

การประชุมวิชาการสถิติและสถิติประยุกต์ระดับชาติ  
ครั้งที่ 12 ประจำปี 2554

เปิดโลกวิจัย  
ด้วยการใช้ระเบียบวิธีที่เหมาะสม

“Open Network for Gaia Research Using  
Appropriate Methodologies”  
ONGRUAM

18 – 22 พฤษภาคม 2554  
ณ โรงแรมเจบี อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

กำหนดการนำเสนอผลงานวิจัยกลุ่มย่อยแบบบรรยาย

19 พฤษภาคม 2554		
ห้อง	11.00-11.20	11.40-12.00
ห้อง จตุ A	Invited Talk: How Many Cases Are Missed When Screening Human Populations for Disease? <i>Professor Dankmar Bohning</i>	Mortality of tuberculosis (TB) in Thailand <i>Sampurna Kakchapai* and Chamnein Choonpradup</i> p 44
<b>Biostatistics</b>		
ห้อง จตุ B	แผนภูมิควบคุมหลายตัวแปรบนพื้นฐานการสุ่มตัวอย่างแบบเซตลำดับหลายคุณลักษณะ: อดิศักดิ์ พงษ์พลสดศักดิ์* และ พิระวุฒิ สนธิสำราญ p 277	แผนภูมิควบคุมสำหรับตัวแปรพหุคูณที่มีศูนย์กลาง: เนรมัญชรา เกตุมี* และ ธิดาเดียว มธุรสวรรค์ p 266
<b>Quality Control</b>		
ห้อง ทาดใหญ่	Stochastic Orders Comparisons of Negative Binomial Distribution with Generalized Waring Distribution: <i>Chookait Pudprommara* and Winai Bodhisuwan</i> p 78	ความเหมาะสมและไม่เหมาะสมในการใช้สถิติทดสอบที่ สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติและการแจกแจงแบบปัวซอง: ฉัตรรัตน์ ทาใจ และ มานะชัย รอดชื่น* p 187
<b>Mathematical Statistics</b>		

\* Speaker

## แผนภูมิควบคุมสำหรับตัวแบบทวินามที่มีศูนย์มาก

บุญเพ็ญ ยอแสง<sup>1</sup>, ธิดาเดียว มยุรีสุวรรณ<sup>1</sup>

Control Charts for Zero-Inflated Binomial Models

Bunpen Yawsaeng<sup>1</sup>, Tidadeaw Mayureesawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

E-mail : bunpen@hotmail.com, tms@kmutnb.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียเมื่อความน่าจะเป็นของจำนวนผลิตภัณฑ์เสียมีการแจกแจงแบบทวินามที่มีศูนย์มาก (Zero-Inflated Binomial :ZIB) โดยศึกษาแผนภูมิควบคุมตามวิธี ZIB ( $np_{ZIB}$ -chart) แผนภูมิควบคุมโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Jeffreys ( $np_J$ -chart) แผนภูมิควบคุมโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Wilson ( $np_W$ -chart) แผนภูมิควบคุมโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Agresti-Coull ( $np_{AC}$ -chart) และแผนภูมิควบคุมโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Blyth-Still ( $np_{BS}$ -chart) เปรียบเทียบกับแผนภูมิควบคุมของ Shewhart เมื่อค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียในกระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลงและเปลี่ยนแปลงไป โดยกำหนดสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่เป็นศูนย์ ( $\phi$ ) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.9 และความแปรปรวนของกระบวนการผลิต ( $S^2$ ) อยู่ระหว่าง 2 ถึง 5 โดยเกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิคือค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) และค่าความน่าจะเป็นครอบคลุมเฉลี่ย (Average Coverage Probability: ACP) ผลการวิจัยพบว่า ในกรณีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 2, 3 และค่า  $\phi$  เท่ากับ 0.3-0.5 พบว่า  $np_J$ -chart เป็นแผนภูมิที่เหมาะสม และเมื่อความแปรปรวนเท่ากับ 5 และค่า  $\phi$  เท่ากับ 0.3-0.5 พบว่า  $np_{BS}$ -chart เป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้า  $\phi$  มีค่าตั้งแต่ 0.5 เป็นต้นไปนั้น พบว่าแผนภูมิที่เหมาะสมคือ  $np_{ZIB}$ -chart สำหรับกรณีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียในกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงพบว่า  $np$ -chart สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุด แต่ให้ค่าความน่าจะเป็นครอบคลุมเฉลี่ยต่ำกว่าแผนภูมิอื่น

คำสำคัญ: ความน่าจะเป็นครอบคลุมเฉลี่ย ความยาววิ่งเฉลี่ย ตัวแบบทวินามที่มีศูนย์มาก แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย

## Abstract

This research the traditional Shewhart control chart has been compared with the alternative nonconforming control charts that are developed with the upper control limit and are constructed based on the various binomial confidential interval methods namely:  $np_{ZIB}$ -chart by using ZIBI (Zero-Inflated Binomial) model,  $np_J$ -chart by Jeffreys prior interval,  $np_w$ -chart by Wilson interval,  $np_{AC}$ -chart by Agresti-Coull interval and  $np_{BS}$ -chart by Blyth-Still interval. The proportions of observed excess zeros ( $\phi$ ) are varied from 0.3 to 0.9 and variances ( $S^2$ ) are varied from 2 to 5 with the different magnitude of the shift in the nonconforming proportion. For the defected products are determined by using chart control the Average Run Length (ARL) and the Average Coverage Probability (ACP). The research results showed that when the process is in control with  $S^2 = 2$  and 3,  $\phi$  are between 0.3 and 0.5,  $np_J$ -chart has the best performance in detecting the process shift. When  $S^2 = 5$  and  $\phi$  are between 0.3 and 0.5, we have found that  $np_{BS}$ -chart is the most effective. When  $\phi$  is at least 0.6,  $np_{ZIB}$ -chart is considered the most appropriate control chart. However, when the production process change in term of the nonconforming proportion,  $np$ -chart is able to detect the shift faster than the others, but  $np$ -chart is considered the least effective control chart when the ACP is evaluated.

**Keywords:** Average of coverage probability, Average run length, Zero-Inflated binomial model, Nonconforming control charts

## 1. บทนำ

ในการตรวจสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เชิงลักษณะจากกระบวนการผลิตนั้น ถ้าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุมสามารถวัดได้ด้วยการแจกแจงว่า ดีหรือเสีย ชำรุดหรือไม่ชำรุด แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียของ Shewhart ( $np$ -chart) เป็นแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียพื้นฐาน ซึ่งขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิมิพื้นฐานมาจากการสร้างความเชื่อมั่น 99.73% ของค่าเฉลี่ยจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่ประมาณด้วยการแจกแจงแบบปกติ และเนื่องจากความก้าวหน้าในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต ทำให้โอกาสที่จะเกิดผลิตภัณฑ์เสียมีน้อยมาก หรือจำนวนผลิตภัณฑ์เสียมีค่าเป็นศูนย์มาก ซึ่งจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่มีศูนย์มากนั้น จะมีการแจกแจงแบบทวินามที่เรียกว่า Zero-Inflated Binomial (ZIB) โดยในตัวแบบ ZIB นั้น ค่าความแปรปรวนจะมีค่าสูงกว่าค่าความแปรปรวนของการแจกแจงแบบทวินาม เรียกข้อมูลที่มีลักษณะนี้ว่าเกิด Over-dispersion ซึ่งหากนำแผนภูมิควบคุมของ Shewhart ไปใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตที่มีลักษณะนี้ จะนำไปสู่การเกิด

### 2.1 แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียของ Shewhart (np-chart)

ถ้าในกระบวนการผลิตหนึ่งมีสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย  $p$  และให้  $x$  เป็นจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่ตรวจพบ หากเก็บตัวอย่างจากกระบวนการผลิตนี้ในขนาด  $n$  ตัวอย่าง ชีตจำกัดควบคุมบน (UCL) ตามวิธีของ Shewhart กำหนดดังนี้

$$UCL = np + 3\sqrt{np(1-p)} \quad (1)$$

ในกรณีที่ไม่ทราบค่า  $p$  จะประมาณด้วย  $\bar{p}$

### 2.2 แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียวิธี ZIB ( $np_{ZIB}$ -chart)

ตัวแบบ ZIB ถูกนำมาใช้ในข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบทวินามที่มีศูนย์กลางมาก โดย Sim and Lim (2008) ได้เสนอว่า หาก  $Z$  เป็นตัวแปรเชิงสุ่มแบบ ZIB แล้ว  $Z$  จะมีฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็น ดังนี้

$$P(Z = z) = \phi I_{(z,0)} + (1-\phi)g(z;p); \quad z = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

เมื่อ  $I_{(z,0)} = 1$  ถ้า  $z = 0$  และ  $I_{(z,0)} = 0$  ถ้า  $z$  เป็นค่าอื่นๆ

$g(z;p)$  คือฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบทวินาม กล่าวคือ

$$g(z;p) = C_z^n p^z (1-p)^{n-z}$$

ในการประมาณค่าของ  $p$  และ  $\phi$  ใช้วิธีโลกลิฮูดสูงสุด (Maximum Likelihood Method) โดยฟังก์ชันโลกลิฮูด (The Likelihood Function) ของตัวแปรสุ่ม  $z$  ดังนี้

$$\hat{p} = \frac{[1 - (1 - \hat{p})^n] \bar{z}^+}{n} \quad (3)$$

$$\hat{\phi} = 1 - \frac{\bar{z}}{n \hat{p}} \quad (4)$$

เมื่อ  $\bar{z}^+$  คือค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตตัวอย่างที่เป็นบวก

$\bar{z}$  คือค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตตัวอย่างทั้งหมด

ค่าประมาณของพารามิเตอร์  $p$  ในสมการที่ (3) จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณขีดจำกัดควบคุมบนของ  $np_{ZIB}$ -chart และในแผนภูมิอื่นๆ ที่จะกล่าวต่อไป ขีดจำกัดควบคุมบนของ  $np_{ZIB}$ -chart กำหนดดังนี้

$$UCL = n\hat{p} + 3\sqrt{n\hat{p}(1-\hat{p})} \quad (5)$$

### 2.3 แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Jeffreys ( $np_j$ -chart)

แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Jeffreys หรือ  $np_j$ -chart มีขีดจำกัดควบคุมบนดังนี้

$$UCL_{np_j} = \max[x | p_0 \geq B(\alpha; x + 0.5, n - x + 0.5)] \quad (6)$$

โดย  $B(\alpha; a, b)$  เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่  $100\alpha$  ของการแจกแจงเบต้า (Beta Distribution) ด้วยพารามิเตอร์  $x+0.5$  และ  $n-x+0.5$

### 2.1 แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียของ Shewhart (np-chart)

ถ้าในกระบวนการผลิตหนึ่งมีสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย  $p$  และให้  $x$  เป็นจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่ตรวจพบ หากเก็บตัวอย่างจากกระบวนการผลิตนี้ในขนาด  $n$  ตัวอย่าง ชัดจำกัดควบคุมบน (UCL) ตามวิธีของ Shewhart กำหนดดังนี้

$$UCL = np + 3\sqrt{np(1-p)} \quad (1)$$

ในกรณีที่ไม่ทราบค่า  $p$  จะประมาณด้วย  $\bar{p}$

### 2.2 แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียวิธี ZIB ( $np_{ZIB}$ -chart)

ตัวแบบ ZIB ถูกนำมาใช้ในข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบทวินามที่มีศูนย์มาก โดย Sim and Lim (2008) ได้เสนอว่า หาก  $Z$  เป็นตัวแปรเชิงสุ่มแบบ ZIB แล้ว  $Z$  จะมีฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็น ดังนี้

$$P(Z=z) = \phi I_{(z,0)} + (1-\phi)g(z;p); \quad z=0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

เมื่อ  $I_{(z,0)} = 1$  ถ้า  $z=0$  และ  $I_{(z,0)} = 0$  ถ้า  $z$  เป็นค่าอื่นๆ

$g(z;p)$  คือฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบทวินาม กล่าวคือ

$$g(z;p) = C_z^n p^z (1-p)^{n-z}$$

ในการประมาณค่าของ  $p$  และ  $\phi$  ใช้วิธีไลกลียูดสูงสุด (Maximum Likelihood Method) โดยฟังก์ชันไลกลียูด (The Likelihood Function) ของตัวแปรสุ่ม  $z$  ดังนี้

$$\hat{p} = \frac{[1-(1-\hat{p})^n] \bar{z}}{n} \quad (3)$$

$$\hat{\phi} = 1 - \frac{\bar{z}}{n \hat{p}} \quad (4)$$

เมื่อ  $\bar{z}^+$  คือค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตตัวอย่างที่เป็นบวก

$\bar{z}$  คือค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตตัวอย่างทั้งหมด

ค่าประมาณของพารามิเตอร์  $p$  ในสมการที่ (3) จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณขีดจำกัดควบคุมบนของ  $np_{ZIB}$ -chart และในแผนภูมิอื่นๆ ที่จะกล่าวต่อไป ชัดจำกัดควบคุมบนของ  $np_{ZIB}$ -chart กำหนดดังนี้

$$UCL = n\hat{p} + 3\sqrt{n\hat{p}(1-\hat{p})} \quad (5)$$

### 2.3 แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Jeffreys ( $np_j$ -chart)

แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Jeffreys หรือ  $np_j$ -chart มีขีดจำกัดควบคุมบนดังนี้

$$UCL_{np_j} = \max[x | p_0 \geq B(\alpha; x+0.5, n-x+0.5)] \quad (6)$$

โดย  $B(\alpha; a, b)$  เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่  $100\alpha$  ของการแจกแจงเบต้า (Beta Distribution) ด้วยพารามิเตอร์  $x+0.5$  และ  $n-x+0.5$

### 3. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อกระบวนการผลิตมีสัดส่วนจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่เป็นศูนย์มากในระดับต่าง ๆ และเมื่อกระบวนการผลิตเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าสัดส่วนจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย โดยแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ ได้แก่

1. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียของ Shewhart (np-chart)
2. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียวิธีตัวแบบ ZIB ( $np_{ZIB}$ -chart)
3. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Jeffreys ( $np_J$ -chart)
4. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Wilson ( $np_w$ -chart)
5. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Agresti-Coull ( $np_{AC}$ -chart)
6. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Blyth-Still ( $np_{BS}$ -chart)

### 4. ขอบเขตการวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 6 แบบ ทำการศึกษาในสถานการณ์ที่กระบวนการผลิตมีความแปรปรวน ( $S^2$ ) เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 โดยมีสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่เป็นศูนย์ ( $\phi$ ) เท่ากับ 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 เปรียบเทียบทั้งกรณีที่มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียในกระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลง ( $p_0$ ) และเปลี่ยนแปลงไปเป็น  $p_1$  โดยที่  $p_1 = p_0(1 + \theta)$  เมื่อ  $\theta$  เท่ากับ 0.0, 0.2, 0.4 และ 0.6 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคือค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) และค่าความน่าจะเป็นครอบคลุมเฉลี่ย (The Average of Coverage Probability: ACP) ใช้โปรแกรม R จำลองข้อมูลด้วยตัวแบบ ZIB จำนวน 500 ค่า ( $n$ ) และทำการจำลองซ้ำ 50,000 รอบ ( $m$ ) เพื่อหาค่า ARL และค่า ACP โดยในกรณีสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียของกระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุมจะถือว่าสามารถตรวจสอบกระบวนการผลิตได้ดีกว่าถ้าให้ค่า ARL สูงกว่า ส่วนกรณีสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียของกระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงไป แผนภูมิควบคุมจะถือว่าสามารถตรวจสอบกระบวนการผลิตได้ดีกว่าถ้าให้ ARL ที่ต่ำกว่า ส่วนการใช้ค่า ACP เป็นเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมนั้น แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีกว่าจะให้ค่าความน่าจะเป็นครอบคลุมเข้าใกล้สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น 0.9973 มากกว่า เนื่องจากขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมมีพื้นฐานการสร้างมาจากการสร้างช่วงความเชื่อมั่น 99.73%

### 3. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อกระบวนการผลิตมีสัดส่วนจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่เป็นศูนย์มากในระดับต่าง ๆ และเมื่อกระบวนการผลิตเกิดการเปลี่ยนแปลงในค่าสัดส่วนจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย โดยแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ ได้แก่

1. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียของ Shewhart (np-chart)
2. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียวิธีตัวแบบ ZIB ( $np_{ZIB}$ -chart)
3. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Jeffreys ( $np_J$ -chart)
4. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Wilson ( $np_w$ -chart)
5. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Agresti-Coull ( $np_{AC}$ -chart)
6. แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของ Blyth-Still ( $np_{BS}$ -chart)

### 4. ขอบเขตการวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 6 แบบ ทำการศึกษาในสถานการณ์ที่กระบวนการผลิตมีค่าความแปรปรวน ( $S^2$ ) เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 โดยมีสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่เป็นศูนย์ ( $\phi$ ) เท่ากับ 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 เปรียบเทียบทั้งกรณีที่มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียในกระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลง ( $p_0$ ) และเปลี่ยนแปลงไปเป็น  $p_1$  โดยที่  $p_1 = p_0(1 + \theta)$  เมื่อ  $\theta$  เท่ากับ 0.0, 0.2, 0.4 และ 0.6 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมคือค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) และค่าความน่าจะเป็นครอบคลุมเฉลี่ย (The Average of Coverage Probability: ACP) ใช้โปรแกรม R จำลองข้อมูลด้วยตัวแบบ ZIB จำนวน 500 ค่า ( $n$ ) และทำการจำลองค่าซ้ำ 50,000 รอบ ( $m$ ) เพื่อหาค่า ARL และค่า ACP โดยในกรณีสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียของกระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลง แผนภูมิควบคุมจะถือว่าสามารถตรวจสอบกระบวนการผลิตได้ดีกว่าถ้าให้ค่า ARL สูงกว่า ส่วนกรณีสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียของกระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงไป แผนภูมิควบคุมจะถือว่าสามารถตรวจสอบกระบวนการผลิตได้ดีกว่าถ้าให้ ARL ที่ต่ำกว่า ส่วนการใช้ค่า ACP เป็นเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมนั้น แผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีกว่าจะให้ค่าความน่าจะเป็นครอบคลุมเข้าใกล้สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น 0.9973 มากกว่า เนื่องจากขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมมีพื้นฐานการสร้างมาจากการสร้างช่วงความเชื่อมั่น 99.73%



## 5. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดให้กระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุมที่ระดับ  $p_0$  ใช้โปรแกรม R จำลองจำนวนผลิตภัณฑ์เสียของกระบวนการผลิตด้วยตัวแบบ ZIB ที่ค่าพารามิเตอร์  $m, n, p_1, \phi$
2. กำหนดขีดจำกัดควบคุมบนของแผนภูมิควบคุมทั้ง 6 แบบ
3. ทำซ้ำ  $m$  รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของขีดจำกัดควบคุมบนของแผนภูมิทั้ง 6 แบบ สำหรับใช้เป็นขีดจำกัดควบคุมบนของแต่ละแผนภูมิในการหาค่า ARL และ ACP
4. ในแต่ละระดับการเปลี่ยนแปลงของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย ( $p_1$ ) จำลองจำนวนผลิตภัณฑ์เสียของกระบวนการผลิตด้วยตัวแบบ ZIB โดยทำซ้ำ  $m$  รอบเพื่อหาค่า ARL และ ACP
5. เปลี่ยนระดับค่าพารามิเตอร์ในการศึกษาตามที่กำหนดในขอบเขตการวิจัย

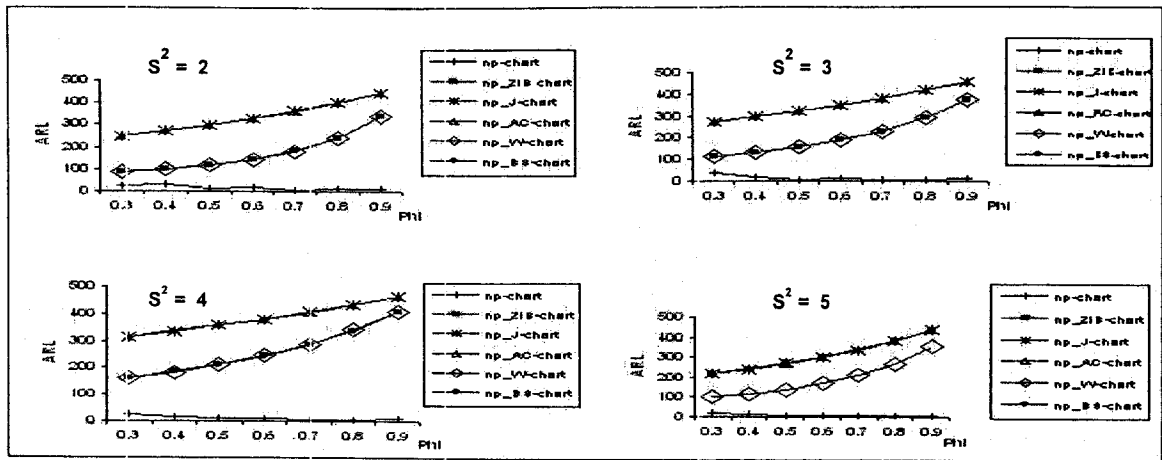
## 6. ผลการศึกษา

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิทั้ง 6 แบบ จะแสดงผลในบางค่า  $\theta$  และบางค่า  $S^2$  ที่ทุกระดับของค่า  $\phi$  ที่กำหนดในแผนการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิในกรณีที่ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียไม่เปลี่ยนแปลง พบว่าเมื่อกำหนด  $S^2$  เท่ากับ 2, 3 และ 4  $np_j$ -chart และ  $np_{AC}$ -chart ให้ค่า ARL สูงสุดใกล้เคียงกันในทุกระดับของค่า  $\phi$  แสดงว่า  $np_j$ -chart และ  $np_{AC}$ -chart มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด เนื่องจากสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ช้าที่สุด กรณี  $S^2$  เท่ากับ 5 พบว่า  $np_{ZIB}$ -chart,  $np_j$ -chart,  $np_{AC}$ -chart และ  $np_{BS}$ -chart ให้ค่า ARL สูงสุดใกล้เคียงกันในทุกระดับของค่า  $\phi$  และเมื่อพิจารณา รูปที่ 1 พบว่าทุกระดับของค่า  $S^2$  ค่า ARL ของทุกแผนภูมิมีค่าสูงขึ้นตามค่าของ  $\phi$  ยกเว้น  $np$ -chart

ตารางที่ 1 แสดงค่า ARL ของ  $np$ -chart,  $np_{ZIB}$ -chart,  $np_j$ -chart,  $np_{AC}$ -chart,  $np_w$ -chart และ  $np_{BS}$ -chart กรณี  $\theta=0$  ในบางระดับของค่า  $S^2$  และทุกระดับค่า  $\phi$

$S^2$	$\phi$	$np$ -chart	$np_{ZIB}$ -chart	$np_j$ -chart	$np_{AC}$ -chart	$np_w$ -chart	$np_{BS}$ -chart
2	0.3	26	84	250	250	85	84
	0.4	30	99	272	271	99	97
	0.5	12	117	299	298	118	117
	0.6	16	144	328	329	144	143
	0.7	9	183	363	361	182	183
	0.8	14	241	401	402	243	243
	0.9	15	338	446	445	339	340
3	0.3	41	117	274	273	117	116
	0.4	18	134	296	296	134	134
	0.5	9	158	320	321	158	157
	0.6	12	188	349	349	188	188
	0.7	8	230	379	378	230	231
	0.8	7	290	416	417	291	290
	0.9	11	376	455	455	376	375

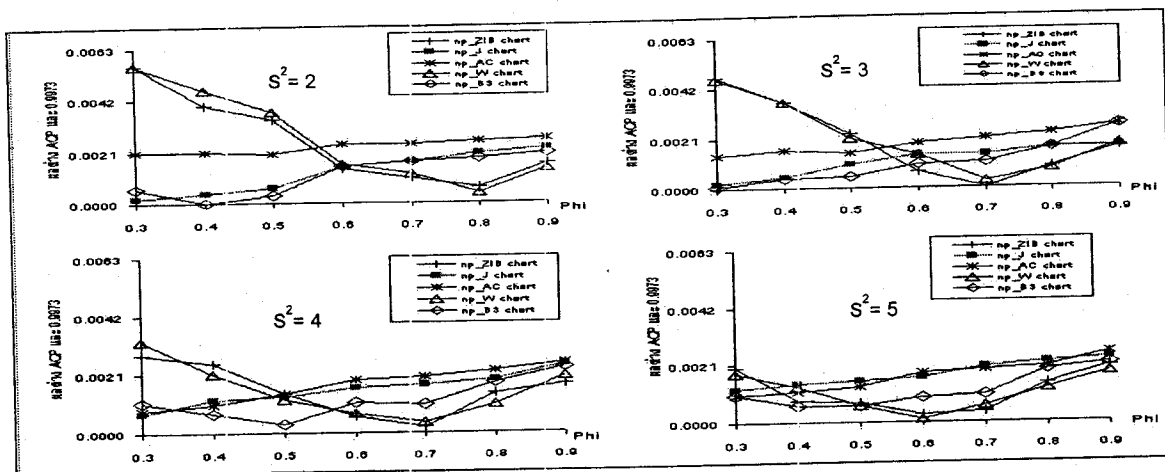


รูปที่ 1 การเปรียบเทียบค่า ARL ของ np-chart, np<sub>ZIB</sub>-chart, np<sub>J</sub>-chart, np<sub>AC</sub>-chart, np<sub>w</sub>-chart และ np<sub>BS</sub>-chart กรณี  $\theta=0$  ในทุกระดับของค่า phi และ  $S^2$

ตารางที่ 2 แสดงค่า ACP ของแต่ละแผนภูมิในกรณีที่มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียไม่เปลี่ยนแปลง พบว่า np-chart ให้ค่า ACP ต่ำกว่าค่า ACP ของแผนภูมิอื่นๆ มาก โดยใน 5 แผนภูมิที่เหลือนั้น สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า ACP ที่ใกล้เคียงกัน คือกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย np<sub>ZIB</sub>-chart และ np<sub>w</sub>-chart กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย np<sub>AC</sub>-chart, np<sub>J</sub>-chart และ np<sub>BS</sub>-chart เมื่อพิจารณารูปที่ 2 ประกอบกันพบว่าในกลุ่มที่ 1 นั้น จะให้ค่า ACP เข้าใกล้สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นเป้าหมาย 0.9973 มากที่สุดเมื่อ phi มีค่าประมาณ 0.6-0.8 และหากพิจารณาค่า ACP ตามระดับ  $S^2$  กรณีที่  $S^2=2$  และ 3 พบว่าค่า ACP ห่างจากค่าเป้าหมายค่อนข้างมาก หาก phi มีค่าต่ำมาก (0.3 - 0.5) กรณี  $S^2=4$  และ 5 ค่า ACP ห่างจากค่าเป้าหมายมากหากค่า phi มีค่าที่ต่ำมากและสูงมาก (phi=0.3, 0.4, 0.8 และ 0.9) ส่วนกลุ่มที่ 2 นั้น ให้ค่า ACP แตกต่างจากค่าเป้าหมายมากขึ้น ตามค่า phi ที่เพิ่มขึ้น ในทุกระดับค่า  $S^2$  โดยถ้าพิจารณาค่า ACP เฉพาะภายในกลุ่มนี้ เมื่อ  $S^2$  เท่ากับ 2 และ 3 np<sub>J</sub>-chart และ np<sub>BS</sub>-chart ให้ค่า ACP ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด แต่เมื่อ  $S^2$  เท่ากับ 4 และ 5 มีเพียง np<sub>BS</sub>-chart เท่านั้นที่ให้ค่า ACP ใกล้เคียงค่าเป้าหมาย และเมื่อพิจารณาค่า ACP ตามระดับค่า  $S^2$  พบว่า np<sub>J</sub>-chart ให้ค่า ACP ห่างจากค่าเป้าหมายมากขึ้นตามค่า  $S^2$  ที่สูงขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับ np<sub>AC</sub>-chart ที่ให้ค่า ACP ใกล้ค่าเป้าหมายมากขึ้นเมื่อ  $S^2$  เพิ่มขึ้น ส่วน np<sub>BS</sub>-chart นั้น ให้ค่า ACP ใกล้เคียงกันในทุกระดับของ  $S^2$

ตารางที่ 2 ค่า ACP ของ np-chart, np<sub>ZIB</sub>-chart, np<sub>J</sub>-chart, np<sub>AC</sub>-chart, np<sub>w</sub>-chart, และ np<sub>BS</sub>-chart กรณี  $\theta=0$  ในบางระดับของค่า  $S^2$  และทุกระดับค่า phi

$S^2$	phi	np-chart	np <sub>ZIB</sub> -Chart	np <sub>J</sub> -chart	np <sub>AC</sub> -chart	np <sub>w</sub> -chart	np <sub>BS</sub> -chart
2	0.3	0.9628	0.9917	0.9971	0.9994	0.9917	0.9968
	0.4	0.9662	0.9933	0.9977	0.9994	0.9927	0.9973
	0.5	0.9370	0.9939	0.9979	0.9993	0.9936	0.9976
	0.6	0.9480	0.9959	0.9988	0.9997	0.9957	0.9988
	0.7	0.9046	0.9963	0.9990	0.9997	0.9961	0.9990
	0.8	0.9262	0.9979	0.9993	0.9998	0.9977	0.9991
	0.9	0.9415	0.9989	0.9995	0.9999	0.9987	0.9993
3	0.3	0.9687	0.9926	0.9975	0.9987	0.9927	0.9972
	0.4	0.9498	0.9937	0.9978	0.9989	0.9937	0.9977
	0.5	0.9228	0.9950	0.9983	0.9988	0.9952	0.9978
	0.6	0.9187	0.9966	0.9987	0.9992	0.9959	0.9983
	0.7	0.8945	0.9973	0.9987	0.9994	0.9970	0.9984
	0.8	0.8893	0.9982	0.9990	0.9996	0.9981	0.9990
	0.9	0.9216	0.9990	0.9990	0.9999	0.9991	0.9999



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบผลต่างไม่คิดเครื่องหมายระหว่างค่า ACP กับ สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นของ np<sub>ZIB</sub>-chart, np<sub>J</sub>-chart, np<sub>AC</sub>-chart, np<sub>w</sub>-chart และ np<sub>BS</sub>-chart กรณี  $\theta=0$  ในทุกระดับค่าของ phi และ  $S^2$

ตารางที่ 3 แสดงค่า ARL ของแต่ละแผนภูมิในกรณีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียมีการเปลี่ยนแปลงไป เมื่อกำหนด  $S^2=2$  และ  $\theta$  เท่ากับ 0.2 และ 0.4 พบว่า np-chart ให้ค่า ARL ต่ำที่สุดในทุกระดับค่า phi แสดงว่าเมื่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียมีการเปลี่ยนแปลงไป np-chart มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด เนื่องจากสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้เร็วที่สุด แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่า ACP ในตารางที่ 4 พบว่า np-chart ให้ค่า ACP ที่ต่างจากสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นเป้าหมาย 0.9973 มากกว่าแผนภูมิควบคุมอื่นๆ อย่างชัดเจนในทุกระดับค่า phi นั่นคือ เมื่อพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นครอบคลุมเฉลี่ยแล้ว np-chart มีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิอื่น ๆ

ตารางที่ 3 ค่า ARL ของ np-chart, np<sub>ZIB</sub>-chart, np<sub>J</sub>-chart, np<sub>AC</sub>-chart, np<sub>w</sub>-chart และ np<sub>BS</sub>-chart กรณี  $\theta > 0$  ในบางระดับของค่า  $\theta$  และ  $S^2$  และทุกระดับค่าของ phi

$S^2$	$\theta$	phi	np-chart	np <sub>ZIB</sub> -Chart	np <sub>J</sub> -chart	np <sub>AC</sub> -chart	np <sub>w</sub> -chart	np <sub>BS</sub> -chart
2	0.2	0.3	13	38	119	121	39	38
		0.4	16	45	137	138	45	45
		0.5	7	54	161	162	54	54
		0.6	10	68	193	192	67	68
		0.7	6	91	236	236	91	91
		0.8	10	135	294	293	133	134
		0.9	13	230	379	377	232	230
	0.4	0.3	8	20	57	57	20	20
		0.4	9	24	67	66	24	24
		0.5	5	29	79	80	29	29
		0.6	7	37	100	100	37	37
		0.7	5	49	131	131	50	49
		0.8	8	75	185	186	75	75
		0.9	11	145	287	287	145	145

ตารางที่ 4 ค่า ACP ของ np-chart, np<sub>ZIB</sub>-chart, np<sub>J</sub>-chart, np<sub>AC</sub>-chart, np<sub>w</sub>-chart และ np<sub>BS</sub>-chart กรณี  $\theta > 0$  ในบางระดับค่าของ  $\theta$  และ  $S^2$  และทุกระดับค่าของ phi

$S^2$	$\theta$	phi	np-chart	np <sub>ZIB</sub> -chart	np <sub>J</sub> -chart	np <sub>AC</sub> -chart	np <sub>w</sub> -chart	np <sub>BS</sub> -chart
2	0.2	0.3	0.933	0.982	0.992	0.997	0.981	0.991
		0.4	0.937	0.983	0.993	0.997	0.983	0.993
		0.5	0.895	0.987	0.995	0.998	0.986	0.994
		0.6	0.906	0.989	0.995	0.985	0.988	0.994
		0.7	0.873	0.992	0.997	0.987	0.992	0.995
		0.8	0.906	0.994	0.998	0.999	0.949	0.996
		0.9	0.930	0.996	0.999	0.999	0.997	0.998
	0.4	0.3	0.891	0.964	0.985	0.994	0.964	0.983
		0.4	0.903	0.969	0.987	0.995	0.969	0.985
		0.5	0.849	0.974	0.999	0.995	0.974	0.987
		0.6	0.874	0.980	0.992	0.996	0.980	0.991
		0.7	0.843	0.985	0.994	0.097	0.985	0.994
		0.8	0.887	0.990	0.996	0.998	0.990	0.996
		0.9	0.923	0.995	0.997	0.999	0.948	0.997

### 7. สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบแผนภูมิทั้ง 6 แบบ ในกรณีที่ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียของกระบวนการผลิต ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาทั้งค่า ARL และ ACP ร่วมกัน ในกรณีความแปรปรวนของกระบวนการผลิตเท่ากับ 2 และ 3 เมื่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่เป็นศูนย์มีค่าไม่สูงมาก (0.3-0.5) พบว่า np<sub>J</sub>-chart เป็นแผนภูมิที่เหมาะสม ส่วนกรณีที่สัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่เป็นศูนย์มีค่าสูง (0.6-0.9) พบว่า ไม่มีแผนภูมิใดที่มีความเหมาะสม ในกรณีที่ความแปรปรวนของกระบวนการผลิตเท่ากับ 4 พบว่า ไม่มีแผนภูมิใดที่มีความเหมาะสมเช่นเดียวกัน สำหรับกรณีที่ความแปรปรวนของกระบวนการผลิตเท่ากับ 5 และสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่เป็นศูนย์มีค่าไม่สูงมาก (0.3-0.5) พบว่า np<sub>BS</sub>-chart มีความเหมาะสม ส่วนกรณีที่สัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่เป็นศูนย์ มีค่าสูง (0.6-0.9) พบว่า np<sub>ZIB</sub>-chart มีความเหมาะสม

สำหรับกรณีที่สำคัญส่วนผลิตภัณฑ์เสียของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงหากพิจารณาเฉพาะค่า ARL พบว่า np-chart เป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพที่สุด เนื่องจากสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้เร็วกว่าแผนภูมิอื่นแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม np-chart ให้ค่า ACP ที่ต่ำกว่าแผนภูมิอื่น ๆ

โดยสามารถสรุปแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบกระบวนการผลิตในแต่ละสถานการณ์ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลสรุปแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ของกระบวนการผลิต

ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียในกระบวนการผลิต	ความแปรปรวน ( $S^2$ )	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นศูนย์ (Phi)	แผนภูมิควบคุมที่เหมาะสม			
			พิจารณาค่า ARL	พิจารณาค่า ACP	พิจารณาค่า ARL และ ACP ร่วมกัน	
ไม่เปลี่ยนแปลง	2-3	0.3-0.5	np <sub>j</sub> -chart, np <sub>AC</sub> -chart	np <sub>BS</sub> -chart , np <sub>j</sub> -chart	np <sub>j</sub> -chart	
		0.6-0.9		np <sub>ZIB</sub> -chart , np <sub>w</sub> -chart	-	
	4	0.3-0.5		np <sub>BS</sub> -chart	-	
		0.6-0.9		np <sub>ZIB</sub> -chart, np <sub>w</sub> -chart	-	
	5	0.3-0.5		np <sub>j</sub> -chart, np <sub>AC</sub> -chart, np <sub>BS</sub> -chart , np <sub>ZIB</sub> -chart	np <sub>BS</sub> -chart	np <sub>BS</sub> -chart
		0.6-0.9		np <sub>ZIB</sub> -chart, np <sub>w</sub> -chart	np <sub>ZIB</sub> -chart, np <sub>w</sub> -chart	np <sub>ZIB</sub> -chart
เปลี่ยนแปลง	2-3	0.3-0.9	np-chart	np <sub>AC</sub> -chart	-	
	4	0.3-0.9		np <sub>AC</sub> -chart , np <sub>j</sub> -chart	-	
	5	0.3-0.9			-	

**กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

### เอกสารอ้างอิง

1. วิชาสินี ปรีระจิตรและธิดาเดียว มยุรีสุวรรณค์, แผนภูมิควบคุมรอยตำหนิสำหรับกระบวนการผลิตที่มีศูนย์กลาง, การประชุมวิชาการสถิติและสถิติประยุกต์ ครั้งที่ 11, เชียงใหม่, 2010.
2. วราฤทธิ์ พานิชกิจ โกศล, การประมาณช่วงความเชื่อมั่นของสัดส่วนประชากร โดยใช้ตัวประมาณแบบเบย์ในวิธีปกติและวิธีสกออร์. *วารสารวิทยาศาสตร์ ปีที่ 4, 2548; 3: 171-187*
3. Cai, T., One-sided Confidence Intervals in Discrete Distributions, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 2005; 131: 63-88.
4. Douglas C. M., *Introduction to Statistical Quality Control*, 5th ed, John Wiley & Sons, 2005.
5. Sim, C.H., and Lim, M.H., Attribute Charts for Zero-Inflated Processes, *Journal of Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 2008; 37: 1440-1452.
6. Xie, M., He, B., and Goh, T. N., Zero-inflated Poisson Model in Statistical Process Control, *Computational Statistics & Data Analysis*, 2001; 38: 191-201.
7. Xie, M., and GOH, T.N., SPC of a Near Zero-Defect Process Subject to Random Shocks, *Quality Reliability Engineering International*, 1993; 9: 89-93.
8. Vieira, A. M. C., Hinde, J. P., and Demetrio, C. G. B., Zero-Inflated Proportion Data Models Applies to a Biological Control Assay, *Journal of Applied Statistics*, 2000; 27: 373-389.