การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย

นางสาวภัทราทิพย์ อินทปุระ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1655-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON ON FRACTION NONCONFORMING CHARTS

Miss Patratip Intapura

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Statistics

Department of Statistics

Faculty of Commerce and Accountancy

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1655-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย
โดย	นาวสาวภัทราทิพย์ อินทปุระ
สาขาวิชา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัช อภิเมธีธำรง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ศิริพร สาเกทอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระพร วีระถาวร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภัทราทิพย์ อินทปุระ : การเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (A COMPARISON ON FRACTION NONCONFORMING CHARTS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ร.อ. มานพ วราภักดิ์, จำนวน 138 หน้า. ISBN 974-17-1655-9

การวิจัยครั้งนี้ต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย 4 ชนิด คือ แผนภูมิพี แผนภูมิคิว แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine และแผนภูมิพีปรับแก้ เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นหรือกระบวนการผิดปกติ โดยใช้เกณฑ์ควบคุมค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (α) เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ในกรณีที่ควบคุมค่า α ได้จะทำการเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) ของแต่ละแผนภูมิในแต่ละสถานการณ์ ถ้าแผนภูมิใดให้ค่า ARL ต่ำที่สุด จะถือว่าแผนภูมินั้นมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในสถานการณ์นั้นๆ การเปรียบเทียบได้พิจารณาที่ค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1 มีค่าตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.19 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.02 และระดับที่ 2 มีค่าตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.40 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (n) ขึ้นอยู่กับค่า p_0 คือ เมื่อ p_0 = 0.01 ถึง 0.09, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500 และเมื่อ p_0 = 0.11 ถึง 0.40, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 และระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นเมื่อกระบวนการผิดปกติ 10%, 30%, 50%, 70%, และ 100% ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล โดยใช้โปรแกรมภาษาซีสร้างข้อมูลให้มีลักษณะตามขอบเขตการวิจัยที่กำหนด ซึ่งกำหนดให้การหาค่า α ใช้ข้อมูลในการทดลอง 10,000 กลุ่มตัวอย่าง และการหาค่า ARL จะทำการทดลองซ้ำๆ กัน 1,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียสามารถควบคุมค่า α ได้ ดังนี้ แผนภูมิพีเมื่อ $np_0 \geq 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิคิวเมื่อ $np_0 \geq 1.5$ โดยประมาณ แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine เมื่อ $np_0 \leq 0.3$ โดยประมาณ และแผนภูมิพีปรับแก้เมื่อ $np_0 \geq 0.3$ โดยประมาณ

2. การตรวจสอบหากระบวนการผิดปกติ สถานการณ์ที่สัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมต่ำและขนาดของกลุ่มตัวอย่างน้อยหรือ $np_0 \leq 0.3$ โดยประมาณ แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด สถานการณ์ที่สัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมสูงและขนาดของกลุ่มตัวอย่างมากหรือ $np_0 \geq 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิพีให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ในสถานการณ์ที่ $1.5 \leq np_0 < 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิคิวให้ค่า ARL ต่ำที่สุด และในสถานการณ์ที่ $0.3 < np_0 < 1.5$ โดยประมาณ แผนภูมิพีปรับแก้ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

3. ทุกสถานการณ์ที่ค่า p_0 และ n คงที่ เมื่อกระบวนการผิดปกติ หรือระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น ค่า ARL จะลดลงเรื่อยๆ

ภาควิชา สถิติ ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา สถิติ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2545

4282345326: MAJOR STATISTICS
KEY WORD: CONTROL CHART / FRACTION NONCONFORMING/BINOMIAL / ARL
PATRATIP INTAPURA: A COMPARISON ON FRACTION NONCONFORMING CHARTS. THESIS ADVISOR: ASST.PROF.CAPT. MANOP VARAPHAKDI. 138 pp. ISBN 974-17-1655-9

The objective of this study is to compare the efficiency of fraction nonconforming charts: p-Chart, Q Chart, Arcsine Chart, and Modified Limits p-Chart. The consideration towards this study is to control their probability incorrect type 1 (α) for usual process. If α is not greater than specified level 0.0036, then average run lengths (ARL) of each chart has to be compared towards each situation. The fraction nonconforming chart having shortest (lowest) ARL is considered to be the best. There are two levels of standard fraction nonconforming (p_0): range from 0.01 to 0.19 increasing by 0.02, and range from 0.25 to 0.40 increasing by 0.05. Sample size (n) related with p_0. 1) If p_0 = 0.01 to 0.09, then n ranges from 5 to 50 increasing by 5, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, and 2) If p_0 = 0.11 to 0.40, then n ranges from 5 to 50 increasing by 5. Shift of fraction nonconforming (unusual process) increasing by 10%, 30%, 50%, 70%, and 100%, respectively. The data are generated through the Monte Carlo simulation technique by C language program. Under each situation, α was found by the experiment of 10,000 sample groups, and ARL repeated 1,000 times to fine ARL.

The conclusions of this study are as follows:

1. In case of usual process. Fraction nonconforming charts can control α, if estimated np_0 is equal to or greater than 4.5 ($np_0 \geq 4.5$) for p-Chart; estimated np_0 is equal to or greater than 1.5 ($np_0 \geq 1.5$) for Q Chart; estimated np_0 is equal to or less than 0.3 ($np_0 \leq 0.3$) for Arcsine chart; and estimated np_0 is equal to or greater than 1.5 ($np_0 \geq 0.03$) for Modified Limits p-Chart

2. In case of unusual process. If standard fraction nonconforming and sample sizes are low or estimated np_0 is equal to or less than 1.5 ($np_0 \leq 0.3$), then Arcsine Chart gives shortest ARL. If standard fraction nonconforming and sample sizes are high or estimated np_0 is equal to or greater than 4.5 ($np_0 \geq 4.5$), then p-Chart gives shortest ARL. If estimated np_0 is equal to or greater than 1.5 and less than 4.5 ($1.5 \leq np_0 < 4.5$), then Q-Chart gives shortest ARL. If estimated np_0 is greater than 0.3 and less than 1.5 ($0.3 < np_0 < 1.5$), then Modified Limits p-Chart gives shortest ARL.

3. Under unusual process, if p_0 and n are fixed and shift of standard faction nonconforming increases, and then ARL decreases.

Department Statistics Student's signature _____

Field of study Statistics Advisor's signature _____

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ศิริพร สาเกทอง รองศาสตราจารย์ มัลลิกา บุนนาค และรองศาสตราจารย์ ดร. ธีระพร วีระถาวร ในฐานะประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ช่วยตรวจ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาสถิติที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้ทำวิจัยจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร ที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ด้านสถิติในระดับปริญญาตรี

ผู้เขียนขอขอบคุณ บรรณารักษ์ห้องสมุด คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี บรรณารักษ์ห้องสมุด หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ บรรณารักษ์ห้องสมุด สถาบันเทคโนโยลีแห่งเอเชีย (AIT) ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการค้นคว้าข้อมูลและเนื้อหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย

ผู้เขียนขอขอบพระคุณพี่ๆ น้องๆ ของผู้เขียนที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือด้วยดีโดยตลอด ขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้องทุกๆ คนที่เป็นกำลังใจ

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้เป็นกำลังใจและส่งเสริมสนับสนุนด้านการเรียนด้วยดีมาโดยตลอด

ภัทราทิพย์ อินทปุระ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ .....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูป .....ญ

บทที่

1. บทนำ.....1
    1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....1
    1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5
    1.3 สมมติฐานของการวิจัย 6
    1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....6
    1.5 เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย.....7
    1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 8
    1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9
2. สถิติที่ใช้ในการวิจัย 10
    2.1 การแจกแจงแบร์นูลลี (Bernoulli Distribution).....10
    2.2 การแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution).....11
    2.3 ทฤษฎีบทลิมิตลู่เข้าสู่ส่วนกลาง (Central Limit Theorem) 12
    2.4 ขอบเขตสำหรับสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพ.....13
        2.4.1 แผนภูมิพี (p-Chart) 14
        2.4.2 แผนภูมิคิว (Q-Chart).....14
        2.4.3 แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (Arcsine Chart).....15
        2.4.4 แผนภูมิพีปรับแก้ (Modified Limits p-Chart) 16
    2.5 ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1.....17
    2.6 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL : Average Run Length).....18

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3. วิธีดำเนินการวิจัย 20
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย 20
3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 21
3.3 สร้างข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย 21
3.3.1 การสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอ 22
3.3.2 การสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินาม 23
3.4 การคำนวณค่าขอบเขตควบคุมสัดส่วนของเสีย 23
3.5 การคำนวณค่าตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบขอบเขตควบคุม 24
3.6 การคำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 25
3.7 การคำนวณค่าความยาววิ่งเฉลี่ย : ARL 26
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 27
4.1 ขอบเขตของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย 28
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 41
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL ในกรณีที่กระบวนการผิดปกติ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย 57
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 76
5.1 สรุปผลการวิจัย 77
5.1.1 ความสามารถในการค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 77
5.1.2 การเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งเฉลี่ย 78
5.2 ข้อเสนอแนะ 80
5.2.1 ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ 80
5.2.2 ด้านการศึกษาวิจัย 80
รายการอ้างอิง 82
ภาคผนวก 83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 138

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1.1 ขอบเขตการควบคุม โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n 28

4.1.2 ค่า UCL ของแผนภูมิพี และแผนภูมิพีปรับแก้ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n 36

4.2.1 แสดงค่า α โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n 46

4.2.2 แสดงวิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ให้ค่า α ไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n 56

4.3.1 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.1$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n 58

4.3.2 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.3$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n 106

4.3.3 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.5$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n 114

4.3.4 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.7$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n 122

4.3.5 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 2.0$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n 130

4.3.6 แสดงวิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ให้ค่า α ไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และให้ค่า ARL ต่ำที่สุด โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n 75

5.1 แสดงแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n 79

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

4-1-1 แสดงแผนภูมิควบคุมพี LCL = 0, UCL = 0.1044 สถานการณ์ที่ 1 p_0 = 0.01, n = 10 ...42
4-1-2 แสดงแผนภูมิควบคุมคิว LCL = -3, UCL = 3 สถานการณ์ที่ 1 p_0 = 0.01, n = 10 42
4-1-3 แสดงแผนภูมิควบคุมที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine LCL = -0.4643,
UCL = 0.4843 สถานการณ์ที่ 1 p0 = 0.01, n = 10 42
4-1-4 แสดงแผนภูมิควบคุมพีปรับแก้ LCL = 0.0406, UCL = 0.2194 สถานการณ์ที่ 1
p_0 = 0.01, n = 10 43
4-2-1 แสดงแผนภูมิควบคุมพี LCL = 0, UCL = 0.2273 สถานการณ์ที่ 2 p_0 = 0.10, n = 50 ...43
4-2-2 แสดงแผนภูมิควบคุมคิว LCL = -3, UCL = 3 สถานการณ์ที่ 2 p_0 = 0.10, n = 50 43
4-2-3 แสดงแผนภูมิควบคุมที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine LCL = -0.1120,
UCL = 0.3123 สถานการณ์ที่ 2 p_0 = 0.10, n = 50.....44
4-2-4 แสดงแผนภูมิควบคุมพีปรับแก้ LCL = 0, UCL = 0.2503 สถานการณ์ที่ 2
p_0 = 0.10, n = 50 44
4-3-1 แสดงแผนภูมิควบคุมพี LCL = 0, UCL = 0.4400 สถานการณ์ที่ 3 p_0 = 0.20, n = 25 ...44
4-3-2 แสดงแผนภูมิควบคุมคิว LCL = -3, UCL = 3 สถานการณ์ที่ 3 p_0 = 0.20, n = 25 45
4-3-3 แสดงแผนภูมิควบคุมที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine LCL = -0.0987,
UCL = 0.5013 สถานการณ์ที่ 3 p_0 = 0.20, n = 25.....45
4-3-4 แสดงแผนภูมิควบคุมพีปรับแก้ LCL = 0.0100, UCL = 0.4860 สถานการณ์ที่ 3
p_0 = 0.20, n = 25 45
4-4-1 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.01 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....66
4-4-2 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.03 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....67
4-4-3 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.05 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....67
4-4-4 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.07 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....68
4-4-5 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.09 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....68
4-4-6 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.11 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....69
4-4-7 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.13 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....69
4-4-8 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.15 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....70
4-4-9 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.17 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-4-10 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.19 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....71
4-4-11 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.25 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....71
4-4-12 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.30 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....72
4-4-13 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.35 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....72
4-4-14 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.40 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n.....73

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในวงการอุตสาหกรรมมีกระบวนการผลิตและการบริหารที่ต้องมีการควบคุมคุณภาพของสินค้าและบริการให้ได้มาตรฐาน เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือต่อผู้อุปโภคบริโภค ทำให้ได้ผลิตผลที่ดีขึ้น ซึ่งช่วยให้วงการอุตสาหกรรมมีความเจริญก้าวหน้า และพัฒนาเศรษฐกิจโดยรวม

การใช้วิธีการควบคุมคุณภาพให้เหมาะสมเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ และการดำเนินงานได้มาตรฐาน เพื่อคงสภาพที่ดีของกระบวนการให้อยู่ในความควบคุม โดยผู้ที่ริเริ่มคิดค้นวิธีการควบคุมคุณภาพคือ ชิวฮาร์ท[1] ในปีค.ศ. 1924 (W. A. Shewhart 1924) ได้คิดค้นวิธีการตรวจวัดด้วยแผนภูมิควบคุมคุณภาพซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การตรวจวัดด้วยตัวแปร (variable) และการตรวจวัดด้วยคุณลักษณะ (attribute) ซึ่งการตรวจวัดด้วยคุณลักษณะนั้นเป็นวิธีการตรวจวัดที่นำมาใช้มาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์บางชนิดไม่สามารถทำการวัดค่าตัวแปรเพื่อเป็นเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพได้ ดังนั้นสำหรับการศึกษาครั้งนี้จึงสนใจการตรวจวัดด้วยคุณลักษณะ

การตรวจวัดตัวแปรด้วยแผนภูมิมีแผนภูมิที่รู้จักกันทั่วไป คือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$-Chart) แผนภูมิควบคุมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S-Chart) และแผนภูมิควบคุมพิสัย (R-Chart) ใช้ตรวจสอบลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สามารถวัดค่าได้ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดประเภทนี้จัดเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (quantitative data) เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนัก ปริมาตร ฯลฯ

การตรวจวัดด้วยคุณลักษณะมีแผนภูมิที่รู้จักกันทั่วไป คือ แผนภูมิควบคุมสัดส่วน (p-Chart) เช่นสัดส่วนของเสีย แผนภูมิควบคุมจำนวน (np-Chart) เช่นจำนวนของเสีย ซึ่งสามารถอธิบายด้วยการแจกแจงทวินาม (Binomial distribution) หรือแผนภูมิควบคุมจำนวนข้อบกพร่องหรือตำหนิ (c-chart) ซึ่งสามารถอธิบายด้วยการแจกแจงปัวร์ซง (Poisson distribution) เพื่อใช้ตรวจสอบกระบวนการว่าอยู่ในการควบคุมโดยสอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดประเภทนี้จัดเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (qualitative data) เช่น ผลิตภัณฑ์มีลักษณะ เสีย ไม่เสีย หรือ ผ่าน ไม่ผ่าน หรือ ใช้การได้ ใช้การไม่ได้ สำหรับการศึกษาครั้งนี้สนใจแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย

---

[1] Acheson, J., D. 1986. QUALITY CONTROL AND INDUSTRIAL STATISTICS. 5th ed. p. 1. Homewood, Illinois: IRWIN และ Douglas, C. Montgomery. 1997. INTRODUCTION TO STATISTICAL QUALITY CONTROL. 3rd ed. p. 9. John Wiley & Sons, Inc.

แผนภูมิควบคุมคุณภาพที่ดีจะต้องสามารถแยกความผันแปรของกระบวนการผลิตออกจากกันได้ว่ากระบวนการผลิตเกิดความบกพร่องควรต้องทำการตรวจสอบแก้ไข และเมื่อใดจะปล่อยให้กระบวนการผลิตดำเนินต่อไปได้ เพื่อที่จะสามารถแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างทันท่วงที สามารถลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง

สัดส่วนที่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้ หมายถึง “สัดส่วนของเสีย” เพื่อความสะดวกในการอธิบายคุณลักษณะที่ตรวจสอบ โดยพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบมีลักษณะ เสีย หรือไม่เสีย

แผนภูมิควบคุมคุณภาพสัดส่วนของเสีย จะอธิบายด้วยการแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution) ซึ่งมาจากการแจกแจงแบร์นูลลี (Bernoulli Distribution) มีลักษณะดังนี้

ให้ Y_i แทนผลการตรวจสอบลักษณะของผลิตภัณฑ์หน่วยที่ i

และ p คือพารามิเตอร์แทนค่าสัดส่วนของเสีย

n คือขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ

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

ดังนั้น Y_i จะมีการแจกแจงแบร์นูลลี

โดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นคือ

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

จำนวนของเสียคือ $\sum_{i=1}^{n} Y_i$ และสมมติ $Y_1, Y_2, \ldots, Y_n$ เป็นอิสระกัน

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

โดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นคือ

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

เมื่อ X คือจำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่างขนาด n

X มีค่าเฉลี่ย (Average) np และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) $\sqrt{np(1-p)}$

และสัดส่วนของเสียตัวอย่าง $\bar{X} = \frac{X}{n}$ มีค่าเฉลี่ย p มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่นิยมใช้กันมากแผนภูมิหนึ่งคือ แผนภูมิพี (p-Chart) ด้วยขอบเขต $p \pm 3\sqrt{\frac{p(1-P)}{n}}$ ซึ่งแผนภูมินี้จัดอยู่ในกลุ่มแผนภูมิควบคุม Shewhart เป็นการใช้คุณสมบัติการประมาณด้วยการแจกแจงปกติ สร้างขอบเขตควบคุม $\mu \pm 3\sigma$ โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยของกระบวนการ และ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ โดยขอบเขตดังกล่าวมีโอกาสที่จุดตกออกนอกขอบเขตควบคุมร้อยละ 0.27 เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม การประมาณการแจกแจงทวินามด้วยการแจกแจงปกตินี้ใช้ได้ดีด้วยเงื่อนไข np > 5 ซึ่งได้กล่าวไว้โดย แอชซีสัน[2] (Acheson, J., D. 1986.)

ต่อมาได้มีผู้คิดค้นพัฒนาแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียอีกมากมาย ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการ และมีความผิดพลาดของการตรวจสอบน้อย เช่น แผนภูมิ CUSUM (Cumulative Sum Control Chart) แผนภูมิ EWMA (Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) แผนภูมิความยาววิ่งแบบที่ 1 (RL_1-Chart) แผนภูมิความยาววิ่งแบบที่ 2 (RL_2-Chart) แผนภูมิควบคุมความยาววิ่งไม่เอนเอียง (ARL-unbiased Chart) และแผนภูมิที่ใช้ขอบเขตบนพื้นฐานการถดถอย (Regression-Based Limit Chart)

ปี ค.ศ.1989 โทมัส (Thomas, P., R. 1989) และ ปี ค.ศ. 1999 อครอสทา ไมจา (Acosta-Mejia, C., A. 1999) ได้เสนอแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียซึ่งได้จากการปรับปรุงขอบเขตควบคุมของแผนภูมิพีเรียกว่า “แผนภูมิพีปรับแก้” (Modified Limits p-Chart) เพื่อให้มีขอบเขตควบคุมที่เหมาะสมขึ้น เมื่ออยู่บนพื้นฐานของจำนวนร้อยละ 99.73 ที่ข้อมูลตกในช่วง $\mu \pm 3\sigma$ และมีร้อยละ 0.27 ที่ตกออกนอกขอบเขตของการยอมรับเหมือนแผนภูมิพีเดิม ทำให้ได้ผลการตรวจสอบคุณภาพในทางปฏิบัติมีความผิดพลาดลดลง ลดความเสียหายในการหยุดกระบวนการผลิตเพื่อแก้ไขกระบวนการให้เข้าสู่สภาวะปกติโดยไม่จำเป็น และช่วยลดขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่จำเป็นลงเมื่อสัดส่วนของเสียมีค่าต่ำ (จากข้อจำกัดของแผนภูมิพีสามารถตรวจสอบกระบวนการได้เมื่อ np > 5)

ปี ค.ศ. 1997 โทมัส และ ชเวิร์ทแมน (Thomas P. Ryan & N. C. Schwertman. 1997) ได้เสนอการศึกษาขอบเขตที่เหมาะสมสำหรับแผนภูมิควบคุมคุณลักษณะ จากการแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (Arcsine Transform) คือ

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

โดยที่ x คือจำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่างขนาด n

ดังนั้น y คือค่าที่ได้จากการแปลงข้อมูลด้วย Arcsine เพื่อนำมาตรวจสอบกับขอบเขตควบคุมคุณภาพ

---

[2] Acheson, J., D. 1986. QUALITY CONTROL AND INDUSTRIAL STATISTICS. 5th ed. p. 452. Homewood, Illinois: IRWIN

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกับแผนภูมิคิว (Q Chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงทวินามเพื่อหาค่าปกติมาตรฐานของการแจกแจงปกติหรือค่า Z และนำค่า Z ที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพเปรียบเทียบกับแผนภูมิพี โดยการศึกษาของ โทมัส และ ชเวิร์ทแมน ในครั้งนี้ทำการทดลองเมื่อสัดส่วนของเสียมีค่าตั้งแต่ 0.005 ถึง 0.10 เฉพาะที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย (δ) เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากสัดส่วนของเสียเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม 25% (สัดส่วนของเสียลดลง เมื่อ $\delta = 0.75$ และสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น เมื่อ $\delta = 1.25$) สรุปได้ว่า การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine และแผนภูมิคิวให้ผลการตรวจสอบกระบวนการดีกว่าแผนภูมิพี แต่ด้วยความยุ่งยากในการแปลงข้อมูลด้วย Arcsine ทำให้แผนภูมิคิวเป็นที่น่าสนใจในทางปฏิบัติมากกว่า

ปี ค.ศ. 1969 จอนห์สัน และ คอทส (Johnson, N., L. And S., Kotz. 1969) และ ปี ค.ศ. 2000 โทมัส (Thomas, P., R. 2000) ได้เสนอการแปลงข้อมูลที่น่าสนใจเพิ่มเติมด้วย

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

ซึ่งเป็นการแปลงข้อมูลที่ให้ผลในการตรวจสอบกระบวนการได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Arcsine อื่นๆ เช่น $y = \sin^{-1}\sqrt{\frac{x}{n+1}} + \sin^{-1}\sqrt{\frac{(x+1)}{(n+1)}}$, $y = \frac{1}{2}\left(\sin^{-1}\sqrt{\frac{x}{n+1}} + \sin^{-1}\sqrt{\frac{(x+1)}{(n+1)}}\right)$ หรือ $y = \sin^{-1}\sqrt{p} = \sin^{-1}\sqrt{\frac{x}{n}}$ และโทมัส[3] ได้กล่าวไว้ด้วยว่าแผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine นี้จะช่วยให้ข้อมูลที่มีการแจงแจงแบบทวินามลู่เข้าสู่การแจกแจงปกติ ช่วยลดขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่จำเป็นลง

แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียมีหลายประเภทให้พิจารณาเลือกใช้ เพื่อให้เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์ ซึ่งความสามารถในการตรวจพบกระบวนการผิดปกติของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเสีย (p) ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (n) และระดับการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสีย (δ) ในการศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดสถานการณ์ต่างๆ ขึ้นเพื่อตรวจสอบความสามารถในการตรวจพบกระบวนการผิดปกติ โดยแผนภูมิที่สนใจนำมาศึกษาในที่นี้คือ แผนภูมิพี (p-Chart) แผนภูมิคิว (Q Chart) แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (Arcsine Chart) และแผนภูมิพีปรับแก้ (Modified Limits p-Chart)

---

[3] Thomas P., Ryan. 2000. STATISTICAL METHODS FOR QUALITY IMPROVEMENT: 2nd ed, pp.158-162. John Wiley, New York, NY.

เนื่องจากแผนภูมิพีเป็นแผนภูมิที่ง่ายในการนำไปใช้ แผนภูมิคิวเป็นแผนภูมิที่คำนวณจากความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงทวินามจริง ความผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณควรมีค่าต่ำ แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine ทำให้ข้อมูลที่มีลักษณะการแจกแจงใดๆ มีลักษณะเข้าสู่การแจกแจงปกติ ผลที่ได้น่าจะมีความน่าเชื่อถือได้มากขึ้นเมื่อข้อมูลไม่เป็นการแจกแจงปกติ ส่วนแผนภูมิพีปรับแก้เป็นแผนภูมิที่ถูกพัฒนาให้ใช้ง่าย และมีความเหมาะสมในการตรวจสอบคุณภาพมากขึ้น ซึ่งยังไม่มีผู้ใดทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบคุณภาพเมื่อกระบวนการผิดปกติของแผนภูมิดังกล่าวร่วมกัน ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจว่าแผนภูมิใดให้ผลในการตรวจสอบได้ดีกว่ากันในสถานการณ์ต่างๆ โดยการวิจัยครั้งนี้สนใจความสามารถในการตรวจสอบกระบวนการผิดปกติของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียในกรณีที่สัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นจากปกติเท่านั้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนของเสีย มีผลให้จำนวนของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดความเสียหายให้แก่กระบวนการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาเพื่อวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจพบกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย 4 ชนิด ดังนี้

   (1) แผนภูมิพี (p-Chart)

   (2) แผนภูมิคิว (Q Chart)

   (3) แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (Arcsine Chart)

   (4) แผนภูมิพีปรับแก้ (Modified Limits p-Chart)

ในสถานการณ์ที่สัดส่วนของเสีย (p) มีขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ เมื่อขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (n) เปลี่ยนแปลงไป และระดับการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสีย (δ) มีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่

2. เพื่อหาข้อสรุปและสามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียได้เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาด้วยสมมติฐานของการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. แผนภูมิคิว แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine และแผนภูมิพีปรับแก้ มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียได้เร็วกว่าแผนภูมิพี เมื่อผลคูณของสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) และขนาดกลุ่มตัวอย่าง (n) มีค่าน้อยกว่า 5

2. แผนภูมิพีมีประสิทธิภาพในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของของเสียได้เร็วที่สุด เมื่อผลคูณของสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) และขนาดกลุ่มตัวอย่าง (n) มีค่าตั้งแต่ 5 ขึ้นไป

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาภายใต้ขอบเขต ดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้จากการจำลองจากการแจกแจงทวินาม $b(n, \delta p_0)$ โดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็น

$$f(x; n, p_1) = \binom{n}{x}(p_1)^x(1-p_1)^{n-x} \quad x = 0, 1, 2, \ldots, n$$

$$= 0 \qquad \text{อื่นๆ}$$

ให้ $p_1 = \delta p_0$, $0 \le \delta p_0 \le 1$ และ $\delta > 0$

โดยที่ x คือ จำนวนของเสียจากตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ

n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ

δ คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสีย

p_0 คือ สัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม

p_1 คือ สัดส่วนของเสียที่เปลี่ยนแปลง หรือผิดปกติจากมาตรฐาน โดยที่ $p_1 = \delta p_0$ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม $\delta = 1$ แสดงว่าสัดส่วนของเสียไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อกระบวนการผิดปกติ $\delta \neq 1$ นั่นคือ ถ้า $0 < \delta < 1$ แสดงว่าสัดส่วนของเสียลดลง และถ้า $\delta > 1$ แสดงว่าสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้สนใจกรณีที่สัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นเท่านั้น

2. กำหนดสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมตั้งแต่ p_0 เป็น 2 ระดับ คือ

- ระดับที่ 1 มีค่าตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.19 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.02
- ระดับที่ 2 มีค่าตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.40 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05

3. กำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย δ = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0 (สำหรับกระบวนการที่อยู่ในการควบคุม δ = 1.0)

4. กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง n ตามค่า p_0 ดังนี้

- เมื่อ p_0 = 0.01 ถึง 0.09, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500
- เมื่อ p_0 = 0.11 ถึง 0.40, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

5. การวิจัยครั้งนี้ทำการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo Technique) โดยสร้างโปรแกรมภาษาซี (C Language Program) และกำหนดจำนวนกระทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์ 1,000 ครั้ง

1.5 เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย

การวิจัยครั้งนี้ใช้ค่าในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียดังนี้

1. ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) หมายถึง ค่าประมาณความน่าจะเป็นที่เกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม แต่ความเป็นจริงกระบวนการยังคงอยู่ภายใต้การควบคุม แทนด้วย $\hat{\alpha}$ = P(ค่าตัวอย่าง < ขอบเขตล่างของแผนภูมิควบคุม (LCL) หรือ ค่าตัวอย่าง > ขอบเขตบนของแผนภูมิควบคุม (UCL) | กระบวนการอยู่ในการควบคุม) กำหนดให้

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

โดยที่ h คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ในที่นี้กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่าง h = 10,000 กลุ่ม

d_t คือ ลักษณะของค่าวัดกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ t ในการทดลอง เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

เมื่อ $d_t = \begin{cases} 0 \text{ แทนค่าวัดกลุ่มตัวอย่างที่ตกอยู่ในขอบเขตควบคุมในครั้งที่ t} \\ 1 \text{ แทนค่าวัดกลุ่มตัวอย่างที่ตกออกนอกขอบเขตควบคุมในครั้งที่ t} \end{cases}$

t คือ ครั้งที่นำกลุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบ โดยที่ t = 1, 2, 3, … , h

ในที่นี้กำหนดจำนวนครั้งของการทดลองเป็น 10,000 ครั้ง เนื่องจากค่า $\hat{\alpha}$ ที่คำนวณได้มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นจึงทำการทดลองด้วยจำนวนครั้งที่มาก เพื่อช่วยให้ผลการทดลองที่ได้มีความแม่นยำสูง

2. ความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL : Average Run Length) คือ จำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการผิดปกติ ในที่นี้จะหาค่า ARL เฉพาะกรณีที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น $(\delta > 1)$ กำหนดให้

$$ARL = \frac{1}{k}\sum_{T=1}^{k} RL_T$$

โดยที่ k คือ จำนวนครั้งของการทดลองในแต่ละสถานการณ์ เพื่อหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย ในกรณีที่ $\delta > 1$ หรือกระบวนการผิดปกติ ในที่นี้กำหนดจำนวนครั้งของการทดลอง k = 1,000 ครั้ง

RL_T คือ จำนวนตัวอย่างที่ต้องตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการออกนอกการควบคุมในการทดลองครั้งที่ T

ในขั้นตอนนี้จะทำการพิจารณาเฉพาะแผนภูมิควบคุมที่ผ่านการตรวจสอบว่าสามารถควบคุมค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้เท่านั้น

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. ขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL) คือ ค่าสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการยังคงอยู่ในการควบคุม

2. ขอบเขตควบคุมล่าง (Lower Control Limit : LCL) คือ ค่าต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ว่ากระบวนการยังคงอยู่ในการควบคุม

3. ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (α) คือ ความน่าจะเป็นที่เกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม แต่ความเป็นจริงกระบวนการยังคงอยู่ภายใต้การควบคุม

4. จำนวนความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (Average Run-Length : ARL) คือ จำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบกระบวนการผิดปกติ

5. การคำนวณค่าวัดกลุ่มตัวอย่างสำหรับแต่ละแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ได้จากจำนวนของเสียซึ่งเป็นตัวแปรสุ่ม X_t จากกลุ่มตัวอย่างขนาด n ในกลุ่มที่ t ซึ่งมีการแจกแจงทวินาม ดังนั้นคำว่า “กลุ่มตัวอย่าง” ในการวิจัยครั้งนี้จึงหมายถึงคำใดคำหนึ่งต่อไปนี้ ตามการใช้แผนภูมิ

- ค่าสัดส่วนของเสีย (p_t) ที่ได้จากตัวแปรสุ่ม X_t และกลุ่มตัวอย่างขนาด n ในกลุ่มที่ t สำหรับแผนภูมิพี และแผนภูมิพีปรับแก้

- ค่าความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงปกติ (Q_t) ที่ให้พื้นที่ความน่าจะเป็นสะสมเท่ากับความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงทวินามที่ได้จากค่า X_t และกลุ่มตัวอย่างขนาด n ในกลุ่มที่ t สำหรับแผนภูมิคิว
- ค่า y_t ที่ได้จากการแปลงค่าตัวแปรสุ่ม X_t และกลุ่มตัวอย่างขนาด n ในกลุ่มที่ t ด้วยฟังก์ชัน Arcsine ที่กำหนด สำหรับแผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้คือ

1. เพื่อทราบประสิทธิภาพของแต่ละแผนภูมิ ในสถานการณ์ต่างๆ
2. เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจ เลือกใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียได้อย่างเหมาะสม โดยมีขีดความสามารถสูงในการตรวจพบกระบวนการผิดปกติ และเกิดความผิดพลาดน้อย ในแต่ละสถานการณ์
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการได้อย่างรวดเร็วและมีความผิดพลาดน้อยต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

การควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี สำหรับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบในการวิจัยครั้งนี้คือ แผนภูมิพี แผนภูมิคิว แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine และแผนภูมิพีปรับแก้ ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย และแผนควบคุมสัดส่วนของเสียแต่ละแผนภูมิ ดังต่อไปนี้

เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างแบบไม่คืนที่ขนาด n จากกระบวนการผลิต เพื่อนับจำนวนผลสำเร็จหรือจำนวนของเสีย แทนด้วยตัวแปรสุ่ม X จำนวนของเสียที่ได้จะมีการแจกแจงทวินาม โดยผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้น แทนด้วยตัวแปรสุ่ม Y_i มีการแจกแจงแบร์นูลลี

2.1 **การแจกแจงแบร์นูลลี** (Bernoulli Distribution)

ผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นมีการแจกแจงเบอร์นูลลีด้วยลักษณะดังนี้

ให้ Y_i แทนผลการตรวจสอบลักษณะของผลิตภัณฑ์หน่วยที่ i

และ p คือพารามิเตอร์แทนค่าสัดส่วนของเสีย

n คือขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ

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

ดังนั้น Y_i จะมีการแจกแจงแบร์นูลลี

โดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นคือ

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

จำนวนของเสียคือ $\sum_{i=1}^{n} Y_i$ และสมมติ $Y_1, Y_2, \ldots, Y_n$ เป็นอิสระกัน

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

โดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นคือ

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

เมื่อ X คือจำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่างขนาด n

และ Y_i มีค่าเฉลี่ย (E(Y)) และความแปรปรวน (V(Y)) ดังนี้

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

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

2.2 **การแจกแจงทวินาม** (Binomial Distribution)

จำนวนของเสียมีการแจกแจงทวินามด้วยลักษณะดังนี้

ให้ X คือจำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่างขนาด n

n คือขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ

p คือพารามิเตอร์แทนค่าสัดส่วนของเสีย

ดังนั้นจำนวนของเสียคือ $X = \sum_{i=1}^{n} Y_i$, $i = 1,2,3,..., n$ มีการแจกแจงทวินาม b(n, p) จากหัวข้อ 2.1 ดังนั้น X จะมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นคือ

$$\begin{aligned} f(x; n, p) = P(X = x) &= \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad , x = 0, 1, 2, \ldots, n \\ &= 0 \qquad\qquad\qquad\qquad , \text{อื่นๆ} \end{aligned} \tag{2.1}$$

และ X มีค่าเฉลี่ย (E(X)) และความแปรปรวน (V(X)) ดังนี้

$$\begin{aligned} \mu = E(X) &= \sum_x xf(x) \\ &= \sum_{x=0}^{n} x\binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \\ &= np\sum_{x=1}^{n} \frac{(n-1)!}{(n-x)!\,(x-1)!} p^{x-1}(1-p)^{n-x} \\ &= np\sum_{x=1}^{n} \binom{n-1}{x-1} p^{x-1}(1-p)^{(n-1)-(x-1)} \\ &= np\sum_{k=0}^{n-1} \binom{n-1}{k} p^k (1-p)^{(n-1)-k} \quad , k = x-1 \\ &= np\left[(1-p)+p\right]^{n-1} \qquad \text{โดยใช้ทฤษฎีบททวินาม*} \\ &= np \end{aligned}$$

---

* ทฤษฎีบททวินาม

$$(a+b)^n = \binom{n}{0} a^n b^0 + \binom{n}{1} a^{n-1} b^1 + \binom{n}{2} a^{n-2} b^2 + K + \binom{n}{n} a^0 b^n = \sum_{x=0}^{n} \binom{n}{x} a^{n-x} b^x$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$
\begin{aligned}
E(X^2) &= \sum_x x^2 f(x) \\
&= \sum_{x=0}^{n} x^2 \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \\
&= np \sum_{x=1}^{n} x \frac{(n-1)!}{(n-x)!\,(x-1)!} p^{x-1} (1-p)^{n-x} \\
&= np \sum_{x=1}^{n} x \binom{n-1}{x-1} p^{x-1} (1-p)^{(n-1)-(x-1)} \\
&= np \left\{ \left[(1-p) + p \right]^{n-1} + (n-1)p\left[(1-p) + p \right]^{n-2} \right\} \quad \text{โดยใช้ทฤษฎีบททวินาม} \\
&= np\left\{ 1 + (n-1)p(1) \right\} \\
&= np(1 + np - p) = np + n^2p^2 - np^2 \\
\sigma^2 = V(X) &= E(X^2) - [E(X)]^2 \\
&= np + n^2p^2 - np^2 - n^2p^2 \\
&= np - np^2 = np(1-p)
\end{aligned}
$$

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

2.3 **ทฤษฎีบทลิมิตลู่เข้าสู่ส่วนกลาง** (Central Limit Theorem)

เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่จากประชากรที่มีการแจกแจงแบบใดๆ ก็ตามที่มีความแปรปรวนจำกัด ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจะมีการแจกแจงลู่เข้าสู่การแจกแจงปกติ นั่นคือ

ถ้า $\overline{X}$ คือค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสุ่ม X_1, X_2, K, X_n จากการแจกแจงที่มีค่าเฉลี่ย μ และมีค่าความแปรปรวน $\sigma^2 < \infty$ ดังนั้น เมื่อ $n \to \infty$ ได้ว่า

$$\overline{X} \sim \text{normal}\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right) \qquad \textbf{(โดยประมาณ)}$$

หรือ $$Z = \frac{\overline{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \sim \text{normal}(0,1) \qquad \textbf{(โดยประมาณ)}$$

โดยที่ μ **คือ ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง** $\overline{X}$

$\frac{\sigma^2}{n}$ คือ ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง $\overline{X}$

ให้ Xi คือจำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่างขนาด n กลุ่มที่ i ดังนั้น $\overline{p} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \hat{p}_i$ คือค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสุ่ม $\hat{p}_1, \hat{p}_2, \hat{p}_3, K, \hat{p}_m$ โดยที่ $\hat{p}_i = \frac{X_i}{n}$ คือค่าสัดส่วนของเสีย ของกลุ่มตัวอย่างที่ i เพราะฉะนั้นโดยทฤษฎีบทลิมิตลู่เข้าสู่ส่วนกลาง จะได้ว่า $\overline{p} \sim \text{normal}(\mu_{\overline{p}}, \sigma^2_{\overline{p}})$ โดยประมาณ แต่ในงานวิจัยนี้จะถือว่าค่า $\overline{p} = p_0$ ซึ่งทราบค่า เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

2.4 ขอบเขตสำหรับสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพ

การประมาณด้วยการแจกแจงปกติเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ของข้อมูลทางด้านอุตสาหกรรม โดยที่รูปแบบของการแจกแจงปกติจะขึ้นอยู่กับค่ากลาง และลักษณะการกระจายของข้อมูลเป็นหลัก ซึ่งการประยุกต์วิธีการประมาณค่าด้วยการแจกแจงปกติ กับการควบคุมคุณภาพนี้จะนำไปใช้ในการหาขอบเขตของการยอมรับผลิตภัณฑ์ภายใต้ขอบเขตต่างๆ ที่กำหนดด้วยพื้นที่ขนาดต่างๆ จากค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพคำนวณจากการหาจำนวนร้อยละของข้อมูลที่ตกออกขอบเขตของการยอมรับ $\mu \pm Z\sigma$ เมื่อข้อมูลมาจากประชากรที่มีการกระจายแบบต่างๆ ด้วยค่าเฉลี่ย μ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ และ Z คือค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ $(1-\alpha/2)x100$ ของตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐาน

การวิจัยครั้งนี้ใช้ขอบเขตการยอมรับของ Shewhart ที่ $\mu \pm 3\sigma$ ภายใต้การแจกแจงปกติ ทุกแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ทำการทดสอบ ซึ่งหมายความว่ามีจำนวนร้อยละ 99.73 ที่ข้อมูลตกในช่วง $\mu \pm 3\sigma$ และมีร้อยละ 0.27 ที่ตกออกนอกขอบเขตของการยอมรับ

ให้ $\hat{p}_1, \hat{p}_2, \hat{p}_3, K$ แทนค่าวัดสัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ เมื่อ $\hat{p}_t = \frac{x_t}{n}$, x_t คือจำนวนของเสียที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างขนาด n ในกลุ่มตัวอย่างที่ $t = 1,2,3,...$ เพื่อนำมาทดสอบกับขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทั้ง 4 ชนิดที่สร้างขึ้นด้วยสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0)

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้กระบวนการการควบคุมคุณภาพทราบค่า p_0 และเพื่อความสะดวก จึงกำหนดสัญลักษณ์ต่อไปนี้ ใช้แทนความหมายต่างๆ คือ

p_0 หมายถึง ค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม

LCL หมายถึง ขอบเขตควบคุมล่างของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ

UCL หมายถึง ขอบเขตควบคุมบนของแผนภูมิควบคุมคุณภาพ

t หมายถึง คาบเวลาที่สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อหนึ่งกลุ่มการผลิต โดยที่ t = 1, 2, 3, … จนกระทั่งพบว่ากระบวนการผิดปกติ

x_t หมายถึง จำนวนของเสียที่สุ่มได้จากกลุ่มตัวอย่างขนาด n ด้วยการผลิตตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินาม

n หมายถึง ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

$\hat{p}_t = \frac{x_t}{n}$ หมายถึง ค่าตัวอย่างสัดส่วนของเสียที่ได้จาก x_t และ n สำหรับแผนภูมิพี และแผนภูมิพีแบบปรับแก้

u_t หมายถึง ค่าตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณหาความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงทวินามด้วยค่า p_0, x_t และ n

Q_t หมายถึง ค่าตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณหาความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงปกติด้วยค่า u_t

a_t หมายถึง ค่าตัวอย่างที่ได้จากการแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Arcsine ด้วยค่า x_t และ n สำหรับแผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine

2.4.1 **แผนภูมิพี** (p-Chart)

แผนภูมิพีเป็นแผนภูมิที่นิยมใช้กันทั่วไปในการตรวจสอบคุณภาพด้วยคุณลักษณะ งานวิจัยครั้งนี้จึงกำหนดให้แผนภูมิพี เป็นแผนภูมิพื้นฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบความสามารถในการตรวจพบกระบวนการผิดปกติ

ค่าที่นำมาทดสอบกับขอบเขตควบคุมคือค่า $\hat{p}_t = \frac{x_t}{n}, t = 1,2,3,...$ จากทฤษฎีลิมิตลู่เข้าสู่ส่วนกลางสามารถสรุปได้ว่า $\hat{p}_t \sim N(\mu, \sigma^2)$ โดยประมาณ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม $\mu = p_0$ และ $\sigma = \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$ ดังนั้นขอบเขตการยอมรับ $\mu \pm 3\sigma$ ภายใต้การแจกแจงปกติ ทำให้ได้ขอบเขตควบคุมคือ

$LCL = p_0 - 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$ ถ้า LCL < 0 ให้ LCL = 0

$UCL = p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$ ถ้า UCL > 1 ให้ UCL = 1

<u>เกณฑ์การตัดสินใจ</u>

ถ้า $\hat{p}_t$ มีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบน หรือน้อยกว่าของเขตควบคุมล่าง แสดงว่ากระบวนการผิดปกติ

2.4.2 **แผนภูมิคิว** (Q-Chart)

ปี ค.ศ. 1969 จอนห์สัน และ คอทส (Johnson, N., L. and S., Kotz. 1969) มีงานวิจัยเกี่ยวกับการเลือกใช้แผนภูมิคิว เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจพบกระบวนการผิดปกติ ในสถานการณ์ที่เหมาะสม และ ปี ค.ศ. 2000 โทมัส (Thomas, P., R. 2000) ได้นำเสนอทางเลือกในการใช้แผนภูมิคิวสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงทวินาม โดยแผนภูมิคิวมีลักษณะดังนี้

จากฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการแจกแจงทวินาม (2.1) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม

$$\Pr(X_t \le x_t) = F(x_t; n, p_0) = 0 \quad , x_t < 0$$

คือ $$= \sum_{x_t'=0}^{x_t} f(x_t'; n, p_0) \quad , 0 \le x_t < n \qquad \text{สำหรับ } t = 1,2,3,...$$

$$= 1 \quad , x_t \ge n$$

ให้ $f(x_t'; n, p_0) = \binom{n}{x_t'} p_0^{x_t'} (1-p_0)^{n-x_t'}$ สำหรับ $x_t' = 0,1,2,...,\ x_t$ นำทุกค่าที่คำนวณได้มาบวกกัน กำหนดให้ $u_t = F(x_t; n, p_0)$ ดังนั้น u_t คือ ค่าความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงทวินามด้วยค่า p_0, x_t และ n จากนั้นหาค่า Q_t จาก u_t กำหนดให้ $Q_t = \Phi^{-1}(u_t)$ เมื่อ $\Phi(.)$ คือ ตัวแบบการแจกแจงสะสมปกติมาตรฐาน คำนวณหาค่าปกติมาตรฐานที่ให้ค่าความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงปกติเท่ากับความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงทวินามจากฟังก์ชันผกผันของการแจกแจงปกติ

ค่าที่นำมาทดสอบกับขอบเขตควบคุมคือค่า $Q_t, t = 1,2,3,...$ จากทฤษฎีลิมิตลู่เข้าสู่ส่วนกลางสามารถสรุปได้ว่า $Q_t \sim N(\mu, \sigma^2)$ โดยประมาณ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม Q_t มี $\mu = 0$ และ $\sigma = 1$ ดังนั้นขอบเขตการยอมรับ $\mu \pm 3\sigma$ ภายใต้การแจกแจงปกติ ทำให้ได้ขอบเขตควบคุมคือ

LCL = -3

UCL = 3

<u>เกณฑ์การตัดสินใจ</u>

ถ้า Q_t มีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบน หรือน้อยกว่าของเขตควบคุมล่าง แสดงว่ากระบวนการผิดปกติ

2.4.3 แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (Arcsine Chart)

ปี ค.ศ. 1969 จอนห์สัน และ คอทส (Johnson, N., L. and S., Kotz. 1969) มีงานวิจัยเกี่ยวกับการเลือกใช้แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจพบกระบวนการผิดปกติ ในสถานการณ์ที่เหมาะสม และ ปี ค.ศ. 2000 โทมัส (Thomas, P., R. 2000) ได้นำเสนอทางเลือกในการใช้แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงทวินาม โดยแผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine มีลักษณะดังนี้

จากฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการแจกแจงทวินาม (2.1) และ x_t เป็นจำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่างขนาด n ซึ่งอิสระกัน ให้

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

สามารถประมาณได้ด้วยการแจกแจงปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\sin^{-1}\sqrt{p}$ และความแปรปรวนเท่ากับ $\frac{1}{4n}$ เมื่อ $\sin^{-1}$ คือฟังก์ชัน Arcsine ในตรีโกณมิติ (Trigonometry)

ค่าที่นำมาทดสอบกับขอบเขตควบคุมคือค่า $a_t, t = 1,2,3,...$ จากทฤษฎีลิมิตลู่เข้าสู่ส่วนกลางสามารถสรุปได้ว่า $a_t \sim N(\mu, \sigma^2)$ โดยประมาณ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม a_t มี $\mu = \sin^{-1}\sqrt{p_0}$ และ $\sigma = \frac{1}{2\sqrt{n}}$ ดังนั้นขอบเขตการยอมรับ $\mu \pm 3\sigma$ ภายใต้การแจกแจงปกติ ทำให้ได้ขอบเขตควบคุมคือ

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

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

<u>เกณฑ์การตัดสินใจ</u>

ถ้า a_t มีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบน หรือน้อยกว่าของเขตควบคุมล่าง แสดงว่ากระบวนการผิดปกติ

2.4.4 แผนภูมิพีปรับแก้ (Modified Limits p-Chart)

ปี ค.ศ.1989 โทมัส (Thomas, P., R. 1989) ได้นำเสนอแผนภูมิพีปรับแก้เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจพบกระบวนการผิดปกติ ในสถานการณ์ที่เหมาะสมโดยมีการแจ้งเตือนผิดต่ำ และ ปี ค.ศ. 1999 อครอสทา ไมจา (Acosta-Mejia, C., A. 1999) ยังได้แนะนำแผนภูมิพีปรับแก้ว่าเป็นแผนภูมิสัดส่วนของเสียที่น่าสนใจวิธีหนึ่ง ในงานวิจัยครั้งนี้จึงสนใจนำมาศึกษา

เนื่องจากแผนภูมิพีปรับแก้ใช้การปรับขอบเขตควบคุมจากแผนภูมิพีให้มีขอบเขตควบคุมที่เหมาะสมขึ้นสำหรับตัวอย่างสุ่มที่มาจากการแจกแจงทวินามซึ่งมีลักษณะเบ้ขวา โดยใช้หลักในการตรวจสอบกระบวนการด้วยพื้นฐานร้อยละ 99.73 ที่ข้อมูลตกในช่วงของการยอมรับ $\mu \pm 3\sigma$ และ

ร้อยละ 0.27 ที่ตกออกนอกขอบเขตของการยอมรับ จึงเหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการที่มีค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมน้อย ดังนั้นขอบเขตควบคุมคือ

$$LCL = p_0 - 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} + \frac{1.25}{n}$$ ถ้า LCL < 0 ให้ LCL = 0

$$UCL = p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} + \frac{1.15}{n}$$ ถ้า UCL > 1 ให้ UCL = 1

<u>เกณฑ์การตัดสินใจ</u>

ถ้า $\hat{p}_t = \frac{x_t}{n}$ มีค่ามากกว่าขอบเขตควบคุมบน หรือน้อยกว่าของเขตควบคุมล่าง แสดงว่ากระบวนการผิดปกติ

2.5 ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) คือ ค่าประมาณความน่าจะเป็นที่เกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม แต่ความเป็นจริงกระบวนการยังคงอยู่ภายใต้การควบคุม กำหนดให้

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

โดยที่ h คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ในที่นี้กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่าง h = 10,000 กลุ่ม

d_t คือ ลักษณะของค่าวัดกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ t ในการทดลอง เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

เมื่อ $d_t = \begin{cases} 0 \text{ แทนค่าวัดกลุ่มตัวอย่างที่ตกอยู่ในขอบเขตควบคุมในครั้งที่ t} \\ 1 \text{ แทนค่าวัดกลุ่มตัวอย่างที่ตกออกนอกขอบเขตควบคุมในครั้งที่ t} \end{cases}$

t คือ ครั้งที่นำกลุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบ โดยที่ t = 1, 2, 3, … , h

<u>เกณฑ์การตัดสินใจ</u>

การพิจารณาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 (α) สามารถใช้การทดสอบทวินาม (Binomial Test) ซึ่งจะทดสอบค่า $\hat{\alpha}$ ให้มีค่าไม่เกินความผิดพลาดที่กำหนด (α_0) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบทวินาม α^* ได้ด้วยสมมติฐานดังนี้

$H_0 : \alpha \le \alpha_0$

$H_1 : \alpha > \alpha_0$

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

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

ดังนั้นช่วงของการยอมรับความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 คือ

$$\left[0, \alpha_0 + Z_{\alpha^*}\sqrt{\alpha_0(1-\alpha_0)/h}\right]$$

เมื่อ α แทนค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

$\hat{\alpha}$ แทนค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

α_0 แทนค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ที่กำหนด

α^* แทนระดับนัยสำคัญของการทดสอบทวินาม

h แทนจำนวนครั้งของการทดสอบ ในที่นี้กำหนด h = 10,000

ดังนั้นในการวิจัยนี้การทดสอบทวินามที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยที่ค่า $h = 10{,}000$ $\alpha_0 = 0.0027$ และ $\alpha^* = 0.05$ เพราะฉะนั้น $Z_{\alpha^*} = 1.96$ ให้ช่วงของการยอมรับความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 คือ $(0,\ 0.0036)$

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงใช้วิธีการเปรียบเทียบค่า $\hat{\alpha}$ ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียในกรณีที่ $\delta = 1$ ถ้าค่า $\hat{\alpha}$ มีค่าเกิน 0.0036 (มีค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 เกิน 0.36% ของผลการทดสอบ) จะไม่นำไปตรวจสอบค่าความยาววิ่ง (ARL) ในขั้นตอนต่อไป สำหรับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียนั้น

2.6 **ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย** (ARL : Average Run Length)

การตรวจสอบในขั้นตอนนี้จะเลือกตรวจสอบเฉพาะกรณีที่ผ่านเกณฑ์การตัดสินใจ หรือสามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ในหัวข้อ 2.5 ได้เท่านั้น

ค่า ARL คือ จำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการผิดปกติ ดังนั้นจึงหาค่า ARL เฉพาะกรณีที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น $(\delta > 1)$ กำหนดให้

$$ARL = \frac{1}{k}\sum_{T=1}^{k} RL_T$$

โดยที่ k คือ จำนวนครั้งของการทดลองในแต่ละสถานการณ์ เพื่อหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย ณ กรณีที่ $\delta > 1$ หรือกระบวนการผิดปกติ ในที่นี้กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่าง k = 1,000 กลุ่ม

RL_T คือ จำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการออกนอกการควบคุมในการทดลองครั้งที่ T

ในการวิจัยครั้งนี้ได้จำกัดค่า RL_T ในแต่ละครั้งการทดลองด้วยค่าสูงสุดที่ 1,000 $(RL_T \leq 1{,}000)$ เพื่อป้องกันกรณีที่เกิดการวนไม่มีที่สิ้นสุดในการทดลอง ดังนั้นในกรณีที่การทดลองให้ค่า $RL_T = 1{,}000$ แต่ผลการทดสอบยังไม่พบว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม จะกำหนดให้ค่า RL_T ในรอบนั้นเท่ากับ 1,000

<u>เกณฑ์การตัดสินใจ</u>

เมื่อกระบวนการผิดปกติ ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น $(\delta > 1)$ คือ กระบวนการมีสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นจากสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม ถ้าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียใดให้ค่า ARL ต่ำที่สุด แสดงว่าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียนั้น มีความสามารถในการตรวจสอบกระบวนการผิดปกติได้ดีที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ต้องการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย 4 วิธี คือ แผนภูมิพี แผนภูมิคิว แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine และแผนภูมิพีปรับแก้ เพื่อเลือกแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่สามารถแจ้งเตือนเมื่อกระบวนการผิดปกติได้รวดเร็วที่สุด ตามแต่ละสถานการณ์ โดยตัดสินจากค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) ที่ให้ค่าต่ำที่สุด โดยแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่เหมาะสมตามแต่ละสถานการณ์นั้นจะต้องสามารถควบคุมค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) ได้ด้วย

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยได้มาจากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล พร้อมทั้งทดสอบแผนภูมิควบคุมคุณภาพ และเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมภาษาซี สำหรับแผนการดำเนินการวิจัย ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย เสนอเป็นรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้กำหนดสถานการณ์ต่างๆ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบดังนี้

1. สุ่มตัวอย่างแบบไม่คืนที่ขนาด n จากกระบวนการผลิต เพื่อนับจำนวนผลสำเร็จหรือจำนวนของเสีย แทนด้วยตัวแปรสุ่ม X จำนวนของเสียที่ได้จะมีการแจกแจงทวินาม โดยตัวอย่างแต่ละชิ้น แทนด้วยตัวแปรสุ่ม Y_i มีการแจกแจงแบร์นูลลี

2. กำหนดสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมตั้งแต่ p_0 เป็น 2 ระดับ คือ
   - ระดับที่ 1 มีค่าตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.19 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.02
   - ระดับที่ 2 มีค่าตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.40 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05

3. กำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย δ = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0 (สำหรับกระบวนการที่อยู่ในการควบคุม δ = 1.0)

4. กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง n ตามค่า p_0 ดังนี้
   - เมื่อ p_0 = 0.01 ถึง 0.09, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500
   - เมื่อ p_0 = 0.11 ถึง 0.40, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) และค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) ที่ได้จากการทดสอบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทั้ง 4 วิธี ดังกล่าว เพื่อหาแผนภูมิที่ดีที่สุดในแต่ละสภานะการณ์ต่อไป

3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างข้อมูลจากการแจกแจงทวินาม $b(n, \delta p_0)$

2. คำนวณขอบเขตควบคุมล่างและขอบเขตควบคุมบนสำหรับแต่ละแผนภูมิตามสถานการณ์ที่กำหนดในหัวข้อ 3.1

3. คำนวณค่ากลุ่มตัวอย่างจากข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 สำหรับแต่ละแผนภูมิ

4. เปรียบเทียบค่าตัวอย่างที่ได้กับขอบเขตควบคุมของแต่ละแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย เพื่อหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) โดยเปรียบเทียบในกรณีที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเท่ากับ 1 $(\delta = 1)$ ถ้าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียใดมีค่า $\hat{\alpha} \leq 0.0036$ แสดงว่าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียนั้นสามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้ จึงจะนำแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียนั้น มาพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมตามแต่ละสถานการณ์ด้วยการหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) ในขั้นตอนต่อไป

5. นำแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ผ่านการพิจารณาในขั้นตอนที่ 4 สำหรับแต่ละสถานการณ์ มาคำนวณหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) สำหรับกรณีที่กระบวนการผิดปกติ ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น $(\delta > 1)$ ถ้าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียใดให้ค่า ARL ต่ำที่สุด แสดงว่าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียนั้นมีความสามารถในการตรวจสอบ กระบวนการเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมดีที่สุด

6. เปรียบเทียบค่าความยาววิ่งเฉลี่ยสำหรับแผนภูมิควบคุมที่ผ่านเกณฑ์ในขั้นตอนที่ 5

7. สรุปผลการวิจัยในแต่ละสถานการณ์

รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนกล่าวเป็นหัวข้อใหญ่ๆ ดังนี้

3.3 สร้างข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการจำลอง ดังนั้นจึงเริ่มจากการสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงเอกรูปในช่วง (0, 1) { Uniform Distribution : U(0, 1) } เพื่อนำไปสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินาม โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.3.1 การสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอ

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

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

และ $R_i = X_i / M \quad ; \ i = 1,2,3,...$

โดยที่ X_0 เป็นค่าเริ่มต้น(initial value)

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

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

M เป็นค่าคงที่

a เป็นตัวคูณคงที่ (constant multiplier)

จากสมการที่ (3.1) X_i คือเศษเหลือเป็นจำนวนเต็มที่ได้จากการหาร aX_{i-1} ด้วย M และเศษเหลือที่ได้จะใช้ในการผลิตตัวเลขสุ่มตัวถัดไป ในการผลิตตัวเลขสุ่มนั้นเมื่อกำหนดให้ X_0 เป็นค่าเริ่มต้นจะได้ตัวเลขสุ่ม $X_1, X_2, X_3, \ldots$ เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง M–1 จากนั้นหาร X_i ด้วย M จะได้ตัวเลขสุ่มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้กำหนดให้ u คือ ค่าตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง $(0,1)$ ที่ผลิตได้จากวิธีดังกล่าว

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

โปรแกรมแกรมย่อยที่เขียนด้วยโปรแกรมภาษาซี สำหรับสร้างตัวแปรสุ่มให้มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง (0,1) คือ ฟังก์ชัน long gen_mod(long x1) ดังมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก. หน้า 84

3.3.2 การสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินาม

การสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินาม ได้เลือกใช้วิธีคอนโวลูชัน[1] (convolution) ซึ่งมีหลักการโดยย่อเป็นดังนี้

1. ในการสร้างค่าตัวแปรสุ่ม X ให้มีการแจกแจงทวินาม ที่มีพารามิเตอร์เท่ากับ (n, p) จะทำการสร้างตัวแปรสุ่ม $Y_1, Y_2, Y_3, ..., Y_n$ ซึ่งเป็นอิสระจากกัน และมีการแจกแจงแบบแบร์นูลลีที่มีพารามิเตอร์ p เหมือนกัน

2. คำนวณค่าของตัวแปรสุ่ม X โดยเอาค่าตัวแปรสุ่ม Y_i ทั้ง n ตัวมาบวกเข้าด้วยกัน ผลบวกที่ได้กำหนดให้เป็นค่าตัวแปรสุ่ม X

การสร้างตัวแปรสุ่ม Y_i ให้มีการแจกแจงแบร์นูลลี ที่มีพารามิเตอร์เท่ากับ p_1 สามารถทำได้โดย วิธีการซึ่งสร้างเป็นฟังก์ชันย่อย ดังมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก. หน้า 85 มีขั้นตอนดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> สร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงเบอร์นูลลีโดยกำหนดเงื่อนไขดังนี้
ถ้า u มีค่าน้อยกว่า p_1 โดยที่ $p_1 = \delta p_0$ ให้ $Y_i = 1$ (เป็นของเสีย)
ถ้า u มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ p_1 ให้ $Y_i = 0$ (ไม่เป็นของเสีย)
โดยที่ u คือ ตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงสม่ำเสมอในช่วง $(0,1)$
และกระทำซ้ำทั้งหมด n ครั้ง

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> สร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินาม โดยกำหนดเงื่อนไขดังนี้
จากขั้นตอนที่ 1 นำค่า Y_i ทั้งหมด n ค่ามาคำนวณหาค่าจำนวนของเสีย
โดยที่ จำนวนของเสีย $X_t = \sum_{i=1}^{n} Y_i$, i = 1, 2, 3, … , n ของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ t

3.4 การคำนวณค่าขอบเขตควบคุมสัดส่วนของเสีย

การกำหนดขอบเขตควบคุมสำหรับแต่ละแผนภูมิควบคุม เป็นดังนี้

3.4.1 แผนภูมิพี

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิพี เป็นดังนี้

$$LCL = p_0 - 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$$ ถ้า LCL < 0 ให้ LCL = 0

$$UCL = p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$$ ถ้า UCL > 1 ให้ UCL = 1

---

[1] ศึกษาได้จาก Avenrill M., Law and W. David, Kleton. 1982. <u>SIMULATION AND ANALYSIS.</u> pp. 249-250 และ p. 266. New York: McGraw-Hill Book Co., LTD

3.4.2 แผนภูมิคิว

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิคิว เป็นดังนี้

$$LCL = -3$$

$$UCL = 3$$

3.4.3 แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine เป็นดังนี้

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

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

3.4.4 แผนภูมิพีปรับแก้

ขอบเขตควบคุมสำหรับแผนภูมิพีปรับแก้ เป็นดังนี้

$$LCL = p_0 - 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n} + \frac{1.25}{n}}$$ ถ้า LCL < 0 ให้ LCL = 0

$$UCL = p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n} + \frac{1.15}{n}}$$ ถ้า UCL > 1 ให้ UCL = 1

3.5 การคำนวณค่าตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบขอบเขตควบคุม

การคำนวณค่าเพื่อเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุมสำหรับแต่ละแผนภูมิควบคุม เป็นดังนี้

3.5.1 แผนภูมิพี

สำหรับแผนภูมิพีให้นำค่า $p_t = \frac{x_t}{n}$ มาเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุม

3.5.2 แผนภูมิคิว

การคำนวณสำหรับแผนภูมิคิว ได้สร้างเป็นฟังก์ชันย่อย ดังมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก. หน้า 86 โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) นำค่า x_t และ n มาหาค่าความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงทวินาม $u_t = F(x_t; n, p) = \sum_{i=1}^{t} f(x_i'; n, p_0)$ โดยที่ $f(x_i'; n, p_0) = \binom{n}{x_i'} p_0^{x_i'}(1-p_0)^{n-x_i'}$

(2) นำค่าความน่าจะเป็นสะสมที่ได้จากข้อ (1) มาหาค่า $Q_t \sim \text{Normal}(0,1)$ ที่ให้พื้นที่เท่ากัน ด้วยวิธีการของนิวตัว-ราฟสัน กล่าวไว้ในภาคผนวก ข. หน้า 99-100

นำค่า Q_t ที่ได้มาเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุม

3.5.3 แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine

สำหรับแผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine ให้นำค่า x_t มาแปลงด้วยฟังก์ชันดังนี้

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

นำค่า y_t ที่ได้มาเปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุม

3.5.4 แผนภูมิพีปรับแก้

สำหรับแผนภูมิพีปรับแก้ให้นำค่า $p_t = \frac{x_t}{n}$ เปรียบเทียบกับขอบเขตควบคุม

3.6 การคำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

ในงานวิจัยครั้งนี้สนใจค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) โดยเปรียบเทียบในกรณีที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น ($\delta = 1$) หรือกระบวนการอยู่ในการควบคุม โดยกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณเพื่อหาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ดังนี้

กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาคำนวณหาค่า $\hat{\alpha}$ ของแต่ละแผนภูมิทั้งหมดจำนวน 10,000 กลุ่มตัวอย่าง และนำมาทดสอบกับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียในกรณีที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น ($\delta = 1$) หรือกระบวนการอยู่ในการควบคุม เพื่อนับจำนวนจุดที่ตกออกนอกขอบเขตควบคุมของแต่ละแผนภูมิซึ่งถือว่าเป็นการเตือนที่ผิดพลาด ดังนั้นการหาค่าความน่าจะเป็นของตัวอย่างที่ออกนอกขอบเขตควบคุมโดยกระบวนการยังคงอยู่ในการควบคุมจึงนำจำนวนจุดที่ตกออกนอกขอบเขตควบคุมแต่ละแผนภูมิมาหารด้วย 10,000

ถ้าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียใดมีค่า $\hat{\alpha} \leq 0.0036$ แสดงว่าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียนั้นสามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้ จึงนำมาพิจารณาเลือกใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่เหมาะสมตามแต่ละสถานการณ์ต่างๆ ที่กำหนดจากค่าความยาววิ่งเฉลี่ยในหัวข้อ 3.7 ต่อไป

3.7 **การคำนวณค่าความยาววิ่งเฉลี่ย** : ARL

ในงานวิจัยครั้งนี้มีเงื่อนไขในการคำนวณเพื่อหาค่า ARL ดังนี้

ถ้าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียใดผ่านการตรวจสอบว่าค่า $\hat{\alpha}$ ไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ($\hat{\alpha} \leq 0.0036$) หรือแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียสามารถควบคุมค่า α ได้ จากผลสรุปหัวข้อ 3.6 จึงจะนำแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียนั้นมาวิเคราะห์เพื่อหาค่า ARL โดยทำการเปรียบเทียบในกรณีที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น ($\delta > 1$)

กำหนดจำนวนกระทำซ้ำเพื่อนำมาคำนวณหาค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิทั้งหมด 1,000 ครั้ง โดยนับตำแหน่งที่จุดตัวอย่างตกออกนอกขอบเขตควบคุมของแต่ละแผนภูมิเป็นตำแหน่งแรกในการกระทำแต่ละครั้ง กำหนดให้เป็นค่า RL_T ดังนั้นการคำนวณหาค่า ARL จึงนำค่า RL_T ในแต่ละครั้งมารวมกันแล้วหารด้วย 1,000

การจำลองข้อมูลและทดสอบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียรอบใดๆ ถ้าการจำลองข้อมูลและทดสอบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียรอบนั้นๆ ดำเนินการถึงตัวอย่างกลุ่มที่ 1,000 แต่กลุ่มตัวอย่างยังไม่ออกนอกขอบเขตควบคุมจะถือว่าไม่สามารถประมาณค่า RL_T ในรอบนั้นได้ ในกรณีนี้จะกำหนดให้ค่า $RL_T = 1{,}000$ ดังนั้นค่า ARL ที่คำนวณได้จะมีค่าไม่เกิน 1,000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกว่าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียจาก 4 ชนิด คือ แผนภูมิพี แผนภูมิคิว แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine และแผนภูมิพีปรับแก้ แผนภูมิชนิดใดบ้างสามารถควบคุมค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) ในกรณีที่กระบวนการอยู่ในการควบคุม จากนั้นนำแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ มาทำการเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) ในกรณีที่ระดับการเปลี่ยนแปลง สัดส่วนของเสียมากกว่า 1 ($\delta > 1$) หรือกระบวนการออกนอกการควบคุมแล้วให้ค่า ARL ต่ำที่สุด เพื่อต้องการหาผลสรุปว่าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียใดที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุมได้รวดเร็วที่สุด

การวิจัยครั้งนี้จึงเสนอผลการวิจัย จำแนกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกคือ ตารางแสดงขอบเขตควบคุมของแต่ละตัวสถิติทดสอบในสถานการณ์ต่างๆ ศึกษา ส่วนที่สองแสดงค่า $\hat{\alpha}$ และส่วนที่สามแสดงค่า ARL ของแต่ละวิธีการตรวจสอบ ซึ่งนำเสนอเป็นตารางและกราฟ เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบ โดยกำหนดสัญลักษณ์ต่อไปนี้ใช้แทนความหมายต่างๆ คือ

p_0 หมายถึง ค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้กำหนดค่า p_0 เป็น 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1 มีค่าตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.19 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.02
ระดับที่ 2 มีค่าตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.40 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05

$p_1 = \delta p_0$ หมายถึง ค่าสัดส่วนของเสียเมื่อกระบวนการผิดปกติ

δ หมายถึง ระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าสัดส่วนของเสีย เมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้กำหนดค่า δ = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0

n หมายถึง ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้กำหนดค่า n ตามค่า p_0 ดังนี้
เมื่อ p_0 = 0.01 ถึง 0.09, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500
และ เมื่อ p_0 = 0.11 ถึง 0.40, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

$\hat{\alpha}$ หมายถึง ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

ARL หมายถึง จำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่ต้องตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการผิดปกติ

P หมายถึง วิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิพี

Q หมายถึง วิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิคิว

A หมายถึง วิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine

M หมายถึง วิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิพีปรับแก้

4.1 ขอบเขตของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย

ขอบเขตของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทั้ง 4 ชนิด คือ แผนภูมิพี (P) แผนภูมิคิว (Q) แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (A) และแผนภูมิพีปรับแก้ (M) ถูกสร้างขึ้นในกรณีที่กระบวนการอยู่ในการควบคุม ตามสถานการณ์ต่างๆ และทราบค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นำเสนอในตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.1 ขอบเขตการควบคุม โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	P		Q		A		M	
		LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
0.01	5	0	0.1435	-3	3	-0.6608	0.6808	0.12651	0.3735
	10	0	0.1044	-3	3	-0.4643	0.4843	0.04061	0.2194
	15	0	0.0871	-3	3	-0.3773	0.3973	0.01626	0.1637
	20	0	0.0767	-3	3	-0.3254	0.3454	0.00575	0.1342
	25	0	0.0697	-3	3	-0.2900	0.3100	0.0003	0.1157
	30	0	0.0645	-3	3	-0.2639	0.2839	0	0.1028
	35	0	0.0605	-3	3	-0.2435	0.2635	0	0.0933
	40	0	0.0572	-3	3	-0.2272	0.2472	0	0.0859
	45	0	0.0545	-3	3	-0.2136	0.2336	0	0.0801
	50	0	0.0522	-3	3	-0.2021	0.2221	0	0.0752
	60	0	0.0485	-3	3	-0.1836	0.2036	0	0.0677
	70	0	0.0457	-3	3	-0.1693	0.1893	0	0.0621
	80	0	0.0434	-3	3	-0.1577	0.1777	0	0.0577
	90	0	0.0415	-3	3	-0.1481	0.1681	0	0.0542
	100	0	0.0398	-3	3	-0.1400	0.1600	0	0.0513
	125	0	0.0367	-3	3	-0.1242	0.1442	0	0.0459
	150	0	0.0344	-3	3	-0.1125	0.1325	0	0.0420
	175	0	0.0326	-3	3	-0.1034	0.1234	0	0.0391
	200	0	0.0311	-3	3	-0.0961	0.1161	0	0.0369
	225	0	0.0299	-3	3	-0.0900	0.1100	0	0.0350
	250	0	0.0289	-3	3	-0.0849	0.1049	0	0.0335
	300	0	0.0272	-3	3	-0.0766	0.0966	0	0.0311
	350	0	0.026	-3	3	-0.0702	0.0902	0	0.0292
	400	0	0.0249	-3	3	-0.0650	0.0850	0	0.0278
	450	0	0.0241	-3	3	-0.0607	0.0807	0	0.0266
	500	0	0.0233	-3	3	-0.0571	0.0771	0	0.0256

ตารางที่ 4.1.1 (ต่อ) ขอบเขตการควบคุม โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	P		Q		A		M	
		LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
0.03	5	0	0.2589	-3	3	-0.6408	0.7008	0.0511	0.4889
	10	0	0.1918	-3	3	-0.4443	0.5043	0	0.3068
	15	0	0.1621	-3	3	-0.3573	0.4173	0	0.2388
	20	0	0.1444	-3	3	-0.3054	0.3654	0	0.2019
	25	0	0.1324	-3	3	-0.2700	0.3300	0	0.1784
	30	0	0.1234	-3	3	-0.2439	0.3039	0	0.1618
	35	0	0.1165	-3	3	-0.2235	0.2836	0	0.1494
	40	0	0.1109	-3	3	-0.2072	0.2672	0	0.1397
	45	0	0.1063	-3	3	-0.1936	0.2536	0	0.1318
	50	0	0.1024	-3	3	-0.1821	0.2421	0	0.1254
	60	0	0.0961	-3	3	-0.1636	0.2237	0	0.1152
	70	0	0.0912	-3	3	-0.1493	0.2093	0	0.1076
	80	0	0.0872	-3	3	-0.1377	0.1977	0	0.1016
	90	0	0.0839	-3	3	-0.1281	0.1881	0	0.0967
	100	0	0.0812	-3	3	-0.1200	0.1800	0	0.0927
	125	0	0.0758	-3	3	-0.1042	0.1642	0	0.0850
	150	0	0.0718	-3	3	-0.0925	0.1525	0	0.0795
	175	0	0.0687	-3	3	-0.0834	0.1434	0	0.0753
	200	0	0.0662	-3	3	-0.0761	0.1361	0.0001	0.0719
	225	0	0.0641	-3	3	-0.0700	0.1300	0.0014	0.0692
	250	0	0.0624	-3	3	-0.0649	0.1249	0.0026	0.0670
	300	0.0005	0.0595	-3	3	-0.0566	0.1166	0.0046	0.0634
	350	0.0026	0.0574	-3	3	-0.0502	0.1102	0.0062	0.0606
	400	0.0044	0.0556	-3	3	-0.0450	0.1050	0.0075	0.0585
	450	0.0059	0.0541	-3	3	-0.0407	0.1007	0.0087	0.0567
	500	0.0071	0.0529	-3	3	-0.0371	0.0971	0.0096	0.0552

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1.1 (ต่อ) ขอบเขตการควบคุม โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	P		Q		A		M	
		LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
0.05	5	0	0.3424	-3	3	-0.6208	0.7208	0.0076	0.5724
	10	0	0.2568	-3	3	-0.4243	0.5244	0	0.3718
	15	0	0.2188	-3	3	-0.3373	0.4373	0	0.2955
	20	0	0.1962	-3	3	-0.2854	0.3854	0	0.2537
	25	0	0.1808	-3	3	-0.2500	0.3500	0	0.2268
	30	0	0.1694	-3	3	-0.2238	0.3239	0	0.2077
	35	0	0.1605	-3	3	-0.2035	0.3036	0	0.1934
	40	0	0.1534	-3	3	-0.1871	0.2872	0	0.1821
	45	0	0.1475	-3	3	-0.1736	0.2736	0	0.1730
	50	0	0.1425	-3	3	-0.1621	0.2622	0	0.1655
	60	0	0.1344	-3	3	-0.1436	0.2437	0	0.1536
	70	0	0.1281	-3	3	-0.1293	0.2293	0	0.1446
	80	0	0.1231	-3	3	-0.1177	0.2177	0	0.1375
	90	0	0.1189	-3	3	-0.1081	0.2081	0	0.1317
	100	0	0.1154	-3	3	-0.1000	0.2000	0	0.1269
	125	0	0.1085	-3	3	-0.0841	0.1842	0.0015	0.1177
	150	0	0.1034	-3	3	-0.0725	0.1725	0.0049	0.1111
	175	0.0006	0.0994	-3	3	-0.0634	0.1634	0.0077	0.1060
	200	0.0038	0.0962	-3	3	-0.0560	0.1561	0.01	0.1020
	225	0.0064	0.0936	-3	3	-0.0500	0.1500	0.012	0.0987
	250	0.0086	0.0914	-3	3	-0.0448	0.1449	0.0136	0.0960
	300	0.0123	0.0877	-3	3	-0.0366	0.1366	0.0164	0.0916
	350	0.0151	0.0849	-3	3	-0.0302	0.1302	0.0186	0.0882
	400	0.0173	0.0827	-3	3	-0.0250	0.1250	0.0204	0.0856
	450	0.0192	0.0808	-3	3	-0.0207	0.1207	0.022	0.0834
	500	0.0208	0.0792	-3	3	-0.0171	0.1171	0.0233	0.0815

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1.1 (ต่อ) ขอบเขตการควบคุม โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	P		Q		A		M	
		LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
0.07	5	0	0.4123	-3	3	-0.6008	0.7409	0	0.6423
	10	0	0.3121	-3	3	-0.4043	0.5444	0	0.4271
	15	0	0.2676	-3	3	-0.3172	0.4574	0	0.3443
	20	0	0.2412	-3	3	-0.2654	0.4055	0	0.2987
	25	0	0.2231	-3	3	-0.2299	0.3701	0	0.2691
	30	0	0.2097	-3	3	-0.2038	0.3439	0	0.2481
	35	0	0.1994	-3	3	-0.1835	0.3236	0	0.2322
	40	0	0.1910	-3	3	-0.1671	0.3072	0	0.2198
	45	0	0.1841	-3	3	-0.1535	0.2937	0	0.2097
	50	0	0.1782	-3	3	-0.1421	0.2822	0	0.2012
	60	0	0.1688	-3	3	-0.1236	0.2637	0	0.1880
	70	0	0.1615	-3	3	-0.1092	0.2493	0	0.1779
	80	0	0.1556	-3	3	-0.0976	0.2378	0	0.1700
	90	0	0.1507	-3	3	-0.0881	0.2282	0.0032	0.1635
	100	0	0.1465	-3	3	-0.0799	0.2201	0.006	0.1580
	125	0.0015	0.1385	-3	3	-0.0641	0.2042	0.0115	0.1477
	150	0.0075	0.1325	-3	3	-0.0524	0.1925	0.0158	0.1402
	175	0.0121	0.1279	-3	3	-0.0433	0.1834	0.0193	0.1344
	200	0.0159	0.1241	-3	3	-0.0360	0.1761	0.0221	0.1299
	225	0.019	0.121	-3	3	-0.0299	0.1701	0.0245	0.1261
	250	0.0216	0.1184	-3	3	-0.0248	0.1649	0.0266	0.1230
	300	0.0258	0.1142	-3	3	-0.0165	0.1567	0.03	0.1180
	350	0.0291	0.1109	-3	3	-0.0101	0.1502	0.0327	0.1142
	400	0.0317	0.1083	-3	3	-0.0049	0.1451	0.0349	0.1111
	450	0.0339	0.1061	-3	3	-0.0007	0.1408	0.0367	0.1086
	500	0.0358	0.1042	-3	3	0.0030	0.1371	0.0383	0.1065

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1.1 (ต่อ) ขอบเขตการควบคุม โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	P		Q		A		M	
		LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
0.09	5	0	0.4740	-3	3	-0.5807	0.7609	0	0.7040
	10	0	0.3615	-3	3	-0.3842	0.5645	0	0.4765
	15	0	0.3117	-3	3	-0.2972	0.4774	0	0.3883
	20	0	0.2820	-3	3	-0.2453	0.4255	0	0.3395
	25	0	0.2617	-3	3	-0.2099	0.3901	0	0.3077
	30	0	0.2467	-3	3	-0.1837	0.3640	0	0.2851
	35	0	0.2351	-3	3	-0.1634	0.3437	0	0.2680
	40	0	0.2257	-3	3	-0.1470	0.3273	0	0.2545
	45	0	0.2180	-3	3	-0.1335	0.3137	0	0.2435
	50	0	0.2114	-3	3	-0.1220	0.3023	0	0.2344
	60	0	0.2008	-3	3	-0.1035	0.2838	0	0.2200
	70	0	0.1926	-3	3	-0.0892	0.2694	0.0052	0.2090
	80	0	0.186	-3	3	-0.0776	0.2578	0.0096	0.2004
	90	0	0.1805	-3	3	-0.0680	0.2482	0.0134	0.1933
	100	0.0041	0.1759	-3	3	-0.0599	0.2401	0.0166	0.1874
	125	0.0132	0.1668	-3	3	-0.0440	0.2243	0.0232	0.1760
	150	0.0199	0.1601	-3	3	-0.0324	0.2126	0.0282	0.1678
	175	0.0251	0.1549	-3	3	-0.0233	0.2035	0.0322	0.1615
	200	0.0293	0.1507	-3	3	-0.0159	0.1962	0.0355	0.1565
	225	0.0328	0.1472	-3	3	-0.0099	0.1901	0.0383	0.1523
	250	0.0357	0.1443	-3	3	-0.0047	0.1850	0.0407	0.1489
	300	0.0404	0.1396	-3	3	0.0035	0.1767	0.0446	0.1434
	350	0.0441	0.1359	-3	3	0.0099	0.1703	0.0477	0.1392
	400	0.0471	0.1329	-3	3	0.0151	0.1651	0.0502	0.1358
	450	0.0495	0.1305	-3	3	0.0194	0.1608	0.0523	0.1330
	500	0.0516	0.1284	-3	3	0.0230	0.1572	0.0541	0.1307

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1.1 (ต่อ) ขอบเขตการควบคุม โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	P		Q		A		M	
		LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
0.11	5	0	0.5298	-3	3	-0.5606	0.7810	0	0.7598
	10	0	0.4068	-3	3	-0.3641	0.5846	0	0.5218
	15	0	0.3524	-3	3	-0.2771	0.4975	0	0.4290
	20	0	0.3199	-3	3	-0.2252	0.4456	0	0.3774
	25	0	0.2977	-3	3	-0.1898	0.4102	0	0.3437
	30	0	0.2814	-3	3	-0.1636	0.3841	0	0.3197
	35	0	0.2687	-3	3	-0.1433	0.3638	0	0.3015
	40	0	0.2584	-3	3	-0.1269	0.3474	0	0.2872
	45	0	0.2499	-3	3	-0.1134	0.3338	0	0.2755
	50	0	0.2427	-3	3	-0.1019	0.3224	0.0023	0.2657
0.13	5	0	0.5812	-3	3	-0.5405	0.8012	0	0.8112
	10	0	0.4490	-3	3	-0.3440	0.6047	0	0.5640
	15	0	0.3905	-3	3	-0.2569	0.5177	0	0.4672
	20	0	0.3556	-3	3	-0.2050	0.4658	0	0.4131
	25	0	0.3318	-3	3	-0.1696	0.4304	0	0.3778
	30	0	0.3142	-3	3	-0.1435	0.4042	0	0.3525
	35	0	0.3005	-3	3	-0.1232	0.3839	0	0.3334
	40	0	0.2895	-3	3	-0.1068	0.3675	0.0017	0.3183
	45	0	0.2804	-3	3	-0.0932	0.3540	0.0074	0.3060
	50	0	0.2727	-3	3	-0.0818	0.3425	0.0123	0.2957
0.15	5	0	0.6291	-3	3	-0.5203	0.8214	0	0.8591
	10	0	0.4887	-3	3	-0.3238	0.6249	0	0.6037
	15	0	0.4266	-3	3	-0.2367	0.5379	0	0.5033
	20	0	0.3895	-3	3	-0.1848	0.4860	0	0.4470
	25	0	0.3642	-3	3	-0.1494	0.4506	0	0.4102
	30	0	0.3456	-3	3	-0.1233	0.4244	0	0.3839
	35	0	0.3311	-3	3	-0.1030	0.4041	0.0047	0.3639
	40	0	0.3194	-3	3	-0.0866	0.3877	0.0119	0.3481
	45	0	0.3097	-3	3	-0.0730	0.3742	0.0181	0.3352
	50	0	0.3015	-3	3	-0.0616	0.3627	0.0235	0.3245

ตารางที่ 4.1.1 (ต่อ) ขอบเขตการควบคุม โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	P		Q		A		M	
		LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
0.17	5	0	0.6740	-3	3	-0.5000	0.8416	0	0.9040
	10	0	0.5264	-3	3	-0.3035	0.6452	0	0.6414
	15	0	0.4610	-3	3	-0.2165	0.5581	0	0.5376
	20	0	0.4220	-3	3	-0.1646	0.5062	0	0.4795
	25	0	0.3954	-3	3	-0.1292	0.4708	0	0.4414
	30	0	0.3757	-3	3	-0.1030	0.4447	0.0059	0.4141
	35	0	0.3605	-3	3	-0.0827	0.4244	0.0152	0.3933
	40	0	0.3482	-3	3	-0.0664	0.4080	0.0231	0.3769
	45	0.0020	0.3380	-3	3	-0.0528	0.3944	0.0298	0.3635
	50	0.0106	0.3294	-3	3	-0.0413	0.3830	0.0356	0.3524
0.19	5	0	0.7163	-3	3	-0.4797	0.8620	0	0.9463
	10	0	0.5622	-3	3	-0.2832	0.6655	0	0.6772
	15	0	0.4939	-3	3	-0.1962	0.5784	0	0.5705
	20	0	0.4532	-3	3	-0.1443	0.5266	0	0.5107
	25	0	0.4254	-3	3	-0.1089	0.4911	0.0046	0.4714
	30	0	0.4049	-3	3	-0.0827	0.4650	0.0168	0.4432
	35	0	0.3889	-3	3	-0.0624	0.4447	0.0268	0.4218
	40	0.0039	0.3761	-3	3	-0.0460	0.4283	0.0352	0.4048
	45	0.0146	0.3654	-3	3	-0.0325	0.4148	0.0423	0.3910
	50	0.0236	0.3564	-3	3	-0.0210	0.4033	0.0486	0.3794
0.25	5	0	0.8309	-3	3	-0.4182	0.9234	0*	1*
	10	0	0.6608	-3	3	-0.2217	0.7270	0	0.7758
	15	0	0.5854	-3	3	-0.1347	0.6399	0	0.6621
	20	0	0.5405	-3	3	-0.0828	0.5880	0.0220	0.5980
	25	0	0.5098	-3	3	-0.0474	0.5526	0.0402	0.5558
	30	0.0128	0.4872	-3	3	-0.0212	0.5265	0.0545	0.5255
	35	0.0304	0.4696	-3	3	-0.0009	0.5062	0.0661	0.5024
	40	0.0446	0.4554	-3	3	0.0154	0.4898	0.0759	0.4841
	45	0.0564	0.4436	-3	3	0.0290	0.4762	0.0841	0.4692
	50	0.0663	0.4337	-3	3	0.0405	0.4647	0.0913	0.4567

หมายเหตุ * หมายถึงขอบเขตของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่เหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการผิดปกติ

ตารางที่ 4.1.1 (ต่อ) ขอบเขตการควบคุม โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	P		Q		A		M	
		LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL	LCL	UCL
0.30	5	0	0.9148	-3	3	-0.3663	0.9753	0*	1*
	10	0	0.7347	-3	3	-0.1698	0.7789	0	0.8497
	15	0	0.6550	-3	3	-0.0828	0.6918	0.0284	0.7316
	20	0	0.6074	-3	3	-0.0309	0.6399	0.0551	0.6649
	25	0.0250	0.5750	-3	3	0.0045	0.6045	0.0750	0.6210
	30	0.0490	0.5510	-3	3	0.0307	0.5784	0.0907	0.5893
	35	0.0676	0.5324	-3	3	0.0510	0.5581	0.1033	0.5652
	40	0.0826	0.5174	-3	3	0.0673	0.5417	0.1139	0.5461
	45	0.0951	0.5049	-3	3	0.0809	0.5281	0.1228	0.5305
	50	0.1056	0.4944	-3	3	0.0924	0.5167	0.1306	0.5174
0.35	5	0	0.9899	-3	3	-0.3136	1.0280	0*	1*
	10	0	0.8025	-3	3	-0.1172	0.8315	0.0225	0.9175
	15	0	0.7195	-3	3	-0.0301	0.7445	0.0639	0.7961
	20	0.0300	0.6700	-3	3	0.0218	0.6926	0.0925	0.7275
	25	0.0638	0.6362	-3	3	0.0572	0.6572	0.1138	0.6822
	30	0.0888	0.6112	-3	3	0.0833	0.6311	0.1304	0.6496
	35	0.1081	0.5919	-3	3	0.1036	0.6107	0.1438	0.6247
	40	0.1238	0.5762	-3	3	0.1200	0.5944	0.1550	0.6050
	45	0.1367	0.5633	-3	3	0.1336	0.5808	0.1645	0.5889
	50	0.1476	0.5524	-3	3	0.1451	0.5693	0.1726	0.5754
0.40	5	0*	1*	-3	3	-0.2601	1.0816	0*	1*
	10	0	0.8648	-3	3	-0.0636	0.8851	0.0602	0.9798
	15	0.0205	0.7795	-3	3	0.0235	0.7981	0.1039	0.8561
	20	0.0714	0.7286	-3	3	0.0753	0.7462	0.1339	0.7861
	25	0.1061	0.6939	-3	3	0.1108	0.7108	0.1561	0.7399
	30	0.1317	0.6683	-3	3	0.1369	0.6846	0.1733	0.7067
	35	0.1516	0.6484	-3	3	0.1572	0.6643	0.1873	0.6813
	40	0.1676	0.6324	-3	3	0.1736	0.6479	0.1989	0.6611
	45	0.1809	0.6191	-3	3	0.1871	0.6344	0.2087	0.6446
	50	0.1922	0.6078	-3	3	0.1986	0.6229	0.2172	0.6308

หมายเหตุ * หมายถึงขอบเขตของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่เหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ

จากตารางที่ 4.1.1 แสดงขอบเขตการควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทั้ง 4 ชนิด จำแนกตามค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) และขนาดตัวอย่างกลุ่ม (n) สรุปได้ดังนี้

เมื่อสังเกตค่า LCL และค่า UCL พบว่ามีบางสถานการณ์ของแผนภูมิพี (P) และแผนภูมิพีปรับแก้ (M) ที่ให้ค่า LCL = 0 และค่า UCL = 1 ซึ่งแสดงว่าแผนภูมิทั้งสองไม่สามารถตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการได้ เนื่องจากค่าตัวอย่างในที่นี้คือค่า p_t มีค่าที่เป็นไปได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ดังนั้นเราจะไม่ทำการพิจารณาแผนภูมิพี และแผนภูมิพีปรับแก้ในสถานการณ์ดังกล่าว การหาช่วงของค่า p_0 และค่า n ที่เหมาะสมสำหรับการพิจารณา จะแสดงในตารางที่ 4.1.2 โดยค่า UCL ที่คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

แผนภูมพี $$UCL = p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$$

และ แผนภูมิพีปรับแก้ $$UCL = p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} + \frac{1.15}{n}$$

สำหรับตารางที่ 4.1.2 การแสดงค่า UCL จะแสดงค่าที่คำนวณได้จากสมการ โดยค่า UCL ที่แสดงถ้ามีค่ามากกว่า 1 เมื่อนำไปใช้จริง ค่า UCL = 1 โดยทุกสถานการณ์ที่แผนภูมิทั้งสองให้ค่า $UCL \geq 1$ จะมีค่า LCL=0 โดยการหากรณีที่แผนภูมิพี และแผนภูมิพีปรับแก้ มีขอบเขตควบคุมไม่เหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ ในที่นี้จะพิจารณาสถานการณ์ต่างๆ ด้วยค่า $p \leq 0.50$ เท่านั้น

ตารางที่ 4.1.2 ค่า UCL ของแผนภูมิพี และแผนภูมิพีปรับแก้ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

n	แผนภูมิพี				แผนภูมิพีปรับแก้			
	p_0	UCL	p_0	UCL	p_0	UCL	p_0	UCL
3	0.24	0.9797	0.25	1.0000	0.09	0.9690	0.10	1.0029
4	0.30	0.9874	0.31	1.0037	0.16	0.9974	0.17	1.0209
5	0.35	0.9899	0.36	1.0040	0.21	0.9865	0.22	1.0058
6	0.39	0.9874	0.40	1.0000	0.26	0.9889	0.27	1.0054
7	0.43	0.9914	0.44	1.0028	0.31	0.9987	0.32	1.0132
8	0.47	0.9994	0.48	1.0099	0.35	0.9997	0.36	1.0129
9	0.49	0.9899	0.50	1.0000	0.38	0.9932	0.39	1.0055
10	-	-	-	-	0.41	0.9916	0.42	1.0032
11	-	-	-	-	0.44	0.9935	0.45	1.0045
12	-	-	-	-	0.47	0.9981	0.48	1.0085
13	-	-	-	-	0.49	0.9944	0.50	1.0045

จากตารางที่ 4.1.2 พบว่า

แผนภูมิพี มีขอบเขตควบคุมที่เหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ ยกเว้น สถานการณ์ต่อไปนี้

- เมื่อ $n = 3$ และ $p_0 \geq 0.25$
- เมื่อ $n = 4$ และ $p_0 \geq 0.31$
- เมื่อ $n = 5$ และ $p_0 \geq 0.36$
- เมื่อ $n = 6$ และ $p_0 \geq 0.40$
- เมื่อ $n = 7$ และ $p_0 \geq 0.44$
- เมื่อ $n = 8$ และ $p_0 \geq 0.48$
- เมื่อ $n = 9$ และ $p_0 \geq 0.50$

แผนภูมิพีปรับแก้ มีขอบเขตควบคุมที่เหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ ยกเว้น สถานการณ์ต่อไปนี้

- เมื่อ $n = 3$ และ $p_0 \geq 0.10$
- เมื่อ $n = 4$ และ $p_0 \geq 0.17$
- เมื่อ $n = 5$ และ $p_0 \geq 0.22$
- เมื่อ $n = 6$ และ $p_0 \geq 0.27$
- เมื่อ $n = 7$ และ $p_0 \geq 0.32$
- เมื่อ $n = 8$ และ $p_0 \geq 0.36$
- เมื่อ $n = 9$ และ $p_0 \geq 0.39$
- เมื่อ $n = 10$ และ $p_0 \geq 0.42$
- เมื่อ $n = 11$ และ $p_0 \geq 0.45$
- เมื่อ $n = 12$ และ $p_0 \geq 0.48$
- เมื่อ $n = 13$ และ $p_0 \geq 0.50$

ในสถานการณ์ต่างๆ เหล่านี้ แผนภูมิพี และแผนภูมิพีปรับแก้ จะมีขอบเขตควบคุมด้วยค่า LCL = 0 และ ค่า UCL = 1 ทำให้ไม่สามารถตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการได้ ดังนั้นในขั้นตอนการพิจารณาคัดเลือกแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ด้วยค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) และค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) จะไม่นำแผนภูมิพี และแผนภูมิพีปรับแก้ในสถานการณ์เหล่านี้มาพิจารณา

สำหรับแผนภูมิคิว และแผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine เนื่องจากขอบเขต ควบคุมมีค่าที่เป็นไปได้อยู่ในช่วง $(-\infty, \infty)$ ดังนั้นจึงสามารถสร้างขอบเขตควบคุมได้ทุก สถานการณ์

แผนภูมิพี (P) แผนภูมิพีปรับแก้ (M) และแผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (A)

ขอบเขตควบคุมเมื่อค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) คงที่ จะมีค่าของขอบเขตควบคุม (ค่า UCL และค่า LCL) ขึ้นอยู่กับขนาดของกลุ่มตัวอย่าง n และพบว่าเมื่อมีการเพิ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่าง n มากขึ้น ขอบเขตควบคุมมีค่าพิสัย (ความกว้างระหว่างค่า UCL และค่า LCL) ลดลง

แผนภูมิพี (P) และแผนภูมิพีปรับแก้ (M) ที่ p_0 คงที่ จะมีค่า UCL ลดลงเรื่อยๆ เมื่อกลุ่มตัวอย่างขนาด n เพิ่มขึ้น ทุกๆ ค่า p_0

แผนภูมิพี (P) จะมีลักษณะของค่า LCL ดังนี้

ที่ $p_0 = 0.01$ เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 500 ค่า $LCL = 0$

ที่ $p_0 = 0.03$ เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 250 ค่า $LCL = 0$ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 300 ถึง 500 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ $p_0 = 0.05$ เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 150 ค่า $LCL = 0$ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 175 ถึง 500 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ $p_0 = 0.07$ เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 100 ค่า $LCL = 0$ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 125 ถึง 500 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ $p_0 = 0.09$ เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 90 ค่า $LCL = 0$ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 100 ถึง 500 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ $p_0 = 0.11, 0.13, 0.15$ เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 50 ค่า $LCL = 0$

ที่ $p_0 = 0.17$ เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 40 ค่า $LCL = 0$ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 45 ถึง 50 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ $p_0 = 0.19$ เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 35 ค่า $LCL = 0$ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 40 ถึง 50 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ $p_0 = 0.25$ เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 25 ค่า $LCL = 0$ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 30 ถึง 50 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.30 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 20 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 25 ถึง 50 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.35 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 15 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 20 ถึง 50 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.40 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 10 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 15 ถึง 50 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

แผนภูมิพีปรับแก้ (M) จะมีค่า LCL ดังนี้

ที่ p_0 = 0.01 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 25 ค่า LCL ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่ง n มีค่าตั้งแต่ 30 ขึ้นไป ค่า LCL= 0

ที่ p_0 = 0.03 เมื่อ n = 5 ค่า LCL≠ 0 แต่เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 175 ค่า LCL= 0 และ เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 200 ถึง 500 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.05 เมื่อ n = 5 ค่า LCL≠ 0 แต่เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 100 ค่า LCL= 0 และ เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 125 ถึง 500 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.07 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 80 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 90 ถึง 500 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.09 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 60 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 70 ถึง 500 ค่า LCL จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.11 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 45 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n = 50 ค่า LCL≠ 0

ที่ p_0 = 0.13 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 35 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 40 ถึง 50 LCL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.15 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 30 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 35 ถึง 50 LCL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.17 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 25 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 30 ถึง 50 LCL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.19 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 20 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 25 ถึง 50 LCL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.25 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 15 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 20 ถึง 50 LCL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.30 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 10 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 15 ถึง 50 LCL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ที่ p_0 = 0.35, 0.40 เมื่อ n = 5 ค่า LCL= 0 และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 50 LCL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (A) จะมีค่า UCL เป็นบวกเสมอ และที่ p_0 คงที่ เมื่อ n เพิ่มขึ้น LCL จะมีค่าเพิ่มขึ้น และ UCL จะมีค่าลดลง ในทุกๆ สถานการณ์

แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (A) จะมีค่า LCL ดังนี้

ที่ p_0 = 0.01, 0.03, 0.05 ค่าของ LCL เป็นลบ ทุกค่า n ที่ศึกษา (n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 500)

ที่ p_0 = 0.07 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 450 ค่าของ LCL เป็นลบ และเมื่อ n = 500 ค่าของ LCL เป็นบวก

ที่ p_0 = 0.09 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 250 ค่าของ LCL เป็นลบ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 300 ถึง 500 ค่าของ LCL เป็นบวก

ที่ p_0 = 0.11 ถึง 0.19 ค่าของ LCL เป็นลบ ทุกค่า n ที่ศึกษา (n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 50)

ที่ p_0 = 0.25 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 35 ค่าของ LCL เป็นลบ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 40 ถึง 50 ค่าของ LCL เป็นบวก

ที่ p_0 = 0.30 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 20 ค่าของ LCL เป็นลบ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 25 ถึง 50 ค่าของ LCL เป็นบวก

ที่ p_0 = 0.35 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 15 ค่าของ LCL เป็นลบ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 20 ถึง 50 ค่าของ LCL เป็นบวก

ที่ p_0 = 0.40 เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 10 ค่าของ LCL เป็นลบ และเมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 15 ถึง 50 ค่าของ LCL เป็นบวก

แผนภูมิคิว (Q) ลักษณะของขอบเขตควบคุมจะไม่ขึ้นอยู่กับค่าใดๆ เลย ไม่ว่าจะเป็นค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) หรือขนาดของกลุ่มตัวอย่าง n เนื่องจากขอบเขตควบคุมมาจากการแจกแจงปกติมาตรฐาน ดังนั้นจึงมีค่า LCL = -3 และ UCL = 3 ในทุกๆ สถานการณ์

แผนภูมิพี (P) และแผนภูมิพีปรับแก้ (M) ไม่เหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการที่มีค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมเกินกว่า 0.5 ซึ่งในทางปฏิบัติเกิดกรณีดังกล่าวได้น้อย

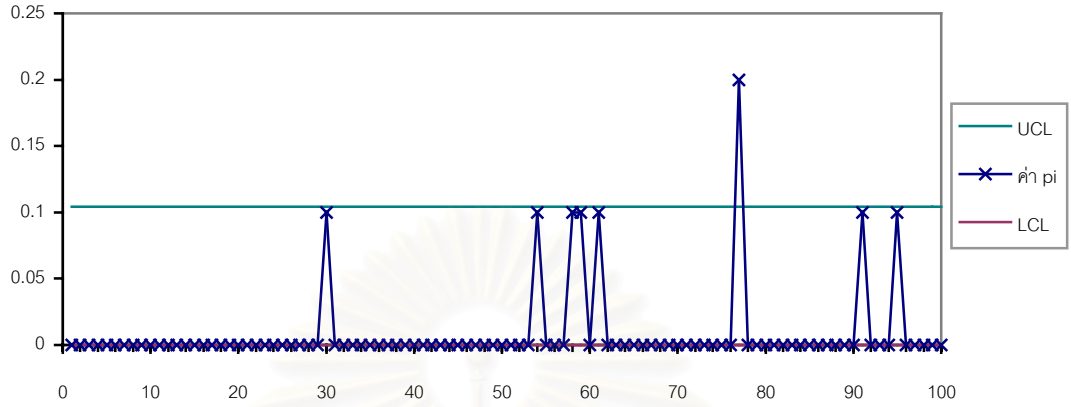
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

ในขั้นตอนนี้จะทำการพิจารณาเปรียบเทียบค่าประมาณความน่าจะเป็นของความ คลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย 4 ชนิด คือ แผนภูมิพี (P) แผนภูมิคิว (Q) แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (A) และแผนภูมิพีปรับแก้ (M) เพื่อคัดเลือกแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ($\delta = 1$) แล้วนำไปพิจารณาเลือกใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่เหมาะสมกับสถานการณ์ต่างๆ จากค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) ในขั้นตอนต่อไป สำหรับสถานการณ์ที่แผนภูมิพี และแผนภูมิพีปรับแก้มีขอบเขตของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียไม่เหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ เนื่องจากขอบเขตล่าง (LCL) เท่ากับ 0 และขอบเขตบน (UCL) เท่ากับ 1 จากตารางที่ 4.1.1 จะไม่ทำการหาค่า $\hat{\alpha}$

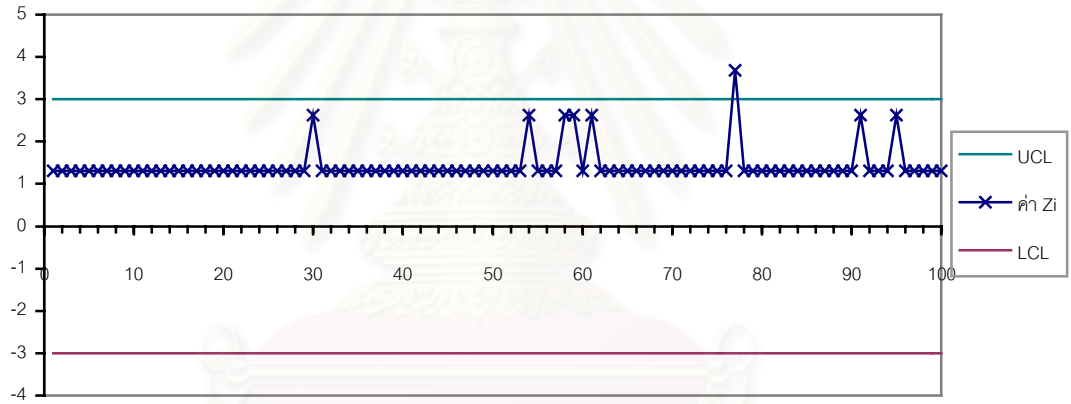
เมื่อสังเกตค่าประมาณความน่าจะเป็นของตัวอย่างที่ออกนอกขอบเขตควบคุม โดยกระบวนการยังคงอยู่ในการควบคุม ($\hat{\alpha}$) เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย (δ) เท่ากับ 1 จากการทดลอง 10,000 ครั้ง ดังแสดงใน ตารางที่ 4.2.1 ซึ่งแสดงค่า $\hat{\alpha}$ จำแนกตามค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม p_0 และกลุ่มตัวอย่างขนาด n ถ้าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียใดให้ค่า $\hat{\alpha}$ ไม่เกิน 0.0036 สรุปว่าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียนั้นสามารถตรวจสอบกระบวนการได้ตามสถานการณ์ต่างๆ ที่กำหนด โดยตารางที่ 4.2.2 จะแสดงแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ตามสถานการณ์ต่างๆ

สำหรับตัวอย่างของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบกระบวนการเมื่ออยู่ในการควบคุม ($\delta = 1$) ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค. หน้า 101-104 โดยแสดงตัวอย่างของตัวแปรสุ่มที่ถูกสร้างขึ้นสถานการณ์ละ 100 ค่า จาก 3 สถานการณ์ คือ สถานการณ์ที่ 1) $p_0 = 0.01$, n = 10 สถานการณ์ที่ 2) $p_0 = 0.10$, n = 50 และ สถานการณ์ที่ 3) $p_0 = 0.20$, n = 25 พร้อมทั้งตรวจสอบตัวแปรสุ่มที่ได้ว่ามีลักษณะการแจกแจงทวินามตามที่กำหนดหรือไม่ นำข้อมูลทั้ง 3 สถานการณ์มาตรวจสอบกระบวนการกับขอบเขตของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทั้ง 4 ชนิดที่สร้างขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4-1-1 ถึงภาพที่ 4-3-4

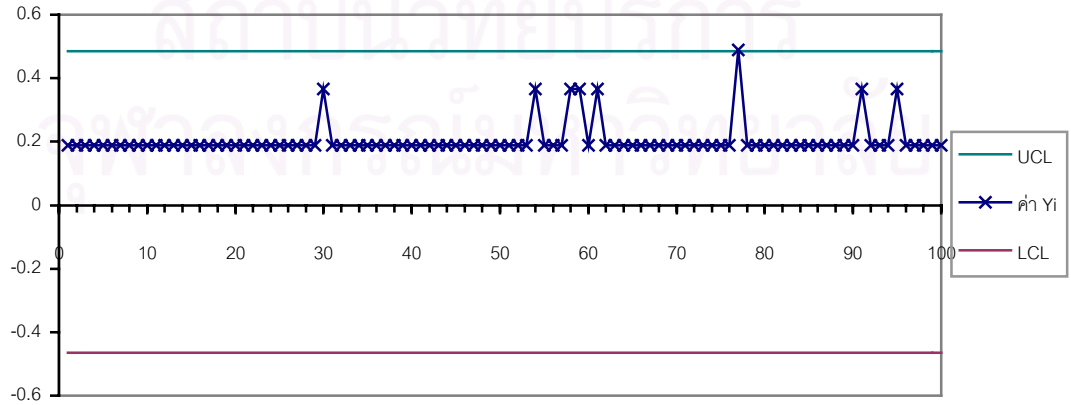
สถานการณ์ที่ 1 $p_0 = 0.01$, n = 10



ภาพที่ 4-1-1 แสดงแผนภูมิควบคุมพี LCL = 0, UCL = 0.1044

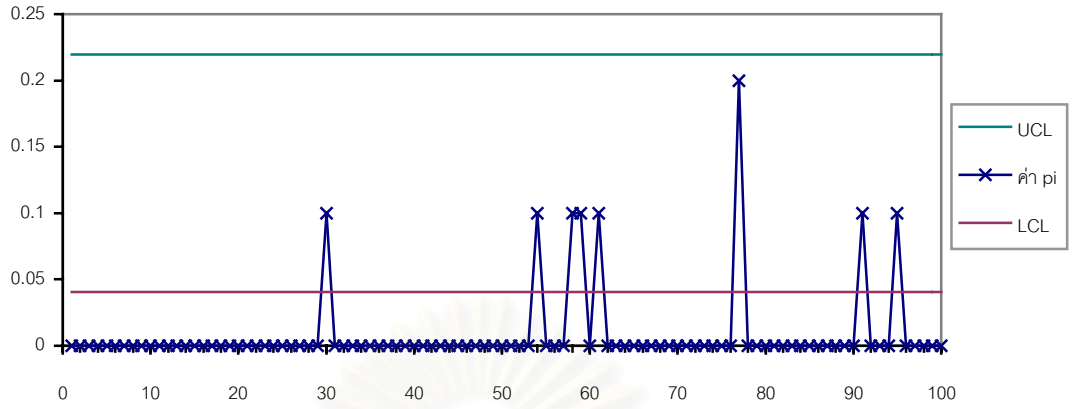


ภาพที่ 4-1-2 แสดงแผนภูมิควบคุมคิว LCL = -3, UCL = 3



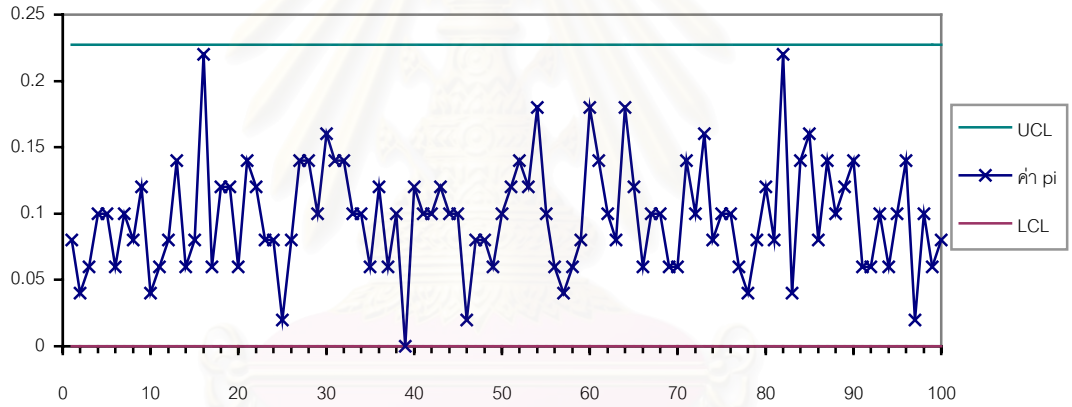
ภาพที่ 4-1-3 แสดงแผนภูมิควบคุมที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine

LCL = -0.4643, UCL = 0.4843

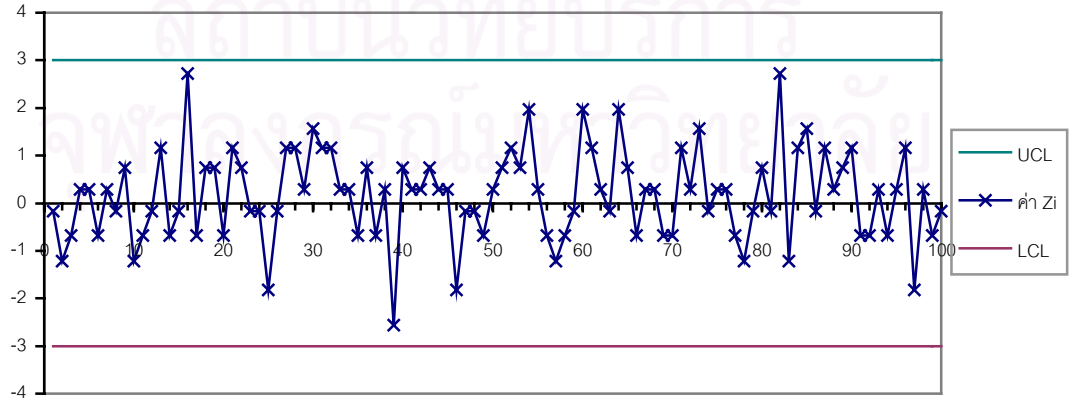


ภาพที่ 4-1-4 แสดงแผนภูมิควบคุมพีปรับแก้ LCL = 0.0406, UCL = 0.2194

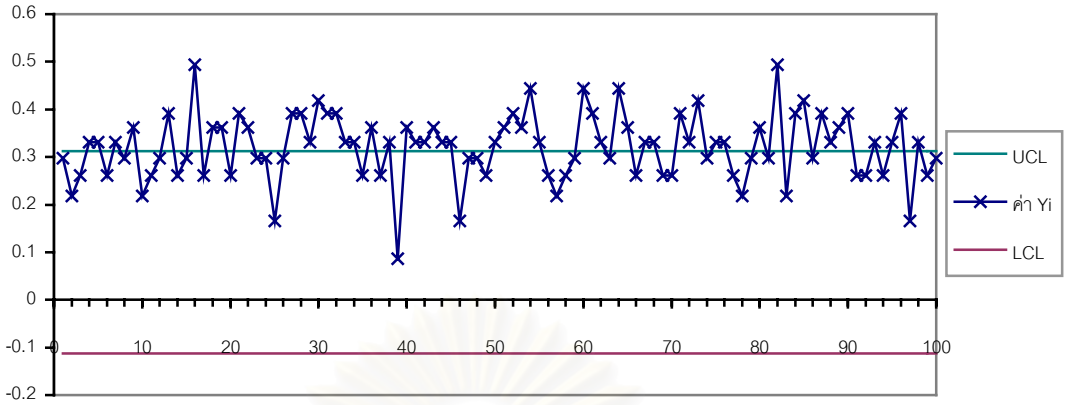
สถานการณ์ที่ 2 $p_0 = 0.10$, $n = 50$



ภาพที่ 4-2-1 แสดงแผนภูมิควบคุมพี LCL = 0, UCL = 0.2273

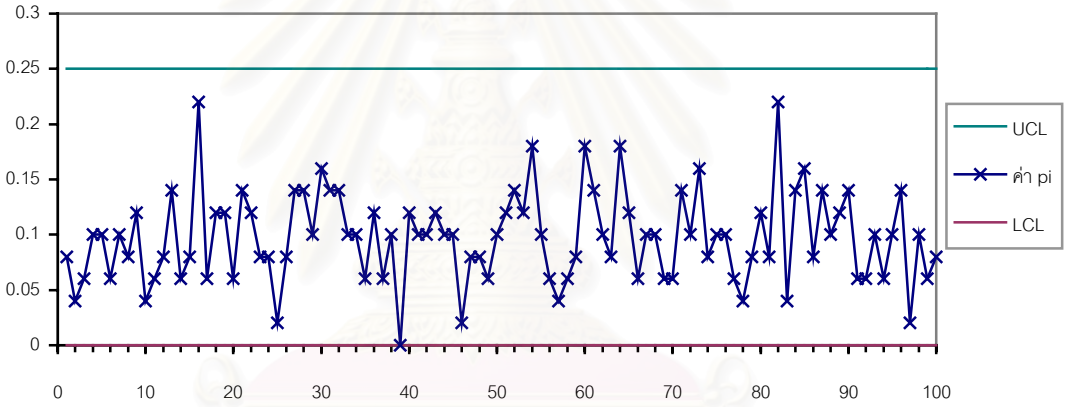


ภาพที่ 4-2-2 แสดงแผนภูมิควบคุมคิว LCL = -3, UCL = 3



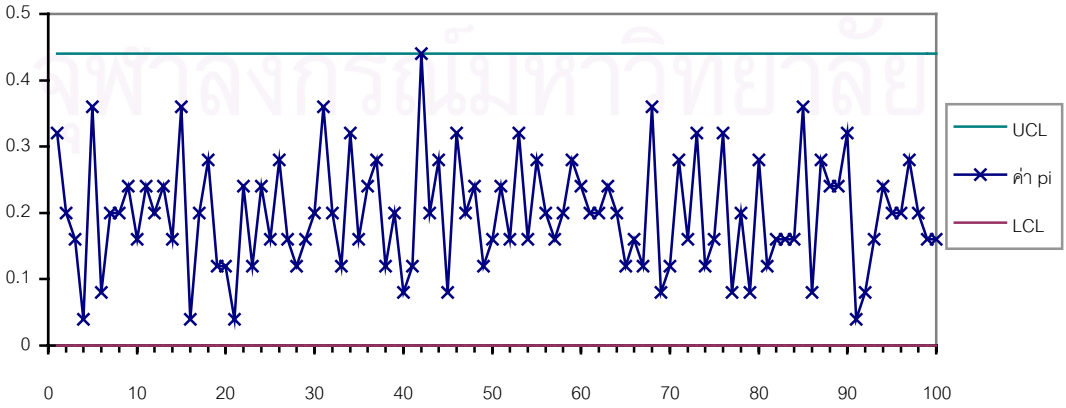
ภาพที่ 4-2-3 แสดงแผนภูมิควบคุมที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine

LCL = -0.1120, UCL = 0.3123

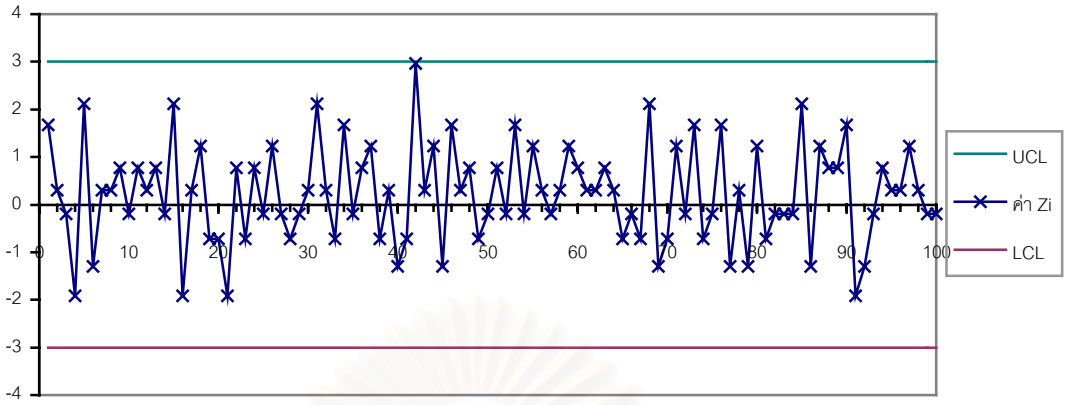


ภาพที่ 4-2-4 แสดงแผนภูมิควบคุมพีปรับแก้ LCL = 0, UCL = 0.2503

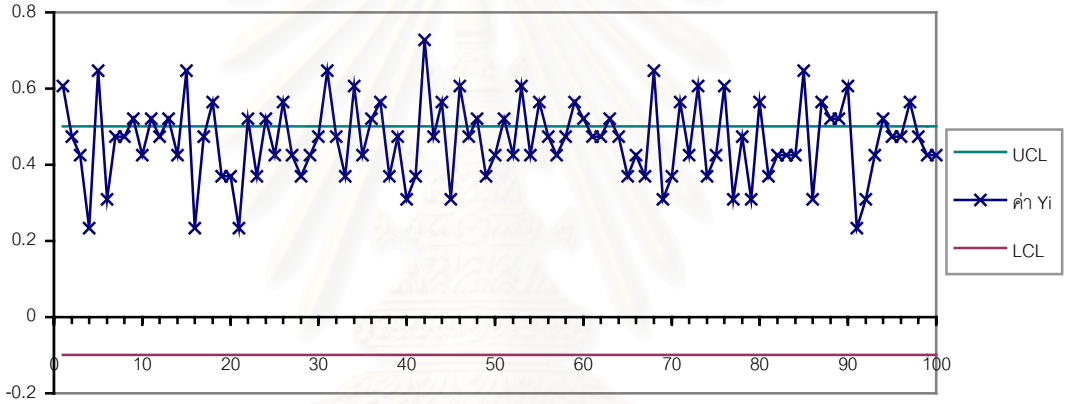
สถานการณ์ที่ 3 $p_0 = 0.20$, $n = 25$



ภาพที่ 4-3-1 แสดงแผนภูมิควบคุมพี LCL = 0, UCL = 0.4400

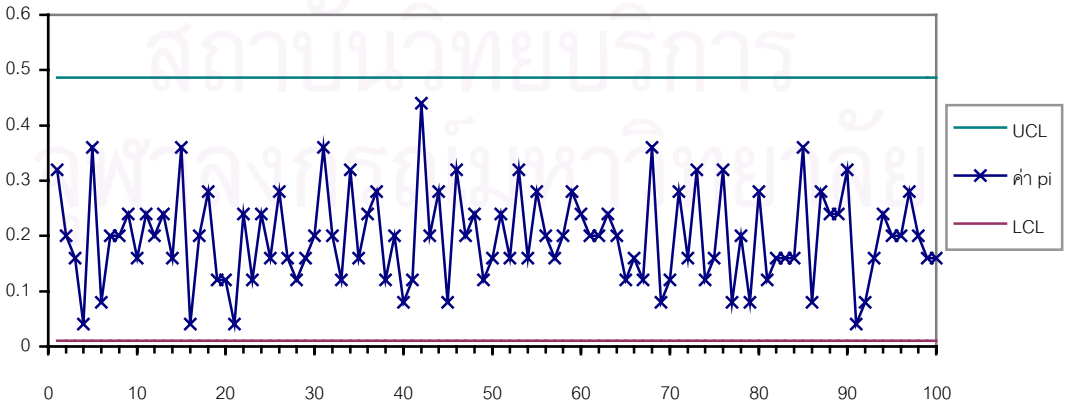


ภาพที่ 4-3-2 แสดงแผนภูมิควบคุมคิว LCL = -3, UCL = 3



ภาพที่ 4-3-3 แสดงแผนภูมิควบคุมที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine

LCL = -0.0987, UCL = 0.5013



ภาพที่ 4-3-4 แสดงแผนภูมิควบคุมพีปรับแก้ LCL = 0.0100, UCL = 0.4860

ตารางที่ 4.2.1 แสดงค่า $\hat{\alpha}$ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า $\hat{\alpha}$			
		P	Q	A	M
0.01	5	0.0479*	0.0479*	0	0.9528*
	10	0.0378*	0.0378*	0	0.9064*
	15	0.0262*	0.0262*	0.0007	0.8669*
	20	0.0237*	0.0171*	0.0017	0.8230*
	25	0.0191*	0.0100*	0.0026	0.7848*
	30	0.0171*	0.0076*	0.0036	0.0003
	35	0.0161*	0.0059*	0.0058*	0.0003
	40	0.0115*	0.0058*	0.0076*	0.0004
	45	0.0114*	0.0052*	0.0114*	0.0005
	50	0.0100*	0.0049*	0.0161*	0.0007
	60	0.0097*	0.0045*	0.0237*	0.0007
	70	0.0087*	0.0042*	0.0316*	0.0008
	80	0.0085*	0.0040*	0.0457*	0.0009
	90	0.0083*	0.0038*	0.0665*	0.0009
	100	0.0076*	0.0037*	0.0807*	0.0009
	125	0.0068*	0.0030	0.1308*	0.0010
	150	0.0059*	0.0025	0.1908*	0.0011
	175	0.0058*	0.0020	0.2545*	0.0012
	200	0.0058*	0.0017	0.3223*	0.0014
	225	0.0056*	0.0016	0.3955*	0.0014
	250	0.0049*	0.0014	0.4594*	0.0016
	300	0.0047*	0.0014	0.5806*	0.0017
	350	0.0041*	0.0010	0.6839*	0.0020
	400	0.0039*	0.0009	0.7597*	0.0023
	450	0.0035	0.0008	0.8307*	0.0025
	500	0.0028	0.0007	0.8763*	0.0030

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2.1 (ต่อ) แสดงค่า $\hat{\alpha}$ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า $\hat{\alpha}$			
		P	Q	A	M
0.03	5	0.0359*	0.0102*	0.0005	0.8600*
	10	0.0201*	0.0096*	0.0036	0.0002
	15	0.0135*	0.0092*	0.0102*	0.0003
	20	0.0110*	0.0073*	0.0103*	0.0006
	25	0.0102*	0.0066*	0.0201*	0.0007
	30	0.0101*	0.0062*	0.0599*	0.0007
	35	0.0092*	0.0055*	0.0934*	0.0007
	40	0.0086*	0.0046*	0.1178*	0.0009
	45	0.0067*	0.0035	0.1493*	0.0010
	50	0.0066*	0.0031	0.1552*	0.0011
	60	0.0062*	0.0029	0.1961*	0.0011
	70	0.0057*	0.0028	0.2173*	0.0013
	80	0.0056*	0.0024	0.2703*	0.0013
	90	0.0055*	0.0021	0.2828*	0.0014
	100	0.0050*	0.0021	0.3541*	0.0016
	125	0.0044*	0.0021	0.5207*	0.0016
	150	0.0036	0.0019	0.6579*	0.0017
	175	0.0035	0.0018	0.7728*	0.0018
	200	0.0034	0.0017	0.8479*	0.0021
	225	0.0033	0.0016	0.9064*	0.0022
	250	0.0032	0.0016	0.9446*	0.0023
	300	0.0031	0.0014	0.9457*	0.0024
	350	0.0029	0.0013	0.9803*	0.0028
	400	0.0023	0.0013	0.9934*	0.0029
	450	0.0022	0.0011	0.9982*	0.0033
	500	0.0021	0.0010	0.9996*	0.0034

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2.1 (ต่อ) แสดงค่า $\hat{\alpha}$ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า $\hat{\alpha}$			
		P	Q	A	M
0.05	5	0.0227*	0.0074*	0.0015	0.7736*
	10	0.0159*	0.0064*	0.0120*	0.0003
	15	0.0120*	0.0045*	0.0361*	0.0007
	20	0.0084*	0.0044*	0.0608*	0.0007
	25	0.0079*	0.0042*	0.0715*	0.0009
	30	0.0075*	0.0033	0.0986*	0.0009
	35	0.0074*	0.0030	0.1304*	0.0009
	40	0.0073*	0.0029	0.1376*	0.0010
	45	0.0071*	0.0026	0.1871*	0.0011
	50	0.0066*	0.0026	0.2419*	0.0011
	60	0.0064*	0.0025	0.3503*	0.0016
	70	0.0054*	0.0023	0.4696*	0.0017
	80	0.0047*	0.0023	0.5693*	0.0017
	90	0.0044*	0.0022	0.6703*	0.0018
	100	0.0036	0.0021	0.7431*	0.0021
	125	0.0035	0.0020	0.7541*	0.0022
	150	0.0034	0.0019	0.8731*	0.0022
	175	0.0033	0.0018	0.9418*	0.0023
	200	0.0033	0.0017	0.9714*	0.0025
	225	0.0033	0.0017	0.9737*	0.0026
	250	0.0032	0.0017	0.9867*	0.0027
	300	0.0031	0.0016	0.9983*	0.0029
	350	0.0030	0.0016	0.9996*	0.0031
	400	0.0029	0.0015	0.9996*	0.0031
	450	0.0028	0.0011	0.9999*	0.0033
	500	0.0026	0.0009	1.0000*	0.0034

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2.1 (ต่อ) แสดงค่า $\hat{\alpha}$ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า $\hat{\alpha}$			
		P	Q	A	M
0.07	5	0.0116*	0.0059*	0.0039*	0.0002
	10	0.0097*	0.0046*	0.0183*	0.0003
	15	0.0077*	0.0043*	0.0300*	0.0005
	20	0.0060*	0.0042*	0.0837*	0.0006
	25	0.0060*	0.0042*	0.0966*	0.0006
	30	0.0059*	0.0031	0.1555*	0.0007
	35	0.0047*	0.0030	0.2323*	0.0007
	40	0.0046*	0.0027	0.3044*	0.0011
	45	0.0042*	0.0026	0.3869*	0.0012
	50	0.0039*	0.0025	0.4170*	0.0013
	60	0.0038*	0.0024	0.4725*	0.0014
	70	0.0036	0.0024	0.5537*	0.0015
	80	0.0034	0.0023	0.6752*	0.0018
	90	0.0033	0.0022	0.7721*	0.0019
	100	0.0033	0.0020	0.8405*	0.0021
	125	0.0032	0.0019	0.8828*	0.0021
	150	0.0032	0.0019	0.9570*	0.0021
	175	0.0031	0.0018	0.9852*	0.0022
	200	0.0031	0.0016	0.9882*	0.0024
	225	0.0031	0.0015	0.9970*	0.0027
	250	0.0030	0.0015	0.9987*	0.0028
	300	0.0029	0.0014	0.9999*	0.0029
	350	0.0027	0.0013	1.0000*	0.0030
	400	0.0024	0.0012	1.0000*	0.0033
	450	0.0021	0.0012	1.0000*	0.0033
	500	0.0017	0.0011	1.0000*	0.0034

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2.1 (ต่อ) แสดงค่า $\hat{\alpha}$ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า $\hat{\alpha}$			
		P	Q	A	M
0.09	5	0.0103*	0.0073*	0.0073*	0.0005
	10	0.0088*	0.0049*	0.0422*	0.0005
	15	0.0073*	0.0045*	0.0568*	0.0007
	20	0.0071*	0.0043*	0.0995*	0.0007
	25	0.0059*	0.0041*	0.1815*	0.0008
	30	0.0056*	0.0033	0.2803*	0.0010
	35	0.0049*	0.0024	0.2891*	0.0012
	40	0.0044*	0.0022	0.3821*	0.0012
	45	0.0037*	0.0022	0.3900*	0.0013
	50	0.0036	0.0022	0.4745*	0.0016
	60	0.0035	0.0021	0.6409*	0.0019
	70	0.0035	0.0021	0.7440*	0.0019
	80	0.0033	0.0021	0.7667*	0.0021
	90	0.0032	0.0020	0.8321*	0.0021
	100	0.0032	0.0019	0.8943*	0.0021
	125	0.0030	0.0017	0.9437*	0.0021
	150	0.0026	0.0016	0.9864*	0.0021
	175	0.0026	0.0015	0.9913*	0.0022
	200	0.0026	0.0015	0.9986*	0.0024
	225	0.0026	0.0014	0.9987*	0.0026
	250	0.0023	0.0013	0.9994*	0.0028
	300	0.0022	0.0013	1.0000*	0.0028
	350	0.0021	0.0012	1.0000*	0.0029
	400	0.0021	0.0011	1.0000*	0.0033
	450	0.0018	0.0010	1.0000*	0.0034
	500	0.0016	0.0007	1.0000*	0.0035

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2.1 (ต่อ) แสดงค่า $\hat{\alpha}$ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า $\hat{\alpha}$			
		P	Q	A	M
0.11	5	0.0122*	0.0122*	0.0122*	0.0003
	10	0.0043*	0.0043*	0.0194*	0.0005
	15	0.0043*	0.0043*	0.0773*	0.0006
	20	0.0042*	0.0042*	0.1733*	0.0006
	25	0.0042*	0.0042*	0.2343*	0.0007
	30	0.0042*	0.0036	0.2963*	0.0008
	35	0.0041*	0.0034	0.3452*	0.0009
	40	0.0041*	0.0031	0.4549*	0.0010
	45	0.0025	0.0025	0.4753*	0.0012
	50	0.0024	0.0024	0.5668*	0.0020
0.13	5	0.0190*	0.0071*	0.0190*	0.0000
	10	0.0087*	0.0062*	0.0326*	0.0004
	15	0.0062*	0.0041*	0.1060*	0.0005
	20	0.0054*	0.0034	0.1227*	0.0005
	25	0.0051*	0.0031	0.2237*	0.0008
	30	0.0040*	0.0029	0.3512*	0.0011
	35	0.0036	0.0028	0.4242*	0.0012
	40	0.0035	0.0014	0.4855*	0.0019
	45	0.0034	0.0014	0.5366*	0.0022
	50	0.0032	0.0008	0.6486*	0.0025
0.15	5	0.0109*	0.0047*	0.0275*	0.0000
	10	0.0061*	0.0042*	0.0526*	0.0001
	15	0.0045*	0.0040*	0.1722*	0.0005
	20	0.0042*	0.0032	0.1786*	0.0009
	25	0.0039*	0.0026	0.2917*	0.0010
	30	0.0036	0.0022	0.3241*	0.0010
	35	0.0035	0.0019	0.4295*	0.0012
	40	0.0032	0.0013	0.5222*	0.0019
	45	0.0030	0.0013	0.5641*	0.0022
	50	0.0022	0.0009	0.6405*	0.0027

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้

ตารางที่ 4.2.1 (ต่อ) แสดงค่า $\hat{\alpha}$ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า $\hat{\alpha}$			
		P	Q	A	M
0.17	5	0.0069*	0.0069*	0.0370*	0.0000
	10	0.0068*	0.0068*	0.0739*	0.0002
	15	0.0064*	0.0064*	0.0947*	0.0003
	20	0.0052*	0.0025	0.2475*	0.0003
	25	0.0045*	0.0022	0.2490*	0.0003
	30	0.0032	0.0022	0.4033*	0.0012
	35	0.0028	0.0022	0.5290*	0.0020
	40	0.0025	0.0021	0.5629*	0.0024
	45	0.0022	0.0016	0.6671*	0.0025
	50	0.0022	0.0011	0.7692*	0.0028
0.19	5	0.0060*	0.0060*	0.0051*	0.0000
	10	0.0051*	0.0051*	0.1042*	0.0002
	15	0.0045*	0.0036	0.1376*	0.0005
	20	0.0039*	0.0032	0.1621*	0.0005
	25	0.0036	0.0031	0.3341*	0.0013
	30	0.0034	0.0022	0.3416*	0.0015
	35	0.0031	0.0016	0.5036*	0.0019
	40	0.0026	0.0015	0.6395*	0.0024
	45	0.0022	0.0015	0.6558*	0.0029
	50	0.0016	0.0013	0.7562*	0.0030
0.25	5	0.0042*	0.0036	0.0166*	-
	10	0.0039*	0.0035	0.0788*	0.0004
	15	0.0038*	0.0035	0.1446*	0.0009
	20	0.0035	0.0034	0.2119*	0.0013
	25	0.0034	0.0029	0.4434*	0.0021
	30	0.0028	0.0028	0.4899*	0.0026
	35	0.0027	0.0027	0.5265*	0.0027
	40	0.0026	0.0020	0.7006*	0.0028
	45	0.0020	0.0011	0.7251*	0.0031
	50	0.0007	0.0011	0.7433*	0.0033

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้

- หมายถึงขอบเขตของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่เหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ

ตารางที่ 4.2.1 (ต่อ) แสดงค่า $\hat{\alpha}$ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า $\hat{\alpha}$			
		P	Q	A	M
0.30	5	0.0041*	0.0032	0.0316*	-
	10	0.0039*	0.0031	0.0970*	0.0003
	15	0.0029	0.0029	0.1258*	0.0016
	20	0.0028	0.0028	0.2254*	0.0021
	25	0.0025	0.0025	0.3206*	0.0026
	30	0.0022	0.0022	0.4100*	0.0030
	35	0.0020	0.0020	0.6382*	0.0030
	40	0.0017	0.0017	0.6908*	0.0031
	45	0.0016	0.0016	0.7455*	0.0033
	50	0.0015	0.0015	0.7841*	0.0034
0.35	5	0.0040*	0.0031	0.0046*	-
	10	0.0038*	0.0030	0.0942*	0.0017
	15	0.0028	0.0028	0.1119*	0.0017
	20	0.0027	0.0027	0.2356*	0.0019
	25	0.0026	0.0026	0.3650*	0.0019
	30	0.0025	0.0025	0.4948*	0.0022
	35	0.0016	0.0016	0.5973*	0.0022
	40	0.0015	0.0015	0.6866*	0.0024
	45	0.0015	0.0015	0.7604*	0.0029
	50	0.0004	0.0004	0.8162*	0.0034
0.40	5	-	0.0031	0.0091*	-
	10	0.0037*	0.0018	0.0535*	0.0016
	15	0.0017	0.0017	0.0942*	0.0020
	20	0.0017	0.0017	0.2400*	0.0022
	25	0.0017	0.0017	0.4140*	0.0026
	30	0.0015	0.0015	0.4217*	0.0028
	35	0.0011	0.0011	0.5671*	0.0029
	40	0.0009	0.0009	0.6841*	0.0031
	45	0.0007	0.0007	0.6786*	0.0031
	50	0.0000	0.0000	0.7687*	0.0033

หมายเหตุ * หมายถึงแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้

- หมายถึงขอบเขตของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ไม่เหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ

จากตารางที่ 4.2.1 พบว่า ทุกสถานการณ์ที่จำลองขึ้น แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทุกแผนภูมิให้ค่า $\hat{\alpha}$ ไม่เกิน 0.0036 ยกเว้นในสถานการณ์ดังต่อไปนี้

แผนภูมิพี (P) ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ที่ $p_0 = 0.01$ เมื่อ $n \leq 400$

ที่ $p_0 = 0.03$ เมื่อ $n \leq 125$

ที่ $p_0 = 0.05$ เมื่อ $n \leq 90$

ที่ $p_0 = 0.07$ เมื่อ $n \leq 60$

ที่ $p_0 = 0.09$ เมื่อ $n \leq 45$

ที่ $p_0 = 0.11$ เมื่อ $n \leq 40$

ที่ $p_0 = 0.13$ เมื่อ $n \leq 30$

ที่ $p_0 = 0.15, 0.17$ เมื่อ $n \leq 25$

ที่ $p_0 = 0.19$ เมื่อ $n \leq 20$

ที่ $p_0 = 0.25$ เมื่อ $n \leq 15$

ที่ $p_0 = 0.30, 0.35, 0.40$ เมื่อ $n \leq 10$

แผนภูมิคิว (Q) ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ที่ $p_0 = 0.01$ เมื่อ $n \leq 100$

ที่ $p_0 = 0.03$ เมื่อ $n \leq 40$

ที่ $p_0 = 0.05, 0.07, 0.09, 0.11$ เมื่อ $n \leq 25$

ที่ $p_0 = 0.13, 0.15, 0.17$ เมื่อ $n \leq 15$

ที่ $p_0 = 0.19$ เมื่อ $n \leq 10$

แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (A) ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ที่ $p_0 = 0.01$ เมื่อ $n \geq 35$

ที่ $p_0 = 0.03$ เมื่อ $n \geq 15$

ที่ $p_0 = 0.05$ เมื่อ $n \geq 10$

ที่ $p_0 = 0.07$ ถึง 0.40 ทุกค่า n ที่ศึกษา

แผนภูมิพีปรับแก้ (M) ไม่สามารถควบคุมค่า α ได้

ที่ $p_0 = 0.01$ เมื่อ $n \leq 25$ และ ที่ $p_0 = 0.03, 0.05$ เมื่อ $n = 5$

ดังนั้นในการพิจารณาค่า ARL เพื่อคัดเลือกแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ดีที่สุดตามแต่ละสถานการณ์ในขั้นตอนต่อไป จะเลือกพิจารณาเฉพาะแผนภูมิที่มีขอบเขตควบคุมเหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ และสามารถควบคุมค่า α ได้เท่านั้น

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่า α จากตารางที่ 4.2.1 และตัวอย่างการตรวจสอบ กระบวนการในภาพที่ 4-1-1 ถึงภาพที่ 4-3-4 พบว่า

แผนภูมิพีและแผนภูมิคิว มีแนวโน้มของค่า α ลดลงเรื่อยๆ เมื่อ p_0 คงที่ และ n เพิ่มขึ้น และจากตัวอย่างการตรวจสอบกระบวนการของสถานการณ์ที่ 1 เมื่อ $p_0 = 0.01$, n = 10 ในภาพที่ 4-1-1 ถึงภาพที่ 4-1-2 สถานการณ์ที่ 2) $p_0 = 0.10$, n = 50 ในภาพที่ 4-2-1 ถึงภาพที่ 4-2-2 และสถานการณ์ที่ 3) $p_0 = 0.20$, n = 25 ในภาพที่ 4-3-1 ถึงภาพที่ 4-3-2 จะเห็นว่าขอบเขตควบคุมของแผนภูมิพีและแผนภูมิคิว ให้ผลการตรวจสอบกระบวนการใกล้เคียงกันในทุกๆ สถานการณ์ ที่สามารถควบคุมค่า α ได้

แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine มีแนวโน้มของค่า α เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อ p_0 คงที่ และ n เพิ่มขึ้น เนื่องจากแผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine เป็นแผนภูมิที่ถูกสร้างขึ้นโดยการแปลงข้อมูลที่มีการแจงแจงแบบทวินามที่มีลักษณะเบ้ขวาเมื่อค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมมีขนาดเล็กลู่เข้าสู่การแจกแจงปกติ เพื่อช่วยลดขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่จำเป็นลง[1] สังเกตได้จากตัวอย่างการตรวจสอบกระบวนการของสถานการณ์ที่ 1 เมื่อ $p_0 = 0.01$, n = 10 ในภาพที่ 4-1-3 ดังนั้นเมื่อขนาดของกลุ่มตัวอย่างมาก จึงทำให้ค่าตัวอย่างตกออกนอกขอบเขตควบคุมบน (UCL) มากขึ้น ทั้งที่กระบวนการยังคงอยู่ในการควบคุม และเมื่อสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมมีค่าเข้าสู่ 0.50 ผลที่ได้จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน สังเกตได้จากตัวอย่างการตรวจสอบกระบวนการของสถานการณ์ที่ 2) $p_0 = 0.10$, n = 50 ในภาพที่ 4-2-3 และสถานการณ์ที่ 3) $p_0 = 0.20$, n = 25 ในภาพที่ 4-3-3 ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่า α ในตารางที่ 4.2.1 จะเห็นว่าเมื่อขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น หรือค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมมีขนาดใหญ่ขึ้น ค่า α จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

แผนภูมิพีปรับแก้ มีแนวโน้มของค่า α ลดลงเรื่อยๆ เมื่อ p_0 คงที่ และ n เพิ่มขึ้น ในกรณีที่แผนภูมิไม่สามารถควบคุมค่า α ได้ เนื่องจากแผนภูมิพีปรับแก้เป็นแผนภูมิที่สร้างขึ้นเพื่อขจัดปัญหาการแจ้งกระบวนการออกนอกการควบคุมผิดพลาด โดยปรับขอบเขตควบคุมจากแผนภูมิพีทั้งขอบเขตล่าง (LCL) และขอบเขตบน (UCL) ให้มีค่าสูงขึ้น และมีพิสัยกว้างขึ้นตามขนาดของกลุ่มตัวอย่าง จึงทำให้ผลการตรวจสอบกระบวนการเมื่อขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่าน้อย เกิดกรณีค่าตัวอย่างตกออกนอกขอบเขตล่างมาก ทั้งที่กระบวนการยังคงอยู่ในการควบคุม ซึ่งสังเกตได้จากตัวอย่างการตรวจสอบกระบวนการของสถานการณ์ที่ 1 เมื่อ $p_0 = 0.01$, n = 10 ในภาพที่ 4-1-4 แต่ในกรณีที่แผนภูมิสามารถควบคุมค่า α ได้ค่า α จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อ p_0 คงที่ และ n เพิ่มขึ้น

---

[1] Thomas P., Ryan. 2000. STATISTICAL METHODS FOR QUALITY IMPROVEMENT: 2nd ed, pp.158-162. John Wiley, New York, NY.

สังเกตได้จากตัวอย่างการตรวจสอบกระบวนการของสถานการณ์ที่ 2) $p_0 = 0.10$, n = 50 ในภาพที่ 4-2-4 และสถานการณ์ที่ 3) $p_0 = 0.20$, n = 25 ในภาพที่ 4-3-4

โดยผลสรุปของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่มีขอบเขตควบคุมเหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ และให้ค่า α ไม่เกิน 0.0036 แสดงไว้ในตารางที่ 4.2.2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2.2 แสดงวิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ให้ค่า α ไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

n \ p_0	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.25	0.30	0.35	0.40
5	A	A	A	M	M	M	M	M	M	M	Q	Q	Q	Q
10	A	A, M	M	M	M	M	M	M	M	M	Q, M	Q, M	Q, M	Q, M
15	A	M	M	M	M	M	M	M	M	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M
20	A	M	M	M	M	M	Q, M	Q, M	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M
25	A	M	M	M	M	M	Q, M	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M
30	A, M	M	Q, M	Q, M	Q, M	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M
35	M	M	Q, M	Q, M	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M
40	M	M	Q, M	Q, M	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M
45	M	Q, M	Q, M	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M
50	M	Q, M	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M
60	M	Q, M	Q, M	Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	M	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	M	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	M	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
125	Q, M	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
175	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
225	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
250	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
350	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	P, Q, M	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ – หมายถึง ในงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาในสถานการณ์ดังกล่าว เนื่องจากผลที่ได้มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ P, Q, M

เมื่อสังเกตผลการทดลองจากตารางที่ 4.2.2 พบว่า แผนภูมิพีสามารถควบคุมค่า α ได้ เมื่อ $np_0 \geq 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิคิวสามารถควบคุมค่า α ได้ เมื่อ $np_0 \geq 1.5$ โดยประมาณ แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine สามารถควบคุมค่า α ได้ เมื่อ $np_0 \leq 0.3$ โดยประมาณ และแผนภูมิพีปรับแก้สามารถควบคุมค่า α ได้ เมื่อ $np_0 \geq 0.3$ โดยประมาณ

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย ARL ในกรณีที่กระบวนการผิดปกติ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย

จากหัวข้อ 4.2 เลือกเฉพาะแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่มีขอบเขตควบคุมเหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ และสามารถควบคุมค่า α ได้ ($\alpha \leq 0.0036$) ตามสถานการณ์ต่างๆ ดังตารางที่ 4.2.2 เพื่อนำมาหาค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทั้ง 4 ชนิด ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (n) และระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย (δ) เมื่อกระบวนการผิดปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.3.1 และตารางที่ 4.3.2 ถึงตารางที่ 4.3.5 (ดูภาคผนวก ง. หน้า 106 – 137) โดยแสดงเฉพาะค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่มีขอบเขตควบคุมเหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ และสามารถควบคุมค่า α ได้เท่านั้น

พารามิเตอร์ p_0 กำหนดค่าเป็น 2 ระดับ คือ

- ระดับที่ 1 มีค่าตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.19 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.02
- ระดับที่ 2 มีค่าตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.40 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05

n กำหนดตามค่า p_0 คือ

- เมื่อ p_0 = 0.01 ถึง 0.09, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500
- เมื่อ p_0 = 0.11 ถึง 0.40, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

δ = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0

ตารางที่ 4.3.1 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.1$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.01	5			993.4880*	
	10			936.1210*	
	15			765.4530*	
	20			561.4430*	
	25			369.7560*	
	30			227.7710*	861.4280
	35				779.1980*
	40				750.3030*
	45				681.4210*
	50				629.8280*
	60				605.7110*
	70				546.8620*
	80				509.1020*
	90				463.0240*
	100				458.9190*
	125		302.6300*		441.8030
	150		257.7590*		438.2760
	175		255.6090*		431.4770
	200		236.0310*		427.6110
	225		231.3170*		395.1860
	250		212.1830*		333.2220
	300		184.4620*		302.6300
	350		179.1770*		257.7590
	400		168.0970*		255.6090
	450	93.8320*	140.8920		236.0310
	500	81.6610*	125.2060		212.1830

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.1$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.03	5			830.8510*	
	10			267.7430*	889.0250
	15				808.2930*
	20				652.2460*
	25				581.0680*
	30				574.7830*
	35				550.5670*
	40				476.3460*
	45		406.5330*		460.6420
	50		340.3500*		453.8370
	60		317.0010*		406.5330
	70		312.6980*		395.6580
	80		278.6410*		317.0010
	90		266.4470*		314.1450
	100		262.8960*		312.6980
	125		261.0590*		266.4470
	150	173.7570*	242.9970		261.0590
	175	148.3180*	229.0660		254.5770
	200	142.6750*	210.5590		246.3580
	225	124.0070*	202.5450		237.7010
	250	120.4930*	201.4080		234.5530
	300	114.7800*	186.6960		229.0660
	350	104.4590*	173.7570		210.9320
	400	101.9070*	172.1290		210.5590
	450	87.2190*	165.3050		201.4080
	500	80.3700*	161.7220		186.6960

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.1$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.05	5			514.9740*	
	10				770.0300*
	15				655.1010*
	20				623.9370*
	25				522.1920*
	30		356.9890*		515.5480
	35		313.1460*		511.1590
	40		280.9650*		501.3230
	45		273.2130*		492.3230
	50		264.2380*		436.3220
	60		253.3990*		356.9890
	70		253.3130*		313.1460
	80		251.0210*		280.9650
	90		245.6220*		273.2130
	100	151.5790*	214.2860		251.0210
	125	126.6570*	201.3160		245.6220
	150	119.2740*	201.3000		228.3400
	175	117.6060*	190.9440		217.4980
	200	116.4510*	190.7440		214.2860
	225	111.7050*	181.0020		208.6450
	250	109.8890*	176.5960		201.3000
	300	105.2150*	172.4060		179.7070
	350	94.3780*	160.2370		154.6910
	400	88.7290*	150.3640		147.0990
	450	87.3940*	147.0990		144.8350
	500	85.2220*	131.7880		130.4530

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.1$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.07	5				929.2260*
	10				785.5500*
	15				767.2900*
	20				604.1660*
	25				573.5550*
	30		381.3780*		512.1000
	35		327.1730*		466.6690
	40		323.1210*		448.1510
	45		284.2970*		400.5500
	50		272.4250*		381.3780
	60		253.6380*		327.1730
	70	139.5490*	223.9060		304.7660
	80	131.3480*	223.7290		292.7610
	90	124.5740*	217.5430		257.2650
	100	118.2160*	213.1570		231.2010
	125	114.3750*	173.2930		223.9060
	150	112.6630*	173.1390		214.8500
	175	107.1510*	169.2000		204.7220
	200	106.1050*	164.0690		198.7770
	225	96.7580*	150.2720		173.1390
	250	90.7220*	148.9150		159.4560
	300	86.5870*	148.8940		144.1060
	350	86.0280*	138.4510		138.4510
	400	78.2400*	128.5310		127.1660
	450	72.8170*	116.8830		114.0490
	500	69.2300*	106.4540		104.7850

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.1$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.09	5				807.7570*
	10				547.7170*
	15				509.5600*
	20				507.8080*
	25				478.5710*
	30		335.0030*		478.1090
	35		325.3110*		424.7120
	40		304.5960*		415.4700
	45		263.2840*		408.5120
	50	196.1840*	231.7080		400.0500
	60	147.5550*	226.1880		335.0030
	70	142.5250*	211.3980		263.2840
	80	128.3810*	203.5770		257.0660
	90	127.2310*	199.5800		256.2220
	100	121.3670*	198.4480		249.4760
	125	118.7110*	196.1840		231.7080
	150	115.6340*	179.6080		217.3070
	175	110.2590*	178.8600		188.9750
	200	108.8280*	177.8780		187.2750
	225	90.2720*	145.1930		179.6080
	250	86.7280*	142.0090		170.5960
	300	74.6220*	111.3320		165.7990
	350	70.9210*	110.4660		108.9150
	400	69.6930*	107.3760		108.4610
	450	69.2110*	92.7050		90.7450
	500	60.4690*	87.2370		86.7510

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.1$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.11	5				819.4700*
	10				656.7570*
	15				643.7810*
	20				516.7760*
	25				461.1580*
	30		197.6000*		445.3710
	35		168.0790*		441.0540
	40		154.9730*		424.9420
	45	149.5430*	149.5430*		421.9270
	50	135.4350*	135.4350*		276.2580
0.13	5				971.7150*
	10				813.3870*
	15				650.5060*
	20		392.0510*		618.5970
	25		339.3390*		530.9220
	30		318.2050*		448.9600
	35	129.4410*	257.5540		392.0510
	40	119.0200*	220.9760		257.5540
	45	118.6980*	118.6980*		248.7140
	50	115.9660*	115.9660*		201.7270
0.15	5				935.1090*
	10				876.7060*
	15				593.1040*
	20		359.2490*		593.0020
	25		353.7370*		474.4980
	30	158.1340*	275.5190		458.6050
	35	134.0850*	232.9430		353.7370
	40	101.5590*	218.8030		284.4860
	45	95.4040*	95.4040*		231.4530
	50	87.1480*	87.1480*		228.3890

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.1$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.17	5				884.6610*
	10				803.7030*
	15				748.9380*
	20		185.0380*		678.1530
	25		178.8560*		508.9390
	30	151.3490*	151.3490*		498.8240
	35	137.3380*	137.3380*		304.4490
	40	124.9250*	124.9250*		286.3540
	45	91.4230*	91.4230*		282.5810
	50	90.9250*	90.9250*		276.2100
0.19	5				826.0830*
	10				689.6050*
	15		252.7370*		601.8830
	20		206.4690*		589.3870
	25	203.8200*	203.8200*		399.7860
	30	173.9160*	173.9160*		361.5610
	35	129.8810*	129.8810*		327.1700
	40	124.5690*	124.5690*		323.1600
	45	122.1450*	122.1450*		201.5400
	50	97.8370*	97.8370*		200.4670
0.25	5		242.3500*		
	10		178.0920*		659.0010
	15		161.6850*		447.4910
	20	159.3900*	159.3900*		391.4080
	25	145.0920*	145.0920*		298.5810
	30	120.7490*	120.7490*		270.0450
	35	117.4800*	117.4800*		255.0070
	40	112.5200*	112.5200*		244.2040
	45	110.0060*	110.0060*		212.9800
	50	97.2340*	97.2340*		164.1560

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.1 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.1$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.30	5		309.6630*		
	10		263.4070*		858.8640
	15	256.7370*	256.7370*		421.9930
	20	188.6850*	188.6850*		334.0240
	25	155.6510*	155.6510*		331.7970
	30	136.2760*	136.2760*		273.9830
	35	129.6070*	129.6070*		243.8280
	40	114.8060*	114.8060*		230.0450
	45	107.4110*	107.4110*		219.1270
	50	104.1240*	104.1240*		211.6200
0.35	5		217.4930*		
	10		211.4760*		535.1030
	15	179.0880*	179.0880*		465.3150
	20	147.2880*	147.2880*		438.3530
	25	144.5430*	144.5430*		414.6890
	30	128.0450*	128.0450*		320.5670
	35	121.1190*	121.1190*		280.4090
	40	119.1020*	119.1020*		218.7050
	45	114.1500*	114.1500*		207.7430
	50	105.7010*	105.7010*		131.4800
0.40	5		269.5810*		
	10		213.5450*		461.4790
	15	198.7810*	198.7810*		397.9520
	20	175.4330*	175.4330*		374.1290
	25	169.4530*	169.4530*		366.4250
	30	126.4570*	126.4570*		345.2050
	35	122.5470*	122.5470*		318.7690
	40	97.4410*	97.4410*		308.0080
	45	91.9020*	91.9020*		271.7540
	50	64.5570*	64.5570*		256.1390

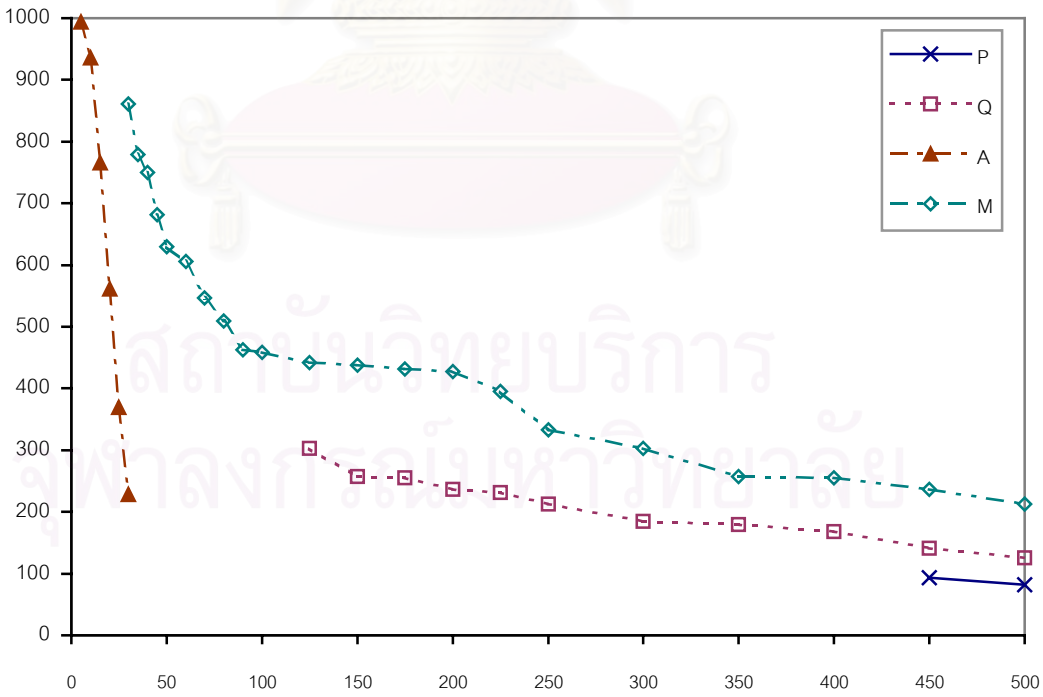
หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.3.1 และตารางที่ 4.3.2 ถึงตารางที่ 4.3.5 ในภาคผนวก ง. หน้า 106 - 137 สามารถสรุปได้ว่าในกรณีที่ค่า p_0 และ n คงที่ ค่าความยาววิ่งโดยเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการผิดปกติหรือเมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น (ในที่นี้คือ δ = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0) ค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทั้ง 4 แผนภูมิ ยังคงให้ค่า ARL ต่ำสุดที่แผนภูมิเดียวกันทุกค่า δ โดยเมื่อ δ เพิ่มขึ้น ค่า ARL มีลักษณะลดลงเรื่อยๆ

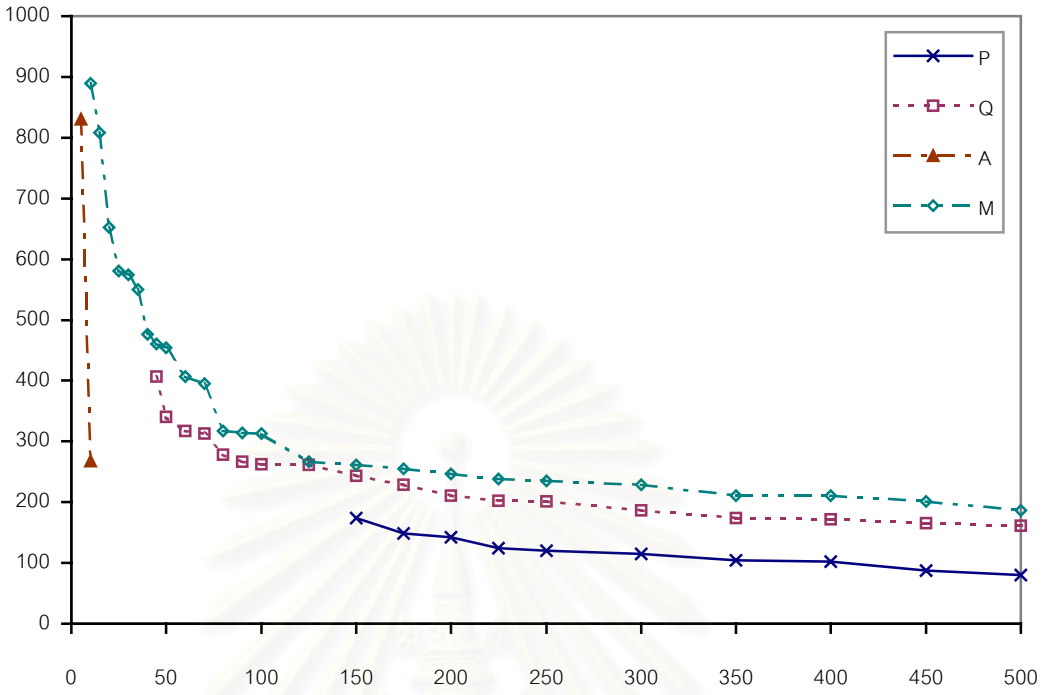
ดังนั้นจากตารางที่ 4.3.1 จึงสามารถแสดงเป็นภาพที่ 4-4-1 ถึงภาพที่ 4-4-14 ด้วยค่าพารามิเตอร์ p_0 , n เมื่อค่า δ = 1.1 และสรุปแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่เหมาะสมตามแต่ละสถานการณ์ดังต่อไปนี้

จากตารางที่ 4.3.1 และภาพที่ 4-4-1 ถึงภาพที่ 4-4-14 สามารถสรุปได้ว่า

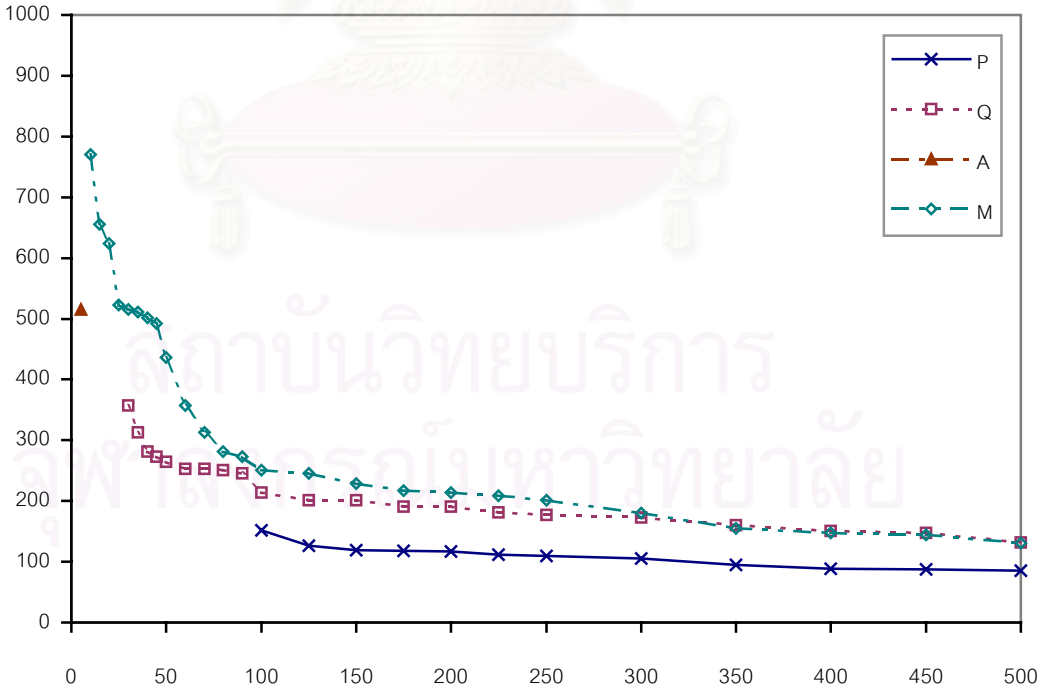
ทุกแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ค่า ARL จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ที่ p_0 คงที่ เมื่อ n เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทุกค่า p_0



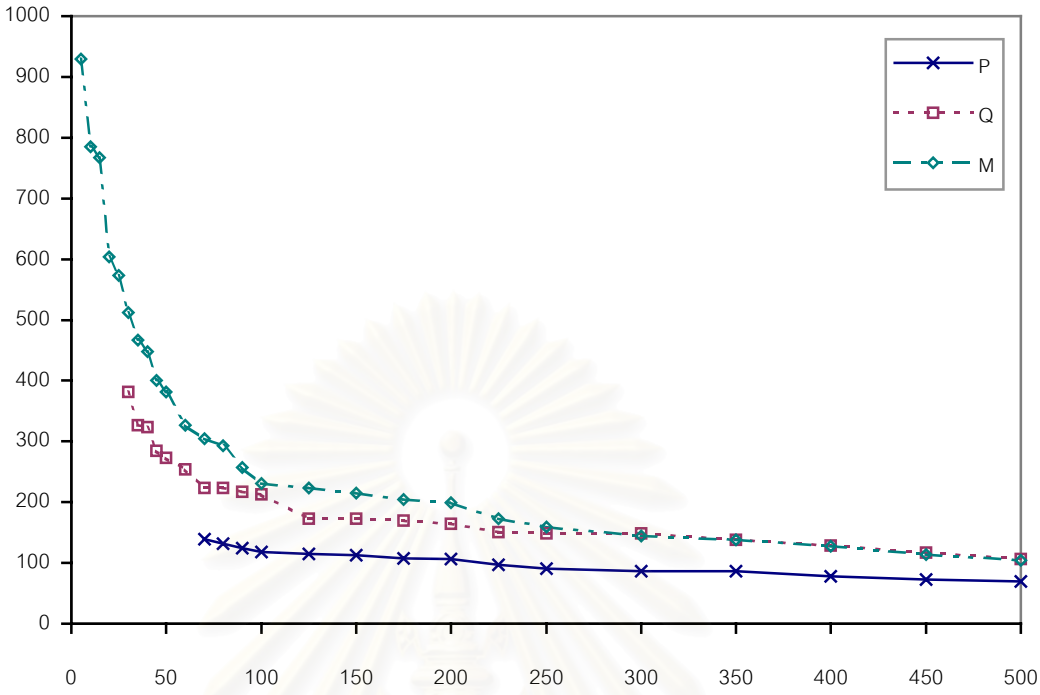
ภาพที่ 4-4-1 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.01 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



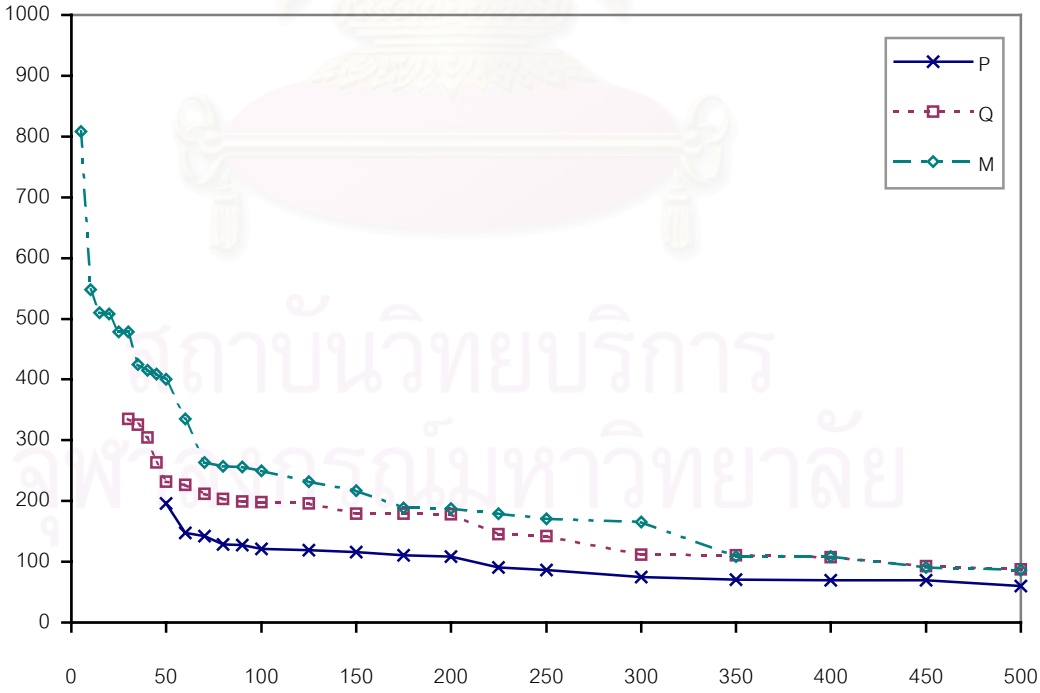
ภาพที่ 4-4-2 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.03 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



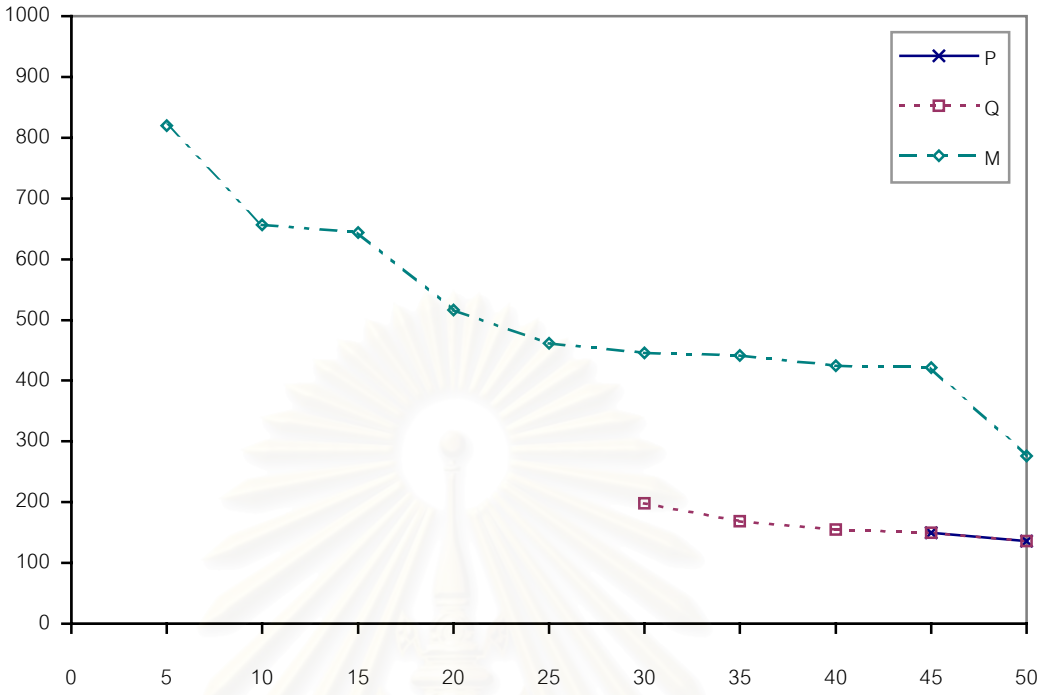
ภาพที่ 4-4-3 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.05 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



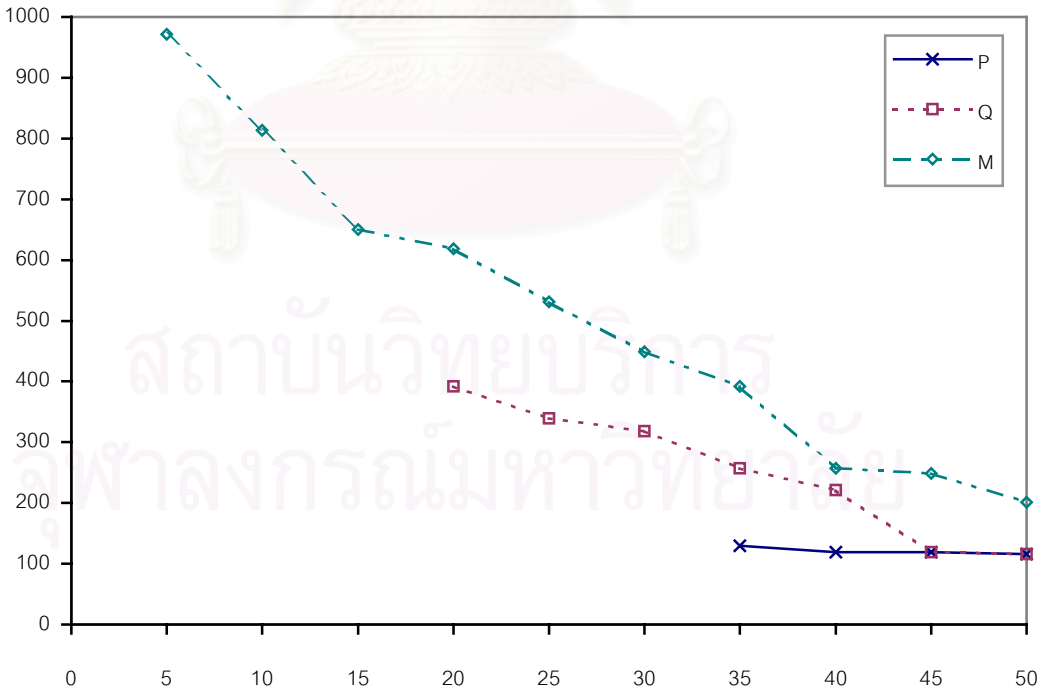
ภาพที่ 4-4-4 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.07 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



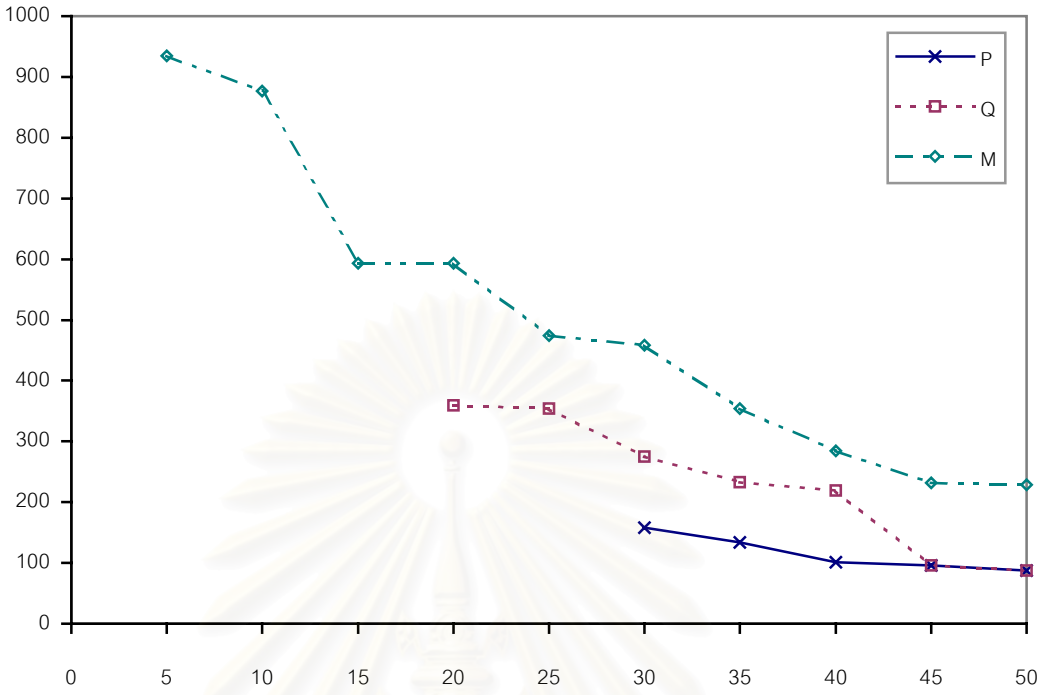
ภาพที่ 4-4-5 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.09 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



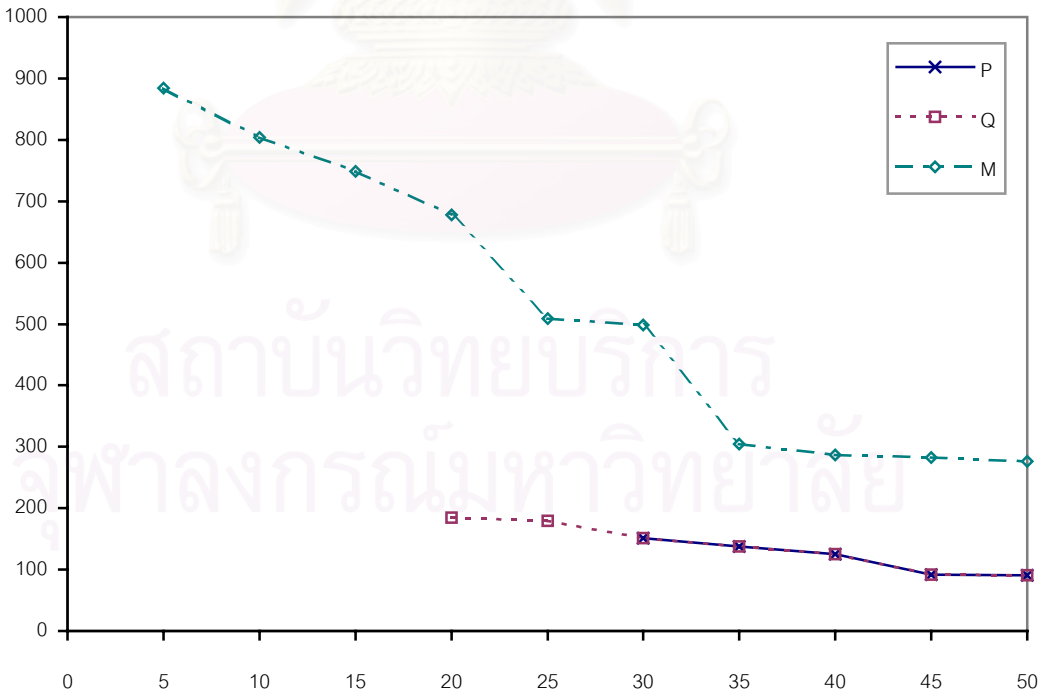
ภาพที่ 4-4-6 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.11 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



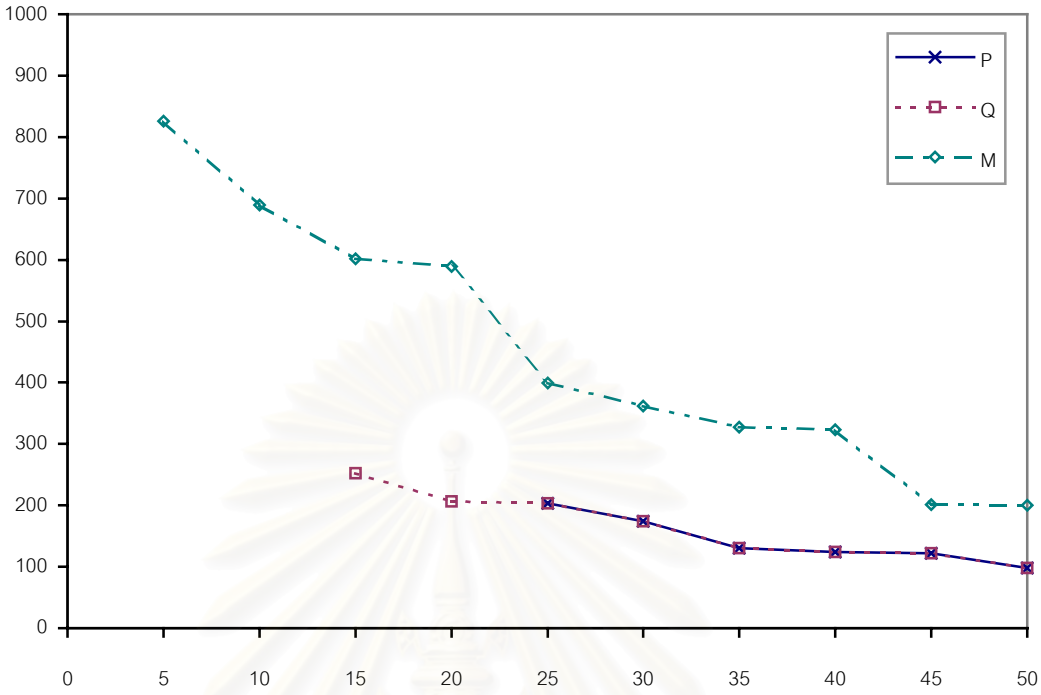
ภาพที่ 4-4-7 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.13 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



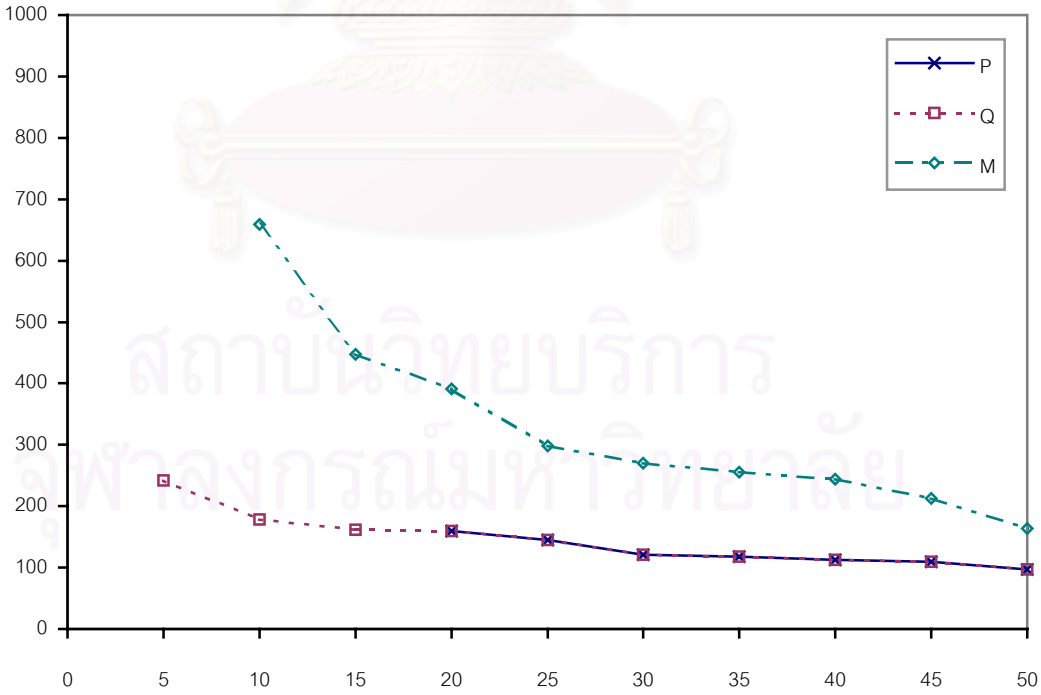
ภาพที่ 4-4-8 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.15 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



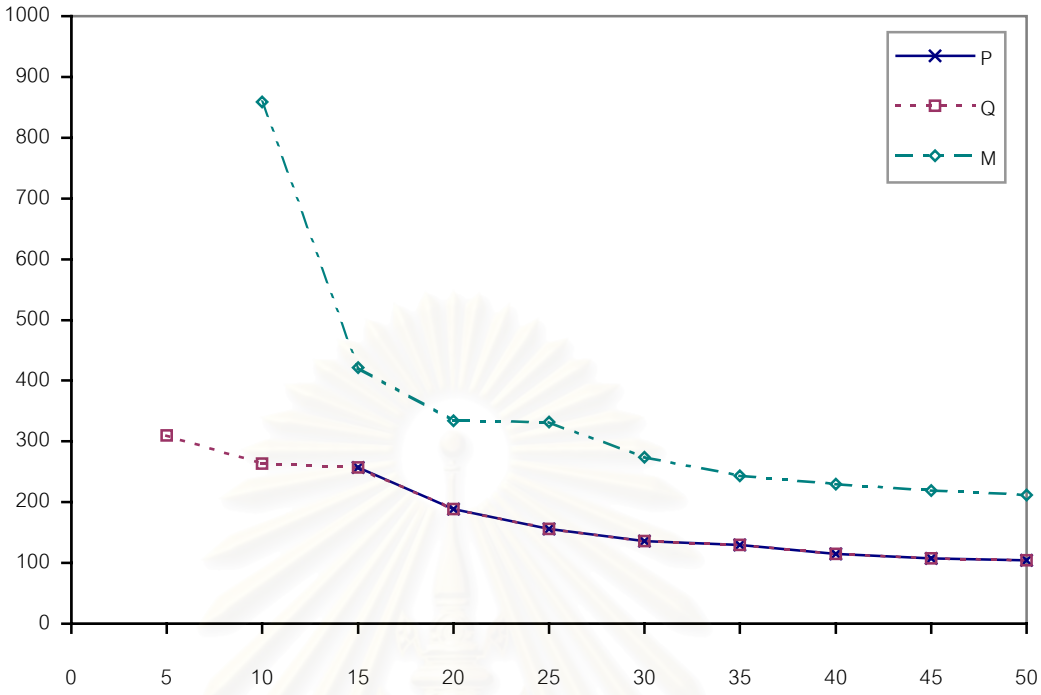
ภาพที่ 4-4-9 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.17 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



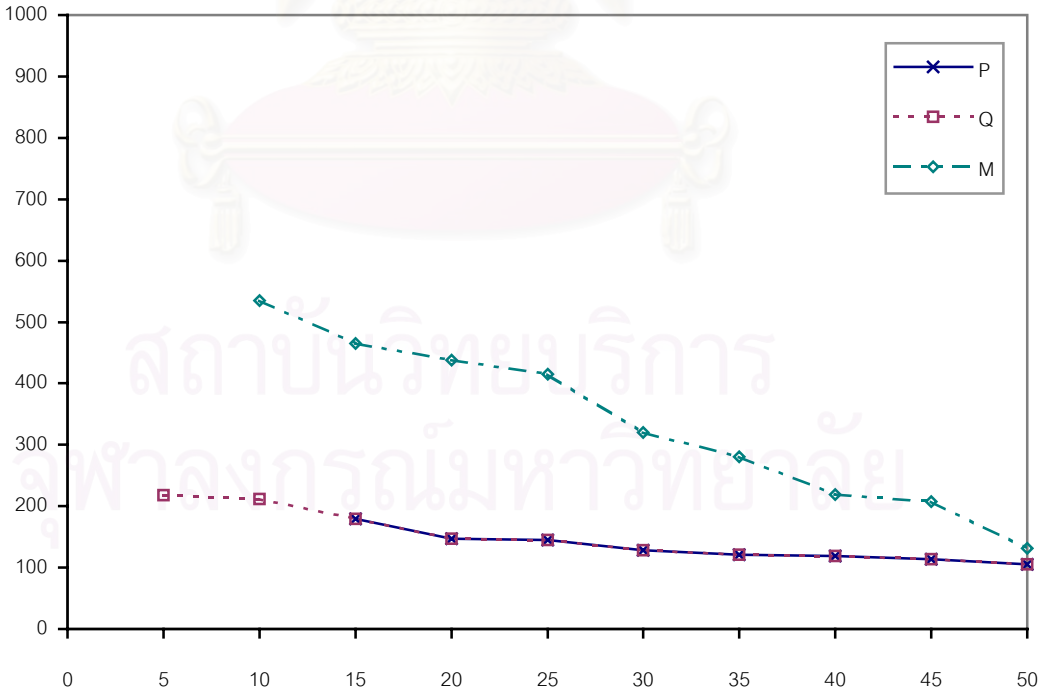
ภาพที่ 4-4-10 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.19 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



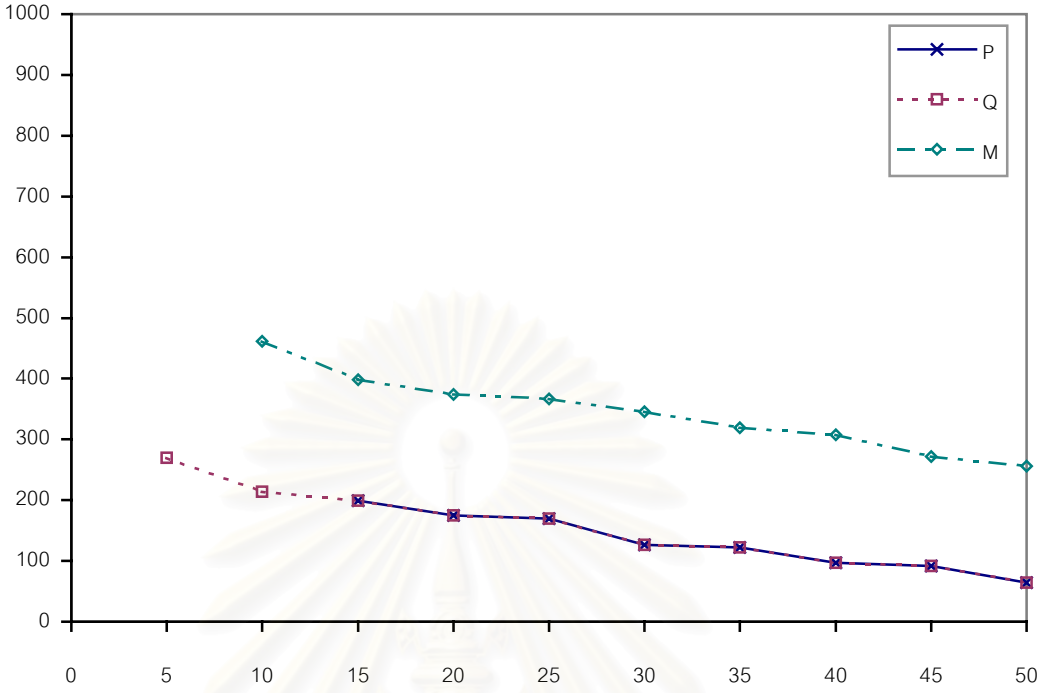
ภาพที่ 4-4-11 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.25 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



ภาพที่ 4-4-12 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.30 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



ภาพที่ 4-4-13 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.35 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n



ภาพที่ 4-4-14 แสดงค่า ARL เมื่อ δ = 1.1 และ p_0 = 0.40 ที่กลุ่มตัวอย่างขนาด n

แผนภูมิพี (P)ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ในกรณีดังต่อไปนี้

ที่ p_0 = 0.01 เมื่อ $n \geq 450$

ที่ p_0 = 0.03 เมื่อ $n \geq 150$

ที่ p_0 = 0.05 เมื่อ $n \geq 100$

ที่ p_0 = 0.07 เมื่อ $n \geq 70$

ที่ p_0 = 0.09 เมื่อ $n \geq 50$

ที่ p_0 = 0.11 เมื่อ $n \geq 45$

ที่ p_0 = 0.13 เมื่อ $n \geq 35$

ที่ p_0 = 0.15, 0.17 เมื่อ $n \geq 30$

ที่ p_0 = 0.19 เมื่อ $n \geq 25$

ที่ p_0 = 0.25 เมื่อ $n \geq 20$

ที่ p_0 = 0.30, 0.35, 0.40 เมื่อ $n \geq 10$

แผนภูมิคิว (Q)ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ในกรณีดังต่อไปนี้

ที่ p_0 = 0.01 เมื่อ $100 \leq n \leq 400$

ที่ p_0 = 0.03 เมื่อ $45 \leq n \leq 125$

ที่ p_0 = 0.05 เมื่อ $30 \leq n \leq 90$

ที่ p_0 = 0.07 เมื่อ $30 \leq n \leq 60$

ที่ p_0 = 0.09 เมื่อ $30 \leq n \leq 45$

ที่ p_0 = 0.11 เมื่อ $n \geq 30$

ที่ p_0 = 0.13 เมื่อ n = 20, 25, 30 ($20 \leq n \leq 30$) และ เมื่อ n = 45, 50 ($n \geq 45$)

ที่ p_0 = 0.15 เมื่อ n = 20, 25 ($20 \leq n \leq 25$) และ เมื่อ n = 45, 50 $(n \geq 45)$

ที่ p_0 = 0.17 เมื่อ $n \geq 20$

ที่ p_0 = 0.19 เมื่อ $n \geq 15$

ที่ p_0 = 0.25, 0.30, 0.35, 0.40 ทุกค่า n

แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (A)ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ในกรณีดังต่อไปนี้

ที่ p_0 = 0.01 เมื่อ $n \leq 30$

ที่ p_0 = 0.03 เมื่อ $n \leq 10$

ที่ p_0 = 0.05 เมื่อ n = 5

แผนภูมิพีปรับแก้ (M) ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ในกรณีดังต่อไปนี้

ที่ p_0 = 0.01 เมื่อ $35 \leq n \leq 100$

ที่ p_0 = 0.03 เมื่อ $15 \leq n \leq 40$

ที่ p_0 = 0.05 เมื่อ $10 \leq n \leq 25$

ที่ p_0 = 0.07, 0.09, 0.11 เมื่อ $n \leq 25$

ที่ p_0 = 0.13, 0.15, 0.17 เมื่อ $n \leq 15$

ที่ p_0 = 0.19 เมื่อ $n \leq 10$

ตารางที่ 4.3.6 เป็นตารางแสดงผลสรุปแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่มีขอบเขตควบคุมเหมาะสมในการตรวจสอบกระบวนการ ซึ่งสามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้ ($\hat{\alpha} \leq 0.0036$) และให้ค่า ARL ที่ต่ำที่สุด ตามค่า p_0 และ n โดยใช้ผลสรุปจากตารางที่ 4.2.2

ตารางที่ 4.3.6 แสดงวิธีการตรวจสอบด้วยแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่ให้ค่า α ไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และให้ค่า ARL ต่ำที่สุด โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

n \ p_0	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.25	0.30	0.35	0.40
5	A	A	A	M	M	M	M	M	M	M	Q	Q	Q	Q
10	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	Q	Q	Q	Q
15	A	M	M	M	M	M	M	M	M	Q	Q	P, Q	P, Q	P, Q
20	A	M	M	M	M	M	Q	Q	Q	Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q
25	A	M	M	M	M	M	Q	Q	Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q
30	A	M	Q	Q	Q	Q	Q	P	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q
35	M	M	Q	Q	Q	Q	P	P	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q
40	M	M	Q	Q	Q	Q	P	P	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q
45	M	Q	Q	Q	Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q
50	M	Q	Q	Q	P	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q	P, Q
60	M	Q	Q	Q	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	M	Q	Q	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	M	Q	Q	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	M	Q	Q	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	M	Q	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
125	Q	Q	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	Q	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
175	Q	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	Q	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
225	Q	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
250	Q	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300	Q	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
350	Q	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	Q	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450	P	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	P	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ – หมายถึง ในงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาในสถานการณ์ดังกล่าว เนื่องจากผลที่ได้มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ P, Q

เมื่อสังเกตผลการทดลองจากตารางที่ 4.3.6 พบว่า แผนภูมิพีให้ค่า ARL ต่ำที่สุด เมื่อ $np_0 \geq 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิคิวให้ค่า ARL ต่ำที่สุด เมื่อ $1.5 \leq np_0 < 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด เมื่อ $np_0 \leq 0.3$ โดยประมาณ และแผนภูมิพีปรับแก้ให้ค่า ARL ต่ำที่สุด เมื่อ $0.3 < np_0 < 1.5$ โดยประมาณ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ในกรณีสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นจากสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม หรือที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้น จากแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย 4 แผนภูมิ คือ

1. แผนภูมิพี

ขอบเขตควบคุมล่าง(LCL) $= p_0 - 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$

ถ้า LCL < 0 ให้ LCL = 0

ขอบเขตควบคุมบน(UCL) $= p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$

ถ้า UCL > 1 ให้ UCL = 1

2. แผนภูมิคิว

ขอบเขตควบคุมล่าง(LCL)= -3

ขอบเขตควบคุมบน(UCL)= 3

3. แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine

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

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

4. แผนภูมิพีปรับแก้

ขอบเขตควบคุมล่าง(LCL) $= p_0 - 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} + \frac{1.25}{n}$

ถ้า LCL < 0 ให้ LCL = 0

ขอบเขตควบคุมบน(UCL) $= p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} + \frac{1.15}{n}$

ถ้า UCL > 1 ให้ UCL = 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบในแต่ละสถานการณ์ทดลอง ประกอบด้วย

1. กำหนดสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมตั้งแต่ p_0 เป็น 2 ระดับ คือ
   - ระดับที่ 1 มีค่าตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.19 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.02
   - ระดับที่ 2 มีค่าตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.40 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05

2. กำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย δ = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0 (สำหรับกระบวนการที่อยู่ในการควบคุม $\delta = 1.0$)

3. กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง n ตามค่า p_0 ดังนี้
   - เมื่อ p_0 = 0.01 ถึง 0.09, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500
   - เมื่อ p_0 = 0.11 ถึง 0.40, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

ในการพิจารณาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียในแต่ละสถานการณ์ จะพิจารณาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) และค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) ถ้าแผนภูมิใดสามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้ ($\hat{\alpha} \leq 0.0036$) และมีค่าความยาววิ่งเฉลี่ยต่ำที่สุด จะถือว่าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียดังกล่าวเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการในสถานการณ์นั้นๆ

วิธีดำเนินการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการจำลองข้อมูล และทำการทดลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล โดยใช้โปรแกรมภาษาซี สร้างข้อมูลให้มีลักษณะตามขอบเขตการวิจัยที่กำหนด และให้การหาค่า ARL ทำจำลองทั้งหมด 1,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์ ซึ่งจากการหาค่า ARL จะใช้ข้อมูล 10,000 กลุ่มตัวอย่างแรกเพื่อหาค่า $\hat{\alpha}$

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ความสามารถในการค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1

จากการจำลองเพื่อหาค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการตัดสินใจว่ากระบวนการออกนอกการควบคุม แต่ความเป็นจริงกระบวนการยังคงอยู่ภายใต้การควบคุม เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความสามารถในการควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทั้ง 4 วิธี ขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม และขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

2. แผนภูมิพีสามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้ ในสถานการณ์ที่สัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม และขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่ามาก หรือด้วยเงื่อนไขคือ $np_0 \geq 4.5$ โดยประมาณ ตัวอย่างเช่น ในสถานการณ์ที่ $p_0 = 0.01$ ควรใช้ $n \geq 450$ และพบว่า ค่า $\hat{\alpha}$ จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น

3. แผนภูมิคิวสามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้ ในสถานการณ์ที่สัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม และขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่าปานกลาง หรือด้วยเงื่อนไขคือ $np_0 \geq 1.5$ โดยประมาณ ตัวอย่างเช่น ในสถานการณ์ที่ $p_0 = 0.01$ ควรใช้ $n \geq 150$ และพบว่า ค่า $\hat{\alpha}$ จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น

4. แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้ ในสถานการณ์ที่สัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม และขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่าน้อย หรือด้วยเงื่อนไขคือ $np_0 \leq 0.3$ โดยประมาณ ตัวอย่างเช่น ในสถานการณ์ที่ $p_0 = 0.01$ ควรใช้ $n \leq 30$ และพบว่า ค่า $\hat{\alpha}$ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น

5. แผนภูมิพีปรับแก้สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้ ในสถานการณ์ที่สัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม และขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่าปานกลางจนถึงมาก หรือด้วยเงื่อนไขคือ $np_0 \geq 0.3$ โดยประมาณ ตัวอย่างเช่น ในสถานการณ์ที่ $p_0 = 0.01$ ควรใช้ $n \geq 30$ และพบว่าเมื่อแผนภูมิพีปรับแก้สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้ ค่า $\hat{\alpha}$ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้น

5.1.2 การเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งเฉลี่ย

จากการเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่สามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้ พบว่า ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียแต่ละแผนภูมิขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม และขนาดของกลุ่มตัวอย่าง โดยที่ค่า ARL จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย (δ) มีค่าเพิ่มขึ้น และแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดยังคงเป็นแผนภูมิเดิมในทุกระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย

จากสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1 พบว่า ผลการวิจัยสอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัยกล่าวคือ ในกรณีที่ผลคูณของสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมและขนาดกลุ่มตัวอย่างมีลักษณะคือ เมื่อ $np_0 \geq 0.3$ โดยประมาณ แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine จะมี

ประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการสูงที่สุด เมื่อ $0.3 < np_0 < 1.5$ โดยประมาณ แผนภูมิพีปรับแก้จะมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการสูงที่สุด และ เมื่อ $1.5 \leq np_0 < 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิคิวจะมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการสูงที่สุด

จากสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 2 พบว่า ผลการวิจัยสอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัยกล่าวคือ ในกรณีที่แผนภูมิพีสามารถควบคุมค่า $\hat{\alpha}$ ได้เมื่อค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม และขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่ามาก หรือด้วยเงื่อนไขคือ $np_0 \geq 4.5$ จะมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการสูงที่สุด และการวิจัยครั้งนี้ยังทราบเพิ่มเติมอีกด้วยว่า ในสถานการณ์ที่สัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมมีขนาดใหญ่ หรือขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่ามาก ด้วยเงื่อนไขคือ $np_0 \geq 4.5$ ตัวอย่างเช่น ในสถานการณ์ที่ $p_0 = 0.15$ และ $n \geq 45$ แผนภูมิพี และแผนภูมิคิว จะให้ผลในการตรวจสอบกระบวนการเหมือนกัน และมีประสิทธิภาพสูงที่สุดอีกด้วย

ผลสรุปข้างต้นดังแสดงในตารางที่ 5.1 โดยสถานการณ์ที่มีแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่เหมาะสมมากกว่า 1 แผนภูมิจะคัดเลือกเฉพาะแผนภูมิที่มีวิธีการวิเคราะห์ที่ง่าย และต่อเนื่องกันตามแต่ละสถานการณ์

ตารางที่ 5.1 แสดงแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ โดยจำแนกตามค่า p_0 และ n

n \ p_0	0.01-0.02	0.03-0.04	0.05-0.06	0.07-0.08	0.09-0.10	0.11-0.12	0.13-0.14	0.15-0.17	0.18-0.19	0.20-0.29	0.30-0.40
5	A	A	A	M	M	M	M	M	M	Q	Q
10	A	A	M	M	M	M	M	M	M	Q	Q
15	A	M	M	M	M	M	M	M	Q	Q	P
20	A	M	M	M	M	M	Q	Q	Q	P	P
25	A	M	M	M	M	M	Q	Q	P	P	P
30	A	M	Q	Q	Q	Q	Q	P	P	P	P
35-40	M	M	Q	Q	Q	Q	P	P	P	P	P
45	M	Q	Q	Q	Q	P	P	P	P	P	P
50-60	M	Q	Q	Q	P	P	P	P	P	P	P
70-90	M	Q	Q	P	P	-	-	-	-	-	-
100	M	Q	P	P	P	-	-	-	-	-	-
125-400	Q	Q	P	P	P	-	-	-	-	-	-
450-500	P	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ P = แผนภูมิพี, Q = แผนภูมิคิว, A = แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine, M = แผนภูมิพีปรับแก้ – หมายถึง ในงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาในสถานการณ์ดังกล่าว เนื่องจากผลที่ได้มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ P

จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปผลการใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียให้เหมาะสมตามแต่ละสถานการณ์ได้ดังนี้

แผนภูมิพี (P) เหมาะสมในสถานการณ์ที่ $np_0 \geq 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิคิว (Q) เหมาะสมที่สุด ในสถานการณ์ที่ $1.5 \leq np_0 < 4.5$ โดยประมาณ แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (A) เหมาะสมที่สุด ในสถานการณ์ที่ $np_0 \leq 0.3$ โดยประมาณ และแผนภูมิพีปรับแก้ (M) เหมาะสมที่สุด ในสถานการณ์ที่ $0.3 < np_0 < 1.5$ โดยประมาณ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งนี้มี 2 ด้านคือ

5.2.1 ด้านการนำไปใช้ประโยชน์

1. ในการเลือกใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ทุกสถานการณ์ที่ทำการศึกษาทดลอง ขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมและขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นควรเลือกใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลสรุปที่มีความถูกต้องสูง และสามารถพบความผิดปกติของกระบวนการได้รวดเร็วที่สุด โดยสามารถเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียจากตารางที่ 5.1

2. ถ้าค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม และขนาดของกลุ่มตัวอย่างไม่ตกอยู่ในช่วงที่การวิจัยครั้งนี้ไม่ได้นำเสนอไว้ ให้พิจารณาจาก

- ถ้า $np_0 \geq 4.5$ ควรเลือกใช้แผนภูมิพี
- ถ้า $1.5 \leq np_0 < 4.5$ ควรเลือกใช้แผนภูมิคิว
- ถ้า $np_0 \leq 0.3$ ควรเลือกใช้แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine
- ถ้า $0.3 < np_0 < 1.5$ ควรเลือกใช้แผนภูมิพีปรับแก้

5.2.2 ด้านการศึกษาวิจัย

1. ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะขอบเขตควบคุม 3σ ผู้ที่สนใจศึกษาเพิ่มเติมอาจศึกษาขอบเขตควบคุมอื่นๆ เช่น 1.5σ หรือ 2σ ซึ่งใช้เป็นขอบเขตเตือนว่ากระบวนการผลิตอาจมีความผิดปกติเกิดขึ้น

2. ในการศึกษาวิจัยต่ออาจศึกษาเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียอื่นๆ เช่น แผนภูมิค่าเฉลี่ยความยาววิ่ง (ARL-Unbiased Chart), แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine ในรูปของฟังก์ชันอื่นๆ

3. สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาเพิ่มเติม อาจศึกษาในกรณีที่ไม่ทราบค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) โดยอาจทำการหาค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุมจากกระบวนการผลิตที่อยู่ในสภาวะปกติ และไม่มีปัจจัยใดเป็นองค์ประกอบที่ทำให้กระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลง และทำการสุ่มตัวอย่างกลุ่มขนาด n มา m กลุ่ม โดยจำนวนกลุ่มตัวอย่างควรมีค่าตั้งแต่ 30 กลุ่มขึ้นไป เพื่อหาค่าเฉลี่ยของสัดส่วนของเสียได้โดย ให้ X_i คือจำนวนของเสียจากกลุ่มตัวอย่างขนาด n กลุ่มที่ i และ $\hat{p}_i = \frac{X_i}{n}$ คือค่าสัดส่วนของเสีย ณ กลุ่มตัวอย่างที่ i ดังนั้น $\bar{p} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\hat{p}_i$ คือค่าเฉลี่ยตัวอย่างสุ่มของ $\hat{p}_1, \hat{p}_2, \hat{p}_3, K, \hat{p}_m$ กำหนดให้ $\bar{p}$ คือสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม แล้วทำการศึกษาตามขั้นตอนต่อไป หรือในสถานการณ์ที่ $p_0 < 0.01$ และอาจเพิ่มความละเอียดของขนาดของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

พิชิต สุขเจริญพงษ์. 2535. การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

ภัทรชนก หวังบำรุงศักดิ์. 2541. ขนาดตัวอย่างต่ำสุดเพื่อหาการแจกแจงทวินาม, การแจกแจงไฮเปอร์จีออเมตริก และการแจกแจงปัวส์ซอง โดยประมาณ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มนตรี พจนารถลาวัณย์. 2537. การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยเทอร์โบซี. กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด.

สุขกรี เสรีวัลย์สถิตย์. 2536. เรียนรู้ภาษาซี. กรุงเทพมหานคร : หจก. เอช-เอน การพิมพ์.

อดิศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์. 2535. การควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

ภาษาอังกฤษ

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

Acosta-Mejia, C., A. 1999. Improved p charts to Monitor Process quality, IIE Transactions 31: 509-516.

Avenrill M., Law and W. David, Kleton. 1982. Simulation and Analysis. New York: McGraw-Hill Book

Douglas, C. Montgomery. 1997. Introduction to Statistical Quality Control. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc.

Johnson, N., L. and S., Kotz. 1969. Distributions in Statistics, Vol. 1 : Discrete Distributions. New York: Wiley.

Kenneth, A., B. 1989. Problem Solving and Programming, New York: Prentice Hall.

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

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

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

1. ฟังก์ชันย่อยสำหรับสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงเอกรูปคือ

```
x1=gen_mod(x1);
u=(double)x1/MODLUS;
long gen_mod(long x1)
{
  long x2;
  x2=x1*AA;
  if(x2<=0) x2=1+(x2+MODLUS);
  return(x2);
}
```

คำอธิบาย

x1 คือ ค่าเริ่มต้นที่ต้องป้อนเข้าโปรแกรม โดยต้องเป็นเลขจำนวนเต็มบวกใดๆ ที่มีค่าไม่เกิน 214748347

x2 คือ ค่าของตัวเลขสุ่มที่อยู่ในช่วง (0, 214748347)

MODLUS คือ ค่า $2^{31} - 1 = 214748347$

AA คือ ค่า $7^5 = 16807$

u คือ ค่าของตัวเลขสุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วง (0, 1)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ฟังก์ชันย่อยสำหรับสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินามคือ

```
p1=p0*delta;
bi=0;
for(i=0;i<n;i++)
{
 x1=gen_mod(x1);
 u=(double)x1/MODLUS;
 if(u<=p1) bi++;
}
pbi=(double)bi/n;
```

<u>คำอธิบาย</u>

$p1 = \delta p0$ คือ ค่าสัดส่วนของเสียของกระบวนการที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งมีระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียไปจากสัดส่วนของเสียที่ต้องการควบคุม δ เท่า

δ (delta) คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย ที่กำหนดในการวิจัยโดยต้องป้อนเข้าโปรแกรมพร้อมกับค่าเริ่มต้น x1 โดย δ = 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0

p_0 คือสัดส่วนของเสียเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ที่กำหนดในการวิจัยโดยต้องป้อนเข้าโปรแกรมพร้อมกับค่าเริ่มต้น x1 โดย p0 มีค่า 2 ระดับ คือ

- ระดับที่ 1 มีค่าตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.19 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.02
- ระดับที่ 2 มีค่าตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.40 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05

n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดในการวิจัยโดยต้องป้อนเข้าโปรแกรมพร้อมกับค่าเริ่มต้น x1 โดยกำหนดค่า n ตามค่า p_0 ดังนี้

- เมื่อ p0 = 0.01 ถึง 0.09, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500
- เมื่อ p0 = 0.11 ถึง 0.40, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

bi คือ จำนวนของเสียของกระบวนการที่ต้องการตรวจสอบ ที่สุ่มได้จากกลุ่มตัวอย่างขนาด n

pbi คือ สัดส่วนของเสียของกระบวนการที่ต้องการตรวจสอบ ที่สุ่มได้จากกลุ่มตัวอย่างขนาด n

3. **ฟังก์ชันย่อยเพื่อหาค่า Q_t**

3.1 ฟังก์ชันย่อยเพื่อหาความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงทวินาม

```
cump=cal_cump(n, p0, bi);

double cal_cump(int n, double p0, int bi)
{
  double cump, y, m1, m2;
  int x;
  if(bi==n)  cump=1;
  else
  {
    cump=pow(1-p0,n); /* THEN X=0 */
    if(bi!=0)
      for(x=1;x<=bi;x++)
      {
          m1=n;
          m2=n-x;
          y=m1/m2;
          do
          {
            if(m1>x+1) m1=m1-1;
              else m1=1;
            if(m2>1) m2=m2-1;
          y*=m1/m2;
          }while(m1>1&&m2>1);
          cump+=y*pow(p0,x)*pow(1-p0,n-x);
      }
  }
  return(cump);
}
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบาย

cump คือค่าความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงทวินาม มีค่าเริ่มต้นคือ $(1-p_0)^n$

x คือตัวแปรช่วยที่ต้องการหาค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงทวินาม โดย x จะมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ bi ที่สร้างขึ้นจากฟังก์ชันย่อยสำหรับสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินาม และลดลงที่ละ 1 เรื่อยๆ จน x มีค่าเท่ากับ 1 เพื่อนำมารวมกันเป็นค่า cump

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

m1, m2 คือตัวแปรช่วยในการหาค่า y

ดูคำอธิบาย n, p0, bi จากภาคผนวก ก. หน้า 85 หัวข้อที่ 2. ฟังก์ชันย่อยสำหรับสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินาม

3.2 ฟังก์ชันย่อยเพื่อหาค่าปกติมาตรฐาน Q_t ที่ให้พื้นที่ความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงปกติเท่ากับค่าความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงทวินามที่ได้จากฟังก์ชันย่อย 3.1

```
if(cump==0) z=-4;
else if(cump==1) z=4;
      else z=cal_z(cump);

double cal_z(double cump)
{
 double z0, z1=1, diffz, fz;
 do
 {
  z0=z1;
  diffz=(1/sqrt(2*Pi))*exp((-z0)*(-z0)/2);
  fz=cal_p(z0);
  z1=z0-((fz-cump)/diffz);
 }while((fabs(z1-z0))>0.00001);
 return(z1);
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
}

double cal_p(double z0)
{
  double a[6]={0.0705230784, 0.0422820123, 0.0092705272,
               0.0001520143, 0.0002765672, 0.0000430638};
  double sum=0, f, p;
  int i;
  for(i=0;i<6;i++)
    sum+=a[i]*pow(fabs(z0)/sqrt(2),i+1);
  f=pow(sum+1,-16);
  if(z0<0) p=f/2;
    else p=1-(f/2);
  return(p);
}
```

โดย z คือ ค่าปกติมาตรฐานที่ให้พื้นที่ความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงปกติมาตรฐาน เท่ากับค่าความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงทวินาม หรือค่า Q_t

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. **โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัยเพื่อหาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1(α) ของแผนภูมิพี แผนภูมิคิว แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine และแผนภูมิพีปรับแก้**

```
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<math.h>
void head(); void err();
long gen_mod(long x1);
double cal_cump(int n, double p0, int bi);
double cal_z(double cumbi);
double cal_p(double z0);
#define AA 16807
#define MODLUS 2147483647
#define INTLIM 32767
#define LIM 10000
#define Pi 3.142857143

main()
{
/*p0, n, Ptype, Qtype, Atype, Mtype, Plcl, Pucl, Qlcl, Qucl, Alcl, Aucl,
Mlcl, Mucl */
  long x1=357897;
  int n, bi, i, t;
  double p0, u, pbi, yt, z, cump;
  double pucl, plcl, aucl, alcl, mucl, mlcl;
  double countp=0, countq=0, counta=0, countm=0;
  double ptype, qtype, atype, mtype;
  char ch;
  FILE *dat;
  head();
  printf("\nPlease Enter Number Units Per Claster (n) : ");
  scanf("%d",&n);
  if(n<1||n>INTLIM)
  {
    err();
    exit(0);
  }
  printf("\nPlease Enter Fraction Nonconforming in Control (0-1) : ");
  scanf("%lf",&p0);
  if(p0<=0||p0>=1)
  {
    err();
    exit(0);
  }
  clrscr();
  head();
  printf("      Initial Value                        = %ld\n",x1);
  printf("      Number of Units Per Cluster (n)      = %d\n",n);
  printf("      Fraction Nonconforming in Control    = %lf\n",p0);
  printf("      No. Nonconforming in Control         = %lf\n",n*p0);
  printf("      Number of Loops                      = %d\n",LIM);
  do
  {
    printf("\n                          Confirm These Values ? (Y/N) : ");
    ch = getche();
```

```
  }
  while(ch!='n'&&ch!='N'&&ch!='y'&&ch!='Y');
  if(ch=='n'||ch=='N')
  {
    do
    {
      printf("\n                              Continue ? (Y/N) : ");
      ch = getche();
    }
    while(ch!='n'&&ch!='N'&&ch!='y'&&ch!='Y');
    if(ch=='y'||ch=='Y')
    {
      main();
      exit(0);
    }
    exit(0);
  }
/* UCL and LCL of Control Limits Charts */
 /* p-chart */
  pucl=p0+(3*sqrt(p0*(1-p0)/n));
  if(pucl>1) pucl=1;
  plcl=p0-(3*sqrt(p0*(1-p0)/n));
  if(plcl<0) plcl=0;
 /* Q chart UCL=3; LCL=(-3) */
 /* Arcsin chart */
  aucl=sinh(p0)+3/(2*sqrt(n));
  alcl=sinh(p0)-3/(2*sqrt(n));
 /*Modified Limits*/
  mucl=p0+(3*sqrt(p0*(1-p0)/n))+1.15/(double)n;
  if(mucl>1) mucl=1;
  mlcl=p0-(3*sqrt(p0*(1-p0)/n))+1.25/(double)n;
  if(mlcl<0) mlcl=0;
/* Cut 50 units start random numbers */
  for(i=1;i<50;i++)
    x1=gen_mod(x1);
/* Start generate and calculus */
  for(t=1;t<=LIM;t++)
  {
    bi=0;
    for(i=1;i<=n;i++)
    {
      x1=gen_mod(x1);
      u=(double)x1/MODLUS;
      if(u<=p0) bi++;
    }
    pbi=(double)bi/n;
/* Process count point out of charts */
  /* p-chart */
    if(pbi<plcl||pbi>pucl) countp+=1;
  /* Q chart */
  /* Cumulation function Binomial */
    cump=cal_cump(n, p0, bi);
    if(cump==0) z=-4;
    else if(cump==1) z=4;
    else z=cal_z(cump);
    if(z<-3||z>3) countq+=1;
  /* Arcsin chart */
```

```
  /* Transformation Arcsin Data */
     yt=sinh(sqrt(((double)bi+(3/8))/((double)n+(3/4))));
     if(yt<alcl||yt>aucl) counta+=1;
  /* Modified Limits */
     if(pbi<mlcl||pbi>mucl) countm+=1;
   }
/* Computation "Type I error" */
   ptype=countp/LIM;
   qtype=countq/LIM;
   atype=counta/LIM;
   mtype=countm/LIM;
/* Write Concludetion TYPE_1 Output File */
   if((dat=fopen("TYPE_1.DAT","ab"))==0)
   {
     printf("\n!!!Can't Open File TYPE_1.DAT\n");
     printf("Please Any Key :");
     getch();
     exit(0);
   }
   fprintf(dat,"%5.2lf %5d ",p0,n);
/* Write Concludetion "Type I error" */
   fprintf(dat,"%8.4lf %8.4lf %8.4lf %8.4lf ",ptype,qtype,atype,mtype);
   fprintf(dat,"%8.4lf %8.4lf    -3  3 %8.4lf %8.4lf %8.4lf
%8.4lf\n",plcl,pucl,alcl,aucl,mlcl,mucl);
   printf("\a");
  fclose(dat);
   printf("\a");
   do
   {
     printf("\n                              Continue ? (Y/N) :");
     ch =getche();
   }
   while(ch!='n'&&ch!='N'&&ch!='y'&&ch!='Y');
   if(ch=='y'||ch=='Y')
     main();
}

long gen_mod(long x1)
{
   long x2;
   x2=x1*AA;
   if(x2<=0) x2=1+(x2+MODLUS);
   return(x2);
}

double cal_cump(int n, double p0, int bi)
{
   double cump, y, m1, m2;
   int x;
   if(bi==n) cump=1;
   else
   {
     cump=pow(1-p0,n); /* THEN X=0 */
     if(bi!=0)
       for(x=1;x<=bi;x++)
       {
    m1=n;
    m2=n-x;
```

```
    y=m1/m2;
    do
    {
      if(m1>x+1) m1=m1-1;
        else m1=1;
      if(m2>1) m2=m2-1;
           y*=m1/m2;
    }while(m1>1&&m2>1);
    cump+=y*pow(p0,x)*pow(1-p0,n-x);
       }
  }
  return(cump);
}

double cal_z(double cump)
{
  double z0, z1=1, diffz, fz;
  do
  {
    z0=z1;
    diffz=(1/sqrt(2*Pi))*exp((-z0)*(-z0)/2);
    fz=cal_p(z0);
    z1=z0-((fz-cump)/diffz);
  }while((fabs(z1-z0))>0.00001);
  return(z1);
}

double cal_p(double z0)
{
  double a[6]={0.0705230784, 0.0422820123, 0.0092705272,
      0.0001520143, 0.0002765672, 0.0000430638};
  double sum=0, f, p;
  int i;
  for(i=0;i<6;i++)
    sum+=a[i]*pow(fabs(z0)/sqrt(2),i+1);
  f=pow(sum+1,-16);
  if(z0<0) p=f/2;
    else p=1-(f/2);
  return(p);
}

void head(void)
{
  clrscr();
  printf("\n
========================================\n");
  printf("      THIS PROGRAM IS NEW GENERATE
BINOMIAL DATA\n");
  printf("       AND PROCESS TO CREATE CONTROL
CHARTS\n");
  printf("
========================================\n\n");
}

void err(void)
{
  printf("\n!!! Error Enter Value\n");
  printf("Please Enter New Value (Please any key) : ");
```

```
  getch();
  main();
  exit(0);
}
```

5. **โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัยเพื่อหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) ของแผนภูมิพี แผนภูมิคิว แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine และแผนภูมิพีปรับแก้**

```
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<math.h>
void process(); void head(); void err();
long gen_mod(long x1);
double cal_cump(int n, double p0, int bi);
double cal_z(double cumbi);
double cal_p(double z0);
#define MODLUS 2147483647
#define INTLIM 32767
#define AA 16807
#define LIM 1000
#define Pi 3.142857143

main()
{
/*p0, n, np0, DELTA, p1, np1, ARL-P, ARL-Q, ARL-A, ARL-M */
  long x1=357897;
  int n, loop=1000, bi, i, j, k;
  int dp, dq, da, dm, ddp=0, ddq=0, dda=0, ddm=0;
  int pRL, qRL, aRL, mRL;
  double p0, p1, delta, u, pbi, yt, z, cump;
  double pucl, plcl, aucl, alcl, mucl, mlcl;
  double pARL, qARL, aARL, mARL, psum=0, qsum=0, asum=0, msum=0;
  char ch;
  FILE *dat;
  head();
  printf("\nPlease Enter Number Units Per Claster (n):");
  scanf("%d",&n);
  if(n<1||n>INTLIM)
  {
    err();
    exit(0);
  }
  printf("\nPlease Enter Fraction Nonconforming in Control (0-1):");
  scanf("%lf",&p0);
  if(p0<=0||p0>=1)
  {
    err();
    exit(0);
  }
  printf("\nPlease Enter DELTA of Fraction Nonconforming (More Than 0):");
  scanf("%lf",&delta);
  if(delta<=0)
  {
    err();
    exit(0);
  }
```

```
  p1=p0*delta;
 if(p1>1)
  {
    printf("\nFraction Nonconforming out of Control = %lf Over 1",p1);
    err();
    exit(0);
  }
  clrscr();
  head();
  printf("     Initial Value                          = %ld\n",x1);
  printf("     Number of Units Per Cluster (n)   = %d\n",n);
  printf("     Fraction Nonconforming in Control      = %lf\n",p0);
  printf("     No.Nonconforming in Control            = %lf\n",n*p0);
  printf("     DELTA of Fraction Nonconforming        = %lf\n",delta);
  printf("     Fraction Nonconforming out of Control = %lf\n",p1);
  printf("     No.Nonconforming out of Control        = %lf\n",n*p1);
  printf("     Number of Loops                        = %d\n",loop);
  do
  {
    printf("\n                              Confirm These Values ? (Y/N) : ");
    ch = getche();
  }
  while(ch!='n'&&ch!='N'&&ch!='y'&&ch!='Y');
  if(ch=='n'||ch=='N')
  {
    do
    {
      printf("\n                               Continue ? (Y/N) : ");
      ch = getche();
    }
    while(ch!='n'&&ch!='N'&&ch!='y'&&ch!='Y');
    if(ch=='y'||ch=='Y')
    {
      main();
      exit(0);
    }
    exit(0);
  }
/* UCL and LCL of Control Limits Charts */
 /* p-chart */
  pucl=p0+(3*sqrt(p0*(1-p0)/n));
  if(pucl>1) pucl=1;
  plcl=p0-(3*sqrt(p0*(1-p0)/n));
  if(plcl<0) plcl=0;
 /* Q chart UCL=3; LCL=(-3) */
 /* Arcsin chart */
  aucl=sinh(p0)+3/(2*sqrt(n));
  alcl=sinh(p0)-3/(2*sqrt(n));
 /*Modified Limits*/
  mucl=p0+(3*sqrt(p0*(1-p0)/n))+1.15/(double)n;
  if(mucl>1) mucl=1;
  mlcl=p0-(3*sqrt(p0*(1-p0)/n))+1.25/(double)n;
  if(mlcl<0) mlcl=0;
/* Cut 50 units start random numbers */
  for(i=1;i<50;i++)
    x1=gen_mod(x1);
```

```
/* Start generate and calculus */
  for(k=1;k<=loop;k++)
  {
    pRL=1; qRL=1; aRL=1; mRL=1;
  dp=1; dq=1; da=1; dm=1;
    for(j=0;j<LIM;j++)
    {
      bi=0;
      for(i=0;i<n;i++)
      {
   x1=gen_mod(x1);
   u=(double)x1/MODLUS;
   if(u<=p1) bi++;
      }
/* Process count point out of charts */
      pbi=(double)bi/n;
  /* p-chart */
      if(dp==1)
   if(pbi<plcl||pbi>pucl) dp=0;
  /* Q chart */
   /* Cumulation function Binomial */
      if(dq==1)
      {
   cump=cal_cump(n, p0, bi);
   if(cump==0) z=-4;
   else if(cump==1) z=4;
        else z=cal_z(cump);
   if(z<-3||z>3) dq=0;
      }
  /* Arcsin chart */
      if(da==1)
      {
   /* Transformation Arcsin Data */
   yt=sinh(sqrt(((double)bi+(3/8))/((double)n+(3/4))));
   if(yt<alcl||yt>aucl) da=0;
      }
  /* Modified Limits */
      if(dm==1)
   if(pbi<mlcl||pbi>mucl) dm=0;
  /* Fine RL Per Loop */
      pRL+=dp;
      qRL+=dq;
      aRL+=da;
      mRL+=dm;
      if(dp==0&&dq==0&&da==0&&dm==0) break;
      if(k==1000)
      {
   if(dp!=0) pRL--;
   if(dq!=0) qRL--;
   if(da!=0) aRL--;
   if(dm!=0) mRL--;
      }
    }
/* Write result of comparison all charts */
    ddp+=dp;
    ddq+=dq;
```

```
    dda+=da;
    ddm+=dm;
/* Summation ARL All Loops */
    psum+=pRL;
    qsum+=qRL;
    asum+=aRL;
    msum+=mRL;
  }
/* Average ARL All Loops */
  pARL=psum/loop;
  qARL=qsum/loop;
  aARL=asum/loop;
  mARL=msum/loop;
/* Write Concludetion ARL Output File */
  if((dat=fopen("ARL_NEW.DAT","ab"))==0)
  {
    printf("\n!!!Can't Open File ARL.DAT\n");
    printf("Please Any Key :");
    getch();
    exit(0);
  }
  fprintf(dat,"%6.2lf %6d %6.2lf %6.2lf %6.3lf %6.4lf ",p0,n,n*p0,delta,p1,n*p1);
  if(ddp==0)
    fprintf(dat,"%10.4lf ",pARL);
  else
    fprintf(dat,">%9.4lf ",pARL);
  if(ddq==0)
    fprintf(dat,"%10.4lf ",qARL);
  else
    fprintf(dat,">%9.4lf ",qARL);
  if(dda==0)
    fprintf(dat,"%10.4lf ",aARL);
  else
    fprintf(dat,">%9.4lf ",aARL);
  if(ddm==0)
    fprintf(dat,"%10.4lf\n",mARL);
  else
    fprintf(dat,">%9.4lf\n",mARL);
  printf("\a");
  fclose(dat);
  printf("\a");
  do
  {
    printf("\n                    Continue ? (Y/N) :");
    ch = getche();
  }
  while(ch!='n'&&ch!='N'&&ch!='y'&&ch!='Y');
  if(ch=='y'||ch=='Y')
    main();
}

long gen_mod(long x1)
{
  long x2;
  x2=x1*AA;
  if(x2<=0) x2=1+(x2+MODLUS);
```

```
  return(x2);
}

double cal_cump(int n, double p0, int bi)
{
  double cump, y, m1, m2;
  int x;
  if(bi==n) cump=1;
  else
  {
    cump=pow(1-p0,n); /* THEN X=0 */
    if(bi!=0)
      for(x=1;x<=bi;x++)
      {
   m1=n;
   m2=n-x;
   y=m1/m2;
   do
   {
     if(m1>x+1) m1=m1-1;
       else m1=1;
     if(m2>1) m2=m2-1;
          y*=m1/m2;
   }while(m1>1&&m2>1);
   cump+=y*pow(p0,x)*pow(1-p0,n-x);
      }
  }
  return(cump);
}

double cal_z(double cump)
{
  double z0, z1=1, diffz, fz;
  do
  {
    z0=z1;
    diffz=(1/sqrt(2*Pi))*exp((-z0)*(-z0)/2);
    fz=cal_p(z0);
    z1=z0-((fz-cump)/diffz);
  }while((fabs(z1-z0))>0.00001);
  return(z1);
}

double cal_p(double z0)
{
  double a[6]={0.0705230784, 0.0422820123, 0.0092705272,
      0.0001520143, 0.0002765672, 0.0000430638};
  double sum=0, f, p;
  int i;
  for(i=0;i<6;i++)
    sum+=a[i]*pow(fabs(z0)/sqrt(2),i+1);
  f=pow(sum+1,-16);
  if(z0<0) p=f/2;
    else p=1-(f/2);
  return(p);
}

void head(void)
```

```
{
  clrscr();
  printf("\n
========================================\n");
  printf("      THIS PROGRAM IS NEW GENERATE
BINOMIAL DATA\n");
  printf("       AND PROCESS TO CREATE CONTROL
CHARTS\n");
  printf("
 ========================================\n\n");
}
void err(void)
{
  printf("\n!!! Error Enter Value\n");
  printf("Please Enter New Value (Please any key) : ");
  getch();
  main();
  exit(0);
}
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

วิธีการของนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson Method)

วิธีการของนิวตัน-ราฟสัน หรือเรียกสั้นๆ ว่าวิธีการของนิวตัน เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงมาก และใช้กันโดยทั่วไป วิธีนี้มีสูตรกระทำซ้ำหรือสูตรเวียนบังเกิด สำหรับคำนวณหาค่ารากของสมการดังนี้

$$x_i = x_{i-1} - \frac{f(x_{i-1})}{f'(x_{i-1})}, \quad i = 1,2,K$$

ฉะนั้นวิธีนี้นอกจากจะต้องกำหนดรากเริ่มต้นแล้ว จะต้องหาฟังก์ชัน f' ด้วย ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. กำหนดค่า x เริ่มต้นให้เป็น x_0

2. คำนวณค่า $p = \left(\frac{i}{N+1}\right) = \Phi(x)$

$$= \int_{-\infty}^{x} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-y^2}{2}} dy$$

เมื่อ x มีการแจกแจงปกติ อาจประมาณค่า p ได้เป็น

$$p = 0.5 + \int_{0}^{x} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} dy$$

และสามารถเขียน x ให้อยู่ในรูป

$$x = \Phi^{-1}\left(\frac{i}{N+1}\right) \qquad x_2 = \Phi^{-1}\left(\frac{R_i}{N+1}\right)$$

จะได้ว่า $$f(x) = \Phi(x) - \frac{i}{N+1} = 0$$

$$f(x_0) = \int_{-\infty}^{x_0} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-y^2}{2}} dy - \frac{i}{N+1} = 0$$

3. คำนวณค่า $f'(x_0) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-x_0^2}{2}}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. คำนวณค่า $f(x_0)$ จากนั้นทำการแทนค่าที่คำนวณได้ในสมการข้างล่าง จะได้ค่าของ x ในรอบแรก นั่นคือ

$$x = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$$

5. คำนวณค่า $y = |x - x_0|$ ถ้า $y \le 0.001$ ผลลัพธ์ที่ได้ คือ $x = x_0$ แต่ถ้า $y > 0.001$ แล้ว จะย้อยกลับไปทำในขั้นตอนที่ 3

ดังนั้นการคำนวรค่าอินเวิรส์ฟังก์ชันสามารถเขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชันย่อย double cal_z(double cump) ดังในภาคผนวก ก. หน้า 87

วิธีการคำนวณค่า $\Phi(x)$

จาก $$\Phi(x) = \int_{-\infty}^{x} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-y^2}{2}} dy$$

จะได้ว่า $$B = 1 + \sum_{i=1}^{6} A_i \left(\frac{|x|}{\sqrt{2}} \right)^i$$

$$F = B^{-16}$$

นั่นคือ $$\Phi(x) = \begin{cases} \frac{F}{2} & \text{ถ้า } x \le 0 \\ 1 - \frac{F}{2} & \text{ถ้า } x > 0 \end{cases}$$

โดยที่ $A_1 = 0.0705230784$

$A_2 = 0.0422820123$

$A_3 = 0.0092705272$

$A_4 = 0.0001520143$

$A_5 = 0.0002765672$

$A_6 = 0.0000430638$

ซึ่งวิธีการคำนวณค่า $\Phi(x)$ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชันย่อย double cal_p(double z0) ดังในภาคผนวก ก. หน้า 88

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

การตรวจสอบตัวแปรสุ่มที่ถูกสร้างขึ้นว่ามีการแจกแจงทวินามหรือไม่ ทดสอบสมมติฐาน

H_0 : ตัวแปรสุ่มที่ถูกสร้างขึ้นมีการแจกแจงทวินาม

H_1 : ตัวแปรสุ่มที่ถูกสร้างขึ้นไม่มีการแจกแจงทวินาม

ในการทดสอบครั้งนี้กำหนดระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$ ซึ่งใช้สถิติทดสอบไค-สแควร์ (Chi-square Test) ในการพิจารณา

การใช้สถิติทดสอบไค-สแควร์ เพื่อใช้ในการทดสอบลักษณะการแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่ถูกสร้างขึ้นจากหัวข้อที่ 2. ฟังก์ชันย่อยสำหรับสร้างตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินามในภาคผนวก ก. หน้า 85 โดยผลิตตัวแปรสุ่มทวินามทั้งหมด 3 ชุดๆ ละ 100 ค่า โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงทวินาม คือ

1) p = 0.01, n = 10 2) p = 0.10, n = 50 และ 3) p = 0.20, n = 25

โดยที่ $p = \frac{x}{n}$, เมื่อ x คือจำนวนของเสีย และ n คือขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

Z คือค่าของการแจกแจงปกติ ของค่าความน่าจะเป็นสะสมของ x

Arcsine คือ ค่า $a_t = \sin^{-1}\sqrt{\frac{x_t + \frac{3}{8}}{n + \frac{3}{4}}}$

ผลสรุปจากการทดสอบไค-สแควร์ เป็นดังนี้

สถานการณ์ที่ 1 p = 0.01, n = 10

จำนวนของเสีย	**ค่า p**	**ค่า Z**	**ค่า Arcsine**	**ความถี่(O_i)**
0	0	1.3069	0.1879	92
1	0.10	2.6303	0.3657	7 } *
2	0.20	3.6857	0.4893	1 } *
รวม				**100**

หมายเหตุ * การทดสอบการแจกแจงด้วยวิธีไค-สแควร์ เมื่อค่าความถี่ของค่าสังเกต (จำนวนของเสีย) ค่าใดค่าหนึ่ง ต่ำกว่า 5 ต้องรวมค่าความถี่กับชั้นที่ใกล้เคียงจนกว่าจะมีค่าความถี่ตั้งแต่ 5 ขึ้นไป

คำนวณค่าไค-สแควร์

จำนวนของเสีย	จำนวนครั้ง(O_i)	p_i	e_i	$[(\| O_i - e_i \| - 0.5)^2] / e_i$
0	92	0.9044	90.4382	0.0125
ตั้งแต่ 1 ขึ้นไป	8	0.0956	9.5618	0.1179
รวม	100	1.0000	100	$\chi^2 = 0.1304$

สถิติทดสอบ $\chi^2 = 0.1304$ มีองศาความเป็นอิสระเป็น 1

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 : ในที่นี้กำหนด $\alpha = 0.05$ ถ้า $\chi^2 > \chi^2_{(0.05,1)} = 3.841$ จึงปฏิเสธ H_0 :

สรุปกรณี p = 0.01, n = 10 ได้ว่า $\chi^2 < 3.841$ จึงยอมรับ H_0 : นั่นคือตัวแปรสุ่มที่ถูกสร้างขึ้นมีการแจกแจงทวินาม (0.01, 10)

สถานการณ์ที่ 2 p = 0.10, n = 50

จำนวนของเสีย	ค่า p	ค่า Z	ค่า Arcsine	ความถี่(O_i)
0	0	-2.5654	0.0861	1
1	0.02	-1.8278	0.1654	3 *
2	0.04	-1.2174	0.2181	5
3	0.06	-0.6736	0.2608	19
4	0.08	-0.1733	0.2980	16
5	0.10	0.2953	0.3315	23
6	0.12	0.7396	0.3623	12
7	0.14	1.1643	0.3911	13
8	0.16	1.5729	0.4183	3
9	0.18	1.9679	0.4443	3 *
11	0.22	2.7245	0.4932	2
รวม				**100**

หมายเหตุ * การทดสอบการแจกแจงด้วยวิธีไค-สแควร์ เมื่อค่าความถี่ของค่าสังเกต (จำนวนของเสีย) ค่าใดค่าหนึ่ง ต่ำกว่า 5 ต้องรวมค่าความถี่กับชั้นที่ใกล้เคียงจนกว่าจะมีค่าความถี่ตั้งแต่ 5 ขึ้นไป

คำนวณค่าไค-สแควร์

จำนวนของเสีย	จำนวนครั้ง(O_i)	p_i	e_i	$[(O_i - e_i)^2] / e_i$
น้อยกว่า 3	9	0.1117	11.1729	0.4226
3	19	0.1386	13.8565	1.9092
4	16	0.1809	18.0905	0.2416
5	23	0.1849	18.4925	1.0987
6	12	0.1541	15.4104	0.7547
7	13	0.1076	10.7628	0.4650
ตั้งแต่ 8 ขึ้นไป	8	0.1221	12.2145	1.4542
รวม	100	1.0000	100	$\chi^2 = 6.3460$

สถิติทดสอบ $\chi^2 = 6.3460$ มีองศาความเป็นอิสระเป็น 5

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 : ในที่นี้กำหนด $\alpha = 0.05$ ถ้า $\chi^2 > \chi^2_{(0.05,5)} = 11.070$ จึงปฏิเสธ H_0 :

สรุปกรณี p = 0.10, n = 50 ได้ว่า $\chi^2 < 11.070$ จึงยอมรับ H_0 : นั่นคือตัวแปรสุ่มที่ถูกสร้างขึ้นมีการแจกแจงทวินาม (0.10, 50)

สถานการณ์ที่ 3 p = 0.20, n = 25

จำนวนของเสีย	ค่า p	ค่า Z	ค่า Arcsine	ความถี่(O_i)
1	0.04	-1.9206	0.2332	4 } *
2	0.08	-1.2917	0.3086	8 } *
3	0.12	-0.7258	0.3704	13
4	0.16	-0.2002	0.4249	20
5	0.20	0.2968	0.4745	19
6	0.24	0.7723	0.5208	13
7	0.28	1.2312	0.5647	10
8	0.32	1.6770	0.6069	7
9	0.36	2.1123	0.6477	5 } *
11	0.44	2.9569	0.7270	1 } *
รวม				**100**

หมายเหตุ * การทดสอบการแจกแจงด้วยวิธีไค-สแควร์ เมื่อค่าความถี่ของค่าสังเกต (จำนวนของเสีย) ค่าใดค่าหนึ่ง ต่ำกว่า 5 ต้องรวมค่าความถี่กับชั้นที่ใกล้เคียงจนกว่าจะมีค่าความถี่ตั้งแต่ 5 ขึ้นไป

คำนวณค่าไค-สแควร์

จำนวนของเสีย	จำนวนครั้ง(O_i)	p_i	e_i	$[(O_i - e_i)^2] / e_i$
น้อยกว่า 3	12	0.0982	9.8225	0.4827
3	13	0.1358	13.5768	0.0245
4	20	0.1867	18.6681	0.0950
5	19	0.1960	19.6015	0.0185
6	13	0.1633	16.3346	0.6807
7	10	0.1108	11.0842	0.1060
8	7	0.0623	6.2349	0.0939
ตั้งแต่ 9 ขึ้นไป	6	0.0468	4.6774	0.3740
รวม	100	1.0000	100	$\chi^2 = 1.8753$

สถิติทดสอบ $\chi^2 = 1.8753$ มีองศาความเป็นอิสระเป็น 6

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 : ในที่นี้กำหนด α = 0.05 ถ้า $\chi^2 > \chi^2_{(0.05,6)} = 12.592$ จึงปฏิเสธ H_0 :

สรุปกรณี p = 0.20, n = 25 ได้ว่า $\chi^2 < 12.592$ จึงยอมรับ H_0 : นั่นคือตัวแปรสุ่มที่ถูกสร้างขึ้นมีการแจกแจงทวินาม (0.20, 25)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

การวิจัยครั้งนี้ได้เปรียบเทียบค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL) ในกรณีที่ระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสียเพิ่มขึ้นหรือกระบวนการออกนอกการควบคุม ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียจาก 4 ชนิด คือ แผนภูมิพี (P) แผนภูมิคิว (Q) แผนภูมิที่ใช้การแปลงข้อมูลด้วย Arcsine (A) และแผนภูมิพีปรับแก้ (M) เพื่อต้องการหาผลสรุปว่าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียใดที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการออกนอกการควบคุมได้รวดเร็วที่สุด โดยกำหนดค่าสัดส่วนของเสียมาตรฐานที่ต้องการควบคุม (p_0) เป็น 2 ระดับ คือ

- ระดับที่ 1 มีค่าตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.19 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.02
- ระดับที่ 2 มีค่าตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.40 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05

ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (n) ตามค่า p_0 ดังนี้

- เมื่อ p0 = 0.01 ถึง 0.09, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500
- เมื่อ p0 = 0.11 ถึง 0.40, n = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

และกำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย (δ) 5 ระดับ คือ 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0

ในการนำเสนอค่า ARL จากการทดลองที่ได้จากแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทั้ง 4 ชนิด จะแสดงเฉพาะค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียที่มีขอบเขตควบคุมเหมาะสมในการนำไปใช้ และให้ค่า α ไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเท่านั้น โดย ที่ $\delta = 1.3$ จะนำเสนอด้วยตารางที่ 4.3.2 ที่ $\delta = 1.5$ จะนำเสนอด้วยตารางที่ 4.3.3 ที่ $\delta = 1.7$ จะนำเสนอด้วยตารางที่ 4.3.4 และที่ $\delta = 2.0$ จะนำเสนอด้วยตารางที่ 4.3.5 ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.2 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.3$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.01	5			987.9450*	
	10			890.9110*	
	15			661.9750*	
	20			432.6900*	
	25			235.9010*	
	30			145.2460*	761.6280
	35				613.7340*
	40				611.6920*
	45				461.3670*
	50				432.9450*
	60				388.3960*
	70				330.1410*
	80				264.4590*
	90				243.2110*
	100				233.1970*
	125		148.9510*		200.7100
	150		126.6380*		172.9140
	175		117.0990*		158.7010
	200		102.7520*		151.1910
	225		97.0390*		148.9510
	250		75.1460*		147.3770
	300		69.2670*		146.4870
	350		63.0200*		117.0990
	400		62.8220*		102.7520
	450	25.9040*	58.6210		63.0200
	500	28.6030*	55.7160		62.8220

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.3$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.03	5			769.2200*	
	10			171.6150*	805.1820
	15				661.7260*
	20				408.4870*
	25				396.4030*
	30				365.6930*
	35				231.2700*
	40				219.5060*
	45		162.2130*		184.1940
	50		129.1200*		163.7310
	60		109.5700*		162.2130
	70		109.0000*		129.1200
	80		96.3260*		112.9640
	90		78.9670*		110.4120
	100		76.8250*		109.5700
	125		76.1980*		109.0000
	150	47.9810*	63.2490		96.3260
	175	36.4470*	60.1520		75.8740
	200	29.6550*	59.6240		64.3820
	225	29.1270*	51.0920		63.2490
	250	27.1230*	48.0250		59.6910
	300	26.6110*	47.9810		51.0920
	350	22.4400*	37.0400		47.5290
	400	20.6690*	36.4490		37.0250
	450	19.4730*	30.5710		30.5710
	500	16.9540*	25.6820		25.6820

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.3$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.05	5			370.3600*	
	10				563.1820*
	15				439.3980*
	20				352.9410*
	25				346.4240*
	30		153.2280*		261.9870
	35		125.0550*		223.9560
	40		90.6580*		216.3300
	45		75.7120*		200.0500
	50		73.7420*		189.9380
	60		72.3960*		153.2280
	70		69.8500*		125.0550
	80		66.2160*		75.7120
	90		66.2010*		73.7420
	100	34.2130*	65.0470		66.2010
	125	32.1780*	64.9310		64.2420
	150	30.0170*	57.4610		57.4610
	175	27.6950*	51.6950		51.5690
	200	25.9130*	45.6250		45.5630
	225	25.3680*	45.1100		45.1100
	250	18.4020*	28.4640		28.4640
	300	17.3890*	27.4080		27.3900
	350	14.2880*	22.7670		22.7480
	400	14.2430*	20.2120		20.2120
	450	12.5700*	17.4700		17.4700
	500	10.2830*	13.6300		13.6300

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.3$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.07	5				862.6620*
	10				614.6560*
	15				544.1690*
	20				286.6430*
	25				217.3960*
	30		108.9310*		217.1140
	35		100.0470*		175.1700
	40		87.0570*		155.3780
	45		74.5650*		139.4440
	50		73.5520*		138.0700
	60		66.0000*		108.9310
	70	41.1870*	62.6340		100.0470
	80	33.5330*	56.5920		71.9890
	90	30.3940*	56.1460		65.4480
	100	29.1260*	53.6930		56.2900
	125	27.5630*	53.1110		55.8840
	150	21.3270*	35.6530		53.6930
	175	19.1730*	32.4430		35.6530
	200	17.4080*	28.1620		28.1420
	225	15.4560*	23.7330		23.7230
	250	13.7990*	20.3850		20.3850
	300	13.1470*	18.3250		18.3250
	350	9.2600*	12.2140		12.2140
	400	8.9270*	12.0920		12.0920
	450	7.5770*	9.3060		9.3060
	500	7.3180*	9.1760		9.1760

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.3$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.09	5				682.6920*
	10				294.7990*
	15				203.0050*
	20				190.6530*
	25				186.0280*
	30		92.7390*		169.8790
	35		75.6970*		167.1000
	40		70.5210*		161.8060
	45		64.8090*		120.8800
	50	48.6450*	64.3400		93.7370
	60	36.5450*	60.6700		92.7390
	70	33.1210*	54.7150		75.6970
	80	31.8120*	48.6450		69.8610
	90	25.0680*	44.6240		63.0820
	100	22.7980*	44.1690		44.6240
	125	22.3940*	31.0560		37.9010
	150	18.8810*	30.1680		31.0560
	175	18.3570*	24.3910		30.1680
	200	16.0660*	22.3940		24.3910
	225	14.4420*	20.7020		20.7020
	250	12.9330*	18.3940		18.3940
	300	8.2880*	11.0990		14.3720
	350	7.5480*	9.4590		9.4590
	400	6.8230*	8.6960		8.6960
	450	5.2980*	6.5200		6.5200
	500	5.1080*	5.8840		5.8840

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.3$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.11	5				617.0270*
	10				459.1190*
	15				358.5530*
	20				214.5580*
	25				169.3150*
	30		48.9390*		146.5320
	35		48.1760*		125.6470
	40		47.2030*		123.5140
	45	45.1660*	45.1660*		114.9850
	50	44.6120*	44.6120*		108.8280
0.13	5				930.0970*
	10				549.7630*
	15				356.5130*
	20		103.6100*		311.1970
	25		83.8010*		185.4840
	30		83.5990*		130.4370
	35	38.2450*	71.8110		103.6100
	40	33.6340*	64.7940		79.5250
	45	31.3340*	31.3340*		70.5880
	50	30.6600*	30.6600*		64.7940
0.15	5				859.8640*
	10				698.9960*
	15				265.3860*
	20		119.0980*		206.2190
	25		87.0090*		127.0990
	30	48.2680*	64.7880		119.0980
	35	42.5340*	62.7280		118.0700
	40	35.5630*	43.2680		85.9160
	45	28.1290*	28.1290*		82.0650
	50	23.2530*	23.2530*		62.1310

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.3$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.17	5				788.1890*
	10				493.8010*
	15				471.3410*
	20		120.8200*		250.7460
	25		84.4600*		179.2430
	30	50.6160*	50.6160*		120.9740
	35	35.6800*	35.6800*		120.5030
	40	32.9890*	32.9890*		81.7890
	45	28.5650*	28.5650*		76.6200
	50	22.6630*	22.6630*		58.4490
0.19	5				647.6620*
	10				295.1630*
	15		76.8020*		274.8930
	20		65.6760*		248.7680
	25	49.4670*	49.4670*		128.4070
	30	43.0380*	43.0380*		95.1380
	35	37.2310*	37.2310*		94.6700
	40	32.1350*	32.1350*		73.1270
	45	28.4800*	28.4800*		62.0080
	50	21.0590*	21.0590*		40.5880
0.25	5		60.9650*		
	10		37.7830*		338.6090
	15		32.2860*		145.3070
	20	31.5350*	31.5350*		92.8130
	25	30.5050*	30.5050*		71.8020
	30	30.0730*	30.0730*		68.1680
	35	29.2480*	29.2480*		66.4800
	40	24.9800*	24.9800*		62.8590
	45	16.9550*	16.9550*		59.8020
	50	16.8340*	16.8340*		30.4710

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.2 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.3$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.30	5		113.3580*		
	10		97.8020*		545.4860
	15	62.9280*	62.9280*		185.6960
	20	37.1800*	37.1800*		124.5280
	25	36.2910*	36.2910*		99.9470
	30	27.8650*	27.8650*		62.0580
	35	20.3450*	20.3450*		46.2550
	40	17.4900*	17.4900*		33.6000
	45	14.7210*	14.7210*		28.4230
	50	13.4190*	13.4190*		22.2470
0.35	5		55.8800*		
	10		46.3790*		370.9500
	15	42.3660*	42.3660*		147.4080
	20	37.0470*	37.0470*		142.3370
	25	26.3140*	26.3140*		134.5660
	30	21.4550*	21.4550*		64.6390
	35	20.8860*	20.8860*		44.9650
	40	16.2050*	16.2050*		33.5410
	45	15.3030*	15.3030*		29.3790
	50	11.7540*	11.7540*		19.4940
0.40	5		105.4830*		
	10		70.5330*		441.7310
	15	38.9780*	38.9780*		160.3880
	20	32.9870*	32.9870*		107.8380
	25	28.4990*	28.4990*		76.5390
	30	27.5550*	27.5550*		71.6790
	35	15.0360*	15.0360*		28.2840
	40	14.4590*	14.4590*		29.0230
	45	10.2080*	10.2080*		30.0990
	50	8.7960*	8.7960*		17.5330

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.3 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.5$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.01	5			979.9040*	
	10			842.8750*	
	15			553.8950*	
	20			307.9650*	
	25			169.5630*	
	30			100.0590*	643.7140
	35				462.5150*
	40				425.4480*
	45				314.7360*
	50				250.8590*
	60				235.9280*
	70				210.7340*
	80				144.7060*
	90				136.2620*
	100				126.6040*
	125		72.9760*		85.0700
	150		59.0450*		84.3470
	175		58.4780*		82.4170
	200		57.6250*		72.9760
	225		46.8760*		59.0450
	250		46.1460*		57.6250
	300		38.2260*		54.2780
	350		24.1710*		51.5040
	400		23.4060*		46.8760
	450	12.7530*	23.3690		24.1710
	500	11.4820*	23.2070		23.3690

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.3 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.5$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.03	5			673.7210*	
	10			119.4230*	720.7010
	15				476.7790*
	20				263.6990*
	25				218.3670*
	30				217.7190*
	35				115.3120*
	40				99.2870*
	45		71.2090*		97.7980
	50		69.1210*		94.4250
	60		54.8540*		71.2090
	70		50.4710*		69.1210
	80		41.5810*		65.1600
	90		39.2000*		54.8540
	100		36.7410*		50.4710
	125		27.1900*		39.2000
	150	18.3570*	26.5150		36.7830
	175	14.0400*	26.3780		27.1550
	200	13.4670*	20.9410		26.3780
	225	11.8090*	18.3570		20.9410
	250	9.9850*	16.7850		18.7180
	300	8.9300*	13.6320		16.7850
	350	7.2870*	11.6180		13.6170
	400	7.2000*	10.1480		10.1480
	450	6.1220*	8.4120		8.4120
	500	5.3270*	7.0740		7.0740

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.3 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.5$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.05	5			251.1430*	
	10				332.1460*
	15				264.5310*
	20				212.1190*
	25				168.5570*
	30		70.3080*		112.8110
	35		55.9890*		110.1490
	40		45.8190*		86.5200
	45		35.9380*		74.0170
	50		32.1010*		70.3080
	60		27.3910*		65.0480
	70		27.2320*		55.9890
	80		26.9400*		26.9400
	90		26.6010*		26.6010
	100	14.0200*	26.1850		26.1850
	125	11.6860*	21.3470		21.3470
	150	10.0980*	17.9190		17.9190
	175	9.1560*	15.2680		15.2680
	200	8.7580*	13.2530		13.2530
	225	8.4150*	12.7410		12.7410
	250	5.5470*	7.7890		7.7890
	300	5.0880*	7.1680		7.1680
	350	4.0510*	5.1840		5.1840
	400	3.9490*	5.1420		5.1420
	450	3.3980*	4.1350		4.1350
	500	2.7900*	3.3090		3.3090

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.3 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.5$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.07	5				763.2020*
	10				433.8860*
	15				338.4870*
	20				116.4390*
	25				95.6640*
	30		46.3240*		84.2120
	35		37.7700*		75.3670
	40		34.0080*		72.8440
	45		30.7920*		59.4090
	50		30.6980*		47.3840
	60		26.4390*		46.3240
	70	16.7980*	23.2140		34.0080
	80	13.1800*	21.7260		26.3510
	90	11.5780*	20.9190		20.8950
	100	10.0430*	17.3430		17.3430
	125	9.5090*	16.4090		16.4090
	150	6.5930*	9.5110		14.8450
	175	6.4740*	9.4340		9.5110
	200	4.9870*	6.8730		6.8730
	225	4.8210*	6.7580		6.7580
	250	4.1510*	5.2540		5.2540
	300	3.5320*	4.4450		4.4450
	350	2.7070*	3.2510		3.2510
	400	2.5370*	3.0070		3.0070
	450	2.1710*	2.4530		2.4530
	500	2.0290*	2.3120		2.3120

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.3 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.5$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.09	5				531.6950*
	10				159.5310*
	15				98.6420*
	20				76.6540*
	25				70.5320*
	30		32.0110*		70.0870
	35		29.6850*		69.1490
	40		26.8470*		68.4050
	45		25.1340*		38.8170
	50	18.3590*	24.3890		32.0110
	60	15.2340*	22.4340		29.6850
	70	12.1650*	18.3860		27.7180
	80	10.7970*	18.3590		22.3850
	90	8.5950*	14.4020		18.2770
	100	7.9710*	13.1470		13.1470
	125	6.6000*	8.7060		9.4400
	150	5.9510*	7.3450		8.7060
	175	5.2620*	6.6000		7.3450
	200	4.3620*	5.7760		5.7760
	225	3.7040*	4.7570		4.7570
	250	3.4120*	4.1720		4.1720
	300	2.4200*	2.8530		3.3440
	350	2.0850*	2.3820		2.3820
	400	1.9020*	2.1320		2.1320
	450	1.6330*	1.7710		1.7710
	500	1.5320*	1.6480		1.6480

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.3 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.5$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.11	5				395.3250*
	10				301.9040*
	15				162.3100*
	20				93.0210*
	25				66.1660*
	30		21.3260*		53.7310
	35		19.9210*		47.5920
	40		18.9810*		40.9070
	45	17.9080*	17.9080*		38.0250
	50	16.8320*	16.8320*		35.4250
0.13	5				860.1530*
	10				263.1930*
	15				179.4990*
	20		36.0660*		118.5170
	25		35.4520*		68.2480
	30		28.1330*		46.0840
	35	15.9400*	24.7670		35.4520
	40	13.6130*	24.0270		27.9760
	45	12.6960*	12.6960*		24.0050
	50	10.4060*	10.4060*		19.9330
0.15	5				774.9550*
	10				464.0520*
	15				109.1220*
	20		46.9510*		72.8380
	25		28.8020*		46.9510
	30	17.7010*	26.8240		42.7220
	35	14.3250*	20.7720		31.8730
	40	12.7690*	17.7010		28.7720
	45	10.2110*	10.2110*		24.2840
	50	8.8030*	8.8030*		20.7550

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.3 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.5$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.17	5				610.9770*
	10				252.6820*
	15				204.1790*
	20		22.0230*		79.7130
	25		17.4470*		62.5230
	30	12.9290*	12.9290*		40.4550
	35	12.0820*	12.0820*		30.7720
	40	11.4330*	11.4330*		24.3100
	45	8.5630*	8.5630*		21.9030
	50	8.5200*	8.5200*		15.4120
0.19	5				448.0270*
	10				130.5350*
	15		30.5270*		91.6440
	20		27.3410*		88.4770
	25	15.8410*	15.8410*		37.0230
	30	14.3630*	14.3630*		31.0420
	35	12.8450*	12.8450*		23.4980
	40	10.5890*	10.5890*		19.6970
	45	8.5770*	8.5770*		15.2810
	50	6.3530*	6.3530*		10.3720
0.25	5		27.4560*		
	10		15.5460*		127.0800
	15		14.5350*		49.3100
	20	11.7080*	11.7080*		28.3050
	25	9.8730*	9.8730*		21.4180
	30	9.1260*	9.1260*		18.3980
	35	8.4840*	8.4840*		15.6030
	40	7.8150*	7.8150*		13.7560
	45	4.8410*	4.8410*		12.6530
	50	4.5810*	4.5810*		7.0570

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.3 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.5$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.30	5		58.2950*		
	10		37.0550*		227.2050
	15	16.0530*	16.0530*		49.2990
	20	12.6510*	12.6510*		39.5570
	25	10.2840*	10.2840*		22.8580
	30	7.4120*	7.4120*		14.4810
	35	5.9840*	5.9840*		9.8410
	40	4.7770*	4.7770*		7.5010
	45	4.0220*	4.0220*		6.1510
	50	3.4320*	3.4320*		5.0440
0.35	5		26.3440*		
	10		14.5260*		431.2290
	15	11.7760*	11.7760*		36.0300
	20	11.6680*	11.6680*		30.6270
	25	6.7920*	6.7920*		26.6130
	30	5.8660*	5.8660*		12.1700
	35	4.7740*	4.7740*		7.7940
	40	4.3490*	4.3490*		7.1880
	45	3.5250*	3.5250*		5.2100
	50	2.8490*	2.8490*		3.9630
0.40	5		63.4630*		
	10		22.2490*		167.0660
	15	11.4240*	11.4240*		38.6460
	20	8.0830*	8.0830*		20.6840
	25	6.6740*	6.6740*		13.6320
	30	5.8480*	5.8480*		10.8290
	35	3.3540*	3.3540*		5.3960
	40	3.2470*	3.2470*		4.8550
	45	2.3310*	2.3310*		4.5530
	50	2.2700*	2.2700*		3.0440

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.4 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.7$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.01	5			972.9780*	
	10			778.2640*	
	15			453.5950*	
	20			227.6610*	
	25			123.4830*	
	30			69.3060*	514.1030
	35				336.5770*
	40				275.4120*
	45				222.7970*
	50				144.9920*
	60				144.8540*
	70				138.1520*
	80				100.3380*
	90				84.2290*
	100				66.8750*
	125		35.5110*		53.9720
	150		35.3070*		49.8510
	175		33.4420*		45.9360
	200		31.0210*		35.3070
	225		27.7630*		33.4420
	250		25.1340*		27.7630
	300		22.8840*		25.1380
	350		13.1780*		25.1340
	400		11.9790*		22.8640
	450	6.7130*	11.7270		11.7270
	500	6.6510*	11.1790		11.1790

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.4 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.7$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.03	5			580.1040*	
	10			85.9740*	602.5120
	15				314.8820*
	20				173.7060*
	25				127.3990*
	30				119.7150*
	35				75.9590*
	40				63.9300*
	45		37.7310*		59.7280
	50		37.4640*		47.1840
	60		29.6690*		37.7310
	70		24.3850*		37.4640
	80		23.9160*		30.4600
	90		18.5040*		29.6690
	100		17.9090*		24.3850
	125		14.3880*		17.9090
	150	8.6790*	11.8280		15.4860
	175	6.8420*	11.0730		11.8280
	200	6.6640*	8.6790		11.0730
	225	5.4700*	8.6230		8.6230
	250	4.7590*	6.9830		7.5380
	300	3.7180*	5.3990		6.9830
	350	3.5500*	4.9960		5.3990
	400	3.0580*	4.2390		4.2390
	450	2.7730*	3.4570		3.4570
	500	2.4090*	2.9930		2.9930

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.4 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.7$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.05	5			182.4660*	
	10				184.2930*
	15				159.8510*
	20				138.4520*
	25				87.4700*
	30		38.5180*		60.6700
	35		29.1780*		53.7420
	40		27.3970*		41.0150
	45		20.3860*		38.5180
	50		17.7150*		34.3150
	60		15.1630*		29.2020
	70		14.1590*		29.1780
	80		13.2350*		13.2350
	90		12.5100*		12.5100
	100	6.9550*	12.1850		12.1850
	125	5.8670*	9.2770		9.2770
	150	4.8170*	7.4530		7.4530
	175	4.2270*	6.3330		6.3330
	200	4.0530*	5.3240		5.3240
	225	3.6610*	4.9450		4.9450
	250	2.5530*	3.4390		3.4390
	300	2.4550*	2.9620		2.9620
	350	1.9490*	2.2880		2.2880
	400	1.9050*	2.2130		2.2130
	450	1.6100*	1.8300		1.8300
	500	1.4290*	1.6110		1.6110

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.4 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.7$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.07	5				666.9410*
	10				281.0010*
	15				191.4730*
	20				54.4390*
	25				48.7090*
	30		22.6580*		44.6370
	35		20.1020*		40.3040
	40		17.0110*		32.1610
	45		14.5280*		27.5560
	50		14.2690*		22.6580
	60		12.1610*		20.7310
	70	8.3600*	11.1930		14.5280
	80	6.4050*	10.3140		11.1840
	90	5.3890*	8.8470		8.8470
	100	4.8260*	7.1820		7.1820
	125	4.3400*	6.2550		6.2550
	150	2.9580*	3.9750		5.4610
	175	2.9330*	3.8450		3.8450
	200	2.3180*	2.9090		2.9090
	225	2.3110*	2.7740		2.7740
	250	1.9250*	2.2820		2.2820
	300	1.7090*	1.9700		1.9700
	350	1.4350*	1.5750		1.5750
	400	1.3340*	1.4290		1.4290
	450	1.2230*	1.2850		1.2850
	500	1.1820*	1.2280		1.2280

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.4 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.7$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.09	5				389.0410*
	10				91.2890*
	15				56.2240*
	20				40.3490*
	25				34.8060*
	30		14.3700*		33.4440
	35		13.6610*		31.1340
	40		13.5010*		29.5010
	45		13.3460*		15.6820
	50	8.3840*	12.8510		14.3700
	60	7.4960*	9.3530		13.6610
	70	5.6340*	8.3840		10.5110
	80	4.7220*	7.3010		9.3530
	90	4.1830*	6.4450		7.3010
	100	3.7610*	5.3890		5.3890
	125	2.8930*	3.7450		3.7450
	150	2.8330*	2.8430		3.6490
	175	2.3470*	2.8330		2.8430
	200	2.0320*	2.3950		2.3950
	225	1.7740*	2.0610		2.0610
	250	1.6230*	1.8540		1.8540
	300	1.3180*	1.4030		1.5300
	350	1.2190*	1.2880		1.2880
	400	1.1550*	1.1990		1.1990
	450	1.0870*	1.1070		1.1070
	500	1.0680*	1.0880		1.0880

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.4 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.7$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.11	5				221.4820*
	10				192.9960*
	15				78.6310*
	20				45.5310*
	25				31.7440*
	30		10.9040*		24.8690
	35		9.6250*		20.6380
	40		8.8150*		17.3590
	45	8.4400*	8.4400*		15.7050
	50	7.8860*	7.8860*		14.1360
0.13	5				788.1890*
	10				120.5990*
	15				91.2310*
	20		17.6280*		53.0000
	25		15.5650*		29.2700
	30		11.7670*		20.5700
	35	7.8240*	11.5540		15.5650
	40	6.5160*	9.8710		11.7610
	45	5.7540*	5.7540*		9.8710
	50	5.0590*	5.0590*		8.1970
0.15	5				611.5380*
	10				252.0970*
	15				51.7680*
	20		21.5570*		29.2970
	25		12.7940*		21.5570
	30	8.6470*	11.8580		17.6980
	35	6.0120*	8.6470		11.8580
	40	5.2850*	8.4060		11.5140
	45	5.0340*	5.0340*		8.7560
	50	4.1770*	4.1770*		8.4060

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.4 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.7$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.17	5				433.0310*
	10				118.1260*
	15				83.3070*
	20		10.8230*		28.1210
	25		7.6450*		26.9340
	30	6.5120*	6.5120*		15.7040
	35	5.6300*	5.6300*		11.1730
	40	4.9600*	4.9600*		9.4440
	45	4.0000*	4.0000*		8.0600
	50	3.7640*	3.7640*		5.7420
0.19	5				273.9090*
	10				61.4930*
	15		13.6660*		40.0090
	20		12.8610*		32.9270
	25	7.3510*	7.3510*		14.4790
	30	6.6790*	6.6790*		13.6230
	35	5.1320*	5.1320*		8.9040
	40	4.8560*	4.8560*		7.9830
	45	3.9210*	3.9210*		5.9180
	50	2.8990*	2.8990*		4.3130
0.25	5		13.7090*		
	10		9.5330*		53.0810
	15		7.1590*		19.3860
	20	5.3510*	5.3510*		11.2290
	25	4.4650*	4.4650*		8.0850
	30	3.8300*	3.8300*		6.7180
	35	3.5230*	3.5230*		5.5870
	40	3.2190*	3.2190*		4.7780
	45	2.2720*	2.2720*		4.3110
	50	2.1380*	2.1380*		2.8180

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.4 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 1.7$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.30	5		31.1570*		
	10		16.3570*		78.6280
	15	6.5480*	6.5480*		14.9990
	20	5.7710*	5.7710*		14.7730
	25	4.3190*	4.3190*		7.6450
	30	3.0330*	3.0330*		4.9360
	35	2.4340*	2.4340*		3.5390
	40	2.0790*	2.0790*		2.7190
	45	1.7720*	1.7720*		2.2870
	50	1.6180*	1.6180*		1.9780
0.35	5		13.9130*		
	10		6.3340*		182.9660
	15	4.9680*	4.9680*		12.1270
	20	4.3630*	4.3630*		8.7380
	25	2.4590*	2.4590*		7.0820
	30	2.4480*	2.4480*		3.7900
	35	1.8620*	1.8620*		2.4510
	40	1.8430*	1.8430*		2.3970
	45	1.5120*	1.5120*		1.8890
	50	1.3360*	1.3360*		1.5440
0.40	5		27.1980*		
	10		7.6960*		48.6780
	15	4.3370*	4.3370*		11.0660
	20	2.9570*	2.9570*		5.3880
	25	2.3850*	2.3850*		3.7380
	30	1.9810*	1.5300*		2.9310
	35	1.4530*	1.4530*		1.8180
	40	1.3540*	1.3540*		1.6250
	45	1.1650*	1.1650*		1.5230
	50	1.1570*	1.1570*		1.2670

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.5 แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 2.0$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.01	5			961.9510*	
	10			666.4670*	
	15			314.2080*	
	20			140.1340*	
	25			76.4500*	
	30			44.4600*	336.9010
	35				194.8950*
	40				137.2710*
	45				123.0920*
	50				82.9770*
	60				75.4810*
	70				64.0930*
	80				56.4960*
	90				45.5190*
	100				31.8070*
	125		19.8220*		28.1710
	150		19.5410*		24.6380
	175		16.2490*		20.4300
	200		15.4190*		16.2490
	225		12.4100*		15.4190
	250		11.8580*		11.8580
	300		11.7890*		11.7890
	350		6.1680*		10.1960
	400		5.7170*		9.2000
	450	3.3090*	5.0280		5.0280
	500	3.2100*	4.7600		4.7600

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.5 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 2.0$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.03	5			435.2070*	
	10			54.2380*	430.1560
	15				170.2110*
	20				96.8340*
	25				63.6010*
	30				56.5770*
	35				33.4540*
	40				30.6560*
	45		19.3390*		30.4190
	50		17.2760*		19.3390
	60		14.9090*		18.9700
	70		12.8470*		17.2760
	80		10.9790*		14.9090
	90		9.2420*		12.6970
	100		7.4850*		10.9790
	125		6.9380*		7.4850
	150	3.9480*	5.2480		5.9700
	175	3.4670*	4.5030		5.2480
	200	3.2240*	3.9480		4.5030
	225	2.6890*	3.5930		3.5930
	250	2.3300*	2.9890		2.9890
	300	1.9000*	2.2510		2.7980
	350	1.8730*	2.2320		2.2320
	400	1.6270*	1.8920		1.8920
	450	1.4930*	1.6550		1.6550
	500	1.3390*	1.4700		1.4700

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.5 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 2.0$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.05	5			114.5180*	
	10				90.2700*
	15				79.1370*
	20				78.7380*
	25				37.6140*
	30		17.9090*		29.6390
	35		13.1190*		24.1380
	40		13.1100*		17.9090
	45		10.2010*		16.8050
	50		8.1790*		13.7680
	60		6.9580*		13.1100
	70		6.2520*		11.5410
	80		5.6950*		5.6950
	90		5.3980*		5.3980
	100	3.3880*	4.9550		4.9550
	125	2.7280*	3.7700		3.7700
	150	2.3110*	3.0060		3.0060
	175	2.0790*	2.5890		2.5890
	200	1.8660*	2.3010		2.3010
	225	1.7400*	2.0820		2.0820
	250	1.4500*	1.6520		1.6520
	300	1.3530*	1.4890		1.4890
	350	1.1960*	1.2620		1.2620
	400	1.1450*	1.2080		1.2080
	450	1.0850*	1.1210		1.1210
	500	1.0570*	1.0780		1.0780

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.5 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 2.0$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.07	5				486.7070*
	10				135.5910*
	15				83.1520*
	20				20.6600*
	25				20.2190*
	30		9.7350*		19.8250
	35		9.6490*		19.5640
	40		8.7010*		11.8540
	45		6.7090*		11.1250
	50		6.0210*		9.7350
	60		5.8970*		7.9790
	70	3.7660*	4.6090		5.8970
	80	3.0530*	4.4770		4.4770
	90	2.6140*	3.6140		3.6140
	100	2.3580*	3.1250		3.1250
	125	2.0950*	2.6210		2.6210
	150	1.6380*	1.8950		2.2540
	175	1.4960*	1.7690		1.7690
	200	1.3080*	1.4620		1.4620
	225	1.2880*	1.4160		1.4160
	250	1.1850*	1.2760		1.2760
	300	1.1130*	1.1550		1.1550
	350	1.0560*	1.0760		1.0760
	400	1.0330*	1.0450		1.0450
	450	1.0160*	1.0210		1.0210
	500	1.0120*	1.0130		1.0130

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.5 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 2.0$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.09	5				219.4990*
	10				46.3490*
	15				25.0400*
	20				18.0070*
	25				14.6980*
	30		6.2900*		13.2250
	35		5.7540*		11.5500
	40		5.7350*		10.7340
	45		5.7340*		5.7780
	50	3.6460*	5.5850		5.7340
	60	3.4390*	3.7720		5.5850
	70	2.6360*	3.6460		3.7870
	80	2.1710*	2.8360		3.7720
	90	2.0610*	2.7610		2.8360
	100	1.8020*	2.2680		2.2680
	125	1.4800*	1.7110		1.7110
	150	1.4180*	1.4180		1.6090
	175	1.2660*	1.3620		1.3620
	200	1.1640*	1.2410		1.2410
	225	1.1240*	1.1700		1.1700
	250	1.0820*	1.1100		1.1100
	300	1.0260*	1.0370		1.0580
	350	1.0120*	1.0200		1.0200
	400	1.0040*	1.0050		1.0050
	450	1.0030*	1.0030		1.0030
	500	1.0010*	1.0010		1.0010

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3.5 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 2.0$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.11	5				104.3850*
	10				93.3690*
	15				32.5940*
	20				18.1110*
	25				12.3480*
	30		5.0960*		9.9430
	35		4.3790*		7.9080
	40		3.9450*		6.4850
	45	3.6910*	3.6910*		5.6890
	50	3.3860*	3.3860*		5.0290
0.13	5				584.5090*
	10				45.4900*
	15				41.9400*
	20		7.9160*		18.7780
	25		5.7100*		11.0810
	30		5.3150*		7.3890
	35	3.4830*	4.6670		5.7100
	40	3.0140*	4.1400		4.6670
	45	2.5240*	2.5240*		3.5910
	50	2.2570*	2.2570*		3.1090
0.15	5				379.1500*
	10				96.1990*
	15				19.7670*
	20		8.3690*		10.0870
	25		5.2130*		8.3690
	30	3.7170*	4.2690		6.2570
	35	2.9080*	3.7170		4.2690
	40	2.3390*	3.4150		3.8350
	45	2.2770*	2.2770*		3.4150
	50	1.9870*	1.9870*		3.1120

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.5 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 2.0$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.17	5				216.5640*
	10				46.4010*
	15				28.7670*
	20		4.7740*		9.6790
	25		3.3110*		9.6490
	30	3.0020*	3.0020*		5.5080
	35	2.3490*	2.3490*		3.8950
	40	2.1340*	2.1340*		3.4730
	45	1.8860*	1.8860*		2.9010
	50	1.8050*	1.8050*		2.2990
0.19	5				125.8560*
	10				24.6880*
	15		5.9520*		13.9790
	20		4.9820*		10.7620
	25	3.0830*	3.0830*		4.8970
	30	2.9330*	2.9330*		4.8170
	35	2.2160*	2.2160*		2.9790
	40	2.0870*	2.0870*		2.9360
	45	1.7560*	1.7560*		2.2400
	50	1.5080*	1.5080*		1.8440
0.25	5		5.9940*		
	10		5.4300*		18.9950
	15		3.2820*		6.4800
	20	2.4390*	2.4390*		3.8480
	25	1.9710*	1.9710*		2.8800
	30	1.6960*	1.6960*		2.3080
	35	1.5930*	1.5930*		2.0180
	40	1.4260*	1.4260*		1.7390
	45	1.2270*	1.2270*		1.6290
	50	1.2130*	1.2130*		1.3550

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.3.5 (ต่อ) แสดงค่า ARL เมื่อ $\delta = 2.0$ โดยแจกแจงตามค่า p_0 และ n

p_0	n	ค่า ARL			
		P	Q	A	M
0.30	5		13.4630*		
	10		5.8420*		21.8930
	15	2.3860*	2.3860*		4.5040
	20	2.3680*	2.3680*		3.9410
	25	1.6940*	1.6940*		2.3550
	30	1.3860*	1.3860*		1.6780
	35	1.2270*	1.2270*		1.4310
	40	1.1310*	1.1310*		1.2310
	45	1.1030*	1.1030*		1.1730
	50	1.0620*	1.0620*		1.1110
0.35	5		6.3270*		
	10		2.4870*		35.4090
	15	1.9710*	1.9710*		3.3900
	20	1.6640*	1.6640*		2.3680
	25	1.2170*	1.2170*		1.9640
	30	1.1770*	1.1770*		1.3350
	35	1.0710*	1.0710*		1.1300
	40	1.0570*	1.0570*		1.1060
	45	1.0260*	1.0260*		1.0530
	50	1.0080*	1.0080*		1.0210
0.40	5		3.1200*		
	10		2.6810*		9.4270
	15	1.5570*	1.5570*		2.5230
	20	1.2400*	1.2400*		1.5940
	25	1.1090*	1.1090*		1.2530
	30	1.0630*	1.0630*		1.1320
	35	1.0090*	1.0090*		1.0230
	40	1.0080*	1.0080*		1.0160
	45	1.0010*	1.0010*		1.0100
	50	1.0010*	1.0010*		1.0010

หมายเหตุ * หมายถึง แผนภูมิให้ค่า ARL ต่ำที่สุด

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภัทราทิพย์ อินทปุระ เกิดเมื่อวันที่ 11 ตุลาคม 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน กระทรวงศึกษาธิการ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย