

Research Article

## การวัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคุณภาพสัดส่วนของเสียฟัซซี

### A performance measurement of fuzzy-p control chart

ศุภิสรา พลอยครุฑ\* และฐิตนนท์ จารุโรจน์เกียรติ

Supissara Ploykrut\* and Thitanont Charurotkeerati

ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Department of Applied Statistics, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800

\*E-mail: yoyeyoye.sp@gmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี (fuzzy-p control chart) กับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) สำหรับจำนวนของเสียที่ข้อมูลอยู่ในรูปแบบฟัซซี ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ค่า  $\alpha$  ที่ระดับต่างกัน ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ ที่  $0 < \alpha < 1$  เกณฑ์ที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแผนภูมิ คือ ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (average run length : ARL) โดยการจำลองด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation: MC) ที่ตัวแปรสุ่มมีการแจกแจงทวินาม (binomial distribution) มีจำนวนทำซ้ำ 50,000 รอบ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซีและแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียไม่แตกต่างกันที่  $\alpha$  เข้าใกล้ 1 แต่เมื่อ  $\alpha$  มีขนาดลดลงทำให้ช่วงความกว้างของแผนภูมิควบคุมจะมีขนาดกว้างขึ้น นอกจากนี้  $ARL_0$  และ  $ARL_1$  ยังมีค่าเพิ่มขึ้นอีกด้วย

คำสำคัญ: ระดับแอลฟา, ความยาววิ่งเฉลี่ย, แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี, แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย

## Abstract

The objective of this research was to study a performance measurement of fuzzy-p control chart and p-chart when the numbers of nonconforming was fuzzy data. In this research, different  $\alpha$  levels were chosen by characteristics of products and processes at  $0 < \alpha < 1$ . The performance of control chart was measured by the average run length (ARL) using Monte Carlo simulation (MC) when observations were binomial distribution repeating 50,000 times. The results showed that a performance measurement of fuzzy-p control chart and p-chart was not different when  $\alpha$  approached to 1 but when  $\alpha$  was reduced, the width of control chart larger. Additionally,  $ARL_0$  and  $ARL_1$  also increased.

**Keywords:**  $\alpha$  level, average run length, fuzzy-p control chart, p-chart

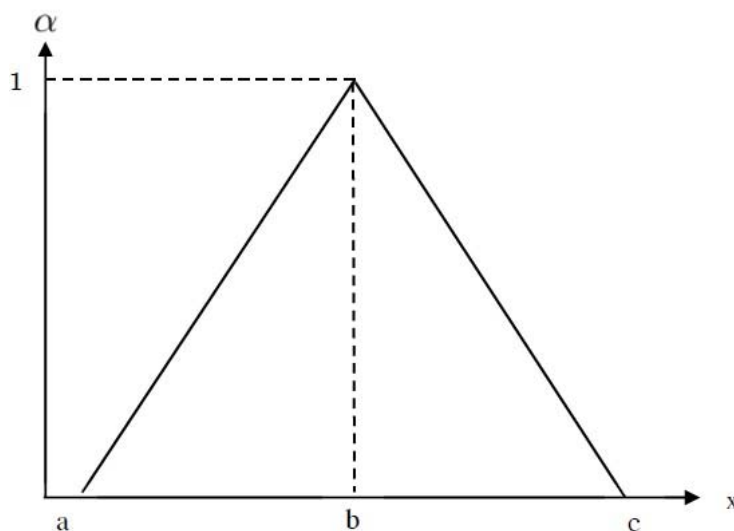
## บทนำ

ในปัจจุบันการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพให้เป็นที่พอใจและน่าเชื่อถือต่อผู้บริโภค เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ธุรกิจและอุตสาหกรรมนั้นประสบความสำเร็จ วิธีการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงถูกพัฒนาขึ้นอย่างมีระบบเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท แผนภูมิควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (statistical process control: SPC) เป็นการนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการควบคุมการผลิต ทำให้กระบวนการผลิตมีความสามารถในการผลิตให้ได้ผลดีมากยิ่งขึ้น และยังทำให้ความผันแปรในการผลิตลดลง จนได้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงตรงตามมาตรฐานที่ต้องการ โดย Shewhart (1931) เป็นผู้พัฒนาแผนภูมิควบคุมเป็นคนแรก ได้แบ่งแผนภูมิออกเป็น 2 ประเภท คือ แผนภูมิควบคุมเชิงแปรผัน (control chart for variables) และแผนภูมิควบคุมเชิงลักษณะ (control chart for attribute) แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) เป็นแผนภูมิควบคุมเชิงลักษณะที่นิยมใช้กันมาก และสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง โดยทั่วไปข้อมูลคุณลักษณะนี้ถือว่าเป็นข้อมูลที่คลุมเครือและไม่สามารถตรวจวัดได้อย่างแม่นยำ มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (fuzzy) ไม่ชัดเจน และเซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเช่นนี้เรียกว่า ฟัซซีเซต (fuzzy Set) (พยุ่ง, 2555) จึงมีการนำทฤษฎีอื่นมาช่วยในการจัดการปัญหาเหล่านี้ โดย Zadeh (1965) เป็นคนนำเสนอทฤษฎีฟัซซีเซตเป็นคนแรก ฟัซซีเซตนี้จะช่วยสร้างขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี (fuzzy-p control chart) โดย Gülbay และคณะ (2004) ได้เสนอแผนภูมิแอลฟา-คัทฟัซซี ( $\alpha$ -cut fuzzy control chart for attribution) ที่ใช้สำหรับแผนภูมิควบคุมเชิงลักษณะ วิธีนี้สามารถกำหนดความเข้มงวดของการตรวจสอบกระบวนการผลิตได้ โดยใช้  $\alpha$  ที่ระดับต่าง ๆ กันตามความเหมาะสม Shu และ Wu (2010) ได้ทำการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี (fuzzy-p control chart) ซึ่งมีประสิทธิภาพสามารถจัดการกับข้อมูลที่คลุมเครือที่เก็บได้จากกระบวนการผลิตและตรวจสอบกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน และ Sorooshian (2013) ได้เสนอวิธีการใหม่ในการควบคุมคุณภาพ

สำหรับกระบวนการที่มีความคลุมเครือเกิดขึ้น สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กและขนาดของกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กได้ดีกว่าวิธีการในปัจจุบัน สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี กับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียซึ่งมีทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

### 1. แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี (fuzzy-p control chart)

ภายหลังจาก Zadeh (1965) เป็นคนนำเสนอทฤษฎีฟัซซีเซต ซึ่งทฤษฎีนี้ได้ช่วยสร้างขีดจำกัดของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี ต่อมา Fonseca และคณะ (2007) ได้พัฒนาเทคนิคการสร้างแผนภูมิควบคุมฟัซซีสำหรับจำนวนของเสียที่ข้อมูลอยู่ในรูปแบบฟัซซีซึ่งเป็นการผลิตในระยะสั้น โดยแบ่งข้อมูลเป็นจำนวนกลุ่มย่อยและขนาดกลุ่มย่อย ทำให้ขีดจำกัดของแผนภูมิควบคุมการผลิตมีโอกาสผิดพลาดน้อยกว่าแผนภูมิแอลฟา-คัทฟัซซี Sogandil และคณะ (2014) ได้พัฒนาแผนภูมิควบคุมฟัซซีที่ขึ้นอยู่กับค่ากึ่งกลาง (midrange) ซึ่งมีค่าระหว่างค่าคลุมเครือสูงที่สุดกับค่าต่ำที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ค่า  $\alpha$  ระดับต่าง ๆ โดยจำนวนของเสียที่ข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบของฟัซซี ซึ่ง  $a$ ,  $b$  และ  $c$  จะเป็นตัวแทนของชุดข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกเรียงจากค่าน้อย กลาง และมากตามลำดับ สามารถแสดงอยู่ในรูปแบบของตัวเลขสามเหลี่ยม (triangular fuzzy number: TFN) ได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. Triangular fuzzy number: TFN

ในการสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียพีซีซี จะมีตัวสถิติดังต่อไปนี้

$$CL = (CL_a^{\alpha}, CL_b, CL_c^{\alpha}) = (\bar{P}_a^{\alpha}, \bar{P}_b, \bar{P}_c^{\alpha}) \quad (1)$$

$$\left( \bar{P}_a^{\alpha}, \bar{P}_b, \bar{P}_c^{\alpha} \right) = \left( \frac{\sum x_a^{\alpha}}{mn}, \frac{\sum x_b}{mn}, \frac{\sum x_c^{\alpha}}{mn} \right) \quad (2)$$

กำหนดให้  $(x_a^{\alpha}, x_b, x_c^{\alpha})$  แทนจำนวนของเสียตามตัวแบบพีซีซีแบบสามเหลี่ยมชนิดที่ a, b และ c ตามลำดับ

m คือ จำนวนตัวอย่าง

n คือ ขนาดตัวอย่าง

โดย  $\bar{P}_a^{\alpha}$  และ  $\bar{P}_c^{\alpha}$  คำนวณได้จาก

$$\bar{P}_a^{\alpha} = \bar{P}_a + \alpha(\bar{P}_b - \bar{P}_a) \quad (3)$$

$$\bar{P}_c^{\alpha} = \bar{P}_c - \alpha(\bar{P}_c - \bar{P}_b) \quad (4)$$

กำหนดให้ค่า  $\alpha$  คือ ตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินาม และ  $\alpha$  มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ( $0 < \alpha < 1$ ) โดยเส้นกลาง (center line: CL) ขีดจำกัดควบคุมบน (upper control limit: UCL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (lower control limit: LCL) ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียพีซีซี คือ (Sogandiและคณะ, 2014)

$$CL_{f-p}^{\alpha} = \frac{1}{2}(\bar{P}_a^{\alpha} + \bar{P}_c^{\alpha}) \quad (5)$$

$$UCL_{f-p}^{\alpha} = CL_{f-p}^{\alpha} + 3\sqrt{\frac{CL_{f-p}^{\alpha}(1 - CL_{f-p}^{\alpha})}{n}} \quad (6)$$

$$LCL_{f-p}^{\alpha} = CL_{f-p}^{\alpha} - 3\sqrt{\frac{CL_{f-p}^{\alpha}(1 - CL_{f-p}^{\alpha})}{n}} \quad (7)$$

กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม เมื่อ  $LCL_{f-p}^{\alpha} \leq S_{f-p}^{\alpha} \leq UCL_{f-p}^{\alpha}$  มิฉะนั้นจะถือว่ากระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม เมื่อ  $LCL_{f-p}^{\alpha} > S_{f-p}^{\alpha} > UCL_{f-p}^{\alpha}$

$$\text{เมื่อ } S_{f-p}^\alpha = \frac{(x_{a_j} + x_{c_j}) + \alpha [(x_{b_j} - x_{a_j}) - (x_{c_j} - x_{b_j})]}{2n} \quad (8)$$

กำหนดให้  $(x_{a_j}, x_{b_j}, x_{c_j})$  แทนจำนวนของเสียตามตัวแบบพีซีแบบสามเหลี่ยม ชุดที่ a, b และ c ลำดับที่ j  
n คือ ขนาดตัวอย่าง

## 2. แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart)

เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียจากกระบวนการผลิต ไม่ให้เกิดสัดส่วนของเสียมากเกินไป  
จนมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แล้วยังใช้ในการเปรียบเทียบและควบคุมการทำงานของโรงงาน หน่วยการผลิตแต่ละหน่วย เครื่องจักรแต่ละเครื่องจักร เป็นต้น การจะทราบสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่แท้จริงของกระบวนการผลิต  
( $p'$ ) ซึ่งในทางปฏิบัติต้องทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ 100% ในการตรวจสอบทั้งหมดบางครั้งการตรวจสอบ  
100% นั้นทำได้ยาก อาจทำการเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์เสียจากกระบวนการผลิตมาส่วนหนึ่งก่อนเพื่อนำมาสร้าง  
แผนภูมิควบคุม ทำการปรับปรุงแก้ไขแผนภูมิจนกระทั่งกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม ซึ่งในกรณีไม่ทราบ

$$\text{ค่า } p' \text{ นี้ จะประมาณด้วย } \bar{p} \text{ เมื่อ } \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{mn}$$

กำหนดให้ค่า X คือ จำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่ตรวจพบ X จะเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบทวินาม ด้วยพารามิเตอร์  
n และ  $p'$  และ m คือ จำนวนตัวอย่าง

โดยเส้นกลาง (center line : CL) ขีดจำกัดควบคุมบน (upper control limit: UCL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง  
(lower control limit: LCL) ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย คือ

$$CL = \bar{p} \quad (9)$$

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (10)$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (11)$$

### 3. ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (average run length: ARL)

ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (average run length: ARL) คือ จำนวนตัวอย่างเฉลี่ยที่ตกอยู่ในขีดจำกัดควบคุมก่อนที่กระบวนการส่งสัญญาณออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรก โดยค่า ARL แบ่งออกเป็น 2 สถานะ คือ

- เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุม (in-control process) ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย  $ARL_0$

$$ARL_0 = \frac{1}{P_I}$$

เมื่อ  $P_I$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่พบว่า กระบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุม เมื่อกระบวนการไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง  $ARL_0$  ควรมีค่าสูง ๆ

- เมื่อกระบวนการผลิตไม่อยู่ภายใต้การควบคุม (out-of-control process) ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเขียนสัญลักษณ์แทนด้วย  $ARL_1$

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - P_{II}}$$

เมื่อ  $P_{II}$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2 หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่พบว่า กระบวนการอยู่ในขีดจำกัดควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลง  $ARL_1$  ควรจะมีค่าต่ำ ๆ

### วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้ได้แบ่งงานวิจัยออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 สร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี (fuzzy-p control chart) และคำนวณหาค่า ARL ด้วยวิธีมอนติคาร์โล ในแต่ละระดับ  $\alpha$  เมื่อตัวแปรสุ่มมีการแจกแจงทวินาม และเปรียบเทียบค่า ARL ในแต่ละระดับ  $\alpha$  ส่วนที่ 2 สร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) และคำนวณหาค่า ARL เมื่อตัวแปรสุ่มมีการแจกแจงทวินาม ส่วนที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซีกับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ทั้งกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 1. วิธีการหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย

ประมาณค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (average run length: ARL) โดยการจำลองด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation: MC) 50,000 รอบ เพื่อประมาณค่า ARL

$$ARL = \frac{\sum_{i=1}^n RL_i}{n} \quad (12)$$

เมื่อ  $RL_1$  คือ จำนวนตัวอย่าง ที่ถูกตรวจสอบก่อนที่จะพบว่า กระบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรก  
ในการจำลองข้อมูลรอบที่  $t$   
 $n$  คือ จำนวนรอบของการทำซ้ำของการทดลอง ในที่นี้กำหนดให้  $n = 50,000$

## 2. ขั้นตอนการจำลองและสร้างแผนภูมิควบคุม

2.1 สร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี (fuzzy-p control chart) ในแต่ละระดับ  $\alpha$  และสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) มีขั้นตอนดังนี้

2.1.1 จำลองข้อมูลที่มีการแจกแจงทวินาม (binomial) เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม กำหนดค่าพารามิเตอร์  $p_0 = 0.01, 0.05, 0.1, m = 1,200, n = 3,500$  โดยข้อมูลอยู่ในรูปแบบฟัซซี

2.1.2 กำหนดค่า  $\alpha$  ตั้งแต่ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 0.96, 0.97, 0.98, 0.99

2.1.3 กำหนดค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL<sub>0</sub>) เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม เท่ากับ 370

2.1.4 คำนวณค่าสถิติของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี และแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย

2.1.5 คำนวณหาขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี ในทุกระดับของ  $\alpha$  และแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ที่สอดคล้องกับค่า ARL<sub>0</sub> ที่กำหนด

2.1.6 เมื่อกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม กำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์  $p$  เพิ่มขึ้นทีละ 0.001 เท่ากับ 0.011–0.019, 0.05–0.059 และ 0.101–0.109

2.1.7 คำนวณหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ย ARL<sub>1</sub> ด้วยวิธีมอนติคาร์โล (MC) ในทุกระดับของ  $\alpha$

2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซีกับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ทั้งกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

2.2.1 เปรียบเทียบค่า ARL<sub>0</sub> และ ARL<sub>1</sub> ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซีและพิจารณาขีดจำกัดควบคุม ในทุกระดับของ  $\alpha$

2.2.2 เปรียบเทียบค่า ARL<sub>0</sub> และ ARL<sub>1</sub> ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ในทุก ๆ การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ

2.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี โดยพิจารณา  $\alpha$  ในทุกระดับ กับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย

### ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจะแบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี (fuzzy-p control chart) โดยเปรียบเทียบค่า ARL ของ  $\alpha$  ที่ระดับต่าง ๆ กัน ทั้งกรณีที่กระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

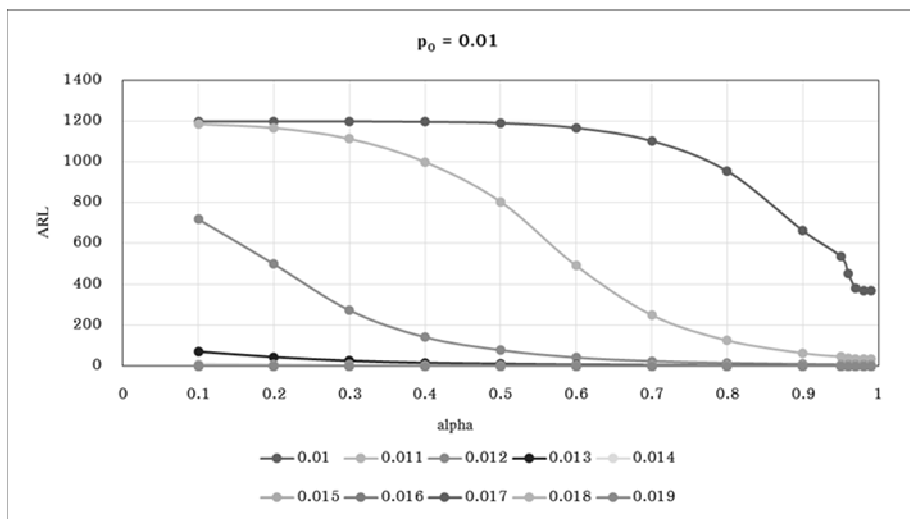
2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) กับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี (fuzzy-p control chart) ที่  $\alpha$  ระดับต่าง ๆ ทั้งกรณีที่กระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

การวัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี (fuzzy-p control chart) ที่  $\alpha$  ระดับต่าง ๆ กับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) โดยการประมาณค่า ARL ที่หาได้จากการจำลองด้วยวิธีมอนติคาร์โล ประมาณค่า  $ARL_0 = 370$  เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม และการประมาณค่า  $ARL_1$  เมื่อกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม ได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1. เปรียบเทียบค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี ที่  $\alpha$  ระดับต่าง ๆ กับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย เมื่อกำหนด  $p_0 = 0.01$  และ  $p = 0.011-0.019$

a	p									
	$p_0 = 0.01$	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019
0.99	370.2301	34.8045	5.95856	1.50048	0.44326	0.12292	0.02826	0.00534	0.00078	0.00004
0.98	370.2301	34.8045	5.95856	1.50048	0.44326	0.12292	0.02826	0.00534	0.00078	0.00004
0.97	378.9571	35.00688	5.96984	1.50088	0.44332	0.12292	0.02826	0.00534	0.00078	0.00004
0.96	450.7331	38.5872	6.22522	1.52754	0.4473	0.1234	0.02834	0.00534	0.00078	0.00004
0.95	535.2445	45.51280	6.9091	1.63632	0.46994	0.12752	0.02918	0.00548	0.00078	0.00004
0.9	662.2552	62.56312	9.21616	2.16974	0.63344	0.18012	0.04564	0.00926	0.00114	0.00012
0.8	953.8586	124.3506	14.46942	2.96666	0.8233	0.2326	0.05854	0.01256	0.00154	0.00018
0.7	1101.722	249.3754	23.3612	4.22488	1.11494	0.31902	0.08376	0.0187	0.00294	0.00036
0.6	1165.508	490.7536	40.65118	6.31394	1.55658	0.44484	0.1219	0.02838	0.00492	0.00062
0.5	1188.774	803.8845	77.42128	10.04978	2.25156	0.62994	0.17814	0.04404	0.00838	0.00116
0.4	1195.358	998.7158	140.757	15.45622	3.15804	0.8568	0.24702	0.0638	0.01352	0.00184
0.3	1197.746	1112.019	272.4773	25.34836	4.60078	1.19834	0.34786	0.09496	0.02098	0.00328
0.2	1198.07	1165.444	498.6718	43.56646	6.9742	1.70758	0.49502	0.14204	0.03332	0.00618
0.1	1198.786	1183.965	718.465	70.4874	10.07494	2.3174	0.67182	0.19844	0.04986	0.0097
p Chart	370.2301	34.8045	5.95856	1.50048	0.44326	0.12292	0.02826	0.00534	0.00078	0.00004

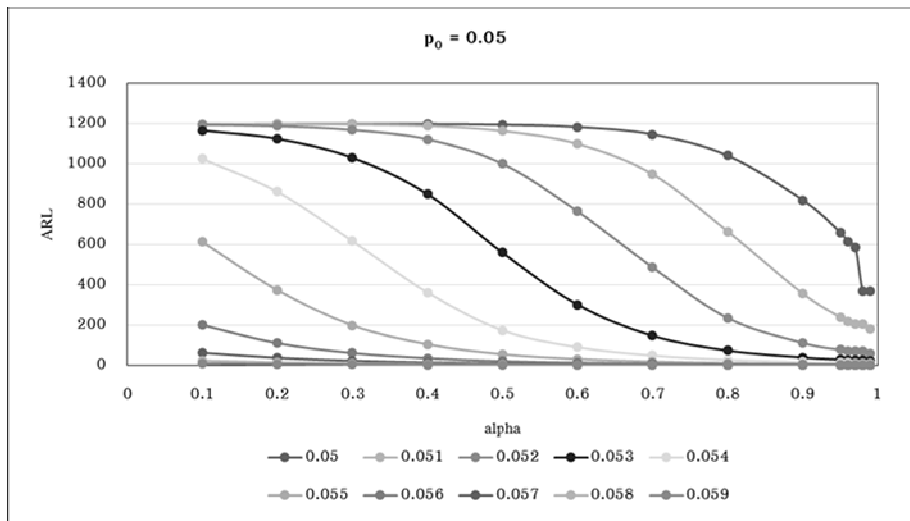




รูปที่ 2. แสดงค่า  $ARL_0$  และ  $ARL_1$  ที่  $\alpha$  ระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 2. เปรียบเทียบค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียพีซีซี ที่  $\alpha$  ระดับต่าง ๆ กับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย เมื่อกำหนด  $p_0 = 0.05$  และ  $p = 0.051-0.059$

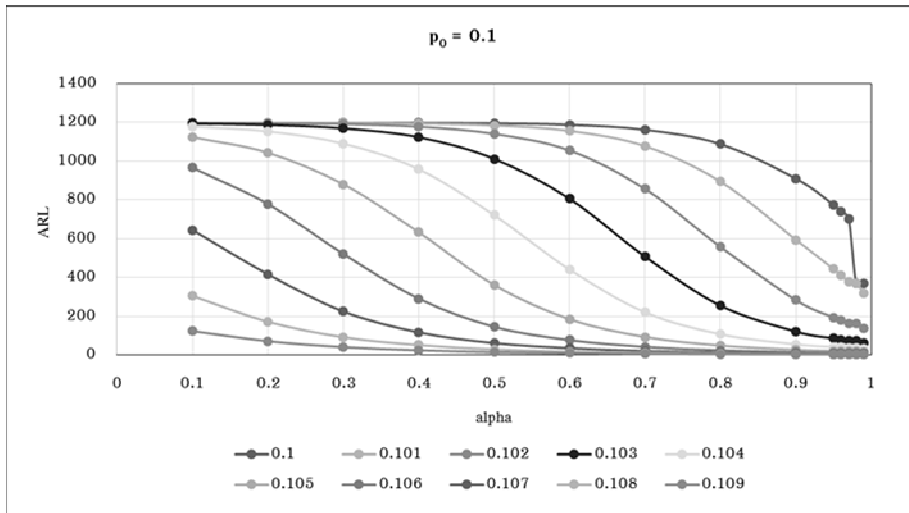
$\alpha$	p									
	$p_0 = 0.05$	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019
0.99	370.2393	180.7591	59.82914	22.76548	9.92424	4.6663	2.3656	1.2551	0.6737	0.3632
0.98	370.2365	205.1761	68.76502	26.29094	11.42734	5.3938	2.7358	1.4523	0.7867	0.4272
0.97	585.6547	205.4224	68.82982	26.29362	11.42982	5.3939	2.7358	1.4523	0.7867	0.4272
0.96	614.254	215.9807	71.0872	26.8077	11.5631	5.4314	2.7468	1.4556	0.7876	0.4276
0.95	659.1326	238.503	76.94134	28.4537	12.07446	5.5948	2.8080	1.479	0.7969	0.4321
0.9	819.0973	356.0745	111.2986	39.01238	15.7958	7.1014	3.4833	1.8215	0.9653	0.5256
0.8	1039.754	663.9166	234.841	73.06184	26.53366	11.007	5.0897	2.5459	1.3157	0.7140
0.7	1145.582	947.4542	486.0489	147.0203	48.3101	18.1379	7.8404	3.7251	1.884	0.9972
0.6	1182.377	1097.733	763.0654	300.9888	89.64908	30.872	12.242	5.504	2.6846	1.3927
0.5	1193.568	1162.384	999.2326	558.56	174.1964	54.6622	19.8443	8.3188	3.8725	1.966
0.4	1197.084	1187.712	1120.781	849.2796	361.7613	104.66	34.9450	13.6178	5.9485	2.8981
0.3	1197.515	1194.956	1167.272	1029.294	616.0377	198.953	60.9470	22.0282	9.0823	4.2019
0.2	1196.698	1197.278	1186.714	1123.233	860.2	373.475	109.973	36.87	14.2257	6.2955
0.1	1198.06	1197.908	1194.208	1164.934	1023.761	612.2737	200.5153	62.3046	22.7782	9.4369
p Chart	370.987	150.084	52.25728	20.57596	9.20882	4.42098	2.27568	1.21504	0.66002	0.35626



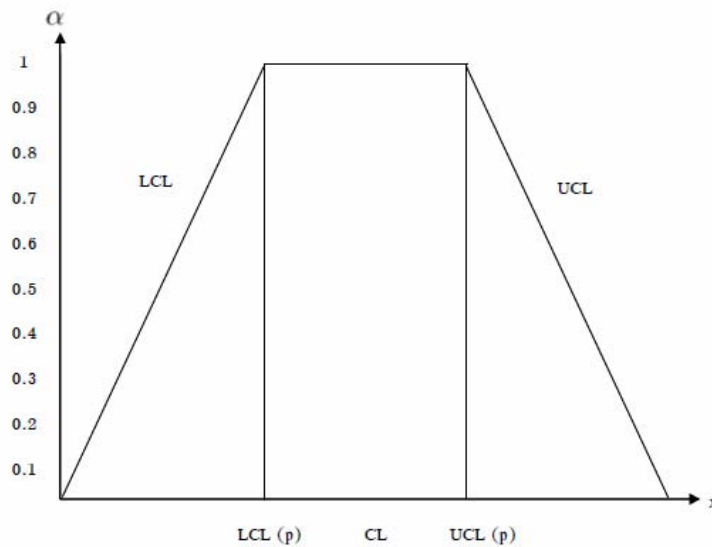
รูปที่ 3. แสดงค่า  $ARL_0$  และ  $ARL_1$  ที่  $\alpha$  ระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 3. เปรียบเทียบค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียพีซีซี ที่  $\alpha$  ระดับต่าง ๆ กับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย เมื่อกำหนด  $p_0 = 0.1$  และ  $p = 0.101-0.109$

$\alpha$	p									
	$p_0 = 0.1$	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019
0.99	370.4997	318.8596	136.9539	62.49368	30.9223	16.1367	8.99832	5.2497	3.1438	1.9629
0.98	370.6917	370.6486	161.2143	73.72572	36.08746	18.5546	10.2937	5.9188	3.5215	2.191
0.97	703.8077	379.1623	164.4704	75.00584	36.72894	18.862	10.4720	6.0225	3.5897	2.2409
0.96	741.6326	411.1155	177.7141	79.58814	38.53766	19.5678	10.7526	6.1379	3.6466	2.2655
0.95	773.9045	442.9803	193.6357	85.7458	41.14328	20.7702	11.3005	6.4013	3.7066	3.3373
0.9	909.7744	594.5861	282.9994	120.6942	55.15842	27.0967	14.2986	7.9103	4.5827	2.7814
0.8	1087.771	894.3626	557.7243	254.5414	106.8073	48.8204	23.9576	12.463	6.8913	4.0381
0.7	1161.894	1077.319	856.3798	507.3344	220.4401	92.7463	41.685	20.3453	10.7268	5.9763
0.6	1187.646	1155.898	1054.763	805.466	440.5945	184.4727	76.8025	35.1246	17.3125	9.1927
0.5	1194.838	1184.108	1140.732	1011.718	721.0338	361.2393	145.1885	61.2472	28.7410	14.405
0.4	1197.226	1193.685	1177.664	1123.22	957.9692	633.0406	290.656	116.5746	51.035	23.9024
0.3	1197.484	1197.206	1191.488	1168.807	1090.206	880.3788	521.5008	224.4973	91.7364	40.4504
0.2	1198.072	1197.899	1196.157	1187.486	1153.372	1043.253	778.6811	416.266	171.361	71.202
0.1	1198.171	1197.207	1197.543	1194.2	1178.392	1123.763	965.5047	644.5099	304.76	123.317
p Chart	370.3945	299.9223	130.5094	60.34284	30.1666	15.8521	8.89212	5.2053	3.1247	1.95546



รูปที่ 4. แสดงค่า  $ARL_0$  และ  $ARL_1$  ที่  $\alpha$  ระดับต่าง ๆ



รูปที่ 5. แสดงขีดจำกัดควบคุมที่  $\alpha$  ระดับต่าง ๆ

## วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

จากตารางที่ 1 ถึง 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความยาววิ่งเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี กับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีมอนติคาร์โล กำหนดค่าพารามิเตอร์  $p_0 = 0.01, 0.05, 0.1$  พบว่าค่าความยาววิ่งเฉลี่ย  $ARL_0$  และ  $ARL_1$  ที่  $\alpha$  เข้าใกล้ 1 จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย และ จากรูปที่ 2 ถึง 4 ซึ่งแสดงค่า  $ARL_0$  และ  $ARL_1$  ที่  $\alpha$  ระดับต่าง ๆ ของแต่ละกระบวนการที่เกิดการเปลี่ยนแปลง จะเห็นได้ว่า เมื่อค่า  $\alpha$  มีขนาดลดลง ขนาดของความกว้างของช่วง control chart จะกว้างขึ้น ซึ่งทำให้  $ARL_0$  และ  $ARL_1$  มีค่ามากขึ้นด้วย จากรูปที่ 5 แสดงขีดจำกัดควบคุมที่  $\alpha$  ระดับต่างๆ ซึ่งทำให้เห็นว่าเมื่อ  $\alpha$  เข้าใกล้ 1 ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี (fuzzy-p control chart) จะมีค่าไม่ต่างจากแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) ในการกำหนดค่า  $\alpha$  เพื่อใช้ในแผนภูมิควบคุมนั้นจะถูกกำหนดตามลักษณะของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและเพิ่มประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมในการตรวจสอบกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน และ Gülbay และคณะ (2004) ได้กำหนดค่า  $\alpha$  สำหรับอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น สำหรับโรงงานของเล่น อาจกำหนดค่า  $\alpha$  ระหว่าง 0.6 ถึง 0.8 โรงงานผลิตมอเตอร์ เครื่องยนต์ ควรกำหนด  $\alpha$  อยู่ระหว่าง 0.95 ถึง 1 เป็นต้น

นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่า เมื่อ  $\alpha$  เข้าใกล้ 1 ขีดจำกัดควบคุมด้านบน (UCL) และขีดจำกัดควบคุมด้านล่าง (LCL) จะมีค่าไม่แตกต่างกับ แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) และที่  $\alpha$  มีค่าลดลง ขอบเขตในการยอมรับสินค้าของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี ก็จะมีขนาดใหญ่มากขึ้น ซึ่งเป็นความเหมาะสมของข้อมูลที่มีลักษณะคลุมเครือ หากข้อมูลเป็นแบบปกติธรรมดา และเราใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี ในการตรวจสอบสินค้า จะทำให้โอกาสในการยอมรับสินค้าที่ผิดปกติมีมากขึ้น ทั้งนี้ผู้ที่สนใจศึกษาต่ออาจศึกษาจากหลาย ๆ กระบวนการผลิต หรือใช้ข้อมูลจริงในการทดลองกับแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียฟัซซี

## เอกสารอ้างอิง

- พยุง มีสังข์, (2555) ระบบฟัซซีและโครงข่ายประสาทเทียม, พิมพ์ครั้งที่ 1, ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 338 หน้า.
- Fonseca D.J., Elam M.E. and Tibbs L., (2007) Fuzzy short-run control charts, *Mathware Soft Comput.*, 14: 81-101.
- Gülbay M., Kahraman C. and Ruan D., (2004)  $\alpha$ -Cut fuzzy control chart for linguistic data, *Int. J. Intell. Syst.*, 19(12): 1173-1195.
- Shewhart W.A., (1931) *Economic control of quality of manufactured product*, D. Van Nostrand Company, New York, 501 P.

Shu M.-H. and Wu H.-C., (2010) Monitoring imprecise fraction of nonconforming items using p control charts, J. Appl. Stat., 37(8): 1283-1297.

Sogandi F., Mousavi S.M. and Ghanaatiyan R., (2014) An extension of fuzzy P-control chart based on  $\alpha$ -level fuzzy midrange. Adv. Comput. Tech. Electromagn., Article ID acte-00177, 8 P. (doi: 10.5899/2014/acte-00177)

Sorooshian S., (2013) Fuzzy approach to statistical control charts, J. Appl. Math., Article ID 745153, 6 P. (<http://dx.doi.org/10.1155/2013/745153>)

Zadeh L.A., (1965) Fuzzy Set. Inform. Contr., 8(3): 338-353.