วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

THE JOURNAL OF KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY NORTH BANGKOK

ISSN 0857-684X

ปีที่ 20 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2553 Vol. 20, No. 3, September - December, 2010

บทความวิจัย

Induction Motor Fault Detection Based on Parameter Identification Using Genetic Algorithm 399
Suggrapong Treetrong

Growth Responses of Common and Giant Duckweed under Controlled Hypereutrophic Environment 409
Wimonwan Intaraclernsiri Luepol Punnakanta, Kitti Bodhipadma and Dusit Sujirarat

วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์และโมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์อย่างง่ายโดยใช้ CC-CFA เพียงตัวเดียว 416
มนตรี ศิริปรัชญานันท์ และ ไชยยันต์ ชนะพรมมา

การประมาณสนามไฟฟ้าของสายส่งแรงสูงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม 426
ศุภกฤต ทาทอง และ เมธาวี จิรวิภากร

การเปรียบเทียบสัญญาณความผิดปกติของกระแสไฟฟ้าที่มีผลจากการเยื้องศูนย์มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาดต่างกัน 434
มนัส พันธ์ผูก, อดุลย์ วรรยาเลิศอดุลย์ และ มงคล ปุษยตานนท์

การศึกษาการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรด้วยเจตสเปาเต็ดเบดเป็นเจ้งหวะ 443
เดชชัย นิมมล

การออกแบบด้วยวิธีวิจารณ์ปรับตัวสำหรับปัญหาการควบคุมโกลาหล 457
วีรวัจน์ แสงเพชร์ และ สุวัฒน์ กุลธนปรีดา

ความสัมพันธ์ระหว่างโหมดของรอยย่น และขนาดดรอว์บีดในการขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยม 466
สุรวุฒิ ยะนิล และ ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์

ผลกระทบของรูปแบบความดันต่อความสามารถในการขึ้นรูปของชิ้นส่วนยานยนต์ในการขึ้นรูปท่อด้วยของเหลว 474
ศตายุ แจ่มเจริญ และ ภูริต ธนะกิจเกษม

ขั้นตอนวิธีการทำเช็คพอยน์สำหรับเวอร์ชวลแมชชีนด้วยเทคนิคไลฟ์ไมเกรชันแบบเทรด 487
วคินี ศิริปุณย์ และ กษิดิศ ชาญเชี่ยว

การประเมินความใช้งานได้ของเครื่องมือการแสดงมโนภาพสำหรับรหัสต้นฉบับ 499
จุฬาพร คำมุงคุล และ ณัฐธนนท์ หงส์ศิริทธิ์ธร

นวัตกรรมการค้นคืนสารสนเทศแบบสหความสัมพันธ์ 514
วิไลพร เลิศมหาเกียรติ และ อนิราช มิ่งขวัญ

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงสำเร็จรูปจากตะไคร้ด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมท 524
ชุติมา อนุเทศ, วิไล สนธิเพิ่มพูน, ธีรพร กงบังเกิด และ พันธ์ณรงค์ จันทร์แสงศรี

การชี้วัดความสามารถในการแข่งขันของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมจังหวัดพระนครศรีอยุธยา 534
สมภพ ตลับแก้ว และ วิชัย รุ่งเรืองอนันต์

มีต่อปกหลัง ➪

บทความวิจัย (ต่อ)

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง-พัสดุคงคัง 544
  ณัฐกาญจน์ โพธิ์สัมฤทธิ์ และ วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ
- แผนภูมิควบคุมโดยการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มลำดับ 552
  ณัฐวุวัชร์ ถาวรธิรา และ ปิตาเดียว มยุรีสวรรค์
- การรับรู้ความปลอดภัยในการทำงานและความสัมพันธ์กับหน้างานที่มีผลต่อความสุขในการทำงานของพนักงานระดับปฏิบัติการ 562
  รัทพล จิตตะวิกุล และ ศรีมาจ ณ วิเชียร
- การพัฒนาชุดการเรียนการสอนวิชาภาษาญี่ปุ่นสำหรับการท่องเที่ยวและการโรงแรมตามหลักสูตรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 571
  นาตยา แก้วใส และ ผะอบ พวงน้อย
- การพัฒนาโปรแกรมสอนภาษาอังกฤษสำหรับเยาวชนผู้พิการทางสายตา 581
  นนิตา สร้อยดอกสน, อภิญญา อิงอาจ, สิริพงษ์ คูศุภรเจริญ และ รัตนา เตือนวีระเดช
- การฝึกอบรมที่มีผลต่อผลการปฏิบัติงานของพนักงาน 591
  ภัทร์รวี ผดุงสัตย์, นพคุณ นิศามณี และ ราชันย์ บุญธิมา
- ปัจจัยที่มีผลต่อความรู้สึกแปลกแยกของวัยรุ่นไทย 599
  วิไลลักษณ์ เสรีตระกูล
- ผลการสังเคราะห์รูปแบบการเรียนการสอนแบบผสมผสานโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ร่วมกันที่มีระบบสนับสนุน 610
  สาธันนันท์ เทพประสาน, มนต์ชัย เทียนทอง และ จรัญ แสนราช

บทความวิชาการ

- Innovative of an Instructional Design for Thai Industrial Education Through Case-Based Reasoning 620
  Weerayute Sudsomboon and Anusit Anmanatarkul
- การหาสหสัมพันธ์จากการทดลองของการพาความร้อนด้วยอากาศบนระนาบเรียบ 633
  อุทัย ประสพชิงชนะ
- การปรับปรุงการแยกชัดของพัลส์เบอร์ออปติกอินเทอร์ฟีรอมิเตอร์ ชนิดฟาบรี-เปโรต์ด้วยเทคนิคการนับจำนวนริ้วการแทรกสอดของแสงแบบข้ามศูนย์ 639
  สาโรช พูลเทพ
- โฟโตอิลาสติกซิตีเชิงเลข ภาค 1: การได้มาซึ่งสมการความเข้มแสงควบคุมสำหรับโพลาริสโคปแบบแสงโพลาไรซ์ระนาบบนฐานตรีโกณมิติ 648
  พิเชษฐ์ พินิจ
- การจัดการความประทับใจ: กลยุทธ์ในการเสริมสร้างภาพลักษณ์ของบุคคล 657
  วิธัญญา วัณโณ

แผนภูมิควบคุมโดยการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มลำดับ
Control Chart Based on Ranked-Set Sampling

ณัฐสุวัชร์ ถาวรธิรา[1] และ ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์[2]*

บทคัดย่อ

โดยทั่วไป ข้อมูลที่นำมาสร้างแผนภูมิควบคุมได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบอย่างง่าย ในงานวิจัยนี้ได้นำการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มลำดับมาสร้างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$-RSS Chart) และแผนภูมิควบคุมค่ามัธยฐาน (MRSS Chart) โดยนำข้อมูลจากการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มลำดับมาสร้างช่วงความเชื่อมั่น $100(1-\alpha)\%$ ของค่าเฉลี่ยของประชากร และนำช่วงความเชื่อมั่นที่ได้ประยุกต์สร้างแผนภูมิควบคุม นอกจากนั้น งานวิจัยนี้ได้ออกแบบวิธีการสุ่มตัวอย่างอีก 1 วิธี โดยกำหนดชื่อให้ว่าการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มมัธยฐาน ข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบกลุ่มมัธยฐานถูกนำมาสร้างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$-MSS Chart) และสร้างแผนภูมิควบคุมค่ามัธยฐาน (MMSS Chart) ทำการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบ SRS, MSS และ MMSS ผลการวิจัยพบว่า ในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตไม่มีการเปลี่ยนแปลง ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยของ MRSS Chart จะดีกว่าแผนภูมิควบคุมอื่นๆ ในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยพบว่า MMSS Chart สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุด ส่วนกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงมากพบว่า $\bar{x}$-RSS Chart, MRSS Chart, $\bar{x}$-MSS Chart และ MMSS Chart สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: แผนภูมิควบคุม การสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย การสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มลำดับ การสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มมัธยฐาน

Abstract

Simple Random Sampling is the usual data collection method used for constructing control charts. In this paper, a method based on Ranked-Set Sampling is developed to construct a control chart for the mean ($\bar{x}$-RSS Chart) and for the median (MRSS Chart). The method uses Simple Random Sampling to construct a $100(1-\alpha)\%$ confidence interval for the population mean and then this confidence interval is used to construct the control charts. Furthermore, a new method of data collection is proposed that we call Median-Set Sampling. The data can be used to construct a control chart for mean ($\bar{x}$-MSS Chart) and a control chart for median (MMSS Chart). The control charts constructed using SRS, MSS and MMSS are

[1] นักศึกษา ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-0229-6011 E-mail: tms@kmutnb.ac.th

รับเมื่อ 8 เมษายน 2553 ตอบรับเมื่อ 23 กรกฎาคม 2553

compared. We have found that if the process mean does not shift, then the average run length of the MRSS Control chart was better than the ARL of the other charts. If there is a small shift in process mean, then the MMSS Chart was found to be the best method for detecting the shift. If there is a large shift of process mean, then the $\bar{x}$-RSS Chart, MRSS Chart, $\bar{x}$-MSS Chart and MMSS Chart were found to show similar performance for detecting the shift.

Keyword: Control Chart, Simple Random Sampling, Ranked-set Sampling, Median-set Sampling

1. บทนำ

ในการควบคุมคุณภาพทางสถิตินั้น เทคนิคที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตที่เป็นที่แพร่หลายก็คือแผนภูมิควบคุม แผนภูมิควบคุมมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้ เช่น แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$-Chart) ใช้เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต โดยแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเป็นแผนภูมิควบคุมที่ได้รับความนิยมมาก ถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1920 โดย Shewhart จึงเรียกแผนภูมินี้ว่า แผนภูมิควบคุมของ Shewhart ซึ่งมีขีดจำกัดควบคุมดังนี้ [1]

$$\begin{aligned} UCL &= \mu + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ Central\ Line &= \mu \\ LCL &= \mu - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \end{aligned} \qquad (1)$$

เมื่อ UCL และ LCL คือขีดจำกัดควบคุมด้านบนและด้านล่างตามลำดับ ของแผนภูมิ Central Line คือเส้นกลางของแผนภูมิ μ คือค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต σ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการผลิต และ n คือขนาดตัวอย่างย่อยในการสุ่มผลิตภัณฑ์ขึ้นมาตรวจสอบแต่ละครั้ง ในกรณีที่ไม่ทราบค่า μ และ σ จะทำการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตเพื่อสร้างแผนภูมิควบคุม และประมาณค่า μ และ σ จากแผนภูมิควบคุมที่สร้างจากตัวอย่างนี้

เมื่อกำหนดขนาดตัวอย่างและความถี่ในการเก็บข้อมูลแล้ว การสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตมาตรวจสอบและสร้างแผนภูมิควบคุม โดยทั่วไปจะใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบอย่างง่าย (Simple Random Sampling: SRS) การสุ่มตัวอย่างแบบ SRS ทำได้หลายลักษณะ เช่นหากผลิตภัณฑ์มีลำดับการผลิต จะทำการสุ่มตัวเลขขึ้นมาเป็นจำนวนเท่ากับขนาดตัวอย่างที่ต้องการ โดยอาศัยตารางเลขสุ่มหรือโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับสร้างตัวเลขสุ่ม ทำการเรียงลำดับตัวเลขจากน้อยไปมาก ตัวเลขเหล่านี้คือลำดับของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตที่จะนำมาเป็นตัวแทนในการตรวจสอบและสร้างแผนภูมิควบคุม โดยคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสำหรับการสุ่มตัวอย่างแบบ SRS คือต้องเป็นอิสระต่อกันและมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเดียวกัน แต่หากดำเนินการผลิตเป็นระยะเวลานานๆ หรือเครื่องจักรที่ใช้ผลิตไม่ได้รับการซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่มีคุณสมบัติเป็นไปตามที่กำหนด แนวทางหนึ่งในการแก้ไขข้อบกพร่องนี้คือการเปลี่ยนวิธีการสุ่มตัวอย่าง เป็นการสุ่มแบบกลุ่มลำดับ (Ranked-Set Sampling: RSS) ซึ่งถูกนำเสนอครั้งแรกโดย McIntyre [2] หลักการของการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS คือ ต้องกำหนดจำนวนรอบในการสุ่มตัวอย่าง (m) และกำหนดค่า k ซึ่งค่า k จะเป็นทั้งขนาดตัวอย่างในการสุ่มแต่ครั้งและเป็นจำนวนครั้งของการสุ่มตัวอย่างในแต่ละรอบ ในแต่ละรอบของการสุ่ม จะทำการสุ่มตัวอย่าง k ครั้งๆ ละ k ตัวอย่าง แต่ละครั้งของการสุ่ม ค่าสังเกต k ค่าจะถูกเรียงลำดับจากน้อยไปมาก โดยการสุ่มครั้งที่ 1 ค่าสังเกตที่มีค่าน้อยเป็นลำดับที่ 1 จะเป็นตัวแทน การสุ่มครั้งที่ 2 ค่าสังเกตที่มีค่าน้อยเป็นลำดับที่ 2 จะเป็นตัวแทน เช่นนี้เรื่อยไปจนครบการสุ่ม k ครั้ง ดังนั้นในการสุ่มตัวอย่าง 1 รอบค่าสังเกตที่เลือกมาเป็นตัวแทนคือค่าสังเกตที่มีค่าน้อยเป็นลำดับที่ 1 ของการสุ่มครั้งที่ 1 ค่าสังเกตที่มีค่าน้อยเป็นลำดับที่ 2 ของการสุ่มครั้งที่ 2, ..., ค่าสังเกตที่มีค่าน้อยเป็นลำดับที่ k

ของการสุ่มครั้งที่ k เมื่อทำการสุ่มครบ m รอบจะได้ค่าสังเกตตัวอย่างทั้งหมด km ค่าสังเกต จะเห็นว่าการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS นั้นมีวิธีการที่ยุ่งยากกว่าการสุ่มตัวอย่างแบบ SRS แต่มีข้อดีคือ ตัวประมาณของค่าเฉลี่ยประชากรและของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากรมีความแปรปรวนน้อยกว่าตัวประมาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบ SRS โดย Douglas [3] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณของค่าเฉลี่ยประชากรที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS และแบบ SRS และ Arup and Nagaraj [4] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณของความแปรปรวนประชากรที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS และแบบ SRS ต่อมา Christopher and Elizabeth [5] ได้พัฒนาช่วงความเชื่อมั่น $100(1-\alpha)\%$ ของค่าเฉลี่ยประชากรจากการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS โดยเปรียบเทียบกับช่วงความเชื่อมั่น $100(1-\alpha)\%$ ของค่าเฉลี่ยประชากรจากการสุ่มตัวอย่างแบบ SRS พบว่าช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยประชากรที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS มีความกว้างน้อยกว่าช่วงความเชื่อมั่นที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบ SRS

การประยุกต์โดยนำเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS มาใช้ในการสุ่มตัวอย่างเพื่อสร้างแผนภูมิค่ากลางของกระบวนการผลิตเป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษา ทั้งกรณีที่วัดค่ากลางด้วยค่าเฉลี่ย และด้วยค่ามัธยฐาน อีกทั้งการประยุกต์ใช้กระบวนการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS เพื่อสร้างแผนภูมิควบคุมค่ากลาง โดยปรับเปลี่ยนการใช้ค่าสังเกตลำดับที่ i จากการสุ่มครั้งที่ i เป็นตัวแทน มาเป็นการใช้ค่ามัธยฐานของค่าสังเกตจากการสุ่มตัวอย่างแต่ละครั้งมาเป็นตัวแทน ซึ่งเป็นเทคนิคการสุ่มตัวอย่างอีกแบบหนึ่งที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้น และได้กำหนดชื่อให้กับวิธีการสุ่มตัวอย่างนี้ว่า การสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มมัธยฐาน (Median-Set Sampling: MSS)

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมค่ากลางที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง 5 วิธี โดยพิจารณาจากค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) ของแผนภูมิควบคุม ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยจากการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มลำดับ ($\bar{x}$-RSS Chart)
2. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยจากการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มมัธยฐาน ($\bar{x}$-MSS Chart)
3. แผนภูมิควบคุมค่ามัธยฐานจากสถิติลำดับของการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มลำดับ (MRSS Chart)
4. แผนภูมิควบคุมค่ามัธยฐานจากสถิติลำดับของการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มมัธยฐาน (MMSS Chart)
5. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยจากการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย ($\bar{x}$-Chart)

1.2 ขอบเขตการวิจัย

ในการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด โดยพิจารณาจากค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) สำหรับการสุ่มตัวอย่างแบบ SRS ได้กำหนดขนาดตัวอย่างที่ต้องสุ่มในแต่ละรอบคือ k เท่ากับ 5, 6 และ 7 และทำการสุ่มตัวอย่าง m รอบ เมื่อ m เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 สำหรับการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS และแบบ MSS กำหนด k และ m เท่ากับการสุ่มตัวอย่างแบบ SRS เมื่อ k คือขนาดตัวอย่างในการสุ่มแต่ครั้งและคือจำนวนครั้งของการสุ่มแต่ละรอบ m คือจำนวนรอบในการสุ่ม กำหนดให้กระบวนการผลิตมีค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 50 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 1, 3 และ 5 และทำการศึกษาเมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง (δ) เท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 3, 5 ศึกษาค่า ARL และใช้โปรแกรม R ในการจำลองข้อมูล ซึ่งในแต่ละสถานการณ์การทดลอง ทำการจำลองข้อมูลซ้ำ 1,000 ครั้ง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยจากการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มลำดับ ($\bar{x}$-RSS Chart)

การสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มลำดับ (Ranked-Set Sampling: RSS) มีวิธีการดังนี้

1. กำหนดให้ k คือขนาดตัวอย่างในการสุ่มแต่ครั้ง และคือจำนวนครั้งของการสุ่มแต่ละรอบ ให้ m คือจำนวนรอบในการสุ่ม

2. การสุ่มรอบที่ 1 ทำโดยสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตขึ้นมาตรวจสอบ k ตัวอย่าง วัดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุม ทำการเรียงลำดับค่าสังเกตจากน้อยไปมาก และเลือกค่าสังเกตที่มีค่าน้อยเป็นลำดับที่ 1 เป็นตัวแทน กำหนดให้เป็น $X_{[1]1}$ จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างครั้งที่ 2 ขึ้นมาอีก k ตัวอย่างจากกระบวนการผลิต วัดค่าและทำการเรียงลำดับค่าสังเกตเช่นเดิม เลือกค่าสังเกตที่มีค่าน้อยเป็นลำดับที่ 2 เป็นตัวแทน กำหนดให้เป็น $X_{[2]1}$ ทำการสุ่มตัวอย่างเช่นนี้ซ้ำเป็นจำนวน k ครั้ง เรียกกระบวนการสุ่มเช่นนี้ว่าการสุ่มตัวอย่าง 1 รอบ ซึ่งในรอบที่ 1 จะได้ค่าสังเกตคือ $X_{[1]1}, X_{[2]1}, \ldots, X_{[k]1}$ เมื่อสุ่มตัวอย่างครบ m รอบ จะได้ $X_{[i]j}$ จำนวน km ค่า โดยที่ $i = 1, 2, \ldots, k$ และ $j = 1, 2, \ldots, m$ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของค่าสังเกตตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS

	รอบที่ 1	รอบที่ 2	...	รอบที่ m	ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
ครั้งที่ 1	$X_{[1]1}$	$X_{[2]1}$	...	$X_{[1]m}$	$\bar{X}_{[1]\cdot}$	$S^2_{[1]}$
ครั้งที่ 2	$X_{[1]2}$	$X_{[2]2}$	...	$X_{[2]m}$	$\bar{X}_{[2]\cdot}$	$S^2_{[2]}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
ครั้งที่ k	$X_{[k]1}$	$X_{[k]2}$		$X_{[k]m}$	$\bar{X}_{[k]\cdot}$	$S^2_{[k]}$
				ค่าเฉลี่ย	$\bar{X}$	

เมื่อได้ค่าสังเกตตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS แล้ว การสร้าง $\bar{x}$-RSS Chart มีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง จาก

$$\bar{X} = \frac{1}{km}\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{m} X_{[i]j} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} \bar{X}_{[i]\cdot} \qquad (3)$$

2. คำนวณค่าความแปรปรวนของตัวอย่างลำดับที่ i จาก

$$S^2_{[i]} = \frac{1}{m-1}\sum_{j=1}^{m}\left(X_{[i]j} - \bar{X}_{[i]\cdot}\right)^2 \; ; i = 1, 2, \ldots, k \qquad (4)$$

3. คำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่น 99.73 % ดังนี้

$$UCL = \bar{\bar{X}} + 3\left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{k} S^2_{[i]}}}{k\sqrt{m}}\right)$$

$$Center\ Line = \bar{\bar{X}}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - 3\left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{k} S^2_{[i]}}}{k\sqrt{m}}\right) \qquad (5)$$

2.2 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยจากการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มมัธยฐาน ($\bar{x}$-MSS Chart)

การสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มมัธยฐาน (Median-Set Sarnpling: MSS) มีวิธีการดังนี้

1. กำหนดให้ k คือขนาดตัวอย่างในการสุ่มแต่ครั้ง และคือจำนวนครั้งของการสุ่มแต่ละรอบ ให้ m คือจำนวนรอบในการสุ่ม

2. การสุ่มรอบที่ 1 โดยสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตขึ้นมาตรวจสอบ k ตัวอย่าง วัดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุม ทำการเรียงลำดับค่าสังเกตจากน้อยไปมาก เลือกค่ามัธยฐานของค่าสังเกตเป็นตัวแทน กำหนดให้เป็น $M_{[1]1}$ จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างครั้งที่ 2 ขึ้นมาอีก k ตัวอย่างจากกระบวนการผลิต วัดค่าและทำการเรียงลำดับค่าสังเกตเช่นเดิม เลือกค่ามัธยฐานของค่าสังเกตเป็นตัวแทน กำหนดให้เป็น $M_{[2]1}$ ทำการสุ่มตัวอย่างเช่นนี้ซ้ำเป็นจำนวน k ครั้ง เรียกกระบวนการสุ่มเช่นนี้ว่าการสุ่มตัวอย่าง 1 รอบ ในรอบที่ 1 จะได้ค่าสังเกตคือ $M_{[1]1}, M_{[2]1}, \ldots, M_{[k]1}$ เมื่อสุ่มตัวอย่างครบ m รอบ จะได้ $M_{[i]j}$ จำนวน km ตัวอย่าง โดยที่ $i = 1, 2, \ldots, k$ และ

$i = 1, 2, \ldots, m$ จะเห็นว่าการสุ่มตัวอย่างแบบ MSS มีธีการเช่นเดียวกับการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS เพียงแต่นแต่ละครั้งของการสุ่มแบบ MSS นั้นจะใช้ค่ามัธยฐานองค่าสังเกตเป็นตัวแทน ในขณะที่การสุ่มตัวอย่างแบบ SS จะใช้ค่าสังเกตลำดับที่ i ของการสุ่มครั้งที่ i เป็นัวแทน นั่นคือในตารางที่ 1 จะแทน $\overline{X}_{[i]\cdot}$ ด้วย $\overline{M}_{[i]\cdot}$

เมื่อได้ค่าสังเกตตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่างแบบ SS แล้ว การสร้าง $\overline{x}$-MSS Chart มีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจาก

$$\overline{M} = \frac{1}{km}\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{m} M_{[i]j}$$

$$\overline{M} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} \overline{M}_{[i]\cdot} \qquad (6)$$

2. คำนวณค่าความแปรปรวนของตัวอย่างลำดับ i จาก

$$^{2}_{[i]} = \frac{1}{m-1}\sum_{j=1}^{m}\left(M_{[i]j} - \overline{M}_{[i]\cdot}\right)^2 \; ; i = 1, 2, \ldots, k \quad (7)$$

3. คำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ โดยใช้วงความเชื่อมั่น 99.73 % ดังนี้

$$UCL = \overline{\overline{M}} + 3\left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{k} S^2_{[i]}}}{k\sqrt{m}}\right)$$

$$Center\ Line = \overline{\overline{M}}$$

$$LCL = \overline{\overline{M}} - 3\left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{k} S^2_{[i]}}}{k\sqrt{m}}\right) \qquad (8)$$

ดังนั้น $\overline{x}$-MSS chart และ $\overline{x}$-RSS Chart มีวิธีการสร้างเหมือนกัน แตกต่างกันที่ $\overline{x}$-RSS Chart ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS เพื่อสร้างแผนภูมิควบคุม แต่ $\overline{x}$-MSS Chart ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบ MSS ในการสร้างแผนภูมิควบคุม

2.3 แผนภูมิควบคุมค่ามัธยฐานจากสถิติลำดับของการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มลำดับ (MRSS Chart)

การสร้างแผนภูมิควบคุมค่ามัธยฐานจากสถิติลำดับของการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มลำดับ (Ranked-Set Sampling: RSS) มีวิธีการสุ่มตัวอย่างและการสร้างดังนี้

1. ดำเนินการสุ่มตัวอย่างตามวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS

2. นำค่าสังเกตตัวอย่างทั้งหมด $n=km$ ค่ามาเรียงลำดับรวมกันจากน้อยไปมาก ได้ลำดับดังนี้

$$Y_{(1)} \le \ldots \le Y_{(l)} \le \ldots \le Y_{(n)}$$

เมื่อ l คือลำดับของค่าสังเกตตัวอย่างโดยที่ l=1, 2, …, n

3. คำนวณขีดจำกัดควบคุมด้านบนและด้านล่างของ MRSS Chart โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่น 99.73% ของควอนไทล์ที่ 0.5 ของประชากร ดังนี้ [6]

$$UCL = Y_{(l_2)} \text{ และ } LCL = Y_{(l_1)} \qquad (9)$$

เมื่อ

$$l_1 \approx np - 3\sqrt{n}\sqrt{\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} p_i(1-p_i)}$$

$$l_2 \approx np + 3\sqrt{n}\sqrt{\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} p_i(1-p_i)}$$

โดย p=0.5, $n=km$ และ $p_i=B(i,k\text{-}i\text{+}1,p)$

เมื่อ $B(i,k\text{-}i\text{+}1,p)$ คือฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมแบบเบต้าด้วยพารามิเตอร์ i และ $k\text{-}i\text{+}1$

2.4 แผนภูมิควบคุมค่ามัธยฐานจากสถิติลำดับของการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มมัธยฐาน (MMSS Chart)

การสร้างแผนภูมิควบคุมค่ามัธยฐานจากสถิติลำดับของการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มมัธยฐาน (Median-Set Sampling: MSS) มีวิธีการสุ่มตัวอย่างและการสร้างดังนี้

1. ดำเนินการสุ่มตัวอย่างตามวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบ MSS

$$M_{(1)} \le \ldots \le M_{(l)} \le \ldots \le M_{(n)}$$

2. นำค่าสังเกตตัวอย่างทั้งหมด $n=km$ ค่ามาเรียงลำดับรวมกันจากน้อยไปมาก ได้ลำดับดังนี้

เมื่อ l คือลำดับของค่าสังเกตตัวอย่างโดยที่ l=1, 2, ..., n

3. คำนวณขีดจำกัดควบคุมด้านบนและด้านล่างของ MMSS Chart โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่น 99.73% ของควอนไทล์ที่ 0.5 ของประชากร ดังนี้

$$UCL = M_{(l_2)} \text{ และ } LCL = M_{(l_1)} \qquad (10)$$

เมื่อ
$$l_1 \approx np - 3\sqrt{n}\sqrt{\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} p_i(1-p_i)}$$
$$l_2 \approx np + 3\sqrt{n}\sqrt{\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} p_i(1-p_i)}$$

โดย p=0.5, $n=km$ และ $p_i=B(i,k-i+1,p)$

เมื่อ $B(i,k-i+1,p)$ คือฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมแบบเบต้าด้วยพารามิเตอร์ i และ $k-i+1$

ดังนั้น MRSS Chart และ MMSS Chart มีสูตรและวิธีการสร้างเหมือนกัน แตกต่างกันที่ MRSS Chart สุ่มตัวอย่างจากกระบวนการผลิตเพื่อสร้างแผนภูมิควบคุมโดยใช้การสุ่มตัวอย่างแบบ RSS แต่ MMSS Chart ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบ MSS ในการสร้างแผนภูมิควบคุม

5 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยจากการสุ่มตัวอย่างแบบอย่างง่าย ($\bar{x}$-Chart)

การสุ่มตัวอย่างแบบอย่างง่าย (Simple Random Sampling: SRS) มีวิธีการดังนี้

1. กำหนดให้ k คือขนาดตัวอย่างในการสุ่มแต่ละรอบ และ m คือจำนวนรอบของการสุ่มตัวอย่าง

2. ทำการสุ่มตัวอย่างจากกระบวนการผลิตขึ้นมาตรวจสอบโดยใช้การสุ่มตัวอย่างแบบ SRS ทั่วๆ ไป จะได้ตัวอย่างทั้งหมด $n=km$ ค่า ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะของค่าสังเกตตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่างแบบ SRS

รอบที่ 1	รอบที่ 2		รอบที่ m	ค่าเฉลี่ย
x_{11}	x_{12}	$\cdots$	x_{1m}	
x_{21}	x_{22}	$\ddots$	x_{2m}	
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	
x_{k1}	x_{k2}	$\cdots$	x_{km}	
$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\cdots$	$\bar{x}_m$	$\bar{\bar{x}}$
R_1	R_2	$\cdots$	R_m	$\bar{R}$

เมื่อได้ค่าสังเกตตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่างแบบ SRS แล้ว การสร้าง $\bar{x}$-Chart มีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณค่าเฉลี่ยของตัวอย่างดังนี้

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} \bar{x}_j \qquad (11)$$

โดย $\bar{x}_j$ คือค่าเฉลี่ยของตัวอย่างรอบที่ j เมื่อ j=1, 2, ..., m

2. คำนวณค่าเฉลี่ยของพิสัยดังนี้

$$\bar{R} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} R_j \qquad (12)$$

โดย R_j คือพิสัยของตัวอย่างรอบที่ j เมื่อ j=1, 2, ..., m

3. คำนวณขีดจำกัดควบคุมด้านบนและด้านล่างดังนี้

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{k}} \\ Center\ Line &= \bar{\bar{x}} \\ LCL &= \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{k}} \end{aligned} \qquad (13)$$

โดย d_2 คือค่าแฟคเตอร์ที่ขึ้นกับขนาดตัวอย่างของการสุ่มแต่รอบ (k)

3. วิธีการวิจัย

1. ใช้โปรแกรม R จำลองข้อมูลจากกระบวนการผลิตที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 50 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 1 ด้วยขนาด k=5 และ m=2 ตามวิธีการสุ่มแต่ละแบบ

2. คำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด

3. จำลองข้อมูลจากกระบวนการผลิตซ้ำ 1,000 รอบ หาค่าเฉลี่ยของขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิแต่ละชนิด

4. จำลองข้อมูลจากกระบวนการผลิตตามวิธีการสุ่มแต่ละแบบในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงที่ระดับการเปลี่ยนแปลง (δ) เท่ากับ 0 เพื่อหาค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด โดยจำลองข้อมูลซ้ำ 1,000 รอบเพื่อคำนวณค่า ARL

5. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1-4 ซ้ำ โดยเปลี่ยนค่า k เป็น 6, 7 เปลี่ยนค่า m เป็น 3, 4, 5, 6, 7 เปลี่ยนค่า δ เป็น 3, 5 และเปลี่ยนค่า δ เป็น 0.25, 0.5, 0.75, 1, 3, 5

การเปลี่ยนระดับค่า δ, σ, k และ m ทำให้งานวิจัยนี้มีจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 1,890 การทดลอง

4. ผลการวิจัย

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่า ARL จากการจำลองข้อมูลของแผนภูมิทั้ง 5 ชนิด โดยแสดงผลในบางระดับค่า m และ σ ที่ทุกระดับค่า k และ δ ที่กำหนดในแผนการทดลอง เมื่อ SRS หมายถึง $\bar{x}$-Chart, RSS หมายถึง $\bar{x}$-RSS Chart, MRSS หมายถึง MRSS Chart, MSS หมายถึง $\bar{x}$-MSS Chart และ MMSS หมายถึง MMSS Chart

ผลการทดลองกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตไม่มีการเปลี่ยนแปลง (δ = 0) พบว่าทุกระดับของค่า k, m และ σ นั้น MRSS-Chart มีความสามารถในการตรวจสอบกระบวนการผลิตดีที่สุด เนื่องจากให้ค่า ARL ใกล้เคียงค่าเป้าหมายคือ 370 มากที่สุด ส่วน $\bar{x}$-RSS Chart, $\bar{x}$-MSS Chart, MMSS Chart และ $\bar{x}$-Chart มีความสามารถในการตรวจสอบกระบวนการผลิตรองลงมาตามลำดับ คือให้ค่า ARL แตกต่างจาก 370 มากขึ้นตามลำดับ

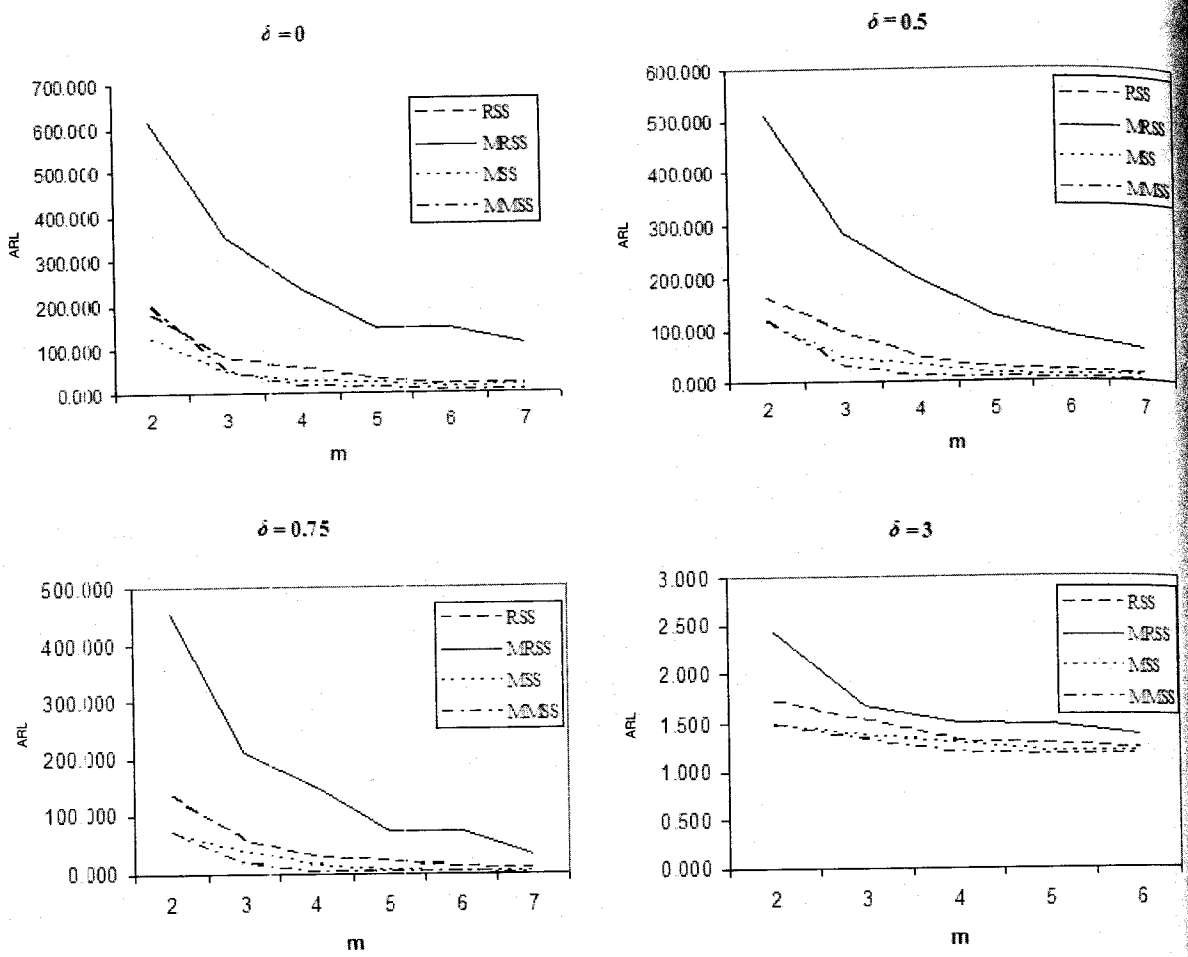
กรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงในระดับต่างๆ (δ > 0) ความสามารถของแผนภูมิควบคุมจะแตกต่างกัน ดังนี้

กรณี σ เท่ากับ 1 เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (δ= 0.25, 0.5) พบว่าในทุกระดับค่า k, m นั้น MMSS Chart มีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงดีที่สุด เนื่องจากให้ค่า ARL ต่ำที่สุด ส่วน $\bar{x}$-MSS Chart, $\bar{x}$-RSS Chart, MRSS Chart และ $\bar{x}$-Chart พบว่ามีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงรองลงมาตามลำดับ คือมีค่า ARL สูงขึ้นตามลำดับ โดย $\bar{x}$-Chart จะมีความสามารถด้อยกว่าแผนภูมิอื่นมาก เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงในระดับสูงขึ้น (δ = 0.75, 1) ในทุกระดับค่า k, m พบว่า $\bar{x}$-RSS Chart, MRSS Chart, $\bar{x}$-MSS Chart และ MMSS Chart มีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีใกล้เคียงกัน โดยดีกว่า $\bar{x}$-Chart มาก เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงในระดับสูง (δ = 3, 5) พบว่าแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิดมีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า ARL ประมาณ 1

กรณี σ เท่ากับ 3 และ 5 พบว่าให้ผลเหมือนกัน ซึ่ง σ เท่ากับ 5 ไม่ได้แสดงผลในตารางที่ 3 นี้ ผลคือ เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยถึงปานกลาง (δ = 0.25, 0.5, 0.75, 1) ในทุกระดับค่า k และ m พบว่า MMSS Chart มีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงดีที่สุด ส่วน $\bar{x}$-MSS Chart, $\bar{x}$-RSS Chart, MRSS Chart และ $\bar{x}$-Chart มีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงรองลงมาตามลำดับ โดย $\bar{x}$-Chart มีความสามารถแตกต่างโดยต่ำกว่าแผนภูมิอื่นมาก และเมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงมาก (δ = 3, 5) ในทุกระดับค่า k และ m พบว่า $\bar{x}$-RSS Chart, MRSS Chart, $\bar{x}$-MSS Chart และ MMSS Chart มีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีใกล้เคียงกัน และดีกว่า $\bar{x}$-Chart ค่อนข้างมาก

ตารางที่ 3 ค่า ARL ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 5 ชนิด ในแต่ละระดับค่า k, m, σ และ δ

k	m	δ	σ=1					σ=3				
			SRS	RSS	MRSS	MSS	MMSS	SRS	RSS	MRSS	MSS	MMSS
5	4	0.00	813.223	61.490	244.224	39.564	21.548	799.234	60.499	203.322	46.685	13.555
		0.25	773.277	36.910	111.528	15.732	3.086	796.241	53.736	219.483	39.612	11.552
		0.50	697.403	2.690	10.016	2.077	1.509	778.260	34.758	165.749	32.594	11.556
		0.75	584.727	1.479	2.632	1.444	1.310	795.268	43.149	144.250	17.232	4.457
		1.00	380.642	1.362	1.612	1.349	1.175	735.328	24.919	96.277	11.274	1.596
		3.00	1.056	1.005	1.008	1.005	1.002	359.538	1.305	1.551	1.286	1.171
		5.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.608	1.114	1.135	1.086	1.058
	5	0.00	777.271	31.603	178.340	16.504	10.452	811.218	32.522	159.382	23.538	10.468
		0.25	765.277	18.380	86.291	8.909	3.491	779.277	40.581	127.553	18.569	4.586
		0.50	680.463	1.579	3.745	1.540	1.375	791.237	24.714	133.613	16.020	3.908
		0.75	554.781	1.445	2.014	1.361	1.315	789.262	23.148	84.179	7.946	2.627
		1.00	374.681	1.284	1.550	1.223	1.185	796.248	6.495	43.555	4.683	1.474
		3.00	1.049	1.006	1.003	1.004	1.002	352.556	1.286	1.451	1.234	1.137
		5.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.634	1.071	1.127	1.061	1.061
	6	0.00	807.222	25.518	129.410	14.623	12.351	823.206	32.486	118.432	12.519	5.413
		0.25	754.305	11.211	62.207	6.806	1.473	789.242	28.632	100.633	10.435	5.624
		0.50	686.462	1.993	2.836	1.390	1.299	777.247	8.666	88.906	6.630	2.579
		0.75	580.729	1.360	1.694	1.314	1.268	785.267	9.975	72.133	3.756	1.516
		1.00	389.565	1.290	1.427	1.238	1.126	763.300	2.639	30.780	2.412	1.460
		3.00	1.054	1.005	1.004	1.002	1.001	384.542	1.215	1.447	1.181	1.198
		5.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.513	1.075	1.099	1.068	1.047
6	4	0.00	754.285	28.488	142.504	16.370	4.246	795.251	61.626	237.238	25.598	15.577
		0.25	781.264	32.196	138.471	23.058	3.290	806.233	54.718	203.478	31.759	16.632
		0.50	685.451	2.443	10.847	1.745	1.446	780.267	46.718	196.802	31.621	10.980
		0.75	551.766	1.577	2.253	1.382	1.282	788.257	28.080	150.625	13.893	2.320
		1.00	372.694	1.324	1.673	1.301	1.205	754.336	25.061	88.537	6.601	2.103
		3.00	1.058	1.005	1.006	1.002	1.004	410.497	1.346	1.562	1.337	1.237
		5.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.374	1.113	1.115	1.095	1.072
	5	0.00	740.304	15.433	116.410	4.424	3.302	791.247	35.538	145.476	22.557	11.512
		0.25	775.271	15.010	80.606	6.551	2.170	766.258	35.566	156.646	20.577	10.583
		0.50	711.396	1.862	4.651	1.595	1.381	780.267	25.742	124.158	11.650	6.629
		0.75	597.694	1.559	1.870	1.354	1.228	789.258	19.023	71.494	6.505	3.373
		1.00	378.726	1.335	1.442	1.225	1.187	775.292	12.212	44.891	4.005	1.598
		3.00	1.064	1.003	1.012	1.003	1.003	392.415	1.299	1.484	1.283	1.183
		5.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.471	1.088	1.127	1.101	1.065
	6	0.00	760.289	12.451	109.610	3.382	2.616	810.219	19.563	146.575	9.567	5.413
		0.25	753.308	9.205	55.663	1.999	1.478	800.248	19.571	128.548	7.595	4.303
		0.50	729.398	1.789	3.092	1.461	1.364	783.260	17.703	85.178	9.786	2.410
		0.75	611.692	1.391	1.703	1.295	1.244	773.279	11.991	72.188	2.086	1.612
		1.00	362.711	1.230	1.374	1.207	1.162	757.316	3.674	29.421	1.727	1.368
		3.00	1.051	1.003	1.006	1.001	1.001	354.768	1.265	1.481	1.181	1.152
		5.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.701	1.090	1.121	1.061	1.052
7	4	0.00	663.420	18.441	149.465	6.410	3.456	795.232	56.633	208.280	33.731	22.581
		0.25	763.301	35.326	147.409	22.702	6.291	776.254	54.695	226.461	30.632	17.683
		0.50	689.445	3.347	9.150	1.994	1.458	782.265	57.004	170.698	24.868	7.196
		0.75	573.828	1.563	2.316	1.428	1.278	775.273	31.196	125.533	20.612	4.050
		1.00	374.507	1.371	1.667	1.254	1.214	743.331	17.406	97.978	7.656	2.173
		3.00	1.041	1.006	1.007	1.005	1.003	377.798	1.338	1.627	1.318	1.220
		5.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.624	1.117	1.163	1.076	1.067
	5	0.00	684.388	6.525	94.426	2.406	2.244	793.236	28.616	153.411	21.439	6.417
		0.25	782.268	15.788	81.536	11.823	1.696	793.258	26.595	129.618	15.631	10.527
		0.50	722.374	1.747	5.531	1.849	1.304	777.271	30.589	116.869	17.840	3.469
		0.75	614.661	1.475	1.931	1.380	1.267	745.313	18.969	98.771	12.947	3.172
		1.00	376.889	1.273	1.454	1.215	1.177	736.336	10.507	64.071	2.598	1.833
		3.00	1.065	1.009	1.005	1.006	1.002	395.528	1.296	1.511	1.291	1.176
		5.00	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	2.672	1.103	1.098	1.074	1.066
	6	0.00	682.399	8.396	65.519	2.301	1.264	803.227	24.549	122.514	13.565	6.383
		0.25	759.308	14.152	47.955	7.861	1.509	773.298	16.768	103.729	4.405	2.545
		0.50	731.414	1.491	2.832	1.363	1.305	757.284	16.790	109.752	8.594	2.845
		0.75	577.736	1.351	1.822	1.374	1.222	769.277	9.899	53.566	4.526	1.364
		1.00	389.685	1.252	1.450	1.225	1.186	754.305	5.077	29.343	1.999	1.320
		3.00	1.060	1.003	1.005	1.002	1.001	386.710	1.282	1.369	1.205	1.147
		5.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.372	1.069	1.111	1.071	1.062



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่า ARL ของแผนควบคุม 4 ชนิด เมื่อ k = 6 และ σ = 3

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า ARL ในระดับต่างๆ ของค่า m ที่ทุกระดับค่า k, δ และ σ ของ $\bar{x}$-RSS Chart, MRSS Chart, $\bar{x}$-MSS Chart และ MMSS Chart พบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน คือมีค่าลดลงเมื่อ m เพิ่มขึ้น โดยแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจะเป็นลักษณะเดียวกับที่แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นตัวอย่างกรณีที่ δ = 0, 0.5, 0.75, 3 ค่า k = 6 และ σ = 3 ซึ่งพบว่าการเพิ่มค่า m ในการสุ่มตัวอย่างทั้งแบบ RSS และ MSS จะทำให้แผนภูมิควบคุมมีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตดีขึ้น

ส่วนผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า ARL ที่ระดับต่างๆ ของค่า k เมื่อ m, σ และ δ คงที่ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า k ไม่มีผลทำให้ค่า ARL ของ $\bar{x}$-RSS Chart, MRSS Chart, $\bar{x}$-MSS Chart และ MMSS Chart เปลี่ยนแปลง

5. อภิปรายผลและสรุป

ในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตไม่มีการเปลี่ยนแปลงนั้น MRSS Chart เหมาะสำหรับใช้ตรวจสอบกระบวนการผลิตมากที่สุดในทุกระดับค่า k, m และ σ แต่เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย MMSS Chart จะเป็นแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมสำหรับใช้ตรวจสอบกระบวนการผลิตในทุกระดับค่า

k, m และ σ ส่วนกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงในระดับสูง หากกระบวนการผลิตมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ แผนภูมิควบคุมทุกชนิดจะมีความเหมาะสมใกล้เคียงกันในการตรวจสอบกระบวนการผลิต แต่หากกระบวนการผลิตมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง แผนภูมิควบคุมทุกแผนภูมิที่สร้างโดยอาศัยการสุ่มตัวอย่างแบบ RSS และ MSS จะมีความเหมาะสมใกล้เคียงกันในการตรวจสอบกระบวนการผลิต คือสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดี และดีกว่าแผนภูมิควบคุมที่สร้างโดยอาศัยการสุ่มตัวอย่างแบบ SRS

จากผลการวิจัยที่พบว่า MRSS Chart เป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตไม่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่า MRSS Chart ที่ได้มาจากการประยุกต์ใช้ช่วงความเชื่อมั่นของค่ามัธยฐานซึ่งมีความกว้างของขีดจำกัดควบคุมน้อยกว่า $\bar{x}$-Chart และกว้างกว่าแผนภูมิควบคุมอีก 3 ชนิด ซึ่งความกว้างของขีดจำกัดควบคุมนั้นเป็นความกว้างที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบกระบวนการผลิตในลักษณะเช่นนี้ ส่วนกรณีที่ MMSS Chart เป็นแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยสามารถวิเคราะห์ได้ว่า การนำค่ามัธยฐานมาเป็นค่าสังเกตในการสร้างแผนภูมิควบคุมทำให้ช่วงความเชื่อมั่นที่นำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแผนภูมิควบคุมมีความกว้างลดลง ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต และการที่ $\bar{x}$-Chart มีประสิทธิภาพด้อยกว่าแผนภูมิอื่นๆ ในเกือบทุกกรณีสามารถวิเคราะห์ได้ว่า เกิดจากการที่ตัวอย่างที่สุ่มมาตรวจสอบในแต่ละรอบมีจำนวนมาก การใช้พิสัย (R) วัดการกระจายของข้อมูล และนำมาคำนวณขีดจำกัดควบคุมของ $\bar{x}$-Chart ในงานวิจัยนี้จึงอาจไม่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

[1] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, 5th ed., United States of America : John Wiley & Sons, 2005.

[2] G. A. Mcintyre, "A Method for Unbiased Selective Sampling, Using Ranked Sets," *Journal of Agricultural Research*, vol. 3, pp. 385-390, 1952.

[3] D. A. Wolfe, "Ranked-Set Sampling: Approach to More Efficient Data Collection," *Statistical Science*, vol. 19, no. 4, pp. 636-643, 2004.

[4] A. Bose and N. K. Neerchal, "Estimation of Variance from Ranked Set Sample," *Technical Report*, no. 96, pp. 1-8, 1996.

[5] C. J. Sroka and E. A. Stasny, "Constructing Confidence Intervals from Ranked-Set Sampling," *Technical Report*, no.783, pp.1-30, 2006.

[6] Z. Chen, "On ranked-set sample quantiles and their applications," *Journal of Statistical planning and inference*, vol. 83, pp. 125-135, 2000.