ง ใช้ตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงไปของสัดส่วนของเสีย แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์สามารถคำนวณได้จากการประมาณการแจกแจงทวินามนิเสธด้วยการแจกแจงแกมมา ใช้ ATS เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมแต่ละชนิด

Wu *et al* (2001) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมที่เกิดจากการรวมกันของแผนภูมิควบคุมสองชนิด คือ แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียและแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ โดยจะทำการตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียก่อน จากนั้นจึงทำการตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ พบว่า แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับของเสียได้ดีในกรณีที่ขนาดของสัดส่วนของเสียเปลี่ยนแปลงไป

เนื่องจากมีแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียที่มีผู้พัฒนาขึ้นให้มีประสิทธิภาพที่จะสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ในสถานการณ์ต่างๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความสามารถในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมดังต่อไปนี้ คือ แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np Control Chart) แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ (CRL Control Chart) แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ (SCRL Control Chart) และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อสัดส่วนของเสียเปลี่ยนแปลงไปในระดับต่างๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเสีย (p_0) ขนาดตัวอย่าง (n) และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) เพื่อจะได้ทราบว่าในแต่ละสถานการณ์แผนภูมิควบคุมใดจะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ดีกว่ากัน โดยพิจารณาจากค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error; α) เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม และค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (Average Run Length; ARL) เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม

วัตถุประสงค์

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย เมื่อปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ สัดส่วนของเสีย (p_0) ขนาดตัวอย่าง (n) และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) โดยศึกษาแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ และแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์

ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้กำหนดรายละเอียดปัจจัยที่จะศึกษาดังนี้

1. การแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจำลองข้อมูลให้มีการแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution)

2. สัดส่วนของเสีย (p_0) ที่ต้องการควบคุม เท่ากับ 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1

3. ขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 100 และ 150

4. ขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) ดังนี้คือ

- δ เท่ากับ 1.0 เท่าของสัดส่วนของเสีย เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม นั่นคือ สัดส่วนของเสียไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

- δ เท่ากับ 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0, 3.0 และ 4.0 เท่าของสัดส่วนของเสีย เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม นั่นคือ สัดส่วนของเสียเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเพิ่มขึ้น

5. ขอบเขตการยอมรับ คือ $np \pm 3\sigma$

6. เกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียในการวิจัยนี้

6.1 ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ที่เกิดขึ้นในแผนภูมิควบคุมเมื่อจำลองข้อมูลจำนวน 10,000 ชุด หรือค่าประมาณความน่าจะเป็นของการตัดสินใจว่ากระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม ทั้งๆที่กระบวนการผลิตยังอยู่ในการควบคุม

6.2 ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (Average Run Length; ARL) คือ จำนวนตัวอย่างเฉลี่ยที่ตกอยู่ในขีดจำกัดควบคุมก่อนที่จะตกออกนอกขีดจำกัดควบคุม (out of control)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย 4 ชนิด ในสถานการณ์ต่างๆ เมื่อปัจจัยเปลี่ยนไป จากค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิควบคุม
2. เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียและขนาดตัวอย่างให้เหมาะสมกับสถานการณ์การผลิตแต่ละกรณี
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

การตรวจเอกสาร

การตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมหลายวิธี สำหรับแผนภูมิควบคุมที่สนใจศึกษา คือ แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np Control Chart) แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ (CRL Control Chart) แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ (SCRL Control Chart) และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อสัดส่วนของเสียเปลี่ยนแปลงไปในระดับต่างๆ ซึ่งมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้คือ

คุณภาพ (Quality) หมายถึง คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งรวมทั้งการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้พอใจผู้ใช้ ให้มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดตามที่ลูกค้าต้องการ มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ทำให้ลูกค้านิยมผลิตภัณฑ์มากกว่าชนิดอื่น มีรูปร่างลักษณะการใช้งานดี ยังผลให้ผู้ใช้เกิดความเชื่อมั่นและวางใจในผลิตภัณฑ์นั้น (Juran, 1998)

การควบคุม (Control) หมายถึง การทำหรือกิจกรรมที่ทำให้ได้มาซึ่งผลเป็นที่น่าพอใจตามที่ต้องการหรือตามข้อกำหนดที่คาดหมายไว้ (Juran, 1998)

การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) หมายถึง กิจกรรมหรือผลรวมของกิจกรรมต่างๆ ที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตรงตามวัตถุประสงค์ของโรงงานหรือบริษัท การควบคุมคุณภาพจึงเป็นกิจกรรมต่างๆ ที่โรงงานจัดทำขึ้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดและลูกค้าเกิดความพอใจ ซึ่งกิจกรรมจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละระบบงานหรือแต่ละบริษัท หลักการที่ต้องยึดถือปฏิบัติ คือ จะต้องเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวกับการค้นหาปัญหาและแก้ปัญหาเพื่อควบคุมผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดี นอกจากนี้จะต้องประกอบด้วยการพัฒนาคุณภาพ (Develop) การรักษาคุณภาพ (Maintain) และการปรับปรุงคุณภาพ (Improve) ทั้งยังต้องได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ ภายในองค์กรอีกด้วย (Juran, 1998)

การตรวจสอบคุณภาพ

ในการตรวจสอบคุณภาพนั้นจะต้องมีเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งอาจเป็นอุปกรณ์ต่างๆ และเทคนิคการตรวจสอบจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอให้สอดคล้องกับความจริงทางวิทยาศาสตร์ ผู้ที่จะทำการตรวจสอบจะต้องได้รับความรู้ที่ทันสมัยอยู่เสมอ จึงต้องมีการอบรมอยู่ตลอดเวลา และจะต้องมีการรักษาความถูกต้อง และมีการตรวจสอบผลงานที่ได้อยู่เสมอ



ภาพที่ 1 การใช้เทคนิคเชิงสถิติในการควบคุมคุณภาพ

ที่มา : พิชิต (2543)

ลักษณะของการตรวจสอบคุณภาพแบ่งออกเป็น 2 แบบ

1. การตรวจสอบคุณภาพเชิงปริมาณ (Variable) เป็นการตรวจสอบคุณภาพเพื่อให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อยู่ภายใต้ขอบเขตมาตรฐานที่กำหนด โดยจะกำหนดค่าเป็นตัวเลขที่แสดงถึงขอบเขตควบคุมบนและขอบเขตควบคุมล่าง ค่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์สามารถจัดออกเป็นตัวเลขที่เกิดจากการชั่ง ตวง วัด เช่น การวัดความยาวของผลิตภัณฑ์, ความเหนียวของผลิตภัณฑ์ พลาสติก และน้ำหนักของลูกเบตมินตัน เป็นต้น

2. การตรวจสอบคุณภาพเชิงคุณลักษณะ (Attribute) เป็นการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างหยาบๆ ด้วยการวัดลักษณะของผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น

- การตรวจสอบลักษณะดีหรือเสียของผลิตภัณฑ์ เป็นการตรวจสอบคุณภาพเพื่อควบคุมจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น เช่น การตรวจสอบอาหารกระป๋องว่าดีหรือเสีย, การตรวจหลอดไฟว่าติดหรือไม่ติด เป็นต้น

- การตรวจสอบรอยตำหนิ เป็นการตรวจสอบเพื่อควบคุมจำนวนตำหนิบนชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ให้อยู่ภายใต้ขอบเขต (Control of Defect) เช่น จำนวนตำหนิของเครื่องเฟอร์นิเจอร์ (อาจมีรอยด่างของสีหรือสีไม่เรียบ) จำนวนตำหนิบนไม้อัด เป็นต้น

ประโยชน์ที่ได้รับจากการควบคุมคุณภาพทางสถิติ

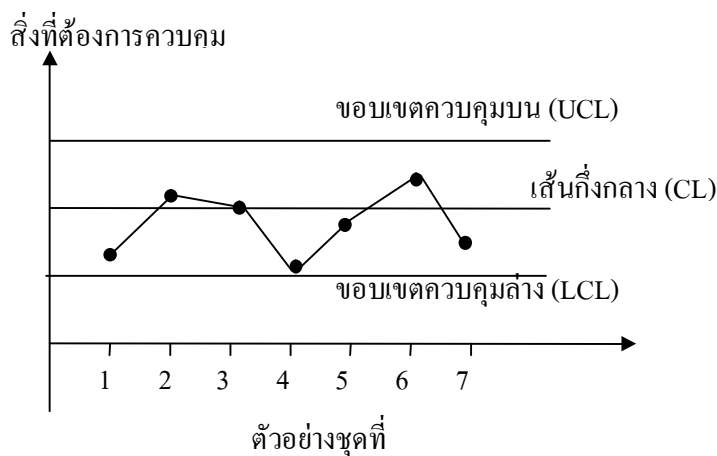
1. ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตและค่าใช้จ่ายทั้งหมดภายในโรงงาน ลดจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

2. ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพให้ได้ผลิตภัณฑ์สม่ำเสมอ ลดค่าใช้จ่ายภายนอกโรงงาน

3. ช่วยให้เกิดการพัฒนาปรับปรุงวิธีการ เทคนิคต่างๆ และเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ให้ดีขึ้น (สุมิตรา, 2543)

แผนภูมิควบคุมคุณภาพ

แผนภูมิควบคุมคุณภาพ เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิต แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ดีจะต้องสามารถแยกความผันแปรของกระบวนการผลิตออกจากกันได้ว่าจุดใดเป็นจุดบกพร่องจะต้องทำการตรวจสอบแก้ไข และเมื่อใดที่จะหยุดทำการผลิตเพื่อปรับปรุง เมื่อใดที่จะปล่อยให้การผลิตดำเนินต่อไปได้ เพื่อที่จะสามารถแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างทันทั่วทั้งที่ สามารถลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง ตัวอย่างของแผนภูมิควบคุมแสดงได้ดังนี้ (Shewart, 1980)



ภาพที่ 2 แผนภูมิควบคุมเชิงสถิติ

แผนภูมิควบคุมประกอบด้วย ขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า UCL ขอบเขตควบคุมล่าง (Lower Control Limit) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า LCL และเส้นกึ่งกลาง (Central Limit) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า CL การควบคุมทำได้โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างและวัดผลของสิ่งที่ต้องการควบคุม แล้วเขียนจุดลงในแผนภูมิควบคุมและลากเส้นเชื่อมต่อจุดต่างๆ เข้าด้วยกัน

ขอบเขตควบคุมบนและล่างได้จากการคำนวณค่าโดยอาศัยข้อมูลที่สุ่มไว้ จุดที่กระจายอยู่ในขอบเขตควบคุมบนและล่าง แสดงถึงสภาพของกระบวนการผลิตว่ายังอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ ถ้าจุดต่างๆ กระจายอยู่ในขอบเขตควบคุมอย่างสม่ำเสมอ แสดงว่า กระบวนการผลิตยังอยู่ภายใต้การควบคุม แต่ถ้ามีจุดหนึ่งจุดในที่กนนอกขอบเขตควบคุมบนและล่าง แสดงว่า กระบวนการผลิตได้ส่อถึงความผิดปกติไปจากสภาพปกติ ผู้ควบคุมการผลิตจะต้องทำการตรวจสอบกระบวนการผลิต และแก้ไขให้กลับสู่สภาพเดิม

ถึงแม้ว่าจุดบนแผนภูมิควบคุมจะอยู่ระหว่างขอบเขตควบคุมบนและล่าง คือ ไม่มีจุดใดตกนอกขอบเขตควบคุมเลย แต่ถ้าการกระจายของจุดเหล่านี้ไม่สม่ำเสมอ เช่น ถ้ามีจุด 5 จุดติดต่อกันอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกึ่งกลาง แสดงว่า กระบวนการผลิตได้ออกนอกการควบคุมแล้ว จะต้องตรวจสอบกระบวนการผลิตและแก้ไขให้กระบวนการผลิตกลับสู่สภาพปกติต่อไป (พิจิต, 2543)

แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ใช้ควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตจะประกอบด้วยแผนภูมิต่างๆ ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ใช้ควบคุมจากการตรวจสอบวัดด้วยตัวแปร (Variable Control Chart) ซึ่งประกอบด้วย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และแผนภูมิควบคุมที่วัดการกระจายด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) หรือพิสัย (R) เป็นต้น

2. แผนภูมิควบคุมคุณภาพจากการตรวจสอบวัดด้วยคุณลักษณะ (Attribute Control Chart) ซึ่งประกอบด้วย แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (P Control Chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np Control Chart) แผนภูมิควบคุมข้อบกพร่องหรือตำหนิ (C Control Chart) และแผนภูมิควบคุมข้อบกพร่องหรือตำหนิต่อหน่วย (U Control Chart) (อดิศักดิ์, 2535)

ประโยชน์ของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ

1. ควบคุมกระบวนการผลิตได้ทันต่อเหตุการณ์ สิ่งที่ต้องการควบคุมจะถูกสุ่มตัวอย่างและเขียนจุดลงบนแผนภูมิควบคุมเป็นระยะๆ ถ้าจุดมิได้แสดงความผิดปกติ ก็แสดงว่า กระบวนการผลิตยังอยู่ในการควบคุม เมื่อใดที่จุดแสดงความผิดปกติ คือ มีจุดออกนอกขอบเขตควบคุมบนและล่าง ผู้ควบคุมการผลิตก็สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตให้กลับสู่ภาวะปกติได้ทันทั่วทั้ง นอกจากนี้สภาพการกระจายของจุดในแผนภูมิควบคุมยังสามารถใช้เพื่อคาดการณ์กระบวนการผลิตในอนาคตได้อีกด้วย

2. ตรวจสอบค่ามาตรฐานที่กำหนด คือ การตรวจสอบค่าผลการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ เมื่อใดที่ตัวอย่างสุ่มได้ตกอยู่นอกขอบเขตการควบคุม ย่อมแสดงว่า กระบวนการผลิตได้คลาดเคลื่อนออกจากมาตรฐานที่กำหนดแล้ว

3. ทำให้ทราบถึงสมรรถภาพของกระบวนการ กระบวนการผลิตที่อยู่ภายใต้การควบคุม อาจอยู่ในข้อกำหนด (specification) หรือไม่ก็ได้ กระบวนการผลิตที่แสดงว่าอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ สามารถนำไปใช้เพื่อคำนวณถึงสมรรถภาพของกระบวนการผลิต เพื่อหาความสามารถในการผลิตภายใต้ข้อกำหนด

4. แผนภูมิควบคุมช่วยเพิ่มผลผลิต แผนภูมิควบคุมมีส่วนช่วยอย่างมากในการลดจำนวนจำนวนผลิตภัณฑ์เสียและการทำซ้ำ ซึ่งการลดผลิตภัณฑ์เสียจากการผลิตและลดการทำซ้ำจะช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับกระบวนการผลิต

5. แผนภูมิควบคุมช่วยป้องกันปัญหาด้านคุณภาพ แผนภูมิควบคุมช่วยให้กระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุมตลอดเวลา การใช้แผนภูมิควบคุมจะลดการผลิตผลิตภัณฑ์ด้อยคุณภาพ

6. แผนภูมิควบคุมช่วยป้องกันการปรับแต่งกระบวนการโดยไม่จำเป็น สามารถแยกแยะความแปรปรวนของกระบวนการผลิตได้ว่าเมื่อใดเป็นความแปรปรวนตามสภาพธรรมชาติ และเมื่อใดเป็นสภาพความแปรปรวนที่เกิดจากความผิดปกติ การแยกแยะสภาพความแปรปรวนนี้ไม่มีวิธีใดทำได้ดีเท่าแผนภูมิควบคุม แม้กระทั่งผู้ควบคุมเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิต ถ้าผู้ควบคุมเครื่องจักรหยุดเครื่องจักรเพื่อปรับแต่งกระบวนการผลิตเป็นระยะๆ ตามเวลาที่กำหนด อาจทำให้กระบวนการผลิตที่ติดอยู่แล้วผิดปกติไปได้ แผนภูมิควบคุมจะเป็นตัวกำหนดได้อย่างดีว่าถึงเวลาแล้วหรือยังที่จะทำการปรับแต่งกระบวนการผลิต กล่าวอีกนัยหนึ่ง ถ้ากระบวนการผลิตยังปกติดีอยู่ ก็ไม่จำเป็นต้องปรับแต่งกระบวนการผลิตให้เสียเวลาและค่าใช้จ่าย

7. แผนภูมิควบคุมให้ข้อมูลเพื่อแก้ไขกระบวนการผลิต การวิเคราะห์สภาพการกระจายของจุดในแผนภูมิควบคุมอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ จะทำให้ได้ข้อมูลเพื่อนำไปแก้ไขกระบวนการผลิต (พิชิต, 2543)

สาเหตุที่ทำให้ค่าต่างๆ ในพิสัยควบคุมกระจายห่างจากเส้นแกนกลาง

1. ข้อมูลบางค่าจะกระจายอยู่นอกพิสัยการควบคุม เนื่องจากไม่สามารถที่จะหาสาเหตุที่ระบุได้ (Chance Cause) เป็นสาเหตุเล็กๆ น้อยๆ ที่ผู้ผลิตยอมรับให้เกิดขึ้นได้เพราะเก็บข้อมูลมาแบบเชิงสุ่ม (การกระจายของข้อมูลเป็นเชิงสุ่ม สามารถใช้ทฤษฎีทางสถิติมาอ้างอิงและคาดคะเนการกระจายได้) สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ตามกระบวนการผลิตโดยปกติต่อไป

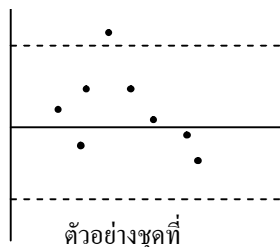
2. การกระจายของข้อมูลอยู่นอกพิสัยควบคุม อันเนื่องจากสาเหตุที่สามารถระบุได้ (Assignable Cause) จะต้องค้นหาสาเหตุและปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อหาทางปรับปรุงแก้ไขสาเหตุนั้นๆ ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุต่อไปนี้

- เครื่องจักรที่ใช้แตกต่างกันจากปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งเครื่องจักร รุ่นของเครื่องจักรและอายุการใช้งานของเครื่องจักร
- พนักงานผลิต พนักงานแต่ละคนมีความชำนาญแตกต่างกัน การปฏิบัติงานก็แตกต่างกันเพราะมีความรู้และประสบการณ์ในการทำงานไม่เหมือนกัน
- วัตถุดิบ ขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตและรุ่นของวัตถุดิบ
- สภาพแวดล้อมของโรงงาน ทั้งวิธีการดำเนินงานและมาตรฐานในการทำงาน

ลักษณะกระบวนการผลิตที่อยู่นอกการควบคุม

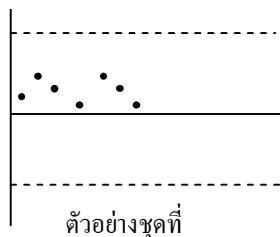
1. มีจุด 1 จุดหรือมากกว่าอยู่นอกพิสัยควบคุม 3 sigma

สิ่งที่ต้องการควบคุม



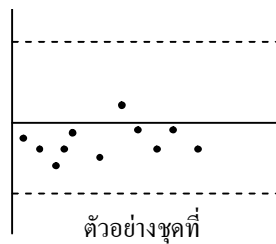
2. มีจุด 7 จุดหรือมากกว่าตกติดต่อกันบนซีกเดียวกันของแผนภูมิควบคุม

สิ่งที่ต้องการควบคุม



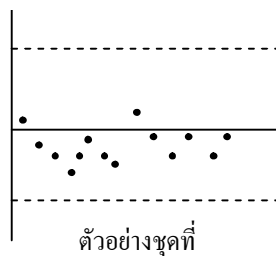
3. มีจุด 11 จุดติดต่อกัน และมีอย่างน้อย 10 จุดที่ตกบนซีกเดียวกันของแผนภูมิควบคุม

สิ่งที่ต้องการควบคุม



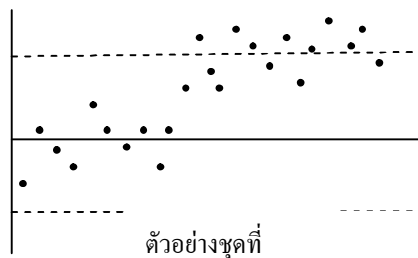
4. มีจุด 14 จุดติดติดต่อกัน และมีอย่างน้อย 12 จุดตกบนซีกเดียวกันกับแผนภูมิควบคุม

สิ่งที่ต้องการควบคุม



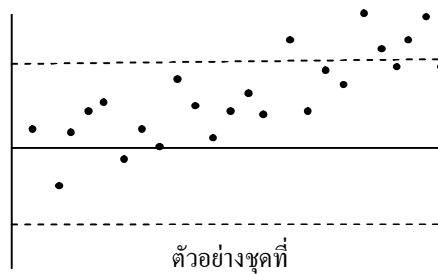
5. มีจุด 2 จุดหรือมากกว่าตกติดต่อกันนอกพิสัยควบคุม 2 sigma
6. มีจุด 4 ตัวหรือมากกว่าตกติดต่อกันนอกพิสัยควบคุม 1 sigma
7. จุดมีการกระจายลักษณะกระโดดเปลี่ยนระดับ (change or jump in level)

สิ่งที่ต้องการควบคุม



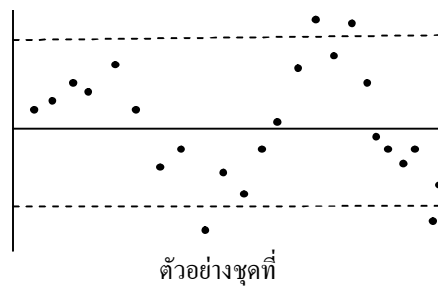
8. จุดมีการกระจายเปลี่ยนระดับสม่ำเสมอเป็นรูปแนวโน้ม (Trend or steady change in level)

สิ่งที่ต้องการควบคุม



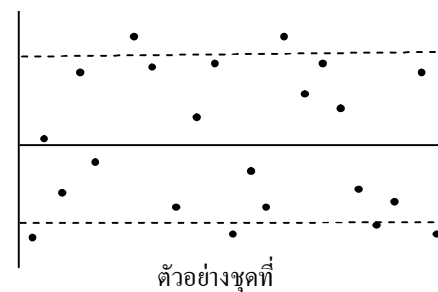
9. จุดมีการกระจายเป็นรูปวัฏจักร (Periodicity)

สิ่งที่ต้องการควบคุม

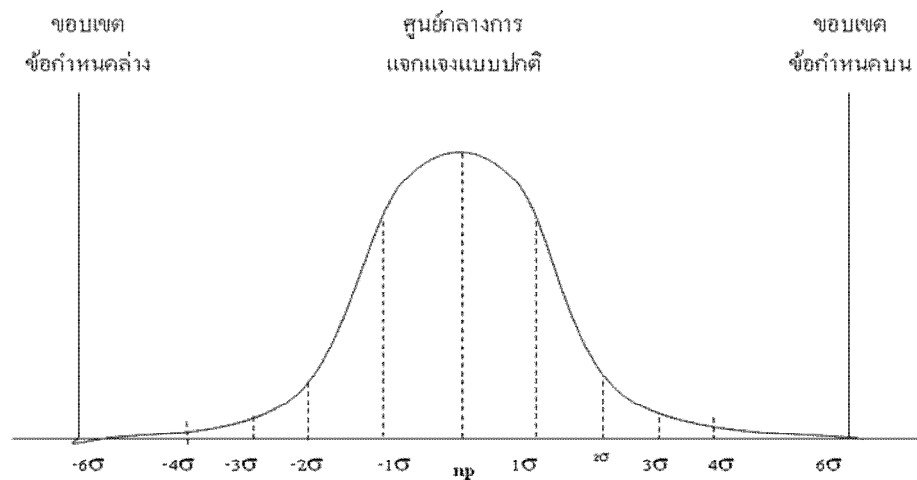


10. จุดมีการกระจายอยู่ใกล้เส้นแกนกลางหลายจุดและตรงกลางว่าง จะมีจุดกระจายใกล้ขอบเขตควบคุมบนหรือขอบเขตควบคุมล่าง อีกหลายจุดแบ่งครึ่งระหว่างขอบเขตควบคุมบนกับเส้นแกนกลางก็จะเห็นได้ชัด (สุมิตรา, 2543)

สิ่งที่ต้องการควบคุม



ขอบเขตการยอมรับ



ภาพที่ 3 ขอบเขตการยอมรับ

ที่มา: พิชิต (2543)

$np \pm 1\sigma$ ขอบเขตการยอมรับ เท่ากับ 68.27 %

$np \pm 2\sigma$ ขอบเขตการยอมรับ เท่ากับ 95.45 %

$np \pm 3\sigma$ ขอบเขตการยอมรับ เท่ากับ 99.73 %

$np \pm 4\sigma$ ขอบเขตการยอมรับ เท่ากับ 99.9937 %

$np \pm 5\sigma$ ขอบเขตการยอมรับ เท่ากับ 99.999943 %

$np \pm 6\sigma$ ขอบเขตการยอมรับ เท่ากับ 99.999996 %

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ขอบเขตการยอมรับ $np \pm 3\sigma$

แผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย

Shewart (1980) แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np Control Chart) เป็นแผนภูมิควบคุมคุณภาพที่สร้างขึ้นจากหลักการเดียวกันกับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p Control Chart) จะแตกต่างจากแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียก็ตรงที่แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียจะใช้ก็ต่อเมื่อขนาดตัวอย่างในแต่ละกลุ่มย่อยเท่ากัน

$$\text{เมื่อ} \quad X_i = np_0$$

$$\text{โดยที่} \quad X_i : \text{จำนวนของเสีย}$$

$$n : \text{ขนาดตัวอย่าง}$$

$$p_0 : \text{สัดส่วนของเสีย}$$

ซึ่งมีขอบเขตควบคุมดังนี้

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

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

LCL_{np} : ขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย

UCL_{np} : ขอบเขตควบคุมบนของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย

ถ้า $LCL_{np} < 0$ ให้กำหนดเป็น 0 เนื่องจากในงานวิจัยนี้นับผลิตภัณฑ์เสียเป็นจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย เช่น จำนวนผลิตภัณฑ์เสีย 0, 1, 2, ... ขึ้น เป็นต้น ถ้า LCL_{np} จึงไม่ควรจะมีค่าต่ำกว่า 0

ข้อดีของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย คือ เป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้ได้ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย แต่ก็มีข้อเสีย คือ เมื่อสัดส่วนของเสียเปลี่ยนแปลงไปจะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ด้อยกว่าแผนภูมิควบคุมชนิดอื่นๆ

2. แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์

Wu and Spedding (1999) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ (Conforming Run Length Control Chart; CRL) ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมเชิงคุณภาพชนิดหนึ่งที่มีวิธีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เสียดังนี้ คือ เริ่มตรวจสอบผลิตภัณฑ์ไปจนกว่าจะพบผลิตภัณฑ์เสียชิ้นแรกจึงหยุดทำการตรวจสอบ และนับเป็นค่า CRL

ดังนั้น CRL คือ จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบจนกว่าจะพบผลิตภัณฑ์เสียเป็นครั้งแรก ซึ่งมีการแจกแจงแบบเรขาคณิต มีค่าเฉลี่ยดังนี้คือ

$$\mu_{CRL} = \frac{1}{p_0}$$

p_0 : สัดส่วนของเสีย

CRL จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อสัดส่วนของเสียในกระบวนการเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ เมื่อค่า p เพิ่มขึ้น CRL มีแนวโน้มลดลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อค่า p ลดลง CRL มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยขอบเขตควบคุมสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$LCL_{CRL} = n \left[\frac{\ln(1 - \alpha/2)}{\ln(1 - p_0)} \right]$$

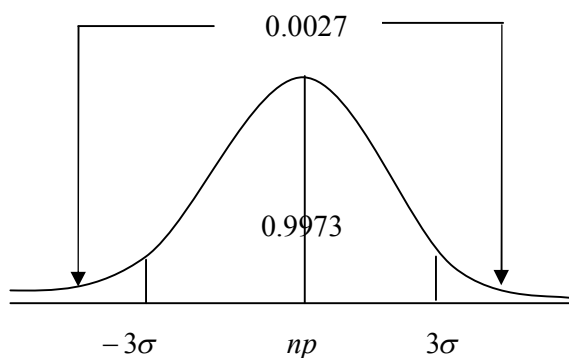
LCL_{CRL} : ขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์

n : ขนาดตัวอย่าง

p_0 : สัดส่วนของเสียที่ต้องการควบคุม

α : ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของ CRL โดยให้เท่ากับ 0.0027 ซึ่งมาจากขอบเขตการยอมรับ $np \pm 3\sigma$

ขอบเขตการยอมรับ $np \pm 3\sigma$ ภายใต้การแจกแจงปกติ หมายถึง จำนวนร้อยละ 99.73 ที่ข้อมูลตกอยู่ในช่วง $np \pm 3\sigma$ และมีร้อยละ 0.27 ที่ตกอยู่นอกขอบเขตการยอมรับ ซึ่งเท่ากับ 0.0027 นั่นเอง

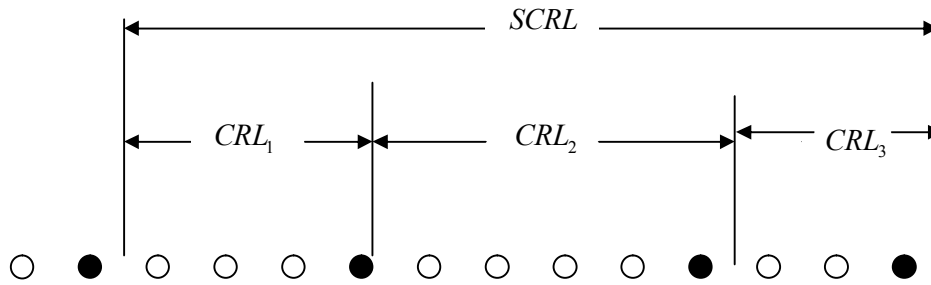


ภาพที่ 4 ขอบเขตการยอมรับ $np \pm 3\sigma$

ข้อดีของแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ คือ มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียเมื่อสัดส่วนของเสียเปลี่ยนแปลงไป แต่มีข้อเสีย คือ วิธีในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียค่อนข้างยุ่งยากกว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย

3. แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์

Wu *et al.* (2001) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมที่เรียกว่า “Sum of Conforming Run Length Control Chart; SCRL” ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมที่ใช้ตรวจสอบจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย โดยการรวมผลการตรวจสอบ CRL จำนวน r ครั้ง (ในที่นี้กำหนดให้ $r = 2$)



ภาพที่ 5 ตัวอย่าง CRL และ SCRL

ชุดผลิตภัณฑ์ที่สุ่มมาเพื่อตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ จนกว่าจะพบความผิดปกติครบ r ครั้ง ตามที่กำหนดจึงหยุดการสุ่ม โดยที่การสุ่มชุดผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบแต่ละครั้งต้องอิสระกันและค่า $SCRL$ มีการแจกแจงทวินามนิเสธซึ่งแสดงถึงการตรวจสอบผลิตภัณฑ์จนกว่าจะพบผลิตภัณฑ์เสียมากกว่า 1 ครั้ง

ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$LCL_{SCRL} = \left(\sum_{i=2}^{LCL-1} (i-1)p_0^2(1-p_0)^{i-2} \right) - 2 \leq \alpha/2 \quad ; n > 1$$

$$UCL_{SCRL} = \left(\sum_{i=2}^{\alpha} (i-1)p_0^2(1-p_0)^{i-2} \right) - 1 \leq 1 - \alpha/2 \quad ; n > 1$$

LCL_{SCRL} : ขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์

UCL_{SCRL} : ขอบเขตควบคุมบนของแผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์

p_0 : สัดส่วนของเสียที่ต้องการควบคุม

i : ลำดับของผลิตภัณฑ์เสีย ; $i = 0, 1, 2, \dots, n$

ข้อดีของแผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ คือ เมื่อสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นมีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย แต่ข้อเสีย คือ ยุ่งยากมากในการตรวจสอบและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบ

4. แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์

Wu *et al.* (2001) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมที่มาจากการรวมกันระหว่างแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย และแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ มีการตรวจสอบ 2 ครั้ง โดยขั้นแรกตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียก่อน หลังจากนั้นจึงตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียจะพิจารณาเฉพาะขอบเขตควบคุมบนเท่านั้นเนื่องจากในกระบวนการควบคุมคุณภาพจะเกิดความผิดปกติก็ต่อเมื่อจำนวนของเสียมีขนาดสูง

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

UCL_{np} : ขอบเขตควบคุมบนของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย

n : ขนาดตัวอย่าง

p_0 : สัดส่วนของเสียที่ต้องการควบคุม

แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ จะพิจารณาเฉพาะขอบเขตควบคุมล่างเท่านั้น เนื่องจากเมื่อกระบวนการเกิดความผิดปกติ จะมีผลิตภัณฑ์เสียเกิดขึ้นได้เร็ว ดังนั้นค่า CRL ที่มีค่าน้อยจะบอกถึงความผิดปกติของกระบวนการ

$$Q_0 = p = P(X_i > UCL_{np} \text{ or } X_i < LCL_{np})$$

$$Q_0 = 1 - \sum_{i=0}^{UCL_{up}} \binom{n}{i} p_1^i (1-p_1)^{n-i}$$

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

LCL_{CRL} : ขอบเขตความคุ่มล่างของแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์

α : ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของ CRL โดยให้เท่ากับ 0.0027

Q_0 : ค่าความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างออกนอกการควบคุม เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ใน
การควบคุม

ข้อดีของแผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ คือ เมื่อสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย แต่ข้อเสีย คือ วิธีในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียค่อนข้างยุ่งยากกว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียและแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ ทำให้กระบวนการผลิตล่าช้าและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบมาก จึงไม่นิยมในอุตสาหกรรม

การแจกแจงความน่าจะเป็นในงานวิจัย

1. การแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution)

การแจกแจงทวินาม เป็นการแจกแจงที่ทำการทดลอง n ครั้ง ซึ่งการทดลองแต่ละครั้งมีเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ 2 ทาง คือ ความสำเร็จ (Success) และความไม่สำเร็จ (failure)

ลักษณะของการทดลองแบบทวินาม

1. เป็นการกระทำซ้ำกัน n ครั้ง

2. เหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากการทดลองแต่ละครั้งมีได้ 2 เหตุการณ์ คือ ความสำเร็จและความไม่สำเร็จ

3. การทดลองแต่ละครั้งเป็นอิสระกัน

4. ให้ p เป็นความน่าจะเป็นของความสำเร็จที่มีค่าคงที่

โดยที่ p เป็นความน่าจะเป็นของความสำเร็จ และ q เป็นความน่าจะเป็นของความไม่สำเร็จ $q = 1 - p$ เมื่อ $0 \leq p \leq 1$ และ $0 \leq q \leq 1$ ดังนั้น การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มทวินามของความสำเร็จในการทดลอง n ครั้ง คือ

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x} \quad ; \quad x = 0, 1, 2, \dots, n$$

โดย x แทน จำนวนครั้งที่ประสบความสำเร็จในการทดลอง n ครั้ง

ส่วนจำนวนเหตุการณ์ที่ไม่ประสบความสำเร็จ คือ $n - x$ เนื่องจากจำนวนวิธีที่ประสบความสำเร็จครั้งที่ x จากการทดลองที่ประสบความสำเร็จ x ครั้งในการทดลองทั้งหมด n ครั้ง คือ

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!}$$

ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของการแจกแจงทวินาม คือ $E(X) = np$ และ $V(X) = npq$ ตามลำดับ

2. การแจกแจงเรขาคณิต (Geometric Distribution)

การแจกแจงแบบเรขาคณิตมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแจกแจงปาสคาล (Pascal Distribution) การแจกแจงแบบนี้เป็นการแจกแจงที่นำมาใช้หาจำนวนครั้งของการทดลองทั้งหมดที่จะต้องดำเนินซ้ำๆ กันไปจนกว่าจะเกิดเหตุการณ์ที่เราสนใจเป็นครั้งแรก โดยที่ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจจะต้องคงที่เสมอ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของ X คือ

$$f(x; p) = \begin{cases} (1-p)^{x-1} p & ; \quad x = 1, 2, \dots \\ 0 & ; \quad x \text{ มีค่าเป็นอย่างอื่น} \end{cases}$$

โดยที่ p เป็นพารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับเงื่อนไข $0 < p \leq 1$ แทน ความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จของการทดลองสุ่มแต่ละครั้งซึ่งมีค่าคงที่ และ $q = 1 - p$ แทน ความน่าจะเป็นที่จะไม่ประสบความสำเร็จของการทดลองสุ่มแต่ละครั้ง

x แทน ตัวแปรสุ่มของจำนวนครั้งความไม่สำเร็จจนกว่าจะประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรก

ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของการแจกแจงเรขาคณิต คือ $E(X) = \frac{1}{p}$ และ $V(X) = \frac{1-p}{p^2}$

ตามลำดับ

ลักษณะของการทดลองแบบเรขาคณิต

1. เป็นการทดลองสุ่มแบบเบอร์นูลลีซ้ำๆ กันไปเรื่อยๆ ในรูปจำนวนครั้งของความไม่สำเร็จหรือสิ่งที่ไม่ต้องการ (failure) จนกว่าจะประสบความสำเร็จหรือได้ในสิ่งที่ต้องการ (Success) เป็นครั้งแรก จึงหยุดทำการทดลอง

2. การทดลองสุ่มแต่ละครั้งเป็นอิสระจากกัน

3. เป็นการทดลองที่หาจำนวนครั้งของการทดลองทั้งหมดจนกว่าจะประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรก

3. การแจกแจงแบบทวินามนิเสธ (Negative Binomial Distribution)

ถ้า x เป็นตัวแปรสุ่มแบบทวินามนิเสธที่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดความสำเร็จเป็น p และ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความไม่สำเร็จเป็น $q = 1 - p$ ในการทดลองแต่ละครั้งแล้วตัวแปรสุ่ม x จะมีการแจกแจงแบบทวินามนิเสธที่มีฟังก์ชันความน่าจะเป็น ดังนี้

$$f(x; r, p) = \begin{cases} \binom{x-1}{i-1} p^r (1-p)^{x-r} & ; x = i, i+1, \dots \\ 0 & ; x \text{ มีค่าเป็นอย่างอื่น} \end{cases}$$

p แทน ความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จของการทดลองสุ่มแต่ละครั้ง ซึ่งมีค่าคงที่เสมอ

q แทน ความน่าจะเป็นที่จะประสบความไม่สำเร็จของการทดลองสุ่มแต่ละครั้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1 - p$

x แทน ตัวแปรสุ่มของจำนวนครั้งของความไม่สำเร็จจนกว่าจะประสบ ความสำเร็จครบ r ครั้ง

ลักษณะของการทดลองแบบทวินามนิเสธ

1. เป็นการทดลองสุ่มแบบเบอร์นูลลีซ้ำๆ กัน ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะประสบความสำเร็จหรือได้สิ่งที่ต้องการ (success) ครบ r ครั้ง (โดยที่ $r > 1$) ตามที่กำหนดจึงหยุดทำการทดลอง

2. การทดลองสุ่มแต่ละครั้งเป็นอิสระต่อกัน

3. ตัวแปรสุ่มแบบเรขาคณิตแสดงถึงการรอคอยจนกว่าจะประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรก ส่วนตัวแปรสุ่มแบบทวินามนิเสธแสดงถึงการรอคอยจนกว่าจะประสบความสำเร็จมากกว่า 1 ครั้ง (สายชล, 2546; Hogg, 2005)

การสร้างตัวเลขสุ่ม

ตัวเลขสุ่ม (Random Number) หมายถึง ค่าของตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นเอก रूप $U(0,1)$ จากนั้นจึงนำตัวเลขสุ่มดังกล่าวไปสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงต่างๆ

การสร้างเลขสุ่ม $U(0,1)$ ด้วยสูตรคณิตศาสตร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปจะเป็นสูตรแบบเชิงกำหนด เพราะฉะนั้น เลขที่ได้จะไม่ใช้ตัวเลขสุ่มที่แท้จริง เพราะอาจขาดคุณสมบัติของการสุ่มบางประการ เช่น เลขที่ได้อาจมีความสัมพันธ์กัน เพราะฉะนั้นเราจึงเรียกตัวเลขสุ่มที่สร้างจากเครื่องมือนี้ว่าตัวเลขสุ่มที่ไม่ได้มาจากการสุ่มแท้จริง

ตัวแบบการสร้างตัวเลขสุ่ม

วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการสร้างตัวเลขสุ่มมีหลายวิธี สำหรับวิธีการที่ได้รับความนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน คือ “วิธีสมภาค” (Congruential Method) ซึ่งมีสูตรหรือตัวแบบหนึ่งที่ใช้กันมากคือ

$$X_i = (c + aX_{i-1}) \bmod m, \quad i = 1, 2, \dots$$

โดยที่ c , a และ m เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าคงที่ ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0

X_i หมายถึง ตัวเลขสุ่มจำนวนเต็มตัวที่ i โดยที่ $0 \leq X_i \leq m-1$

การสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงเบอร์นูลลี

การสร้างตัวแปรสุ่ม Y_i ให้มีการแจกแจงเบอร์นูลลี ที่มีพารามิเตอร์เท่ากับ p สามารถสร้างตัวแปรสุ่ม $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ ซึ่งเป็นอิสระจากกัน โดยมีเงื่อนไขดังนี้

U คือ ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง $(0,1)$ และกระทำซ้ำๆ กันทั้งหมด n ครั้ง

ถ้า U มีค่าน้อยกว่า p_1 ให้ $Y_i = 1$ คือ เป็นผลติดกันเสีย

ถ้า U มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ p_1 ให้ $Y_i = 0$ คือ ไม่เป็นผลติดกันเสีย

โดยที่ p_1 คือ สัดส่วนของเสียที่เปลี่ยนแปลงไป

ลักษณะของตัวแบบการสร้างเลขสุ่มที่ดี

1. ตัวเลขสุ่มมีคุณสมบัติเป็นอิสระกันเชิงสถิติ และมีการแจกแจงเอกรูปร่าง $U(0,1)$
2. การสร้างตัวเลขสุ่มได้รวดเร็ว เนื่องจากในทางปฏิบัติต้องใช้ตัวเลขสุ่มจำนวนมาก จึงต้องการตัวแบบตัวเลขสุ่มที่สามารถคำนวณตัวเลขสุ่มออกมาได้รวดเร็ว เพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่าย
3. ใช้หน่วยความจำภายในของเครื่องคอมพิวเตอร์น้อย เพราะอาจจะต้องใช้เนื้อที่หน่วยความจำภายในจำนวนมากสำหรับเก็บโปรแกรมงานจำลอง ซึ่งงานจำลองที่มีความซับซ้อนโปรแกรมจะยาวมาก ต้องใช้หน่วยความจำภายในเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวนมาก
4. ให้ตัวเลขสุ่มต่างกันจำนวนมากพอ ก่อนที่จะเกิดตัวเลขสุ่มซ้ำ ซึ่งหมายความว่าความยาวรอบหรือความยาววัฏจักร (Cycle Length) หรือคาบ (Period) ของตัวเลขสุ่มควรยาวมาก เพราะโดยทั่วไปในงานจำลองจะใช้ตัวเลขสุ่มจำนวนมาก
5. สามารถสร้างตัวเลขสุ่มซ้ำชุดเดิมที่ต้องการได้ ซึ่งข้อนี้ไม่ใช่ลักษณะของตัวเลขสุ่มแท้จริง แต่จะเป็นข้อดีสำหรับการใช้ประโยชน์ เพราะมีหลายกรณีที่ต้องการใช้ตัวเลขสุ่มซ้ำชุดเดียวกันในการจำลอง (มานพ, 2547)

เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม

1. การประมาณค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของแผนภูมิควบคุม

ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) คือ ค่าประมาณความน่าจะเป็นที่เกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม แต่ความจริงแล้วกระบวนการผลิตยังอยู่ในการควบคุม กำหนดให้

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^{10,000} d_i}{10,000}$$

โดยที่ d_t คือ ดัชนีชี้วัดว่าจำนวนของเสียกลุ่มที่ t ในการทดลองอยู่ในขอบเขตการควบคุมหรือไม่ เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม (กระบวนการผลิตยังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง)

$$d_t = \begin{cases} 0 & \text{ถ้าจำนวนผลิตภัณฑ์เสียอยู่ในขอบเขตควบคุมในครั้งที่ } t \\ 1 & \text{ถ้าจำนวนผลิตภัณฑ์เสียออกนอกขอบเขตการควบคุมในครั้งที่ } t \end{cases}$$

t คือ ครั้งที่ของจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่นำมาตรวจสอบ เมื่อ $t = 1, 2, \dots, 10,000$

ช่วงของการยอมรับความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

$$\begin{aligned} & \text{สามารถคำนวณได้จาก } P\left[\frac{\hat{\alpha} - \alpha_0}{\sqrt{\alpha_0(1-\alpha_0)/10,000}} \leq Z_{0.05}\right] = 1 - 0.05 \text{ หรือ} \\ & P[\hat{\alpha} \leq \alpha_0 + Z_{0.05}\sqrt{\alpha_0(1-\alpha_0)/10,000}] = 1 - 0.05 \text{ ดังนั้น ช่วงการยอมรับความน่าจะเป็นของ} \\ & \text{ความผิดพลาดประเภทที่ 1 คือ} \\ & [0, \alpha_0 + Z_{0.05}\sqrt{\alpha_0(1-\alpha_0)/10,000}] = [0, 0.0027 + 1.96 \sqrt{0.0027(1-0.0027)/10,000}] \\ & = [0, 0.0037] \end{aligned}$$

โดยที่ α แทน ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

$\hat{\alpha}$ แทน ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

α_0 แทน ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ที่กำหนด ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 0.0027

นั่นคือ ช่วงของการยอมรับความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 คือ (0, 0.0037) ดังนั้น ถ้า $\hat{\alpha}$ ตกอยู่ในช่วงดังกล่าว แสดงว่า แผนภูมิควบคุมดังกล่าวสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้

2. จำนวนครั้งเฉลี่ย

ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย คือ จำนวนชุดตัวอย่างเฉลี่ยที่ตกอยู่ในขีดจำกัดควบคุมก่อนที่จะตกออกนอกขีดจำกัดควบคุม ใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบกรณีที่สัดส่วนของเสีย (p_1) เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (p_0) ค่า ARL คำนวณได้จาก

$$ARL = \frac{1}{1 - \hat{\beta}}$$

เมื่อ $\hat{\beta}$ คือ ค่าประมาณของความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างอยู่ในการควบคุม เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม

$1 - \hat{\beta}$ คือ จำนวนชุดตัวอย่างที่ออกนอกขอบเขตควบคุม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภัทรทิพย์ (2545) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมพี แผนภูมิควบคุมคิว แผนภูมิควบคุมที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine และ แผนภูมิควบคุมพีปรับแก้ เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นหรือกระบวนการผลิตผิดปกติ โดยใช้เกณฑ์ควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม และค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม ผลการวิจัยสรุปว่า แผนภูมิควบคุมพีสามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้เมื่อ $np_0 \geq 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิควบคุมคิวสามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้เมื่อ $np_0 \geq 1.5$ โดยประมาณ แผนภูมิควบคุมที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้เมื่อ $np_0 \leq 0.3$ โดยประมาณ และแผนภูมิพีปรับแก้สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้เมื่อ $np_0 \geq 0.3$ โดยประมาณ เมื่อเปรียบเทียบค่าจำนวนครั้งเฉลี่ยพบว่า ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแต่ละแผนภูมิขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนของเสียที่ต้องการควบคุม และขนาดตัวอย่าง โดยที่ ARL จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ $np_0 \leq 0.3$ โดยประมาณ แผนภูมิควบคุมที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด เมื่อ $np_0 \geq 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิควบคุมพีให้ค่า ARL ต่ำที่สุด เมื่อ $1.5 \leq np_0 < 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิควบคุมคิวให้ค่า ARL ต่ำที่สุด และเมื่อ $0.3 < np_0 < 1.5$ โดยประมาณ แผนภูมิควบคุมพีปรับแก้ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

อินทิพร (2546) ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ได้แก่ แผนภูมิควบคุมพี, แผนภูมิควบคุมคิว (Q Control Chart) และแผนภูมิควบคุมจีโอเมตริก (G Control Chart) ในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสียของกระบวนการผลิต เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม ผลการวิจัยสรุปว่า ทุกสถานการณ์ที่ค่า p_0 คงที่ เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสียมีค่าเพิ่มขึ้น ค่า ARL ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ โดยในบางสถานการณ์จะมีแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดหรือมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากกว่า 1 แผนภูมิ โดยแผนภูมิควบคุมจีโอเมตริกมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานมีค่าน้อย และมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมคิวมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อค่าสัดส่วนของเสียมีค่ามากขึ้น และขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสียเพิ่มมากขึ้น และแผนภูมิควบคุมพีมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อค่าสัดส่วนของเสียมีค่ามากขึ้น และขนาดการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสียเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย

เพ็ญญา (2547) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมอาร์คไซน์ แผนภูมิควบคุมเรขาคณิต และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ โดยใช้เกณฑ์ควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม ในกรณีที่ควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้จะทำการเปรียบเทียบค่าจำนวนครั้งเฉลี่ยของแต่ละแผนภูมิควบคุมในแต่ละสถานการณ์ ถ้าแผนภูมิควบคุมใดให้ค่า ARL ต่ำที่สุด จะถือว่าแผนภูมิควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในสถานการณ์นั้นๆ ผลการวิจัยสรุปว่า แผนภูมิควบคุมเรขาคณิตควบคุมได้เมื่อ $p_0 \leq 0.0009$ แผนภูมิควบคุมอาร์คไซน์ควบคุมได้เมื่อ $np_0 \leq 2$ และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ควบคุมได้เมื่อ $np_0 \geq 0.1$ และที่ทุกระดับการเปลี่ยนแปลง ค่า p_0 อยู่ในระดับขนาดเล็กแผนภูมิควบคุมเรขาคณิตจะให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ค่า p_0 อยู่ในระดับขนาดปานกลางและขนาดใหญ่แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์จะให้ค่า ARL ต่ำที่สุด เมื่อ $np_0 \geq 0.1$ และแผนภูมิควบคุมอาร์คไซน์จะให้ค่า ARL ต่ำที่สุด เมื่อ $0.005 \leq np_0 < 0.1$

Wu and Spedding (1998) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ (Conforming Run Length Control Chart; CRL) ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมเชิงคุณภาพชนิดหนึ่งที่มีวิธีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เสียดังนี้คือ เริ่มตรวจสอบผลิตภัณฑ์ไปจนกว่าจะพบผลิตภัณฑ์เสียชิ้นแรกจึงหยุดทำการตรวจสอบ แล้วนับค่าเป็น CRL โดยที่ CRL คือ จำนวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์จนกว่าจะพบผลิตภัณฑ์เสียเป็นครั้งแรก พบว่า เมื่อนำแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ไปเปรียบเทียบกับ

แผนภูมิควบคุมพื้นฐานของ Shewart ได้แก่ แผนภูมิควบคุมพี และแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์จะมีขั้นตอนการตรวจสอบที่ย่งยากกว่า แต่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เสียที่ดีกว่า

Wu *et al.* (2000) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ (Sum of Conforming Run Length Control Chart; SCRL) ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมที่ได้จากการรวมผลการตรวจสอบคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์จำนวน r ครั้ง เมื่อนำไปเปรียบเทียบการตรวจสอบคุณภาพกับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียสะสมที่มีพื้นฐานของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ (CRL based CUSUM chart) ผลการวิจัยสรุปว่า แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียสะสมที่มีพื้นฐานของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์มีการออกแบบและการตรวจสอบที่ย่งยากกว่าแต่ประสิทธิภาพค่อนข้างใกล้เคียงกันและในกรณีที่สัดส่วนของเสีย (δ) เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงแผนภูมิควบคุมทั้งสองชนิดก็ยังมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เสียได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียอีกด้วย

Wu and Spedding (2001) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมใหม่เรียกว่าแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่รวมระหว่างแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย และแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ ใช้จำนวนเวลาเฉลี่ย (Average Time to Signal; ATS) ที่น้อยที่สุดเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ ผลการวิจัยพบว่า เมื่อสัดส่วนของเสียเปลี่ยนแปลงไป แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากกว่าแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ และแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา Visual Basic

วิธีการ

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมคุณภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ และแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์ การดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์กระทำตามขั้นตอนดังนี้คือ เพื่อประมาณค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของกระบวนการผลิตเมื่อกระบวนการผลิตยังอยู่ในการควบคุม และเพื่อคำนวณค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจแบ่งการวิจัยเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 กระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม เมื่อสัดส่วนของเสียไม่เปลี่ยนแปลง

คำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (α) เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม

1. กำหนดสัดส่วนของเสีย (p_0) ที่ต้องการควบคุม เท่ากับ 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1
2. กำหนดขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 100 และ 150
3. กำหนดขนาดของการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) เท่ากับ 1.0

4. สร้างตัวแปรสุ่ม Y_i ที่มีการแจกแจงเบอร์นูลลี โดยที่ $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ เป็นอิสระกัน และกระทำซ้ำๆ กัน 10,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์

4.1 ถ้า $U(0,1)$ มีค่าน้อยกว่า p_0 ให้ $Y_i = 1$ คือ เป็นผลิตภัณฑ์เสีย

4.2 ถ้า $U(0,1)$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ p_0 ให้ $Y_i = 0$ คือ ไม่เป็นผลิตภัณฑ์เสีย

เมื่อ $U(0,1)$ คือ ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง $(0,1)$ และกระทำซ้ำๆ กันทั้งหมด 10,000 ครั้ง

5. คำนวณค่าสถิติวัดคุณภาพของแต่ละแผนภูมิควบคุม

5.1 แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย

คำนวณจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย (X_i) ดังนี้คือ $X_i = \sum Y_i$ โดยที่ X_i มีการแจกแจงทวินาม

5.2 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์

คำนวณ CRL โดยนับจำนวน $U(0,1)$ ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ p_0 ไปจนถึง $U(0,1)$ ที่มีค่าน้อยกว่า p_0 เป็นครั้งแรก

5.3 แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์

คำนวณ SCRL โดยนับจำนวน $U(0,1)$ ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ p_0 ไปจนถึง $U(0,1)$ ที่มีค่าน้อยกว่า p_0 เป็นครั้งที่สอง

5.4 แผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์

คำนวณจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย (X_i) ดังนี้คือ $X_i = \sum Y_i$ โดยที่ X_i มีการแจกแจงทวินาม จากนั้นคำนวณ CRL โดยนับค่า X_i ไปจนถึงค่า X_i ที่ออกนอกขอบเขตควบคุมเป็นครั้งแรก

6. จำนวนขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแต่ละชนิดตามสถานการณ์ที่กำหนดข้างต้น ดังนี้คือ

6.1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม np

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

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

6.2 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CRL

$$LCL_{CRL} = n\left(\frac{\ln(1-\frac{\alpha}{2})}{\ln(1-p_0)}\right)$$

6.3 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม SCRL

$$LCL_{SCRL} = \left(\sum_{i=2}^{LCL-1} (i-1)p_0^2(1-p_0)^{i-2}\right) - 2 \leq \alpha/2 \quad ; n > 1$$

$$UCL_{SCRL} = \left(\sum_{i=2}^{\alpha} (i-1)p_0^2(1-p_0)^{i-2}\right) - 1 \leq 1 - \alpha/2 \quad ; n > 1$$

6.4 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม synthetic

6.4.1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม np

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

6.4.2 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม CRL

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

7. นำค่าสถิติวัดคุณภาพมาเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุมของแต่ละแผนภูมิควบคุม เพื่อหาสถิติวัดคุณภาพที่อยู่นอกขอบเขตควบคุม

8. จากข้อ 7 กระทำซ้ำๆ กัน 10,000 รอบ แล้วหาผลรวมสะสมของสถิติวัดคุณภาพที่อยู่นอกการควบคุมทั้งหมด

9. นำค่าที่ได้จากข้อที่ 8 มาหารด้วย 10,000 เพื่อหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$)

10. พิจารณาค่า $\hat{\alpha}$ ในแต่ละสถานการณ์ของแต่ละแผนภูมิควบคุม แผนภูมิควบคุมมีค่า $\hat{\alpha}$ น้อยสุดจะเป็นแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

กรณีที่ 2 กระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม เมื่อสัดส่วนของเสียมีการเปลี่ยนแปลง

คำนวณค่า ARL เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม

1. กำหนดสัดส่วนของเสีย (p_0) ที่ต้องการควบคุม 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1
2. กำหนดขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 100 และ 150
3. เปลี่ยนขนาดของการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) จากค่า 1.0 เป็น 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0, 3.0 และ 4.0 โดยสัดส่วนของเสียที่เปลี่ยนแปลงไป (p_1) คือ สัดส่วนของเสียที่ต้องการควบคุม (p_0) คูณด้วยขนาดของการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) หรือ $p_1 = \delta p_0$
4. สร้างตัวแปรสุ่ม Y_i ที่มีการแจกแจงเบอร์นูลลี โดยที่ $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ เป็นอิสระกัน และกระทำซ้ำๆ กัน 10,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์

4.1 ถ้า $U(0,1)$ มีค่าน้อยกว่า p_0 ให้ $Y_i = 1$ คือ เป็นผลิตภัณฑ์เสีย

4.2 ถ้า $U(0,1)$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ p_0 ให้ $Y_i = 0$ คือ ไม่เป็นผลิตภัณฑ์เสีย

5. คำนวณค่าสถิติวัดคุณภาพของแต่ละแผนภูมิควบคุม

5.1 แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย

คำนวณจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย (X_i) ดังนี้คือ $X_i = \sum Y_i$ โดยที่ X_i มีการแจกแจงทวินาม

5.2 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์

คำนวณ CRL โดยนับจำนวน $U(0,1)$ ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ p_0 ไปจนถึง $U(0,1)$ ที่มีค่าน้อยกว่า p_0 เป็นครั้งแรก

5.3 แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์

คำนวณ SCRL โดยนับจำนวน $U(0,1)$ ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ p_0 ไปจนถึง $U(0,1)$ ที่มีค่าน้อยกว่า p_0 เป็นครั้งที่สอง

5.4 แผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์

คำนวณจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย (X_i) ดังนี้คือ $X_i = \sum Y_i$ โดยที่ X_i มีการแจกแจงทวินาม จากนั้นคำนวณ CRL โดยนับค่า X_i ไปจนถึงค่า X_i ที่ออกนอกขอบเขตควบคุมเป็นครั้งแรก

6. นำสถิติวัดคุณภาพมาเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุมของแต่ละแผนภูมิควบคุมจากข้อที่ 6 ในกรณีที่ 1 เพื่อหาสถิติวัดคุณภาพที่ออกนอกขอบเขตควบคุม

7. จากข้อ 6 กระทำซ้ำๆ กัน 10,000 รอบ แล้วหาผลรวมสะสมของสถิติวัดคุณภาพที่ออกนอกการควบคุมทั้งหมด

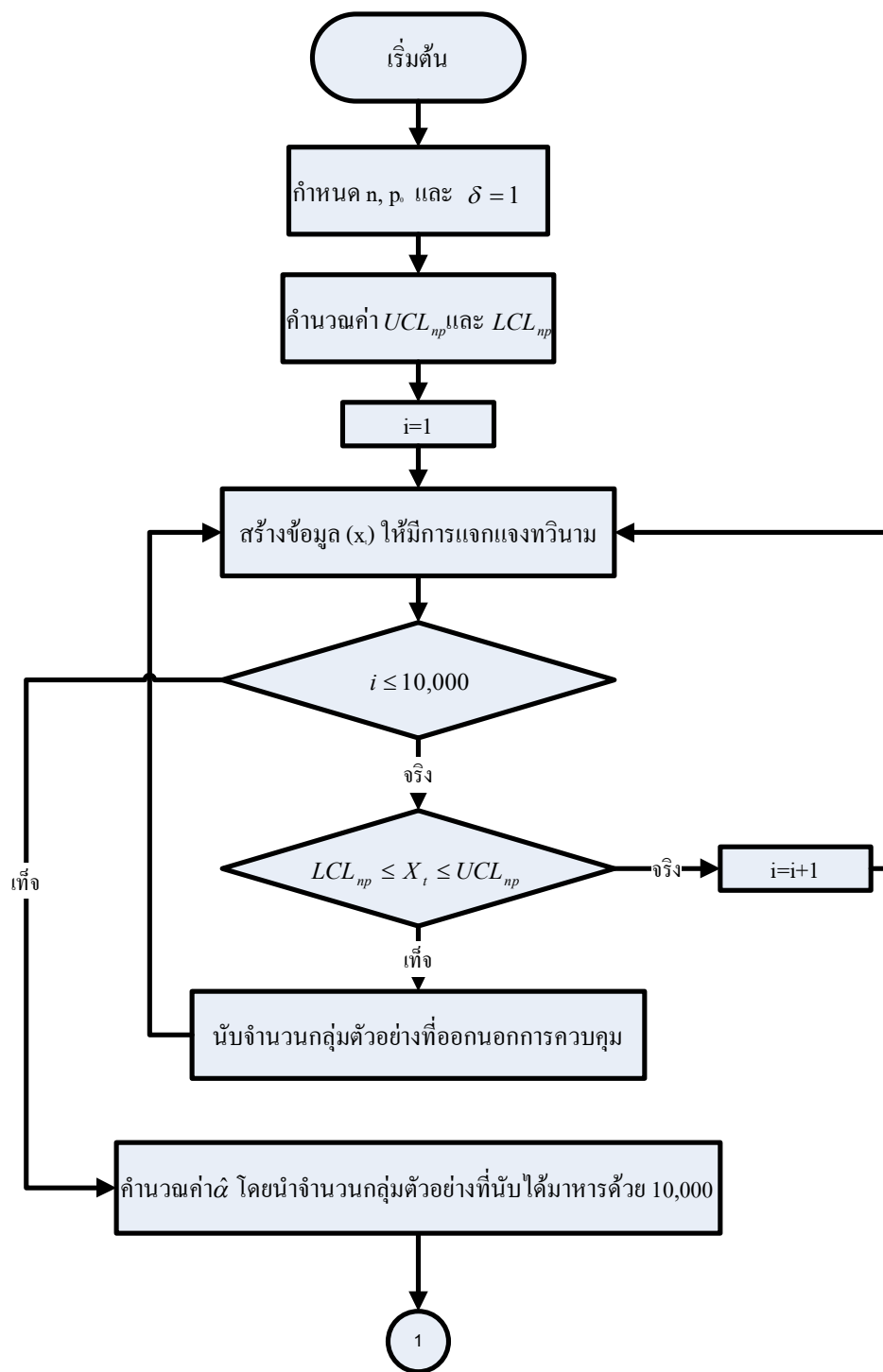
8. นำค่าที่ได้จากข้อที่ 7 มาหารด้วย 10,000 เพื่อหาค่าประมาณความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะออกนอกการควบคุม $(1 - \hat{\beta})$ เพื่อหาค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL)

$$ARL = \frac{1}{1 - \hat{\beta}}$$

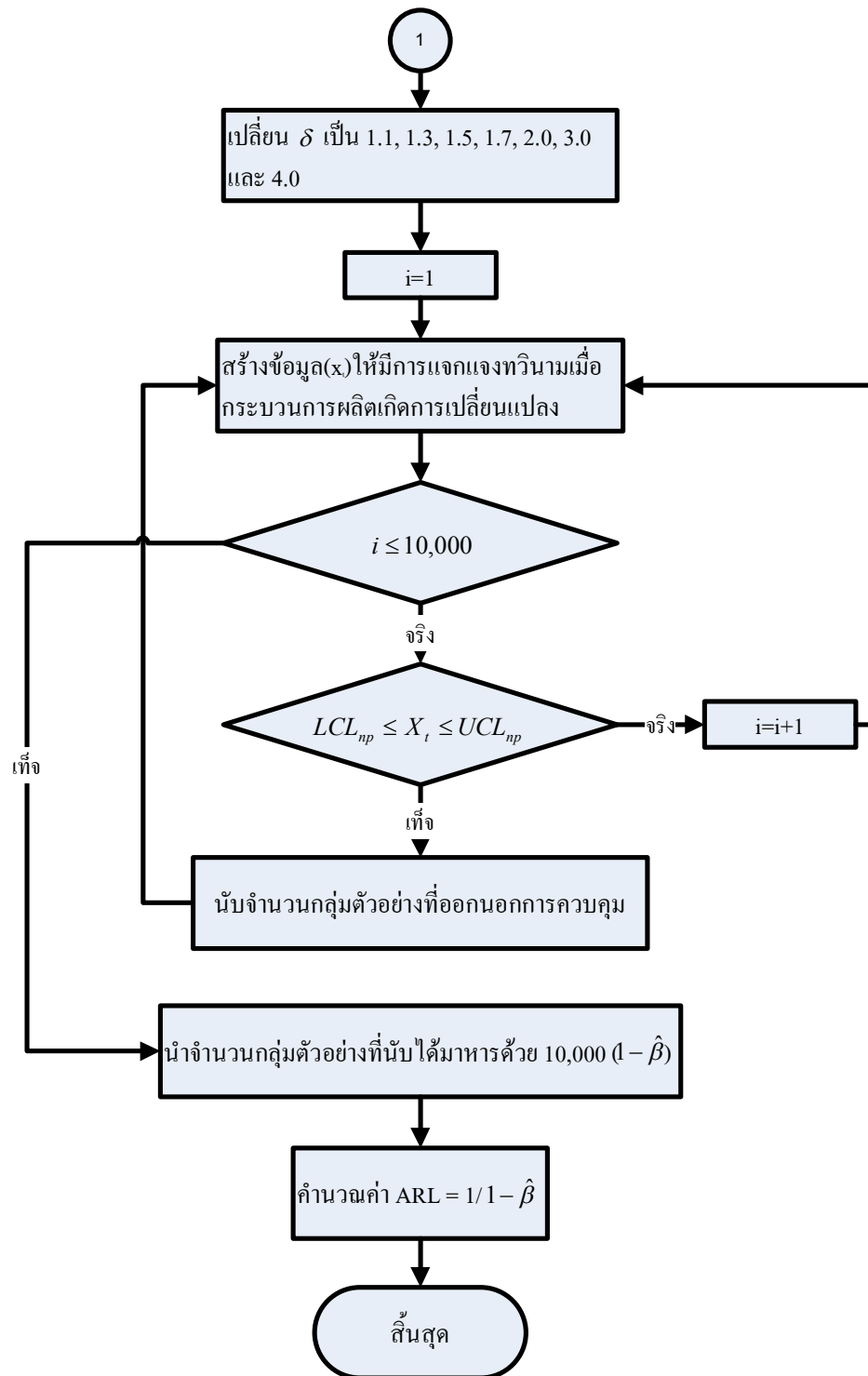
เมื่อ $\hat{\beta}$ คือ ค่าประมาณของความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะอยู่ในการควบคุม เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม

9. เปรียบเทียบค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิควบคุม แผนภูมิควบคุมที่มีค่า ARL ที่น้อยที่สุดจะเป็นแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

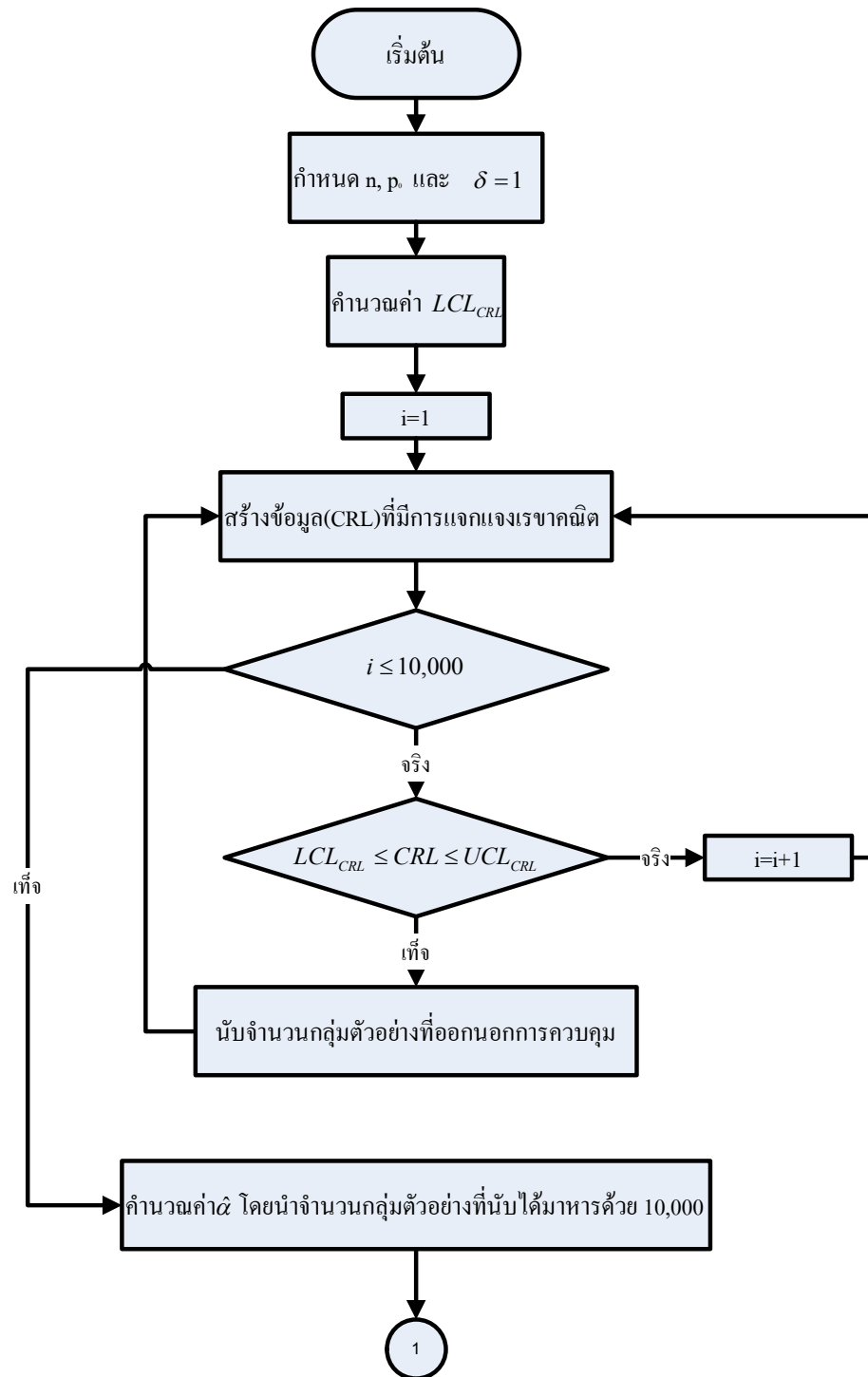
10. แสดงผลการวิจัยในแต่ละสถานการณ์



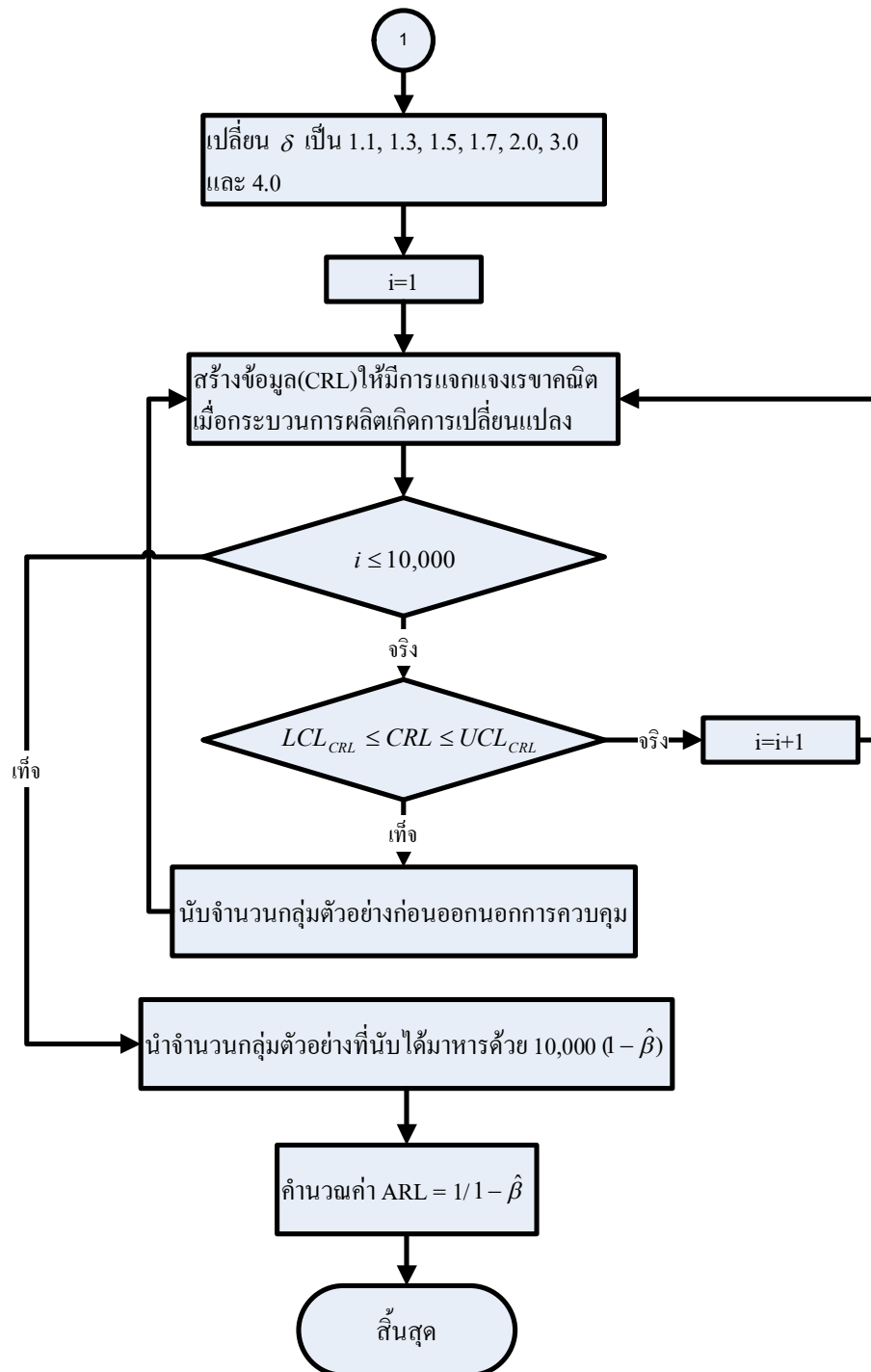
ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np Control Chart)



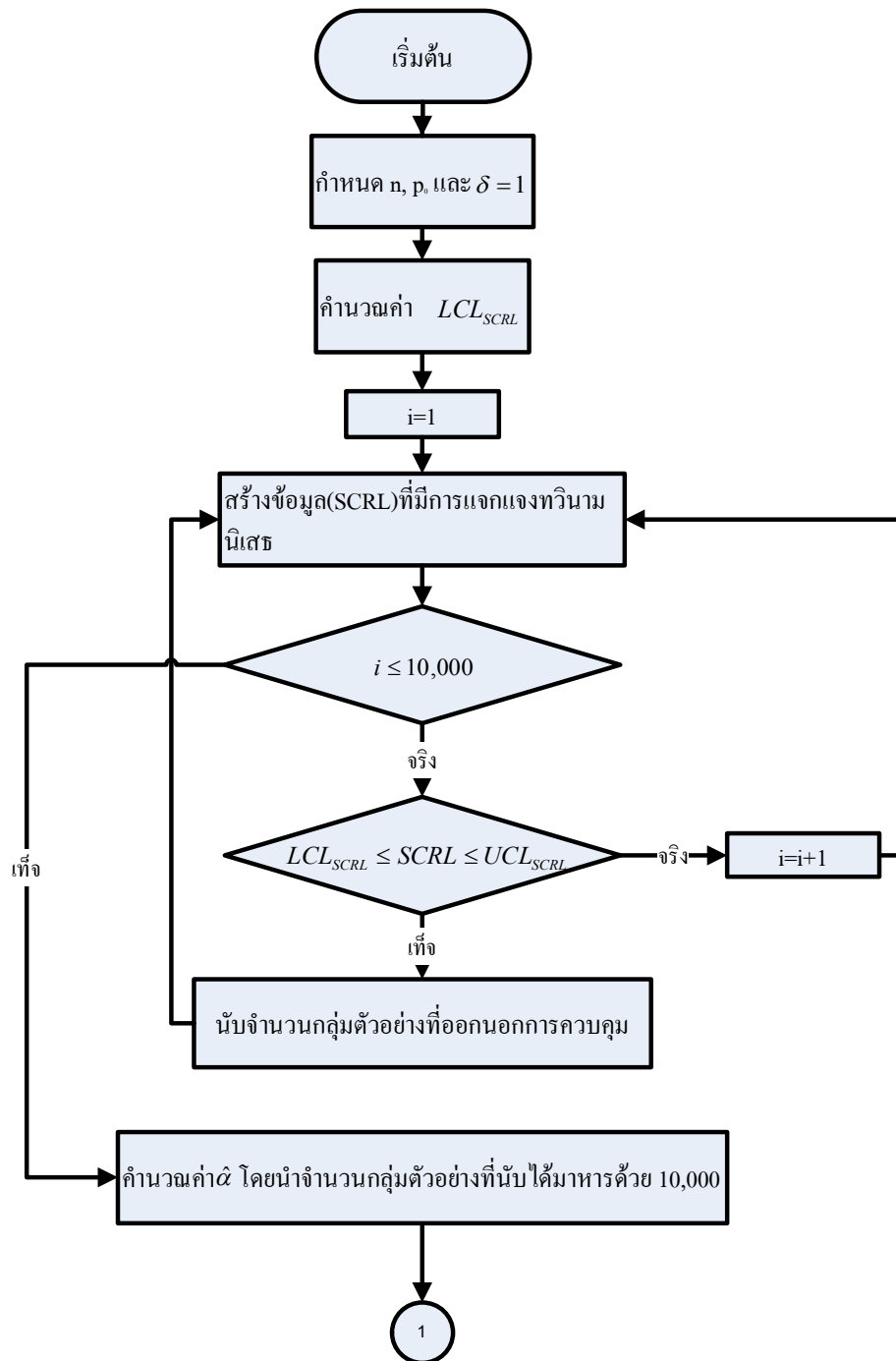
ภาพที่ 6 (ต่อ)



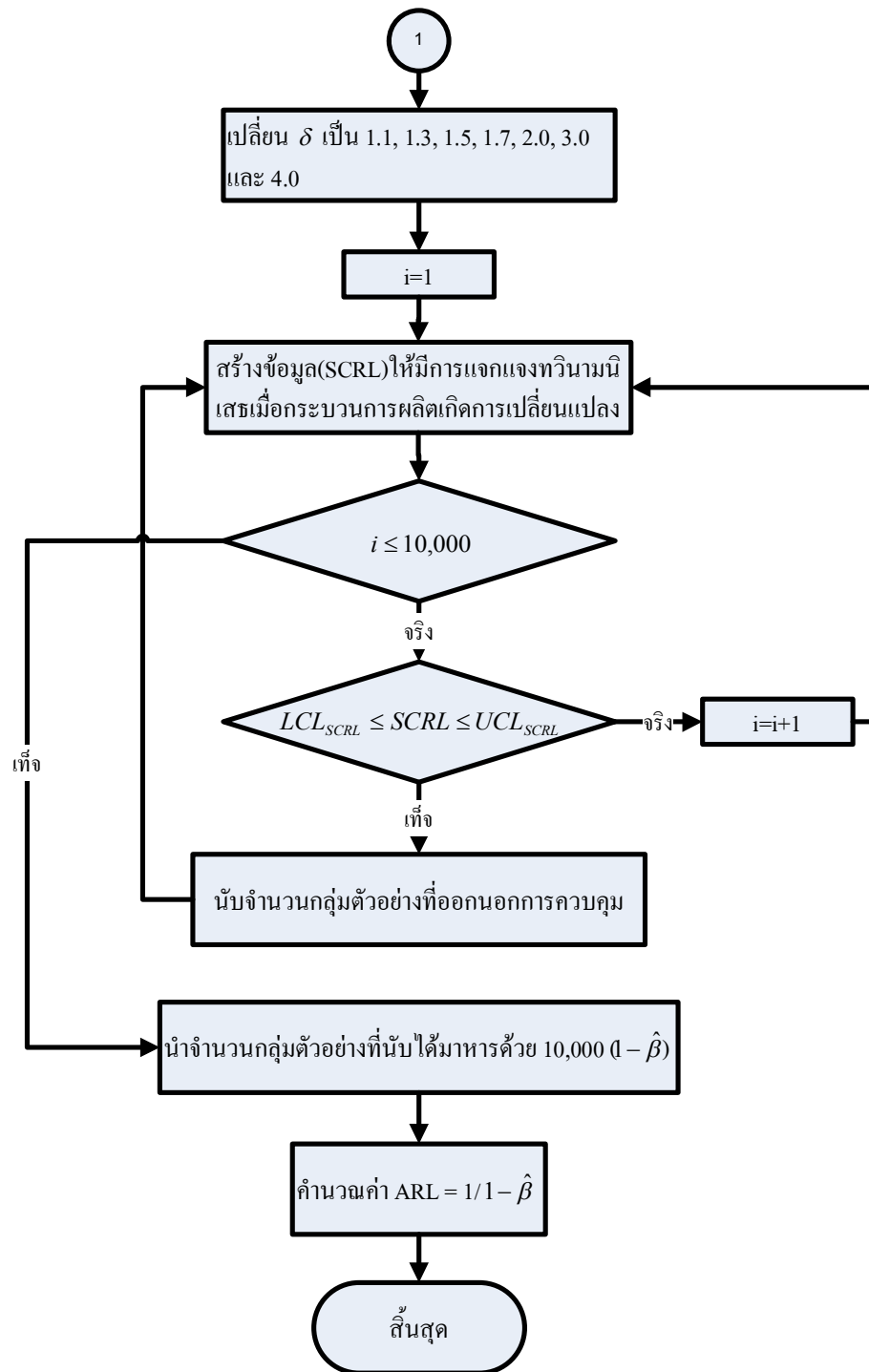
ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเร้นจ์ (CRL Control Chart)



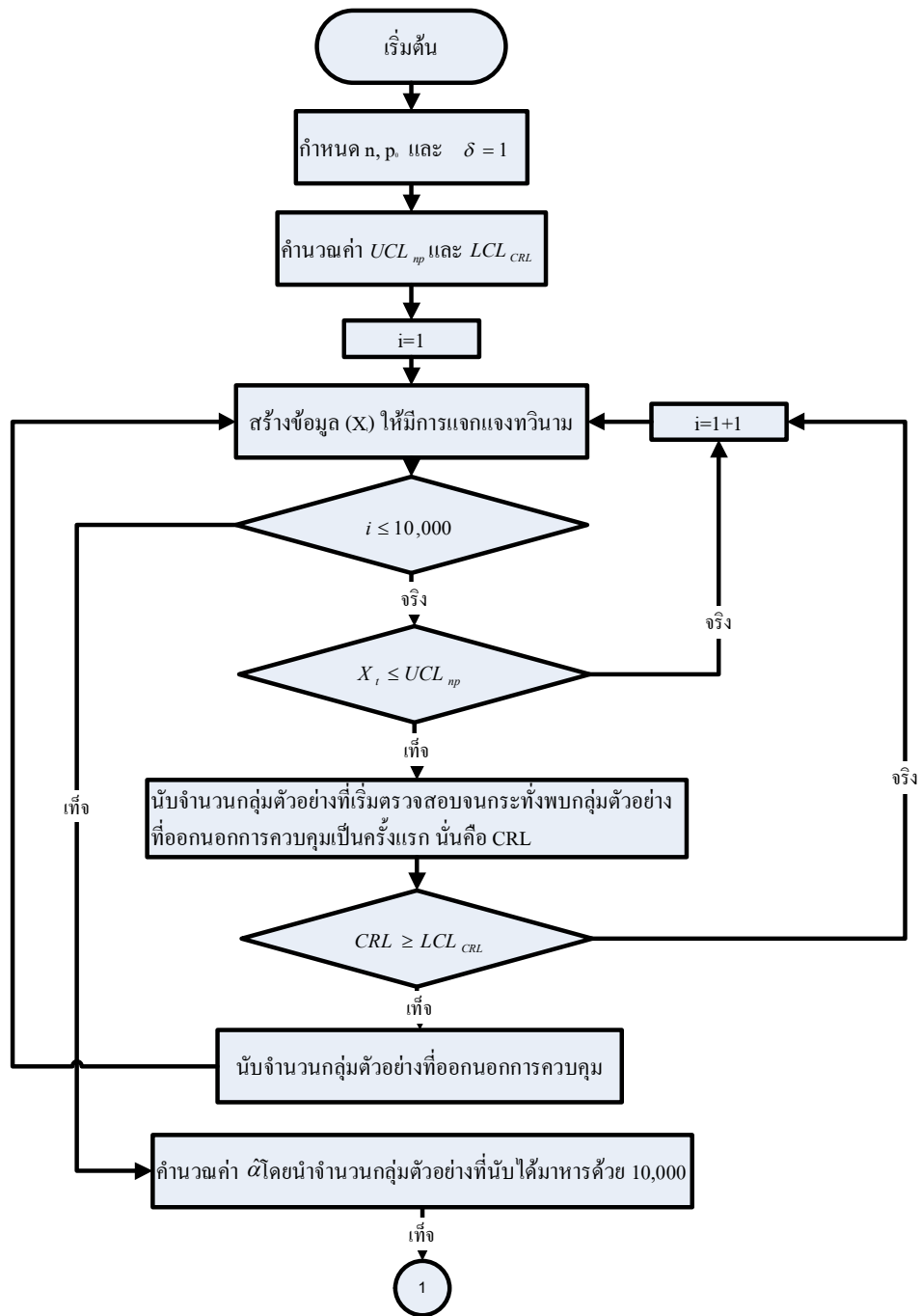
ภาพที่ 7 (ต่อ)



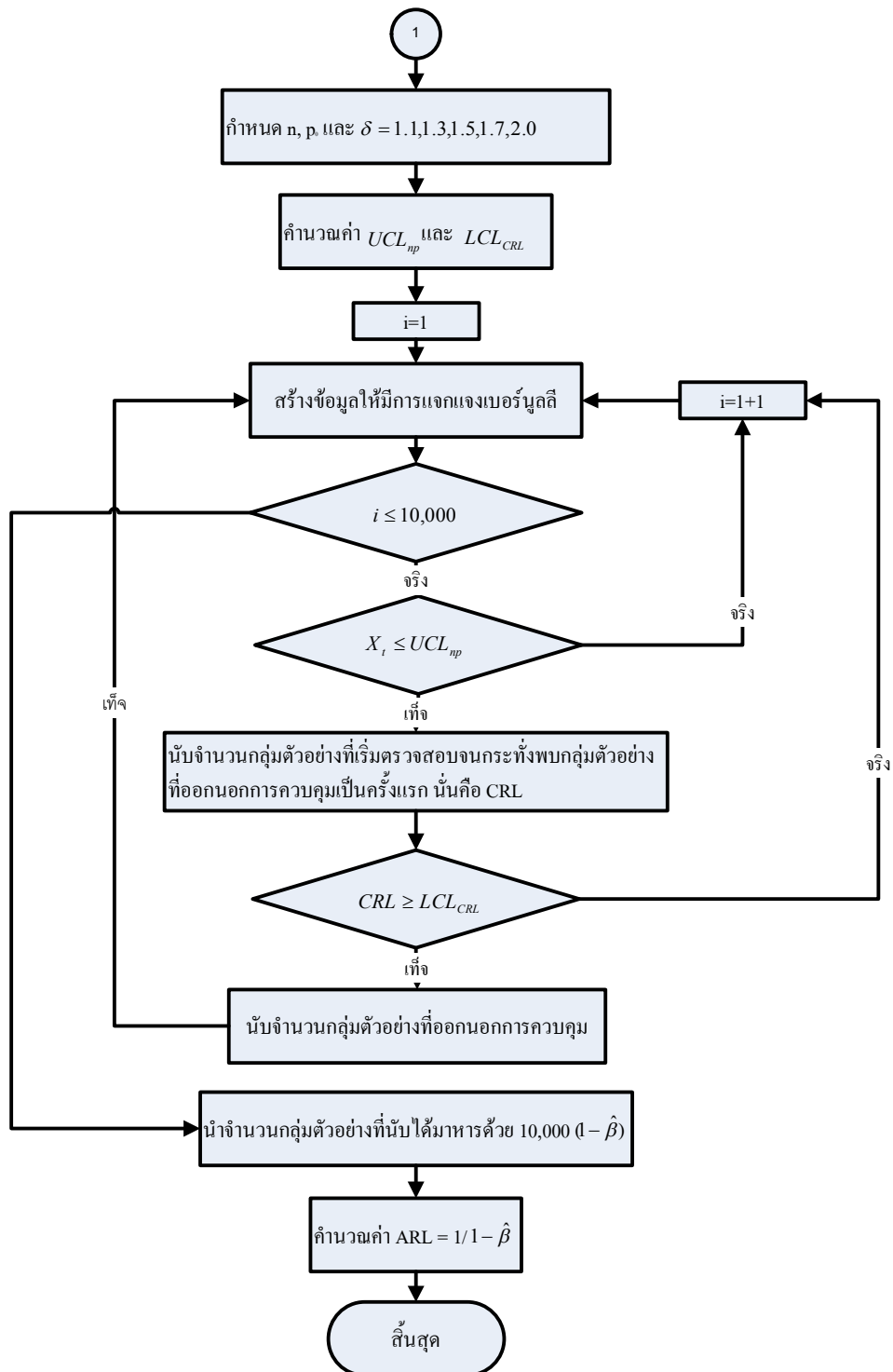
ภาพที่ 8 ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิควบคุมผลรวมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ (SCRL Control Chart)



ภาพที่ 8 (ต่อ)



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart)



ภาพที่ 9 (ต่อ)

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

ภาควิชาสถิติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เริ่มทำการวิจัยในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.
2549 จนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2552

ผลและวิจารณ์

ผล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ สัดส่วนของเสีย (p_0) ขนาดตัวอย่าง (n) และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) โดยศึกษาแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ และแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์ โดยพิจารณาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ในแต่ละสถานการณ์ว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้น ทั้งๆที่กระบวนการผลิตยังอยู่ภายใต้การควบคุม และค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบว่าแผนภูมิควบคุมใดมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อกระบวนการผลิตเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดสัดส่วนของเสีย

ผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม เมื่อสัดส่วนของเสียไม่เปลี่ยนแปลง ประมวลค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ในแต่ละสถานการณ์ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด

ส่วนที่ 2 เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม เมื่อสัดส่วนของเสียมีการเปลี่ยนแปลง แสดงค่าจำนวนครั้งเฉลี่ยในแต่ละสถานการณ์ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด

ส่วนที่ 1 เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม เมื่อสัดส่วนของเสียไม่เปลี่ยนแปลง ประเมินค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ในแต่ละสถานการณ์ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด

การประมาณค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ และแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์ เพื่อพิจารณาแผนภูมิควบคุมที่สามารถควบคุมค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนระหว่างจำนวนตัวอย่างที่ออกนอกขอบเขตควบคุมกับตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 10,000 ชุด ทั้งที่กระบวนการผลิตยังอยู่ในการควบคุม โดยที่ขนาดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย (δ) เท่ากับ 1 ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 แสดงเป็นค่า $\hat{\alpha}$ จำแนกตามสัดส่วนของเสีย (p_0) และขนาดตัวอย่าง (n) ของข้อมูลที่จำลองขึ้นได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1 ถ้าแผนภูมิควบคุมใดมีค่า $\hat{\alpha}$ อยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.0037 แสดงว่า แผนภูมิควบคุมนั้นมีความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้

ตารางที่ 1 ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด

P_0	n	$\hat{\alpha}$			
		np	CRL	SCRL	Synthetic
0.01	5	0.0495	0.0000*	0.0293	0.1050
	10	0.0370	0.0102	0.0243	0.0303
	20	0.0127	0.0182	0.0170	0.0163
	30	0.0113	0.0383	0.0136	0.0157
	50	0.0055	0.0618	0.0072	0.0119
	100	0.0042	0.1177	0.0057	0.0109
	150	0.0008*	0.1751	0.0055	0.0000*
0.03	5	0.0388	0.0000*	0.0405	0.0795
	10	0.0351	0.0000*	0.0376	0.0313
	20	0.0161	0.0000*	0.0351	0.0000*
	30	0.0050	0.0363	0.0118	0.0000*
	50	0.0025*	0.0615	0.0062	0.0000*
	100	0.0005*	0.1270	0.0008*	0.0000*
	150	0.0002*	0.2003	0.0003*	0.0000*
0.05	5	0.0233	0.0000*	0.0418	0.0378
	10	0.0124	0.0000*	0.0355	0.0090
	20	0.0115	0.0000*	0.0199	0.0000*
	30	0.0020*	0.0000*	0.0160	0.0000*
	50	0.0017*	0.0592	0.0106	0.0000*
	100	0.0014*	0.1053	0.0032*	0.0000*
	150	0.0010*	0.1431	0.0025*	0.0000*
0.07	5	0.0030*	0.0000*	0.0566	0.0000*
	10	0.0026*	0.0000*	0.0424	0.0000*
	20	0.0021*	0.0000*	0.0257	0.0000*
	30	0.0020*	0.0000*	0.0192	0.0000*
	50	0.0019*	0.0000*	0.0131	0.0000*
	100	0.0018*	0.0716	0.0113	0.0000*
	150	0.0015*	0.1370	0.0111	0.0000*

ตารางที่ 1 (ต่อ)

P_0	n	$\hat{\alpha}$			
		np	CRL	SCRL	Synthetic
0.1	5	0.0189	0.0000*	0.0765	0.0000*
	10	0.0139	0.0000*	0.0496	0.0000*
	20	0.0035*	0.0000*	0.0238	0.0000*
	30	0.0033*	0.0000*	0.0231	0.0000*
	50	0.0028*	0.0000*	0.0172	0.0000*
	100	0.0020*	0.0000*	0.0170	0.0000*
	150	0.0015*	0.0000*	0.0156	0.0000*

* ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 อยู่ในช่วง (0 , 0.0037) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (ตามแถว)

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียลดลงเรื่อยๆ เมื่อ p_0 และ n เพิ่มขึ้น แสดงว่า เมื่อสัดส่วนของเสียและขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น จะช่วยลดการเกิดความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ ซึ่งแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ในกรณีดังต่อไปนี้ คือ

- กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.01 เมื่อ n เท่ากับ 150
- กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.03 เมื่อ n เท่ากับ 50, 100 และ 150
- กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.05 เมื่อ n เท่ากับ 30, 50, 100 และ 150
- กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.07 เมื่อ n เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 100 และ 150
- กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.1 เมื่อ n เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 100 และ 150

แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์มีค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อ p_0 คงที่ และ n เพิ่มขึ้น แต่เมื่อ p_0 เพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้เพิ่มขึ้น เมื่อ n มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อ p_0 เท่ากับ 0.1 สามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ใน n ทุกกรณี แสดงว่า เมื่อ p_0 และ n เพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ ช่วยลดการเกิดความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้มากขึ้น

แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์มีค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ลดลงเรื่อยๆ เมื่อ p_0 คงที่ และ n เพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อขนาดตัวอย่างมากขึ้น จะช่วยลดการเกิดความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ ซึ่งแผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ในกรณีดังต่อไปนี้ คือ

- กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.03 และ 0.05 เมื่อ n เท่ากับ 100 และ 150

แผนภูมิควบคุมสัณฐานหมีค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) ลดลงเรื่อยๆ เมื่อ p_0 และ n เพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อสัดส่วนของเสียและขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น จะช่วยลดการเกิดความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ ซึ่งแผนภูมิควบคุมสัณฐานหมีสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ในกรณีดังต่อไปนี้ คือ

- กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.01 เมื่อ n เท่ากับ 150
- กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.03 และ 0.05 เมื่อ n เท่ากับ 20, 30, 50, 100 และ 150
- กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.07 และ 0.1 ใน n ทุกกรณี

ส่วนที่ 2 เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม แสดงค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ในแต่ละสถานการณ์ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด

ผลการวิเคราะห์ในส่วนนี้เป็นการใช้ค่า ARL ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด โดยพิจารณาจากค่า ARL ที่ต่ำที่สุด จะเป็นแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็วในกรณีที่กระบวนการออกนอกการควบคุม ($\delta = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0, 3.0$ และ 4.0)

การตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมแต่ละชนิดเป็นดังนี้คือ

แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย พบว่า เมื่อ δ เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่าเมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว และเมื่อ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่าเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียตรวจจับผลิตภัณฑ์ได้ช้าลง

แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ พบว่า เมื่อ n เท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 โดยที่ δ เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่าเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 โดยที่ขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียค่อนข้างคงที่หรือค่อนข้างช้าลงเล็กน้อยเมื่อ n เท่ากับ 100 และ 150 โดยที่ δ เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น คือ 100 และ 150 โดยที่ขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว

การตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ พบว่าเมื่อ δ เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ตรวจจับผลิตภัณฑ์ได้ช้าลง

การตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมสักระยะ พบว่า เมื่อ δ น้อยๆ ค่า $ARL = \infty$ เนื่องจาก $ARL = \frac{1}{\alpha}$ ในที่นี้ $ARL = \frac{1}{0} = \infty$ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียน้อยๆ จะไม่ตรวจพบผลิตภัณฑ์เสียเลย ส่งผลให้ค่า ARL มีค่าสูงมาก เมื่อ δ เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมสักระยะสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมสักระยะตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด พิจารณาจากค่า ARL โดยแผนภูมิควบคุมชนิดใดมีค่า ARL ต่ำสุด แสดงว่า แผนภูมิควบคุมนั้นสามารถตรวจสอบผลิตภัณฑ์เสียได้รวดเร็วที่สุด ถือว่าเป็นแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในสถานการณ์นั้นๆ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2 - 5

ตารางที่ 2 ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 เท่ากับ 0.01

n	δ	Control chart			
		np	CRL	SCRL	synthetic
5	1.1	18.5874	1.0462*	26.0417	∞
	1.3	15.4560	1.0551*	22.6757	∞
	1.5	13.4771	1.0651*	20.3252	24.0000
	1.7	12.0919	1.0754*	18.5185	15.0000
	2.0	10.5597	1.0880*	16.3661	11.7500
	3.0	7.1891	1.1327*	13.0719	8.8000
	4.0	5.3996	1.1763*	11.3507	8.5714
10	1.1	24.0964	1.0947*	27.1003	∞
	1.3	17.7620	1.1135*	25.5102	∞
	1.5	13.7363	1.1324*	24.3902	26.5000
	1.7	11.2994	1.1496*	23.0947	25.3000
	2.0	8.4246	1.1750*	21.0084	24.2600
	3.0	4.2662	1.2657*	18.2149	15.6200
	4.0	2.9078	1.3624*	15.4321	8.4000
20	1.1	26.2467	1.2061*	35.2113	∞
	1.3	17.7305	1.2467*	30.9598	63.0000
	1.5	13.4771	1.2863*	29.3255	58.7965
	1.7	10.7296	1.3286*	27.3973	52.3657
	2.0	8.0972	1.3930*	24.6914	31.3333
	3.0	4.1017	1.6139*	21.6920	5.9704
	4.0	2.7685	1.8488*	20.4499	2.8889
30	1.1	26.8097	1.3151*	36.9004	∞
	1.3	18.4843	1.3761*	32.5733	74.0000
	1.5	14.2857	1.4368*	29.5858	62.5600
	1.7	11.1416	1.4966*	29.3255	51.1300
	2.0	8.3056	1.5850*	27.8552	49.0000
	3.0	4.0917	1.8730*	27.4091	24.2381
	4.0	2.8050	2.1483*	26.5252	12.6000
50	1.1	80.6452	1.5941*	46.5282	∞
	1.3	48.3092	1.7021*	38.5789	88.5000
	1.5	31.4465	1.8172*	29.2398	74.6500
	1.7	23.9808	1.9406*	28.1568	60.3200
	2.0	15.0376	2.0886*	25.8463	50.5000
	3.0	5.4407	2.4378*	22.2222	16.5484
	4.0	3.0441	2.6889*	21.5461	4.7518
100	1.1	108.6957	3.3992*	64.5161	∞
	1.3	47.6190	3.5947*	63.2343	90.5000
	1.5	24.3902	2.9716*	62.8756	66.0000
	1.7	15.1976	2.8531*	62.0003	44.7500
	2.0	8.5106	2.8249*	61.9090	18.7500
	3.0	2.8466	2.5069*	61.3003	7.6870
	4.0	1.6686	1.3238*	60.0303	2.9227
150	1.1	205.5556	3.0120*	116.2791	∞
	1.3	185.1852	2.9709*	104.5678	116.0000
	1.5	75.7576	2.9568*	95.2350	12.8889
	1.7	37.3134	2.9146*	90.8880	4.3686
	2.0	17.3310	1.4682*	83.3333	1.8562
	3.0	3.4176	1.9775	79.5430	1.0096*
	4.0	1.7522	1.6706	72.9927	1.0000*

* แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในกรณีที่กระบวนการออกนอกการควบคุม (พิจารณาตามแถว)

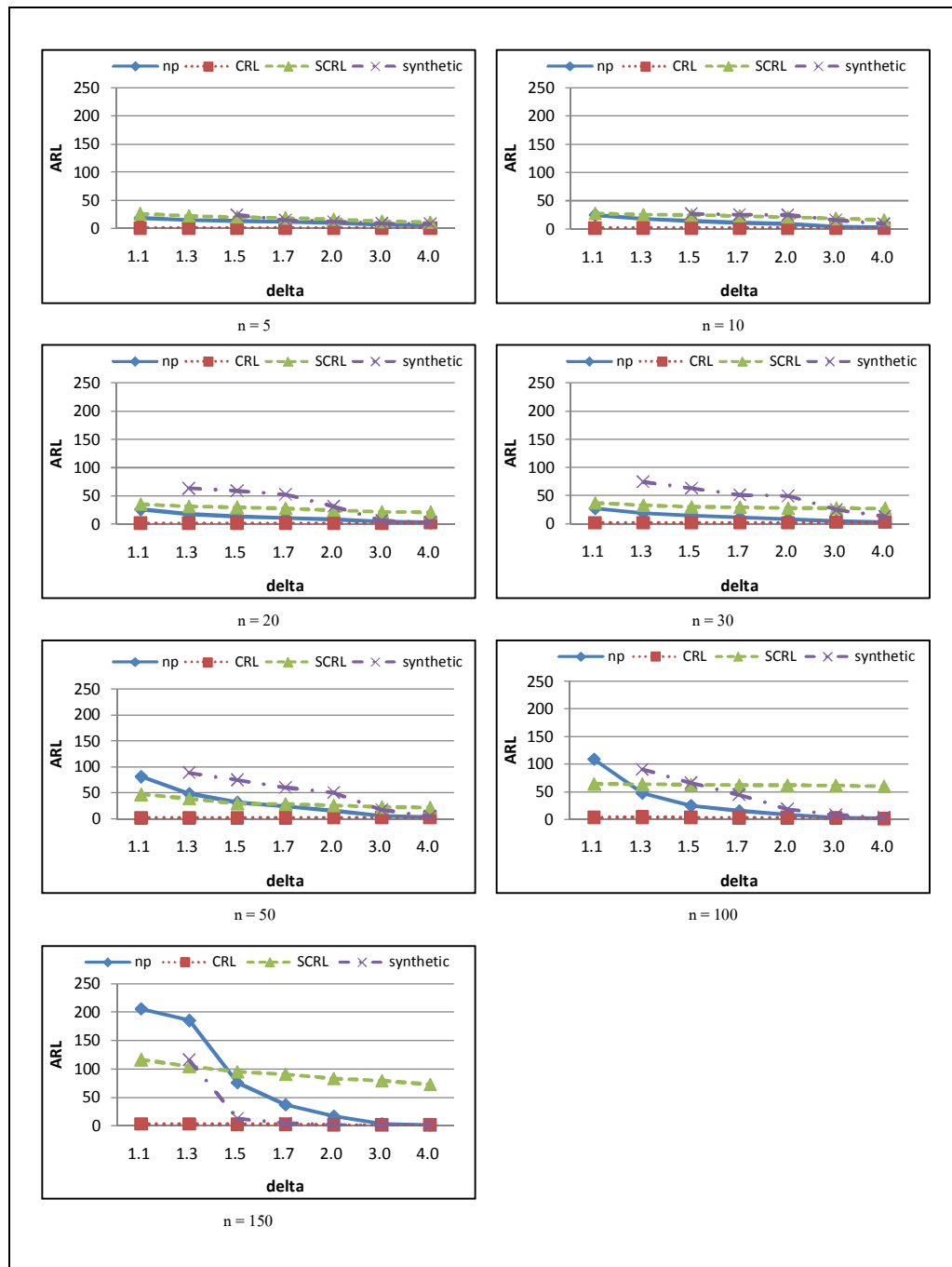
จากตารางที่ 2 พบว่า ในกรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.01 เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียจะมีค่า ARL ลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียตรวจจับผลิตภัณฑ์ได้ช้าลง

เมื่อ δ เพิ่มขึ้น และ n เท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะมีค่า ARL ก่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างเท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 แผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียก่อนข้างคงที่หรือก่อนข้างช้าลงเล็กน้อย แต่เมื่อ δ เพิ่มขึ้น และ n เท่ากับ 100 และ 150 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะมีค่า ARL ลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น และขนาดตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น คือ 100 และ 150 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อ δ เพิ่มขึ้น และ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะมีค่า ARL ลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อ δ เท่ากับ 1.1 และ 1.3 และ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมสักระยะจะมีค่า ARL เท่ากับ ∞ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียน้อยๆ และขนาดตัวอย่างทุกขนาด จะไม่ตรวจผลิตภัณฑ์เสียเลยส่งผลให้ ARL มีค่าสูงมาก เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมสักระยะสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ เพิ่มขึ้น และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมสักระยะตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด ในกรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.01 แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.01 เมื่อ δ เปลี่ยนแปลงไป

จากภาพที่ 10 พบว่า กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.01 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุด เมื่อ $n = 5, 10, 20, 30, 50$ และ 100 (δ ทุกกรณี) และ $n = 150$ ($\delta = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7$ และ 2.0) ซึ่งในกรณีที่ δ เท่ากับ 2.0 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์กับแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก และแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดเมื่อ $n = 150$ ($\delta = 3.0$ และ 4.0) ซึ่งในกรณีนี้แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์กับแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 3 ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 เท่ากับ 0.03

n	δ	Control chart			
		np	CRL	SCRL	synthetic
5	1.1	34.7222	1.1361*	22.5734	∞
	1.3	25.4453	1.1641*	19.9601	∞
	1.5	19.2308	1.1956*	17.5747	23.6000
	1.7	15.6740	1.2288*	15.6495	20.0000
	2.0	11.7509	1.2724*	13.3869	19.3000
	3.0	6.0024	1.4493*	8.9606	18.0000
	4.0	3.6778	1.6584*	6.7659	13.6000
10	1.1	45.7143	1.3572*	26.3852	∞
	1.3	41.8182	1.4023*	23.9808	∞
	1.5	35.0000	1.5092*	21.9298	26.3300
	1.7	28.4956	1.5939*	20.7469	26.0000
	2.0	8.5470	1.7358*	20.0000	18.0001
	3.0	4.3554	2.2831*	16.8350	14.8462
	4.0	2.8802*	3.0039	14.5773	7.6242
20	1.1	45.8716	1.8825*	32.6448	∞
	1.3	29.3255	2.1101*	30.7614	53.0000
	1.5	18.9394	2.3663*	26.729	49.0000
	1.7	13.4953	2.6724*	22.3729	34.0000
	2.0	9.3985	3.2478*	19.8406	24.6667
	3.0	4.0833*	6.0606	17.3934	7.0355
	4.0	2.4195*	11.1607	15.1523	3.0941
30	1.1	72.3596	2.4033*	34.6269	∞
	1.3	51.5464	2.7988*	32.2460	70.0000
	1.5	30.2115	3.2637*	30.7614	59.2500
	1.7	18.9753	3.7750*	30.0000	44.2300
	2.0	11.3507	4.5496*	28.7690	21.6667
	3.0	3.6140*	6.5274	28.3092	4.5970
	4.0	2.0358*	7.1073	27.1698	2.0636
50	1.1	102.5000	3.0030*	36.5823	∞
	1.3	98.0398	3.2733*	33.0928	75.0000
	1.5	46.9484	3.4376*	31.0101	16.5882
	1.7	27.1739	3.6684*	28.4579	5.9244
	2.0	13.6426	2.7453*	26.2069	3.0954
	3.0	3.4247	7.9727	23.2911	1.0151*
	4.0	1.7161	8.2481	20.6504	1.0000*
100	1.1	204.2222	6.0096*	55.5555	∞
	1.3	80.0000	5.7504*	53.0303	85.0000
	1.5	31.2500	5.4437*	46.0784	56.0000
	1.7	15.5280	5.0201*	45.2537	12.7826
	2.0	7.0373	4.3478*	41.9512	4.5417
	3.0	1.8018	2.8944	41.7431	1.1363*
	4.0	1.1654	2.4438	38.1395	1.0015*
150	1.1	213.1579	4.5746*	111.1111	∞
	1.3	57.4713	4.0866*	102.5806	103.4546
	1.5	18.9753	3.7258*	102.3077	88.2000
	1.7	8.4746	3.4025*	99.2537	10.4828
	2.0	3.5714	3.0960*	90.4819	3.4723
	3.0	1.2146	2.2242	79.3651	1.0878*
	4.0	1.0249	1.8454	55.2486	1.0018*

* แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในกรณีที่กระบวนการออกนอกการควบคุม (พิจารณาตามแถว)

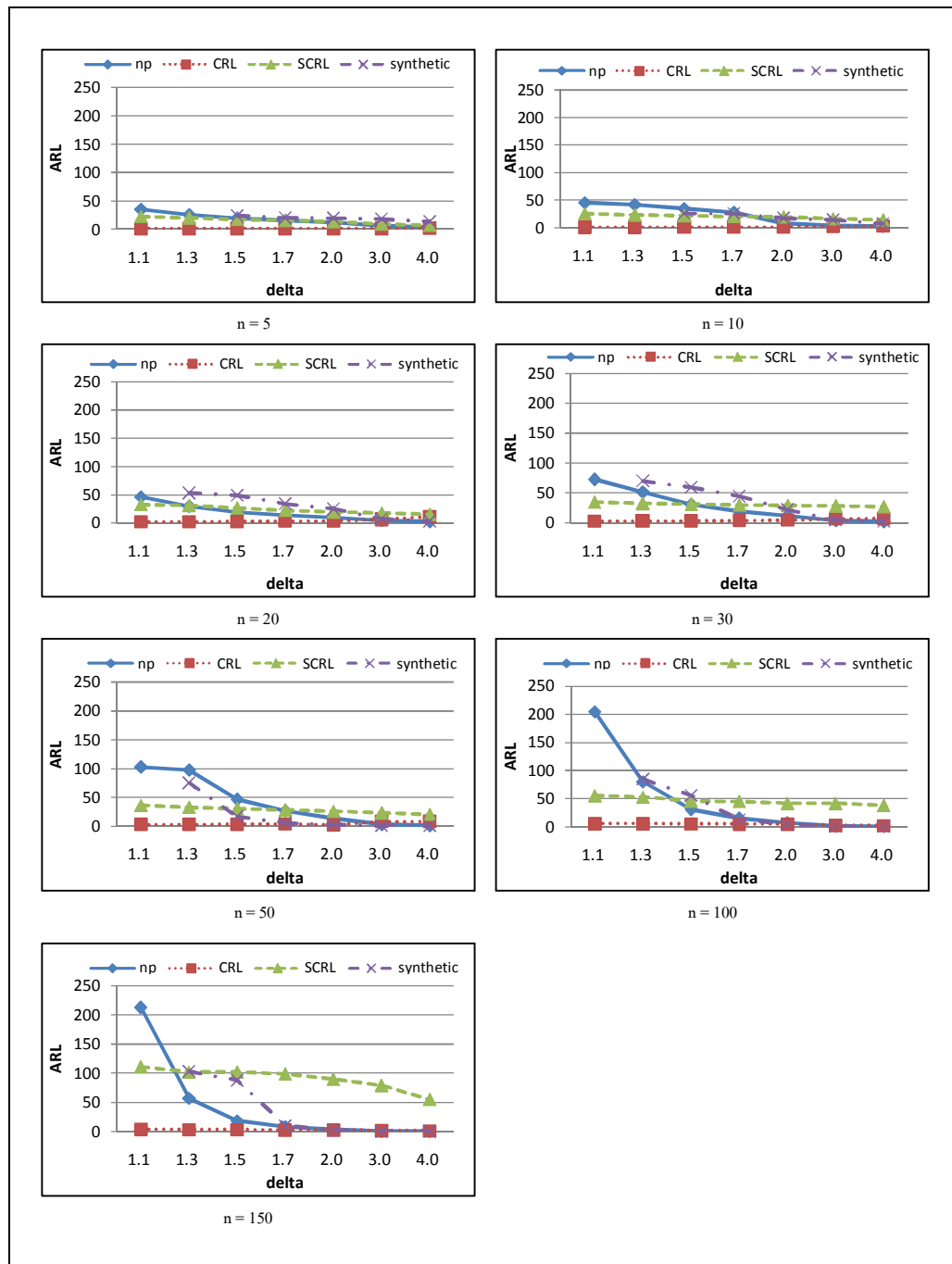
จากตารางที่ 3 พบว่า ในกรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.03 เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียจะมีค่า ARL ลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n เท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะมีค่า ARL ค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างเท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 แผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียค่อนข้างคงที่หรือค่อนข้างช้าลงเล็กน้อย แต่ δ เพิ่มขึ้นและ n เท่ากับ 100 และ 150 ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น 100 และ 150 แผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะมีค่า ARL ลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อ δ เพิ่มขึ้นน้อยๆ และ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมสักระยะจะมีค่า ARL เท่ากับ ∞ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียน้อยๆ และขนาดตัวอย่างทุกขนาด จะตรวจไม่พบผลิตภัณฑ์เสียเลยส่งผลให้ ARL มีค่าสูงมาก เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมสักระยะสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมสักระยะตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด ในกรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.03 แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.03 เมื่อ δ เปลี่ยนแปลงไป

จากภาพที่ 11 พบว่า กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.03 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดเมื่อ $n = 5$ (δ ทุกกรณี), $n = 10$ ($\delta = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0$ และ 3.0) และ $n = 20, 30, 50, 100$ และ 150 ($\delta = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7$ และ 2.0) แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียมีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดเมื่อ $n = 10$ ($\delta = 4.0$) และ $n = 20$ และ 30 ($\delta = 3.0$ และ 4.0) ซึ่งในกรณีที่ n เท่ากับ 30 และ δ เท่ากับ 4.0 แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียและแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก และแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดเมื่อ $n = 50, 100$ และ 150 ($\delta = 3.0$ และ 4.0) ซึ่งในกรณีที่ n เท่ากับ 50 และ δ เท่ากับ 4.0 แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียและแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก ในกรณีที่ n เท่ากับ 100 และ 150 (δ เท่ากับ 3.0 และ 4.0) แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียและแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากเช่นกัน

ตารางที่ 4 ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 เท่ากับ 0.05

n	δ	Control chart			
		np	CRL	SCRL	synthetic
5	1.1	40.0901	1.2513*	21.4133	∞
	1.3	38.4932	1.3075*	18.6220	∞
	1.5	32.6316	1.3686*	16.6389	22.5200
	1.7	31.1523	1.4259*	14.9254	20.0000
	2.0	30.9598	1.5232*	13.0378	15.3400
	3.0	13.8313	1.9161*	9.6061	10.4588
	4.0	8.3682	2.4062*	8.1900	5.7957
10	1.1	64.9351	1.6474*	25.1256	∞
	1.3	40.9836	1.7973*	21.5054	∞
	1.5	28.5714	1.9646*	18.6220	25.0000
	1.7	19.8413	2.1505*	17.4520	21.0000
	2.0	12.8370	2.4734*	14.7059	13.0000
	3.0	5.2882	4.0568*	10.5597	6.6951
	4.0	2.9958	6.6756	8.5397	2.9658*
20	1.1	52.0833	2.9507*	26.0829	∞
	1.3	27.2480	3.6350*	23.2900	42.5000
	1.5	17.3310	4.3840*	20.9484	39.2500
	1.7	11.6279	5.3135*	20.8430	32.3750
	2.0	7.3153	7.3014*	17.8788	13.1316
	3.0	2.9078	21.6450	15.5714	2.3964*
	4.0	1.7572	50.7614	11.3220	1.6903*
30	1.1	84.7826	5.3967*	26.9484	∞
	1.3	66.9863	7.5415*	26.1698	65.0000
	1.5	50.2513	10.0705*	24.8430	17.0000
	1.7	26.9542	12.5000*	21.8410	13.7741
	2.0	12.0919	22.5225	20.0168	10.3182*
	3.0	3.3887	94.3396	15.5733	1.6911*
	4.0	1.7516	98.0952	13.9808	1.0858*
50	1.1	114.7826	8.2781*	28.4956	∞
	1.3	99.0099	9.3545*	26.3333	70.2000
	1.5	34.7222	9.4429*	25.1880	17.4000
	1.7	17.7305	9.3371*	22.9930	10.0800
	2.0	8.4104	9.9992	16.8182	5.7634*
	3.0	2.0593	10.8776	14.2466	1.1925*
	4.0	1.2340	14.7664	13.6407	1.0112*
100	1.1	208.3333	9.0416*	31.5789	∞
	1.3	45.8716	7.6923*	29.2857	79.0000
	1.5	15.3846	6.5876*	26.2069	17.5000
	1.7	7.0822	5.9347*	24.3008	8.0722
	2.0	3.3738	5.0213	24.1026	2.8401*
	3.0	1.1976	3.6873	18.7597	1.0653*
	4.0	1.0259	2.7594	12.8311	1.0007*
150	1.1	222.2222	6.2775*	107.5269	∞
	1.3	37.4532	5.2029*	78.7402	66.0000
	1.5	10.9769	4.3048*	69.9301	25.0000
	1.7	4.9925	3.7994*	62.1118	19.0000
	2.0	2.2247	3.3580	52.0833	1.8719*
	3.0	1.0643	2.5291	34.2466	1.0081*
	4.0	1.0039	2.0185	23.8663	1.0000*

* แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในกรณีที่กระบวนการออกนอกการควบคุม (พิจารณาตามแถว)

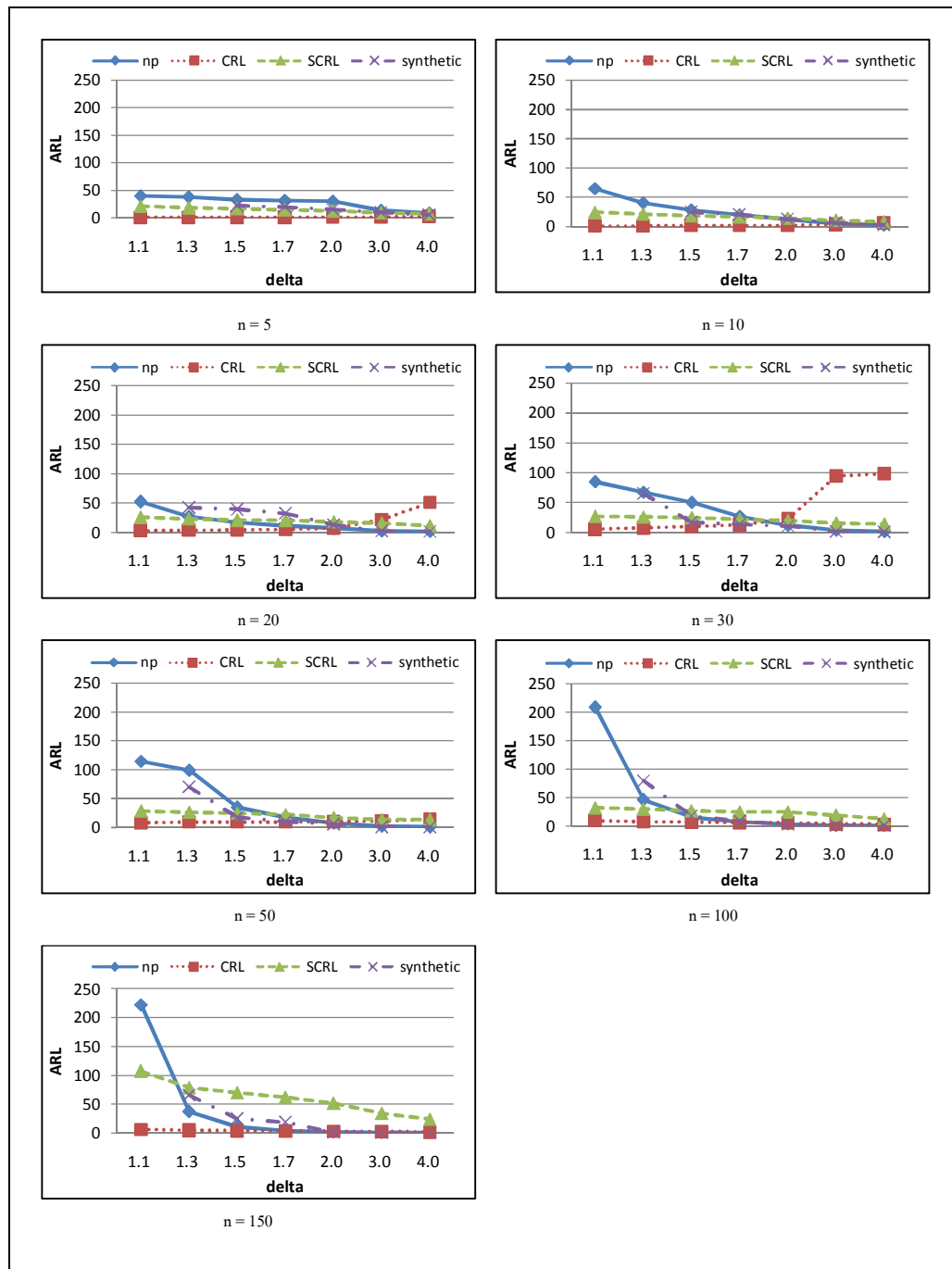
จากตารางที่ 4 พบว่า ในกรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.05 เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียจะมีค่า ARL ลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n เท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะมีค่า ARL ค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างเท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 แผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียค่อนข้างคงที่หรือค่อนข้างช้าลงเล็กน้อย แต่เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n เท่ากับ 100 และ 150 δ ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น คือ 100 และ 150 แผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะมีค่า ARL ลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อ δ น้อยๆและ n ทุกขนาด ARL ของแผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์จะมีค่าเท่ากับ ∞ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียน้อยๆและขนาดตัวอย่างทุกขนาด จะตรวจไม่พบผลิตภัณฑ์เสียเลยส่งผลให้ ARL มีค่าสูงมาก เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์ตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด ในกรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.05 แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.05 เมื่อ δ เปลี่ยนแปลงไป

จากภาพที่ 12 พบว่า กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.05 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดเมื่อ $n = 5$ (δ ทุกกรณี), $n = 10$ ($\delta = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0$ และ 3.0), $n = 20$ ($\delta = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7$ และ 2.0) และ $n = 30, 50, 100$ และ 150 ($\delta = 1.1, 1.3, 1.5$ และ 1.7) ซึ่งในกรณีที่ n เท่ากับ 20 และ δ เท่ากับ 1.7 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์กับแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก แผนภูมิควบคุมสั่งเคราะห์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดเมื่อ $n = 10$ ($\delta = 4.0$), $n = 20$ ($\delta = 3.0$ และ 4.0) และ $n = 30, 50, 100$ และ 150 ($\delta = 2.0, 3.0$ และ 4.0) ซึ่งในกรณีนี้แผนภูมิควบคุมสั่งเคราะห์กับแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 5 ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 เท่ากับ 0.07

n	δ	Control chart			
		np	CRL	SCRL	synthetic
5	1.1	46.1538	1.3732*	16.2602	∞
	1.3	39.1798	1.4631*	14.2248	∞
	1.5	35.7143	1.5547*	12.9199	21.2200
	1.7	26.8097	1.6595*	11.8906	19.6000
	2.0	17.8253	1.8228*	10.4493	14.0000
	3.0	6.2814	2.5589*	8.0645	4.1200
	4.0	3.0950	3.6630	6.5445	1.9923*
10	1.1	86.0784	2.0194*	22.6244	∞
	1.3	73.0928	2.2712*	21.7391	∞
	1.5	55.2486	2.5954*	20.6186	25.0000
	1.7	36.4964	2.9595*	19.7239	24.0000
	2.0	23.0947	3.6778*	17.9211	21.8500
	3.0	6.8681	7.5988	14.3266	3.6545*
	4.0	3.1939	17.4825	10.7296	1.4718*
20	1.1	53.1915	4.6019*	24.8430	∞
	1.3	27.7778	6.1728*	23.8596	38.5000
	1.5	17.5131	8.1833*	22.3226	34.0000
	1.7	11.5340	11.2994*	21.0023	28.7500
	2.0	10.3260	17.8253	20.3636	9.3056*
	3.0	2.4814	63.2911	18.0401	2.3197*
	4.0	1.4780	83.0303	11.4811	1.3625*
30	1.1	96.4103	10.6157*	24.6316	∞
	1.3	88.4956	16.6389*	24.0833	52.0000
	1.5	37.1747	24.8139*	21.0204	26.5000
	1.7	18.0832	36.6300	20.8469	9.8333*
	2.0	8.5911	67.5676	20.6504	5.8765*
	3.0	2.2915	84.1176	19.7865	1.3938*
	4.0	1.3156	92.2365	12.5000	1.0218*
50	1.1	188.4956	10.6354*	26.9424	∞
	1.3	88.4956	14.8080*	24.9351	66.0000
	1.5	29.7619	24.0529*	24.5238	29.6364
	1.7	13.8122	33.6943	23.4759	11.6833*
	2.0	7.4460	45.0392	23.2900	4.3379*
	3.0	1.3421	78.5714	22.7530	1.1630*
	4.0	1.0571	86.1905	22.9366	1.0101*
100	1.1	222.1579	9.2507*	30.4701	∞
	1.3	34.7222	8.2850*	29.3359	66.5000
	1.5	10.5597	7.1736*	25.9535	15.5161
	1.7	5.2138	4.5126	24.9451	4.3676*
	2.0	2.2852	4.9285	19.6829	2.0312*
	3.0	1.0730	3.3356	17.3252	1.0155*
	4.0	1.0023	2.5284	11.3379	1.0000*
150	1.1	225.8182	6.2933*	80.6452	∞
	1.3	21.4592	5.3648*	67.5676	31.0000
	1.5	6.2305	4.7801*	57.4713	6.3720
	1.7	2.9155	4.3271	50.2513	2.3742*
	2.0	1.5911	3.7936	41.8410	1.2573*
	3.0	1.0209	2.5589	21.9298	1.0003*
	4.0	1.0000*	2.0995	12.9870	1.0000*

* แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในกรณีที่กระบวนการออกนอกการควบคุม (พิจารณาตามแถว)

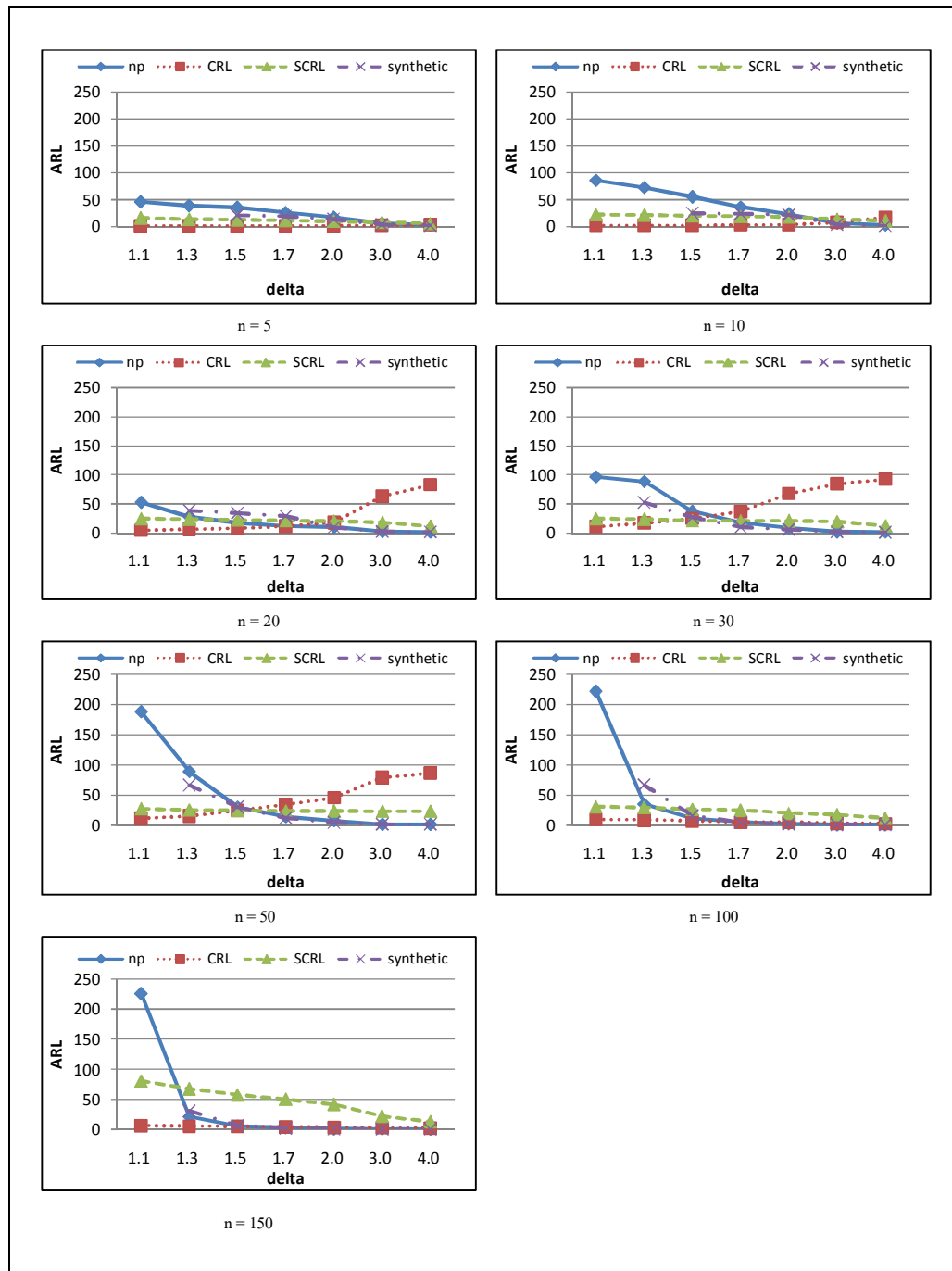
จากตารางที่ 5 พบว่า ในกรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.07 เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียจะมีค่า ARL ลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n เท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะมีค่า ARL ค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างเท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 แผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียค่อนข้างคงที่หรือค่อนข้างช้าลงเล็กน้อย แต่เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n เท่ากับ 100 และ 150 ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น คือ 100 และ 150 แผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะมีค่า ARL ลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อ δ น้อยๆและ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมสักระยะจะมีค่า ARL เท่ากับ ∞ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียน้อยๆและขนาดตัวอย่างทุกขนาด จะตรวจไม่พบผลิตภัณฑ์เสียเลยส่งผลให้ ARL มีค่าสูงมาก เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมสักระยะสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมสักระยะตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด ในกรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.07 แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.07 เมื่อ δ เปลี่ยนแปลงไป

จากภาพที่ 13 พบว่า กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.07 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์มี ประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดเมื่อ $n = 5$ ($\delta = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0$ และ 3.0), $n = 10$ ($\delta = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7$ และ 2.0), $n = 20$ ($\delta = 1.1, 1.3, 1.5$ และ 1.7) และ $n = 30, 50, 100$ และ 150 ($\delta = 1.1, 1.3$ และ 1.5) แผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับ ผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดเมื่อ $n = 5$ ($\delta = 4.0$), $n = 10$ ($\delta = 3.0$ และ 4.0), $n = 20$ ($\delta = 2.0, 3.0$ และ 4.0) และ $n = 30, 50, 100$ และ 150 ($\delta = 1.7, 2.0, 3.0$ และ 4.0) ซึ่งในกรณีที่ n เท่ากับ 20, 30, 50, 100 และ 150 แผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์กับแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียมีประสิทธิภาพใกล้เคียง กันมาก และเมื่อ n เท่ากับ 150 ($\delta = 4.0$) แผนภูมิควบคุมสั้งเคราะห์กับแผนภูมิควบคุมจำนวนของ เสียมีประสิทธิภาพเท่ากัน

ตารางที่ 6 ค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 เท่ากับ 0.1

P_0	δ	ARL			
		np	CRL	SCRL	synthetic
5	1.1	48.5437	1.5741*	12.1507	∞
	1.3	42.3030	1.7221*	10.6724	∞
	1.5	39.5313	1.8921*	9.5329	20.5200
	1.7	33.4590	2.0725*	8.6356	15.0000
	2.0	8.0321	2.4096*	7.8370	10.0000
	3.0	5.8824	4.0193	6.2422	3.6383*
	4.0	3.1407	7.8492	4.6882	2.0782*
10	1.1	94.3396	2.7078*	19.6078	∞
	1.3	53.4759	3.3058*	18.4502	∞
	1.5	36.9004	4.0355*	16.9492	21.0000
	1.7	27.8552	4.8379*	15.7233	20.5000
	2.0	19.2308	6.6401*	14.7059	18.1053
	3.0	6.1463	24.7525	9.5057	2.8247*
	4.0	3.0979	56.2500	6.3012	1.5809*
20	1.1	104.0816	9.0827*	20.6667	∞
	1.3	76.3359	14.0647*	19.2157	34.0000
	1.5	35.0877	20.3252	18.5457	17.4000*
	1.7	19.8807	27.3224	16.6667	12.0000*
	2.0	9.8717	46.5116	11.8768	5.8852*
	3.0	2.6069	66.6667	10.9170	1.1766*
	4.0	1.3693	98.5253	6.4893	1.0034*
30	1.1	96.1538	28.3286*	23.2489	∞
	1.3	39.8472	35.8357*	20.0000	37.2524
	1.5	18.7741	45.6621	18.3333	15.7059*
	1.7	7.6278	53.4263	17.3224	7.3529*
	2.0	4.0453	72.9927	13.2558	3.5718*
	3.0	1.4418	86.2791	10.9409	1.2658*
	4.0	1.0514	99.0784	6.4226	1.0220*
50	1.1	197.2727	35.4698	25.0204*	∞
	1.3	45.4545	46.9237	23.4783*	29.6667
	1.5	25.6495	66.6666	21.2113	19.0000*
	1.7	12.6104	88.4562	19.7619	10.8182*
	2.0	3.3311	104.6768	18.0947	2.1989*
	3.0	1.1820	128.4562	11.1235	1.0105*
	4.0	1.0103	134.6768	6.3573	1.0000*
100	1.1	213.0816	13.4953*	26.1798	∞
	1.3	31.0559	11.6144*	24.0529	20.0000
	1.5	9.0253	10.1420*	23.5872	5.4653
	1.7	3.8610	9.2851	21.0698	2.2357*
	2.0	1.8532	8.0321	20.8311	1.2407*
	3.0	1.0239	4.7596	10.7875	1.0000*
	4.0	1.0000*	3.5075	6.5317	1.0000*
150	1.1	227.2727	9.1659*	53.4759	∞
	1.3	18.6567	8.3195*	45.6621	18.2941
	1.5	4.8828	7.1788*	34.6021	2.9778
	1.7	2.3540	6.1350	28.2486	1.3719*
	2.0	1.3626	4.9677	24.0964	1.0317*
	3.0	1.0007	3.2563	11.9474	1.0000*
	4.0	1.0000*	2.4894	6.7476	1.0000*

* แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในกรณีที่กระบวนการออกนอกการควบคุม (พิจารณาตามแถว)

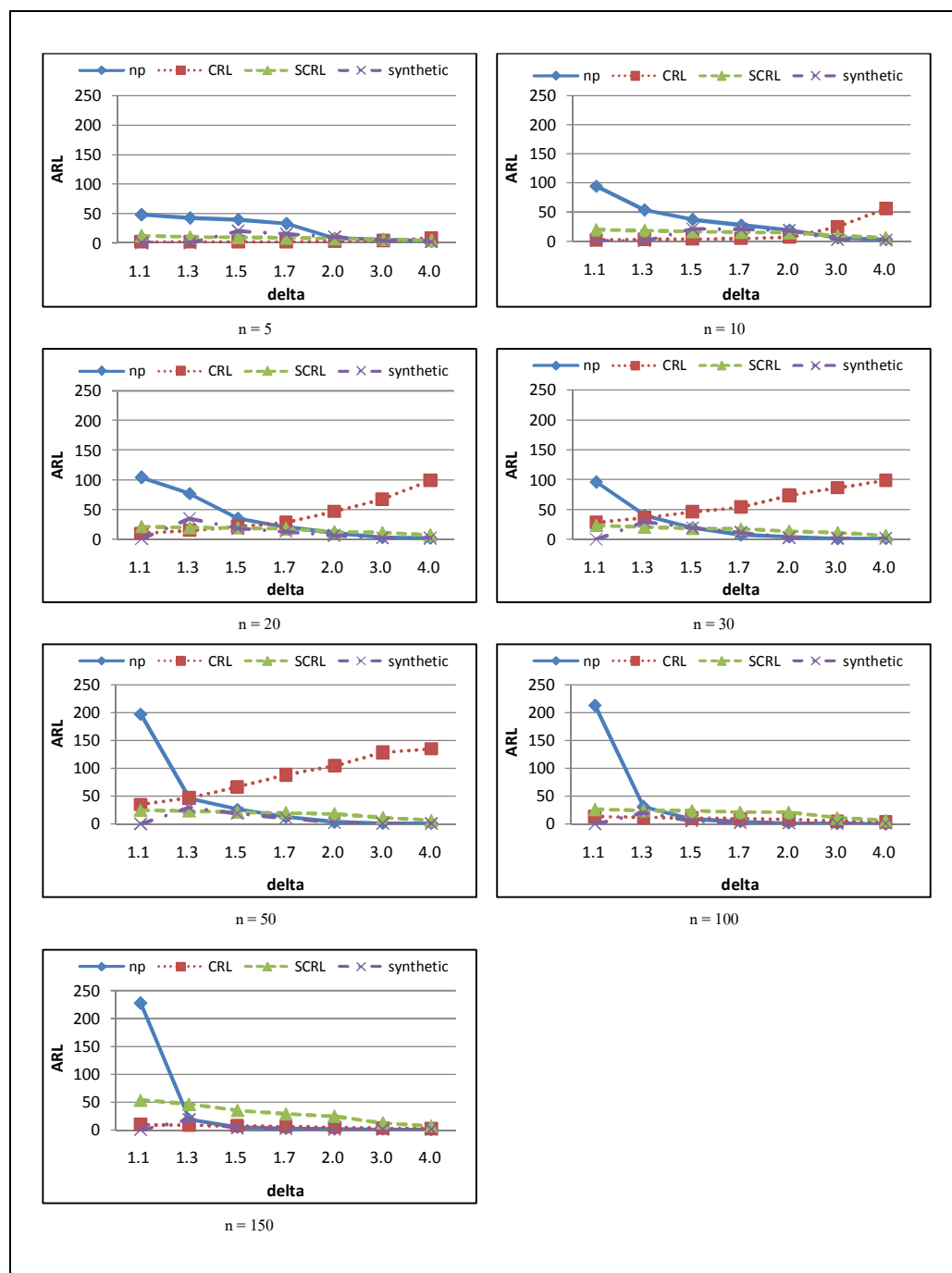
จากตารางที่ 6 พบว่า ในกรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.1 เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียจะมีค่า ARL ลดลง แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n เท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะมีค่า ARL ค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างเท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 แผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียค่อนข้างคงที่หรือค่อนข้างช้าลงเล็กน้อย แต่เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n เท่ากับ 100 และ 150 ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น คือ 100 และ 150 แผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะมีค่า ARL ลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อ δ น้อยๆ และ n ทุกขนาด แผนภูมิควบคุมสัณฐานจะห้จะมีค่า ARL เท่ากับ ∞ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียน้อยๆและขนาดตัวอย่างทุกขนาด จะตรวจไม่พบผลิตภัณฑ์เสียเลยส่งผลให้ ARL มีค่าสูงมาก เมื่อ δ เพิ่มขึ้นและ n ทุกขนาด ARL จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นและขนาดตัวอย่างทุกขนาด แผนภูมิควบคุมสัณฐานสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อ δ คงที่และ n เพิ่มขึ้น ARL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียคงที่และขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมสัณฐานตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ช้าลง

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด ในกรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.1 แสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.1 เมื่อ δ เปลี่ยนแปลงไป

จากภาพที่ 14 พบว่า กรณีที่ p_0 เท่ากับ 0.1 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดเมื่อ $n = 5$ และ 10 ($\delta = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7$ และ 2.0) และ $n = 20, 30, 100$ และ 150 ($\delta = 1.1$ และ 1.3) แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดเมื่อ $n = 50$ ($\delta = 1.1$ และ 1.3) แผนภูมิควบคุมสักระยะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดเมื่อ $n = 5$ และ 10 ($\delta = 3.0$ และ 4.0) และ $n = 20, 30, 50, 100$ และ 150 ($\delta = 1.5, 1.7, 2.0, 3.0$ และ 4.0) ซึ่งในกรณีที่ n เท่ากับ 20, 30, 50, 100 และ 150 เมื่อ δ มีค่าสูงๆ แผนภูมิควบคุมสักระยะกับแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก และเมื่อ n เท่ากับ 100 และ 150 ($\delta = 4.0$) แผนภูมิควบคุมสักระยะกับแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียมีประสิทธิภาพเท่ากัน

วิจารณ์

ในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุม จะเห็นว่า เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลง สัดส่วนของเสียมีค่าเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมจะมีค่า ARL ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเมื่อกระบวนการผลิตเกิดการเปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุมก็สามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้มากขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของภัทรทิพย์ อินทประ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมพี แผนภูมิควบคุมคิว แผนภูมิควบคุมที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine และแผนภูมิควบคุมพีปรับแก้ เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นหรือกระบวนการผลิตผิดปกติโดยใช้เกณฑ์ควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (α) เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม ในกรณีที่แผนภูมิควบคุมสามารถควบคุมค่า α ได้จะทำการเปรียบเทียบค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิแต่ละสถานการณ์ ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแต่ละแผนภูมิควบคุมขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนของเสียที่ต้องการควบคุม และขนาดตัวอย่าง โดยที่ ARL จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของอินทิพร กิติโสภาคกุล ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ได้แก่ แผนภูมิควบคุมพี, แผนภูมิควบคุมคิว (Q Control Chart) และแผนภูมิควบคุมจีโอเมตริก (G Control Chart) ในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสียของกระบวนการผลิต เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม ผลการวิจัยพบว่า ทุกสถานการณ์ที่ค่า p_0 คงที่ เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสียมีค่าเพิ่มขึ้น ค่า ARL ของทุกแผนภูมิควบคุมจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของเพ็ญภา เจริญศิลป์ ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมอาร์คไซน์ แผนภูมิควบคุมเรขาคณิต และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ โดยใช้เกณฑ์ควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม ในกรณีที่ควบคุมค่า α ได้จะทำการเปรียบเทียบค่าจำนวนครั้งเฉลี่ยของแต่ละแผนภูมิควบคุมในแต่ละสถานการณ์ ถ้าแผนภูมิควบคุมใดให้ค่า ARL ต่ำที่สุด จะถือว่าแผนภูมิควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในสถานการณ์นั้นๆ ผลการวิจัยพบว่า เมื่อสัดส่วนของเสียและระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น ARL จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์ และแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ พบว่า เกือบทุกกรณีแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์มี

ประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียดีกว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Zhang Wu และ Travor A. Spedding ที่ศึกษาเรื่อง Evaluation of ATS for CRL control chart ผลการวิจัยพบว่า แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์จะมีขั้นตอนการตรวจสอบที่ย่งยากกว่า แต่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เสียที่ดีกว่าแผนภูมิควบคุมพื้นฐานของ Shewart ได้แก่ แผนภูมิควบคุมพี และแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย เมื่อสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียดีกว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Zhang Wu, Song Huat Yeo และ Xiaolan Zhang ที่ศึกษาเรื่อง Design of the Sum of Conforming Run Length Control Chart ผลการวิจัยพบว่า ในกรณีที่สัดส่วนของเสีย (δ) เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงแผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย และเมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มมากขึ้น ทำให้กระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงไป แผนภูมิควบคุมสักระยะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากกว่าแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเรนจ์และแผนภูมิจำนวนของเสียเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Zhang และ Spedding ที่ศึกษาเรื่อง A Synthetic Control Chart for Detecting Fraction Nonconforming Increases

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการวิจัยการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย 4 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (np Control Chart) แผนภูมิคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ (CRL Control Chart) แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ (SCRL Control Chart) และ แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ (Synthetic Control Chart) ในสถานการณ์ดังนี้ คือ สัดส่วนของเสีย (p_0) ที่ต้องการควบคุม เท่ากับ 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1 ขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 100 และ 150 และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) เท่ากับ 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0, 3.0 และ 4.0 คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบทวินาม (Binomial Distribution) การดำเนินงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 จำลองข้อมูลและวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย แผนภูมิคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ แผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ และ แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์ ผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม ประมาณค่าความสามารถในการควบคุม ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (α) ในแต่ละสถานการณ์ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด

ส่วนที่ 2 เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม แสดงค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ในแต่ละสถานการณ์ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด

ส่วนที่ 1 ประมาณค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) ในแต่ละสถานการณ์ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม ($\delta=1$)

เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม กรณีที่สัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.01 และตัวอย่างขนาดเล็ก เท่ากับ 5 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเร้นจมีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อขนาดตัวอย่าง เท่ากับ 20, 30, 50 และ 100 แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียมีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุด เมื่อขนาดตัวอย่าง เท่ากับ 150 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย

กรณีที่สัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.03 และตัวอย่างขนาดเล็ก เท่ากับ 5 และ 10 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเร้นจมีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้น เท่ากับ 20, 30, 50, 100 และ 150 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย

กรณีที่สัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.05 และตัวอย่างขนาดเล็ก เท่ากับ 5 และ 10 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเร้นจมีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อตัวอย่างขนาดเล็ก เท่ากับ 20 และ 30 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเร้นจและแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้น เท่ากับ 50, 100 และ 150 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย

กรณีที่สัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.07 และตัวอย่างขนาดเล็ก เท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 50 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเร้นจและแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้น เท่ากับ 100 และ 150 แผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย

กรณีที่สัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.1 และตัวอย่างขนาดเล็ก เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 100 และ 150 แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิงรันเร้นจและแผนภูมิควบคุมสังเคราะห์มีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แผนภูมิควบคุมที่สามารถควบคุมค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$)
ได้ในแต่ละสถานการณ์

P_0	n	α			
		np	CRL	SCRL	Synthetic
0.01	5	N	Y	N	N
	10	N	N	N	N
	20	N	N	N	N
	30	N	N	N	N
	50	N	N	N	N
	100	N	N	N	N
	150	Y	N	N	Y
0.03	5	N	Y	N	N
	10	N	Y	N	N
	20	N	N	N	Y
	30	N	N	N	Y
	50	Y	N	N	Y
	100	Y	N	Y	Y
	150	Y	N	Y	Y
0.05	5	N	Y	N	N
	10	N	Y	N	N
	20	N	Y	N	Y
	30	Y	Y	N	Y
	50	Y	N	N	Y
	100	Y	N	Y	Y
	150	Y	N	Y	Y
0.07	5	Y	Y	N	Y
	10	Y	Y	N	Y
	20	Y	Y	N	Y
	30	Y	Y	N	Y
	50	Y	Y	N	Y
	100	Y	N	N	Y
	150	Y	N	N	Y
0.1	5	Y	Y	N	Y
	10	Y	Y	N	Y
	20	Y	Y	N	Y
	30	Y	Y	N	Y
	50	Y	Y	N	Y
	100	Y	Y	N	Y
	150	Y	Y	N	Y

หมายเหตุ Y แทน แผนภูมิควบคุมที่มีค่า Type I Error อยู่ในช่วง (0, 0.0037) ซึ่งเป็นช่วงที่ยอมรับได้, N แทน
แผนภูมิควบคุมที่มีค่า Type I Error ไม่อยู่ในช่วง (0, 0.0037) อยู่ในช่วงที่ยอมรับไม่ได้

จากตารางที่ 7 การควบคุมแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้เมื่อสัดส่วนของเสียน้อย (0.01) ขนาดตัวอย่างใหญ่ (150) และเมื่อสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่างเล็กลงเช่นเดียวกับแผนภูมิควบคุมสักระยะ ในทางกลับกันแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์สามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้เมื่อสัดส่วนของเสียน้อย (0.01) ขนาดตัวอย่างเล็ก (5) และเมื่อสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ที่ขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

ส่วนที่ 2 เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม แสดงค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย (ARL) ในแต่ละสถานการณ์ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด

ส่วนใหญ่แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียมากที่สุดในแต่ละกรณีของขนาดตัวอย่างทุกขนาด ในทางกลับกันแผนภูมิควบคุมสักระยะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในกรณีที่สัดส่วนของเสียมากคือ 0.07 และ 0.1 ขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียมากคือ 3.0 และ 4.0 เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นแผนภูมิควบคุมสักระยะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ในกรณีที่สัดส่วนของเสียน้อยลงมา (0.01, 0.03 และ 0.05) และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียต่ำลงด้วย (1.1, 1.3, 1.5, 1.7 และ 2.0) แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.03 ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ($\delta = 4.0$) ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และ 30 ($\delta = 3.0 - 4.0$) สัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.07 ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 150 ($\delta = 4.0$) และสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.1 ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 และ 150 ($\delta = 4.0$) และแผนภูมิควบคุมผลรวมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.1 และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50 ($\delta = 1.1 - 1.3$) ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อสัดส่วนของเสีย
ขนาดตัวอย่าง และขนาดการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเปลี่ยนแปลงไป

n	δ	P_0				
		0.01	0.03	0.05	0.07	0.1
5	1.1	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.3	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.5	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.7	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	2.0	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	3.0	CRL	CRL	CRL	CRL	Synthetic
	4.0	CRL	CRL	CRL	Synthetic	Synthetic
10	1.1	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.3	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.5	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.7	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	2.0	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	3.0	CRL	CRL	CRL	Synthetic	Synthetic
	4.0	CRL	np	Synthetic	Synthetic	Synthetic
20	1.1	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.3	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.5	CRL	CRL	CRL	CRL	Synthetic
	1.7	CRL	CRL	CRL	CRL	Synthetic
	2.0	CRL	CRL	CRL	Synthetic	Synthetic
	3.0	CRL	np	Synthetic	Synthetic	Synthetic
	4.0	CRL	np	Synthetic	Synthetic	Synthetic

ตารางที่ 8 (ต่อ)

n	δ	P ₀				
		0.01	0.03	0.05	0.07	0.1
30	1.1	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.3	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.5	CRL	CRL	CRL	CRL	Synthetic
	1.7	CRL	CRL	CRL	Synthetic	Synthetic
	2.0	CRL	CRL	Synthetic	Synthetic	Synthetic
	3.0	CRL	np	Synthetic	Synthetic	Synthetic
	4.0	CRL	np	Synthetic	Synthetic	Synthetic
50	1.1	CRL	CRL	CRL	CRL	SCRL
	1.3	CRL	CRL	CRL	CRL	SCRL
	1.5	CRL	CRL	CRL	CRL	Synthetic
	1.7	CRL	CRL	CRL	Synthetic	Synthetic
	2.0	CRL	CRL	Synthetic	Synthetic	Synthetic
	3.0	CRL	Synthetic	Synthetic	Synthetic	Synthetic
	4.0	CRL	Synthetic	Synthetic	Synthetic	Synthetic
100	1.1	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.3	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.5	CRL	CRL	CRL	CRL	Synthetic
	1.7	CRL	CRL	CRL	Synthetic	Synthetic
	2.0	CRL	CRL	Synthetic	Synthetic	Synthetic
	3.0	CRL	Synthetic	Synthetic	Synthetic	Synthetic
	4.0	CRL	Synthetic	Synthetic	Synthetic	np,Synthetic
150	1.1	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.3	CRL	CRL	CRL	CRL	CRL
	1.5	CRL	CRL	CRL	CRL	Synthetic
	1.7	CRL	CRL	CRL	Synthetic	Synthetic
	2.0	CRL	CRL	Synthetic	Synthetic	Synthetic
	3.0	Synthetic	Synthetic	Synthetic	Synthetic	Synthetic
	4.0	Synthetic	Synthetic	Synthetic	np,Synthetic	np,Synthetic

ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะขอบเขตควบคุม 3σ ผู้ที่สนใจศึกษาเพิ่มเติมอาจศึกษาขอบเขตควบคุมอื่นๆ เช่น 1.5σ , 2σ หรือ 6σ เป็นต้น
2. ผู้ที่สนใจศึกษาเพิ่มเติม อาจศึกษาเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียชนิดอื่นๆ เช่น Group – Runs Chart และ Unit and Group – Runs Chart เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- พิชิต สุขเจริญพงษ์. 2543. การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม. บริษัทซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- เพ็ญนภา เจริญศิลป์. 2547. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภัทรทิพย์ อินทปุระ. 2545. การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มานพ วราภักดิ์. 2547. การจำลองเบื้องต้น. ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สายชล สันสมบูรณ์ทอง. 2546. ความน่าจะเป็น. โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- สุมิตรา เรื่องพิระกุล. 2543. การควบคุมคุณภาพทางสถิติ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- อดิศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์. 2535. การควบคุมคุณภาพ. ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพฯ, กรุงเทพฯ.
- อินทิพร กิติโสภากุล. 2546. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิพี (p-chart), แผนภูมิคิว (Q-chart) และแผนภูมิจีโอเมตริก (G-chart) ในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสีย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถิติประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- Hogg, R.V., and Craig. 2005. **Introduction to Mathematical Statistics, 6th edition.** Pearson Prentice Hall, The United States of America.

- Juran, J.M. 1998. **Juran's Quality Handbook**. McGraw-Hill, New York.
- Michael B. C. 2004. **A Moving Average Control Chart for Monitoring the Fraction Non-conforming**. Quality and Reliability Engineering International.
- Reynolds, M.R. and Z.G. Stoumbos. 2000. **A general approach to modeling CUSUM charts for a proportion**. IIE Transactions.
- Shewart, W.A. 1980. **Economic Control of Quality of Manufactured Products**. American Society for Quality, The United States of America.
- Wu, Z. and T. A. Spedding. 2001. **A Synthetic Control Chart for Detecting Fraction Nonconforming Increases**. Journal of Quality Technology.
- Wu, Z., Yeo, S.H. and X. Zhang 2001. **Design of the Sum of Conforming Run Length Control Chart**. European Journal of Operational Research.
- Wu, Z. and T. A. Spedding. 1999. **Evaluation of *ATS* for CRL control chart**. Process Control and Quality.

ภาคผนวก

1. ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม

ตารางภาคผนวกที่ 1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1 และ n เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 100 และ 150

P_0	n	np		CRL	SCRL	synthetic	
		LCL _{np}	UCL _{np}	LCL _{CRL}	LCL _{SCRL}	UCL _{np}	LCL _{CRL}
0.01	5	0.00	0.72	1.00	5.00	0.72	4.00
	10	0.00	1.04	2.00	5.00	1.04	25.00
	20	0.00	1.53	3.00	5.00	1.53	4.00
	30	0.00	1.93	5.00	5.00	1.93	2.00
	50	0.00	2.61	7.00	5.00	2.61	3.00
	100	0.00	3.98	14.00	5.00	3.98	2.00
	150	0.00	5.16	21.00	5.00	5.16	5.00
0.03	5	0.00	1.29	1.00	2.00	1.29	12.00
	10	0.00	1.92	1.00	2.00	1.92	2.00
	20	0.00	2.89	1.00	2.00	2.89	3.00
	30	0.00	3.70	3.00	2.00	3.70	3.00
	50	0.00	5.12	3.00	2.00	5.12	5.00
	100	0.00	8.12	5.00	2.00	8.12	5.00
	150	0.00	10.77	7.00	2.00	10.77	3.00
0.05	5	0.00	1.71	1.00	2.00	1.71	4.00
	10	0.00	2.57	1.00	2.00	2.57	4.00
	20	0.00	3.92	1.00	2.00	3.92	3.00
	30	0.00	5.08	1.00	2.00	5.08	6.00
	50	0.00	7.12	2.00	2.00	7.12	5.00
	100	0.00	11.54	3.00	2.00	11.54	3.00
	150	0.00	15.51	4.00	2.00	15.51	3.00

ตารางภาคผนวกที่ 1 ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.01, 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1 และ n เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 100 และ 150 (ต่อ)

P_0	n	np		CRL	SCRL	synthetic	
		LCL_{np}	UCL_{np}	LCL_{CRL}	LCL_{SCRL}	UCL_{np}	LCL_{CRL}
0.07	5	0.00	2.06	1.00	2.00	2.06	25.00
	10	0.00	3.12	1.00	2.00	3.12	10.00
	20	0.00	4.82	1.00	2.00	4.82	3.00
	30	0.00	6.29	1.00	2.00	6.29	5.00
	50	0.00	8.91	1.00	2.00	8.91	3.00
	100	0.00	14.65	2.00	2.00	14.65	3.00
	150	1.13	19.87	3.00	2.00	19.87	3.00
0.1	5	0.00	2.51	1.00	2.00	2.51	7.00
	10	0.00	3.85	1.00	2.00	3.85	3.00
	20	0.00	6.02	1.00	2.00	6.02	8.00
	30	0.00	7.93	1.00	2.00	7.93	3.00
	50	0.00	11.36	1.00	2.00	11.36	4.00
	100	1.00	19.00	1.00	2.00	19.00	3.00
	150	3.98	26.02	1.00	2.00	26.02	4.00

จากตารางภาคผนวกที่ 1 พบว่า ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย จะมีขนาดกว้างมากขึ้น นั่นคือ ระยะห่างระหว่าง UCL และ LCL กว้างมากขึ้นเมื่อ p_0 และ n เพิ่มขึ้น แสดงว่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเสีย (p_0) และขนาดตัวอย่าง (n)

ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ จะพิจารณาจากค่า LCL_{CRL} เท่านั้น เนื่องจากเมื่อเกิดความผิดปกติในกระบวนการผลิตจะทำให้มีผลิตภัณฑ์เสียเกิดขึ้นบ่อยครั้งดังนั้นค่า CRL คำน้อยเท่านั้นที่จะบอกถึงความผิดปกติของกระบวนการผลิตได้ เมื่อ p_0 มีค่าเพิ่มขึ้น LCL_{CRL} มีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อ p_0 มากขึ้น LCL_{CRL} ที่มีค่าต่ำๆเท่านั้นที่จะบอกถึงความผิดปกติของกระบวนการผลิตได้ เมื่อ p_0 คงที่ และ n เพิ่มขึ้น LCL_{CRL} ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ

ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมผลรวมของคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์จะพิจารณาเพียง LCL_{SCRL} เท่านั้นซึ่งใช้หลักการเดียวกับขอบเขตควบคุมของแผนภูมิคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ คือ เมื่อกระบวนการผลิตเกิดความผิดปกติ จะมีผลิตภัณฑ์เสียเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ดังนั้นค่า SCRL คำน้อยเท่านั้นที่จะบอกความผิดปกติของกระบวนการได้ เมื่อ p_0 เพิ่มขึ้น LCL_{SCRL} จะมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อ p_0 มากขึ้น LCL_{SCRL} ที่มีค่าต่ำๆเท่านั้นที่บอกถึงความผิดปกติของกระบวนการผลิตได้และเมื่อ p_0 คงที่ n เพิ่มขึ้น LCL_{SCRL} จะมีค่าคงที่

ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมสักระยะ ประกอบด้วย 2 ขอบเขตควบคุมดังนี้คือ ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย และขอบเขตควบคุมของแผนภูมิคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ ซึ่งในการตรวจสอบครั้งแรกจะใช้แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย และใช้เฉพาะ UCL_{np} เท่านั้น พบว่า UCL_{np} มีค่ามากขึ้นเมื่อ p_0 และ n เพิ่มขึ้น แสดงว่าขอบเขตควบคุมบนของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสียขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเสีย (p_0) และขนาดตัวอย่าง (n) ส่วนในการตรวจสอบครั้งที่สองใช้แผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ และใช้เฉพาะ LCL_{CRL} ของแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์เท่านั้น ซึ่งขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมคอนฟอร์มมิ่งรันเรนจ์ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นจากแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (Q_0) สามารถคำนวณได้จาก $Q_0 = 1 - \sum_{i=0}^{UCL_{np}} \binom{n}{i} p_1^i (1-p_1)^{n-i}$ ถ้า Q_0 ต่ำ จะทำให้ LCL_{CRL} มีค่าสูง ในทางกลับกัน ถ้า Q_0 สูง จะทำให้ LCL_{CRL} มีค่าต่ำ

ตัวอย่างโปรแกรมการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย กรณีกระบวนการผลิตยังอยู่ในการควบคุม

```
Private Sub FuncNpChart()
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim j As Integer
```

```
Dim n As Integer
```

```
Dim P1 As Double
```

```
Dim num As Double
```

```
Dim num1 As Double
```

```
Dim num2 As Double
```

```
Dim num3 As Double
```

```
Dim LCL As Double
```

```
Dim UCL As Double
```

```
Dim nP0 As Double
```

```
num = 0
```

```
List2.Clear
```

```
List3.Clear
```

```
Form2.Show
```

```
Form2.pgbWait.Value = 0
```

```
Form2.pgbWait.Max = Int(txtL.Text)
```

```
ReDim ArrList3(Int(txtL.Text))
```

```
ReDim ArrList2((Int(txtL.Text) * Int(txtN.Text)) + Int(txtL.Text))
```

```
P1 = CDBl(txtP.Text) * CDBl(txtDelta.Text)
```

```
txtP1.Text = CDBl(P1)
```

```

For i = 1 To Int(txtL.Text)
    DoEvents

    num1 = 0

    List2.AddItem "รอบที่" & i
    List2.AddItem " "
    ArrList2(num3) = "รอบที่ " & i
    num3 = num3 + 1

    For j = 1 To Int(txtN.Text)
        If ArrList1(num) <= CDb1(P1) Then
            List2.AddItem ArrList1(num)
            ArrList2(num3) = ArrList1(num)
            num3 = num3 + 1
            num1 = num1 + 1
        End If
        num = num + 1
    Next j

    List3.AddItem num1

    ArrList3(i - 1) = num1

    List2.AddItem " "
    List2.AddItem "***** "
    Form2.pgbWait.Value = i

Next i

```

Unload Form2

$nP0 = (\text{Val}(\text{txtN.Text}) * \text{Val}(\text{txtP.Text}))$

$LCL = nP0 - (3 * \text{Sqr}(nP0 * (1 - \text{Val}(\text{txtP.Text}))))$

$UCL = nP0 + (3 * \text{Sqr}(nP0 * (1 - \text{Val}(\text{txtP.Text}))))$

$\text{txtLCL.Text} = LCL$

$\text{txtUCL.Text} = UCL$

$\text{num2} = 0$

For i = 0 To Int(txtL.Text) - 1

 If ($\text{CDBl}(\text{ArrList3}(i)) < \text{CDBl}(LCL)$) Or ($\text{CDBl}(\text{ArrList3}(i)) > \text{CDBl}(UCL)$) Then

$\text{num2} = \text{num2} + 1$

 End If

Next i

$\text{txtAlpha.Text} = (\text{num2} / \text{CDBl}(\text{txtL.Text}))$

If $\text{txtAlpha.Text} < 0$ Then

$\text{txtArl.Text} = 1 / \text{txtAlpha.Text}$

Else

$\text{txtArl.Text} = 0$

End If

If $\text{CDBl}(\text{txtAlpha.Text}) \geq 0$ And $\text{CDBl}(\text{txtAlpha.Text}) \leq 0.0037$ Then

$\text{cmdPro2.Enabled} = \text{True}$

$\text{txtDelta.Text} = ""$

End If

End Sub

ตัวอย่างโปรแกรมการตรวจจับผลิตภัณฑ์เสียของแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย กรณีกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม

```

Private Sub FuncNpChartPro2()
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim n As Integer
Dim P1 As Double
Dim num As Double
Dim num1 As Double
Dim num2 As Double
Dim num3 As Double
Dim num4 As Double
Dim LCL As Double
Dim UCL As Double
Dim nP0 As Double

If txtDelta.Text = "" Then
    Exit Sub
End If

num = 0
List4.Clear
List5.Clear

Form2.Show
Form2.pgbWait.Value = 0
Form2.pgbWait.Max = Int(txtL.Text)

ReDim ArrList5(Int(txtL.Text))

```

```
ReDim ArrList4((Int(txtL.Text) * Int(txtN.Text)) + Int(txtL.Text))
```

```
num3 = 0
```

```
P1 = Val(txtP.Text) * Val(txtDelta.Text)
```

```
For i = 1 To Int(txtL.Text)
```

```
DoEvents
```

```
    num1 = 0
```

```
    List4.AddItem "รอบที่ " & i
```

```
    List4.AddItem " "
```

```
    ArrList4(num3) = "รอบที่ " & i
```

```
    num3 = num3 + 1
```

```
For j = 1 To Int(txtN.Text)
```

```
    If ArrList1(num) <= CDBl(P1) Then
```

```
        List4.AddItem ArrList1(num)
```

```
        ArrList4(num3) = ArrList1(num)
```

```
        num1 = num1 + 1
```

```
        num3 = num3 + 1
```

```
    End If
```

```
    num = num + 1
```

```
Next j
```

```
List5.AddItem num1
```

```
ArrList5(num4) = num1
```

```
num4 = num4 + 1
```

```
List4.AddItem " "
```

```
List4.AddItem "***** "
```

Form2.pgbWait.Value = i

Next i

Unload Form2

nP0 = (Val(txtN.Text) * Val(txtP.Text))

LCL = nP0 - (3 * Sqr(nP0 * (1 - Val(txtP.Text))))

UCL = nP0 + (3 * Sqr(nP0 * (1 - Val(txtP.Text))))

txtLCL.Text = LCL

txtUCL.Text = UCL

i = 0

num2 = 0

For i = 0 To Int(txtL.Text) - 1

 If (CDBl(ArrList5(i)) < CDBl(LCL)) Or (CDBl(ArrList5(i)) > CDBl(UCL)) Then

 num2 = num2 + 1

 End If

Next i

txtAlpha.Text = (num2 / CDBl(txtL.Text))

If txtAlpha.Text <> 0 Then

 txtArl.Text = 1 / txtAlpha.Text

Else

 txtArl.Text = 0

End If

End Sub

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวพัฒนาวิไล อินไหม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	เกิดวันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2525
สถานที่เกิด	อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนพัทลุง (2544) วท.บ. (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (2548)
ประวัติการทำงาน	บริษัทเอสวีไอ อินนิซิเทีฟส์ (2550) สำนักงานวิจัยเพื่อการพัฒนาหลักประกันสุขภาพไทย (2552)