

Research Article

การวัดสมรรถนะของแผนการชักตัวอย่างแบบต่อเนื่องระดับเดียว สำหรับสายการผลิตระยะสั้น

Performance measures of single-level continuous sampling plans for short production runs

ธิดาเดียว มยุรีสุวรรณค์*

Tidadeaw Mayureesawan*

ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

Department of Statistics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Muang, Khon Kaen 40002

*E-mail: tidadeaw@kku.ac.th

Received: 16/03/2017; Accepted: 4/05/2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบสมรรถนะของแผนการชักตัวอย่างแบบต่อเนื่องจำนวน 2 แผนคือ แผนการชักตัวอย่าง CSP-C (generalized CSP-C) และแผนการชักตัวอย่าง MCSP-C (modified CSP-C) ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะโดยใช้ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจสอบโดยเฉลี่ย (average fraction inspected: AFI) และค่าคุณภาพผ่านออกโดยเฉลี่ย (average outgoing quality: AOQ) ด้วยวิธีการจำลองการตรวจสอบสายการผลิตโดยใช้โปรแกรมภาษา C และโปรแกรม R ที่ระดับต่าง ๆ ของค่าพารามิเตอร์จำนวน 5 ค่าได้แก่ ค่าความยาวสายการผลิต (L) เท่ากับ 21 ระดับ ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องของสายการผลิต (p) เท่ากับ 7 ระดับ ค่าจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ต้องตรวจพบติดต่อกันในช่วงการตรวจสอบแบบ 100% (i) เท่ากับ 2 ระดับ ค่าอัตราส่วนในการชักผลิตภัณฑ์ขึ้นมาตรวจสอบ (f) เท่ากับ 2 ระดับ ค่าจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์บกพร่องที่ยอมรับได้ในระหว่างการตรวจสอบแบบอัตราส่วน (c) เท่ากับ 2 ระดับ ค่าจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้ก่อนพบผลิตภัณฑ์บกพร่อง c หน่วยในช่วงการตรวจสอบแบบอัตราส่วน ($m=i$) ของแผนการชักตัวอย่าง MCSP-C ผลการศึกษาพบว่า ค่า AFI ของ MCSP-C จะต่ำกว่า CSP-C กรณีที่ p มีค่าต่ำ ($p=0.005, 0.01, 0.015, 0.02$) ในทุกระดับค่า L, i, f และ c กรณีที่ p มีค่าสูง ($p=0.025, 0.03, 0.035$) พบว่าเมื่อช่วงของ L สั้น ค่า AFI ของ MCSP-C จะต่ำกว่า CSP-C แต่เมื่อช่วงของ L ยาว ค่า AFI ของ MCSP-C จะสูงกว่า CSP-C เล็กน้อย ผลการศึกษาค่า AOQ พบว่าค่า AOQ ของ CSP-C ต่ำกว่า MCSP-C กรณีที่ p มี

ค่าต่ำ ($p=0.005, 0.01, 0.015, 0.02$) ในทุกระดับค่า L, i, f และ c ส่วนกรณีที่ p มีค่าสูง ($p=0.025, 0.03, 0.035$) พบว่า หากช่วงของ L สั้น ค่า AOQ ของ CSP-C จะต่ำกว่า MCSP-C หากช่วงของ L ยาว ค่า AOQ ของ CSP-C จะสูงกว่า MCSP-C

คำสำคัญ: การวัดสมรรถนะ, แผนการชักตัวอย่างแบบต่อเนื่องระดับเดียว, สายการผลิตระยะสั้น

Abstract

This research compared the performance measures of the two continuous sampling plans: CSP-C (generalized CSP-C) and MCSP-C (modified CSP-C). The average fraction inspected (AFI) and the average outgoing quality (AOQ) were the performance measures to be used. Simulations was carried out and inspected with C and R program for different levels of five following parameters: 21 levels of lengths of the production line (L), 7 levels of fractions of defective units on the line (p), 2 levels of the number of consecutive non-defective units to be found during a 100% inspection of units (i), 2 levels of fractional inspection of units (f) and 3 levels of maximum allowable number of nonconforming units in sampling fractions (c). The number of conforming units to be found before allowing c non-conforming units in the sampling inspection was also simulated for the MCSP-C continuous sampling plans ($m=i$). The results showed that the AFI values of MCSP-C were lower than the CSP-C in the case of the low levels of p ($p=0.005, 0.01, 0.015, 0.02$) for all sets of L, i, f and c . At high level of p ($p=0.025, 0.03, 0.035$) and for a short range of L , the AFI values of MCSP-C were lower than the CSP-C. For a long range of L , the AFI values of MCSP-C were a little higher than the CSP-C. The results for the AOQ values indicated that the AOQ values of CSP-C were lower than the MCSP-C at the low levels of p ($p=0.005, 0.01, 0.015, 0.02$) for all sets of L, i, f and c . At high levels of p ($p=0.025, 0.03, 0.035$) and short range of L , the AOQ values of CSP-C were lower than the MCSP-C. For the high range of L , the AOQ values of CSP-C were greater than the MCSP-C.

Keywords: performance measures, single-level continuous sampling plans, short production runs

บทนำ

แผนการชักตัวอย่างแบบต่อเนื่อง (continuous sampling plan: CSP) เป็นแผนการชักตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบผลิตภัณฑ์จากสายการผลิตที่มีลักษณะการผลิตทีละ 1 หน่วยตามลำดับ การใช้ CSP ตรวจสอบสายการผลิตคือ จะชักผลิตภัณฑ์ขึ้นมาตรวจสอบทีละ 1 หน่วยตามลำดับการผลิต โดยแบ่งผลลัพธ์การตรวจสอบเป็น 2 ทางคือบกพร่องและดี CSP มี 2 แบบคือแบบระดับเดียวและแบบหลายระดับ โดย CSP แบบระดับเดียวนั้นแรก

คือ CSP-1 (continuous sampling plan type 1) พัฒนาโดย Dodge ในปี ค.ศ. 1943 (Dodge, 1943) การตรวจสอบโดย CSP-1 คือ เริ่มต้นตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบ 100% ติดต่อกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งมีจำนวน i หน่วยติดต่อกันเป็นผลิตภัณฑ์ดีหมด การตรวจแบบ 100% จะสิ้นสุดลงแล้วเปลี่ยนเป็นแบบตรวจบางส่วนด้วยอัตราส่วน f หรือตรวจ 1 หน่วยในทุกๆ r หน่วย ($f = 1/r$) ขณะที่ตรวจแบบบางส่วน ถ้าพบผลิตภัณฑ์บกพร่อง การตรวจแบบบางส่วนจะสิ้นสุดลงและเปลี่ยนกลับเป็นตรวจแบบ 100% เหมือนเดิม การตรวจสอบจะดำเนินการซ้ำเช่นนี้เรื่อยไป ทุกครั้งที่ตรวจพบผลิตภัณฑ์บกพร่องจะแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ดี ต่อมานักวิจัยได้พัฒนา CSP ขึ้นมาอีกหลายชนิด ทั้งพัฒนาจาก CSP-1 ได้แก่ CSP-2, CSP-3, CSP-4, CSP-5, CSP-F, CSP-V, CSP-C, CSP-M, MCSP-C เป็นต้น (Mitra, 1993; Montgomery, 2009; Schilling & Neubauer, 2009) และพัฒนาโดยปรับปรุงจากแผนอื่นที่เกิดขึ้นก่อน CSP ทุกแผน จะมีสูตรคำนวณค่าวัดคุณลักษณะที่สำคัญ 2 ค่าคือ ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจสอบโดยเฉลี่ย (average fraction inspected: AFI) และค่าคุณภาพผ่านออกโดยเฉลี่ย (average outgoing quality: AOQ) โดย AFI คือค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจสอบในทุกช่วงของการตรวจสอบ กับจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตทั้งหมด เช่น AFI เท่ากับ 0.70 หมายความว่า โดยเฉลี่ยแล้วจะมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจสอบคิดเป็น 70% ของจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตทั้งหมด ค่า AFI มีประโยชน์ด้านการวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดจากการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ส่วน AOQ คือค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์บกพร่องที่หลุดออกไปโดยตรวจไม่พบ กับจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตทั้งหมด เช่น กระบวนการผลิตมีสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง (p) เท่ากับ 0.03 นั่นคือหากไม่ตรวจสอบสายการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านออกไปจะมีผลิตภัณฑ์บกพร่องปนอยู่ 3% แต่หากใช้ CSP ชนิดหนึ่งตรวจสอบสายการผลิตแล้วให้ค่า AOQ เท่ากับ 0.015 จะหมายความว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านออกไปจะมีผลิตภัณฑ์บกพร่องปนอยู่ 1.5% เป็นต้น

Govindaraju & Kandasamy (2000) ได้พัฒนาแผนการชักตัวอย่าง CSP-C (generalized CSP-C continuous sampling plans) ขึ้นในปี ค.ศ. 2000 โดยพัฒนาจาก CSP-1 เพื่อลดจำนวนการตรวจสอบในช่วงการตรวจสอบแบบ 100% ลง จุดเด่นของ CSP-C คือเป็นการออกแบบให้มีการเปลี่ยนกลับการตรวจสอบจากการตรวจแบบบางส่วนด้วยอัตราส่วน f เป็นแบบ 100% ซ้ำลงด้วยการกำหนดค่า c ขึ้นมา โดยค่า c คือจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์บกพร่องที่ยอมรับได้ในระหว่างการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วนก่อนที่จะเปลี่ยนกลับการตรวจสอบเป็นแบบ 100% ขั้นตอนการตรวจสอบโดย CSP-C คือ จะเริ่มต้นทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบ 100% ติดต่อกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบผลิตภัณฑ์ดี i หน่วยติดต่อกัน การตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบ 100% จะสิ้นสุดลงและเปลี่ยนการตรวจสอบเป็นแบบสุ่มตรวจบางส่วน การตรวจสอบแบบบางส่วนทำโดยชักผลิตภัณฑ์แบบไม่เอนเอียงจากสายการผลิตมาตรวจสอบด้วยอัตราส่วน f ($f = 1/r$) และทำการตรวจสอบด้วยอัตราส่วน f ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบผลิตภัณฑ์บกพร่องจำนวน $c+1$ หน่วย ในขณะที่ตรวจแบบอัตราส่วน f และพบผลิตภัณฑ์บกพร่องจำนวน $c+1$ หน่วย การตรวจสอบด้วยอัตราส่วน f จะสิ้นสุดลงและเปลี่ยนกลับการตรวจสอบเป็นแบบ 100% โดยการตรวจสอบจะดำเนินการตามขั้นตอน

แรกใหม่ และทุกครั้งทีพบผลิตภัณฑ์บกพร่อง จะทำการแก้ไขหรือแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ CSP-C มีค่าควบคุมลักษณะของแผนี่สร้างขึ้น โดยใช้หลักการของลูกโซ่มาร์คอฟ (markov chain) ดังนี้

สำหรับค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ถูกรตรวจสอบโดยเฉลี่ย (AFI) กำหนดโดย

$$AFI = \frac{f(1+cq^i)}{f+q^i(c+1-f)} \quad (1)$$

เมื่อ f คืออัตราส่วนในการชักตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขึ้นมาตรตรวจสอบในช่วงการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน

c คือจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์บกพร่องที่ยอมรับได้ในช่วงการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน

p คือค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องของกระบวนการผลิต

q คือค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ดีของกระบวนการผลิต ($q = 1-p$)

i คือจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ดีที่ต้องตรวจพบติดต่อกันในช่วงการตรวจสอบแบบ 100%

สำหรับค่าคุณภาพผ่านออกโดยเฉลี่ย (AOQ) กำหนดโดย

$$AOQ = \frac{pq^i(c+1)(1-f)}{f+q^i(c+1-f)} \quad (2)$$

Balamurali & Subramani (2004) ได้ปรับปรุงขั้นตอนการตรวจสอบของ CSP-C ในปี ค.ศ. 2004 และกำหนดชื่อแผนว่า MCSP-C (modified CSP-C continuous sampling plans) โดย MCSP-C จะมีพารามิเตอร์ m เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่ง m คือจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ดีที่ยอมรับได้ในช่วงการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน ขั้นตอนการตรวจสอบแบบ 100% ของ MCSP-C จะเหมือน CSP-C แต่แตกต่างกันในขั้นตอนการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วนด้วยอัตราส่วน f คือ ถ้าในช่วงตรวจสอบด้วยอัตราส่วน f หากพบผลิตภัณฑ์บกพร่องหน่วยแรกก่อนที่จะตรวจผลิตภัณฑ์ครบ m หน่วย การตรวจสอบจะเปลี่ยนเป็นแบบตรวจ 100% ทันที แต่ถ้าการตรวจผลิตภัณฑ์ m หน่วยพบว่า เป็นผลิตภัณฑ์ดีหมด การตรวจสอบแบบอัตราส่วน f จะยังคงดำเนินต่อไปจนกระทั่งพบผลิตภัณฑ์บกพร่อง $c+1$ หน่วย การตรวจสอบจึงจะเปลี่ยนกลับเป็นแบบ 100% นั่นคือช่วงการตรวจสอบแบบอัตราส่วน f จะเปลี่ยนกลับ การตรวจสอบเป็นแบบ 100% อย่างรวดเร็วหากพบผลิตภัณฑ์บกพร่องหน่วยแรกภายในการตรวจสอบ m หน่วย ขั้นตอนการตรวจสอบโดย MCSP-C คือ จะเริ่มต้นทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบ 100% ติดต่อกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบผลิตภัณฑ์ดี i หน่วยติดต่อกัน การตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบ 100% จะสิ้นสุดลง และเปลี่ยนการตรวจสอบเป็นแบบสุ่มตรวจบางส่วน การตรวจสอบแบบบางส่วนทำโดยชักผลิตภัณฑ์แบบไม่เอนเอียงจาก

สายการผลิตมาตรวจสอบด้วยอัตราส่วน f ($f = 1/r$) และทำการตรวจสอบไปเรื่อยๆ ในขณะที่ตรวจสอบแบบอัตราส่วน f ถ้าพบผลิตภัณฑ์บกพร่องจำนวน c หน่วยหลังจากพบ m หน่วยติดต่อกันเป็นผลิตภัณฑ์ดีหมด การตรวจสอบด้วยอัตราส่วน f จะดำเนินต่อไป ในขณะที่ตรวจสอบแบบอัตราส่วน f ถ้าพบผลิตภัณฑ์บกพร่อง 1 หน่วยก่อนพบผลิตภัณฑ์ดี m หน่วยติดต่อกัน หรือพบผลิตภัณฑ์บกพร่องจำนวน $c+1$ หน่วยหลังจากพบ m หน่วยติดต่อกันเป็นผลิตภัณฑ์ดีหมด จะเปลี่ยนกลับการตรวจสอบเป็นแบบ 100% ทันที และทุกครั้งที่พบผลิตภัณฑ์บกพร่อง จะทำการแก้ไขหรือแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ดี แผนการชักตัวอย่าง MCSP-C มีค่าวัดคุณลักษณะของแผนดังนี้

ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจสอบโดยเฉลี่ย (AFI) กำหนดโดย

$$AFI = \frac{f(1+cq^{i+m})}{f(1-q^i)+q^i(1-q^m)+(c+1)q^{i+m}} \quad (3)$$

เมื่อ f คืออัตราส่วนในการชักตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขึ้นมาตรวจสอบในช่วงการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน

c คือจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์บกพร่องที่ยอมรับได้ในช่วงการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน

p คือค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องของกระบวนการผลิต

q คือค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ดีของกระบวนการผลิต ($q = 1-p$)

i คือจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ดีที่ต้องตรวจพบติดต่อกันในช่วงการตรวจสอบแบบ 100%

ค่าคุณภาพผ่านออกโดยเฉลี่ย (AOQ) กำหนดโดย

m คือจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ดีที่ยอมรับได้ในช่วงการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน

$$AOQ = \frac{pq^i(1-f)(1+cq^m)}{f(1-q^i)+q^i(1-q^m)+(c+1)q^{i+m}} \quad (4)$$

สูตร AFI และ AOQ สร้างขึ้นสำหรับสายการผลิตระยะยาว แต่บางครั้งกระบวนการผลิตอาจเป็นสายการผลิตระยะสั้น (short production runs) ที่ไม่ยาวมาก ทำให้เกิดปัญหาว่าเมื่อใช้ CSP ตรวจสอบจะได้ค่า AFI และ AOQ ที่เกิดขึ้นจริงตรงตามที่ประมาณได้จากสูตรหรือไม่ Karithap (2009) ได้เคยทำการศึกษาผลของความยาวสายการผลิตต่อค่า AFI และ AOQ ของ CSP ชนิดหลายระดับจำนวน 2 แผนคือ CSP-M และ MCSP-T และ Mayuresawan (2014) ได้ทำการศึกษาผลของความยาวสายการผลิตต่อค่า AFI และ AOQ ของ CSP ชนิดระดับเดียวจำนวน 2 แผนคือ CSP-1 และ CSP-V โดยวิธีการจำลองการตรวจสอบสายการผลิตที่มีความยาวระดับต่างๆ จำนวนมาก นำค่า AFI และ AOQ ที่ได้จากการจำลองมาเปรียบเทียบกับที่ได้จากสูตรคำนวณ ผลการศึกษาพบว่า

ความยาวของสายการผลิตมีผลต่อความแม่นยำของสูตร AFI และ AOQ จริง โดยความแม่นยำของสูตรขึ้นอยู่กับระดับค่า p และระดับค่าพารามิเตอร์ของแผนที่กำหนดใช้ในการตรวจสอบด้วย

ดังนั้น สำหรับสายการผลิตระยะสั้น สูตรคำนวณค่า AFI และ AOQ ที่ผู้ออกแบบแผนสร้างขึ้นอาจขาดความแม่นยำในบางสถานการณ์ของการผลิต และในกรณีที่ผู้ตรวจสอบต้องการเปรียบเทียบค่า AFI และ AOQ ของแผนการชักตัวอย่างชนิดต่างๆ เพื่อตัดสินใจในการเลือกใช้แผนการชักตัวอย่างให้เหมาะสมกับระดับความยาวของสายการผลิต อาจไม่สามารถเปรียบเทียบได้จากค่า AFI และ AOQ ที่ได้จากรูทคำนวณ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจหาค่าและเปรียบเทียบค่า AFI และ AOQ ของ CSP ระดับเดียวสำหรับสายการผลิตระยะสั้น ด้วยวิธีการจำลองการตรวจสอบสายการผลิต โดย CSP ที่น่าสนใจจำนวน 2 แผนที่ศึกษาได้แก่ แผนการชักตัวอย่าง CSP-C (generalized CSP-C continuous sampling plans) และแผนการชักตัวอย่าง MCSP-C (modified CSP-C continuous sampling plans) ทำการศึกษาในแต่ละสถานการณ์ของการผลิตที่เปลี่ยนไป ได้แก่ ความยาวของสายการผลิต ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องของกระบวนการผลิต และระดับค่าพารามิเตอร์ของ CSP-C และ MCSP-C เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ตรวจสอบการผลิตสามารถเลือกใช้แผนการชักตัวอย่างที่ตรงตามความต้องการและตรงตามคุณลักษณะของกระบวนการผลิตได้

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบสมรรถนะของแผนการชักตัวอย่างแบบต่อเนื่องทั้ง 2 แผนด้วยค่าวัด 2 ค่า โดยค่าแรกคือ ค่าคุณภาพผ่านออกโดยเฉลี่ย (average outgoing quality: AOQ) ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องที่ผ่านออกไปโดยไม่ถูกตรวจพบ กับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านออกไปทั้งหมดตลอดความยาวรอบ โดยความยาวรอบหมายถึงจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผ่านไปยังสายการผลิตตั้งแต่ช่วงการตรวจสอบแบบตรวจ 100% จนกระทั่งจบด้วยช่วงการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน ภายใต้เงื่อนไขว่าผลิตภัณฑ์บกพร่องที่ถูกตรวจพบทั้งหมดต้องถูกแก้ไขหรือแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์ดี จึงทำให้ไม่มีผลิตภัณฑ์บกพร่องผ่านออกไปในช่วงตรวจแบบ 100% นอกจากค่า AOQ แล้ว ค่าวัดสมรรถนะของแผนอีกค่าหนึ่งคือ ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจสอบโดยเฉลี่ย (average fraction inspected: AFI) ซึ่งค่า AFI หมายถึงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจสอบทั้งหมด (average total inspection: ATI) กับความยาวรอบ โดยค่า ATI เป็นผลรวมของจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจสอบในช่วงตรวจสอบแบบ 100% และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจสอบในช่วงตรวจสอบแบบบางส่วน ส่วนความยาวรอบหมายถึงจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผ่านไปยังสายการผลิตตั้งแต่ช่วงการตรวจสอบแบบ 100% จนกระทั่งจบด้วยช่วงการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน การเปรียบเทียบค่า AFI และ AOQ ของแผนการชักตัวอย่าง CSP-C และ MCSP-C มีวิธีดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ใช้โปรแกรม R จำลองกระบวนการผลิตทีละ 1 หน่วยคล้ายสายการผลิต กำหนดสายการผลิตมีความยาว (L) เท่ากับ 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800 และ 4000 หน่วย โดยที่แต่ละสายการผลิตมีส่วนผลิตกันที่บกพร่องคือ p เท่ากับ 0.005, 0.01, 0.015, 0.02, 0.025, 0.03 และ 0.035 ในแต่ละระดับค่า p และ L จำลองสายการผลิตซ้ำ 100 สายการผลิต

2. กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของแผนดังนี้

2.1 สำหรับ CSP-C และ MCSP-C กำหนดจำนวนหน่วยผลิตกันที่ดีที่ต้องตรวจพบติดต่อกันในช่วงตรวจสอบแบบ 100% (i) เท่ากับ 10 และ 20 กำหนดอัตราส่วนในการชักผลิตกันดีขึ้นมาตรวจสอบในช่วงการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน (f) เท่ากับ 1/2 และ 1/3

2.2 สำหรับ CSP-C กำหนดจำนวนหน่วยผลิตกันที่บกพร่องที่ยอมรับได้ในช่วงตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน (c) เท่ากับ 1, 2 และ 3

2.3 สำหรับ MCSP-C กำหนดจำนวนหน่วยผลิตกันที่ดีที่ยอมรับได้ในช่วงการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน (m) โดย $m = i$ และกำหนดจำนวนหน่วยผลิตกันที่บกพร่องที่ยอมรับได้ในช่วงการตรวจสอบแบบตรวจบางส่วน (c) เท่ากับ 1, 2 และ 3

3. เขียนโปรแกรม Visual C++ เพื่อจำลองการตรวจสอบสายการผลิต โดยสายการผลิตแต่ละระดับค่า p และ L จะถูกจำลองการตรวจสอบด้วยแผนการชักตัวอย่างทั้ง 2 ตามระดับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดใช้ในขอบเขตการวิจัย ในขณะที่จำลองการตรวจสอบสายการผลิต จะคำนวณค่าสัดส่วนผลิตกันที่ดีที่ถูกรวบรวม (fraction inspected: FI) และค่าคุณภาพผ่านออก (outgoing quality: OQ) โดย FI คำนวณจากอัตราส่วนของ 2 ค่า โดยค่าแรกคือจำนวนหน่วยผลิตกันที่ดีที่ถูกรวบรวมในทุกช่วงของการตรวจสอบตลอดสายการผลิต และค่าที่สองคือจำนวนหน่วยผลิตกันที่ดีที่ผลิตได้ในทุกช่วงของการตรวจสอบตลอดสายการผลิตซึ่งเท่ากับ L ส่วน OQ คำนวณจากอัตราส่วนของ 2 ค่า โดยค่าแรกคือจำนวนผลิตกันที่บกพร่องที่ผ่านออกไปโดยตรวจไม่พบในทุกช่วงของการตรวจสอบ และค่าที่สองคือจำนวนหน่วยผลิตกันที่ดีที่ผลิตในทุกช่วงของการตรวจสอบตลอดสายการผลิต ซึ่งเท่ากับ L

4. ในระดับค่า p , L และพารามิเตอร์เดียวกัน จำลองการตรวจสอบสายการผลิตด้วยแผนการชักตัวอย่างแต่ละแผนซ้ำ 100 สาย เพื่อหาค่าเฉลี่ยของ FI และ OQ ค่าเฉลี่ยของ FI คือ AFI และค่าเฉลี่ยของ OQ คือ AOQ แล้วเปรียบเทียบค่า AFI และค่า AOQ เพื่อหาข้อสรุปในแต่ละระดับค่า p , L และแต่ละระดับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดใช้

ผลการวิจัย

การเปรียบเทียบสมรรถนะของแผนการชักตัวอย่าง CSP-C และ MCSP-C ด้วยค่า AFI และค่า AOQ แสดงดังในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ ผลการศึกษาค่า AFI พบว่ากรณี $p=0.005, 0.01, 0.015$ และ 0.02 ให้ผลเช่นเดียวกันคือ แผนการชักตัวอย่าง MCSP-C ให้ค่า AFI ต่ำกว่า CSP-C ทุกระดับค่า i, f, c และ L กรณี $p=0.025$ ที่ $i=10$ พบว่าให้ผลเช่นเดียวกันกับกรณี p ข้างต้น ที่ $i=20$ พบว่า $f=1/2$ และ $f=1/3$ ให้ผลต่างกัน โดยความแตกต่างใน

ค่า AFI ของ MCSP-C และ CSP-C ขึ้นอยู่กับระดับค่า f , c และ L แต่สำหรับสายการผลิตระยะสั้นหรือ L ต่ำ พบว่า MCSP-C ให้ค่า AFI ต่ำกว่า CSP-C เสมอในทุกระดับค่า f และ c แต่เมื่อ L มีค่ามากจะให้ผลตรงกันข้ามคือ MCSP-C ให้ค่า AFI สูงกว่า CSP-C ในทุกระดับค่า i , f และ c กรณี $p=0.03$ และ 0.035 พบว่าให้ผลคล้ายคลึงกับกรณี $p=0.025$ เมื่อ $i=20$ คือสำหรับสายการผลิตระยะสั้นหรือ L ต่ำ MCSP-C ให้ค่า AFI ต่ำกว่า CSP-C ในทุกระดับค่า i , f และ c แต่เมื่อ L มีค่ามากจะให้ผลตรงกันข้ามคือ MCSP-C ให้ค่า AFI สูงกว่า CSP-C ในทุกระดับค่า i , f และ c แต่ผลการเปรียบเทียบค่า AFI ของแผนการชักตัวอย่าง 2 แผนนี้ที่ $p=0.025$, 0.03 และ 0.035 นั้น ระดับของค่า L ที่มีผลต่อความสูงต่ำในค่าของ AFI จะแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับระดับค่า i , f และ c ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

สำหรับผลการศึกษาค่า AOQ ของแผนการชักตัวอย่าง MCSP-C และ CSP-C เนื่องจากค่า AOQ จะตรงกันข้ามกับค่า AFI คือหากแผนใดให้ค่า AFI สูงกว่า แผนนั้นก็ให้ค่า AOQ ต่ำกว่าเสมอ ดังนั้นผลการเปรียบเทียบค่า AOQ ของแผนการชักตัวอย่าง 2 แผนนี้จะตรงกันข้ามกับค่า AFI ดังนี้ กรณี $p=0.005$, 0.01 , 0.015 และ 0.02 พบว่าให้ผลเช่นเดียวกัน คือ CSP-C ให้ค่า AOQ ต่ำกว่า MCSP-C ทุกระดับค่า i , f , c และ L ส่วนกรณี $p=0.025$, 0.03 และ 0.035 สำหรับสายการผลิตระยะสั้นหรือ L ต่ำ พบว่า CSP-C ให้ค่า AOQ ต่ำกว่า MCSP-C เสมอในทุกระดับค่า i , f และ c แต่เมื่อ L มีค่ามากจะให้ผลตรงกันข้ามคือ CSP-C ให้ค่า AOQ สูงกว่า MCSP-C ในทุกระดับค่า i , f และ c ทำนองเดียวกันกับการเปรียบเทียบค่า AFI คือ ผลการเปรียบเทียบค่า AOQ ของแผนการชักตัวอย่าง 2 แผนนี้ที่ $p=0.025$, 0.03 และ 0.035 นั้น ระดับของค่า L ที่มีผลต่อความสูงต่ำในค่าของ AOQ จะแตกต่างกัน โดยพบว่าขึ้นอยู่กับระดับค่า i และ f เป็นสำคัญ ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

ดังนั้นสำหรับการเปรียบเทียบค่า AFI ของแผนการชักตัวอย่าง CSP-C และ MCSP-C กรณีที่ p มีค่าต่ำถึงปานกลาง ($p=0.005$, 0.01 , 0.015 , 0.02) พบว่า MCSP-C ให้ค่า AFI ต่ำกว่า CSP-C ในทุกระดับค่า L , i , f และ c โดยค่า L มีผลต่อขนาดความต่างในค่า AFI ของ 2 แผนคือ กรณีสายการผลิตมีระยะสั้น MCSP-C จะให้ค่า AFI ต่ำกว่า CSP-C มากกว่ากรณีที่สายการผลิตมีระยะยาว กรณี p มีค่าสูงขึ้น ($p=0.025$, 0.03 , 0.035) พบว่าระดับค่า L , i และ f มีผลต่อความแตกต่างในค่า AFI ของ 2 แผน แต่ระดับของค่า c มีผลเล็กน้อย โดยพบว่าหากสายการผลิตมีระยะสั้น MCSP-C จะให้ค่า AFI ต่ำกว่า CSP-C แต่เมื่อสายการผลิตมีระยะยาวจะให้ผลตรงกันข้ามคือ MCSP-C ให้ค่า AFI สูงกว่า CSP-C แต่สูงกว่าเพียงเล็กน้อย และค่า AFI ของทั้ง 2 แผนจะลดลงเมื่อสายการผลิตมีระยะยาวขึ้น สำหรับค่า AOQ ของแผนการชักตัวอย่าง CSP-C และ MCSP-C กรณีที่ p มีค่าต่ำถึงปานกลาง ($p=0.005$, 0.01 , 0.015 , 0.02) พบว่า CSP-C ให้ค่า AOQ ต่ำกว่า MCSP-C ในทุกระดับค่า L , i , f และ c กรณี p มีค่าสูงขึ้น ($p=0.025$, 0.03 , 0.035) พบว่าค่า L , i และ f มีผลต่อความแตกต่างในค่า AOQ ของ 2 แผน แต่ระดับของค่า c ไม่มีผล โดยพบว่าหากสายการผลิตมีระยะสั้น CSP-C จะให้ค่า AOQ ต่ำกว่า MCSP-C แต่เมื่อสายการผลิตมีระยะยาว ผลสรุปจะตรงกันข้ามคือ CSP-C จะให้ค่า AOQ สูงกว่า MCSP-C

ตารางที่ 1. เปรียบเทียบค่า *AFI* ของแผนการชักตัวอย่าง CSP-C และ MCSP-C ในแต่ละระดับค่า *p, i, f, c, L*

<i>p</i>	<i>i</i>	<i>f</i>	<i>c</i>	<i>L</i>	ผลการเปรียบเทียบ ค่า <i>AFI</i>	ข้อสังเกตเกี่ยวกับ ระดับความต่างของค่า <i>AFI</i>
0.005, 0.01	ทุกระดับ	ทุกระดับ	ทุกระดับ	ทุกระดับ	MCSP-C < CSP-C	
0.015, 0.02	ทุกระดับ	ทุกระดับ	ทุกระดับ	ทุกระดับ	MCSP-C < CSP-C	<i>L</i> สูงๆ ค่าใกล้เคียงกัน
0.025	10	ทุกระดับ	ทุกระดับ	ทุกระดับ	MCSP-C < CSP-C	<i>L</i> สูงๆ ค่าใกล้เคียงกัน
	20	1/2	ทุกระดับ	< 1200	MCSP-C < CSP-C	
				≥ 1200	MCSP-C > CSP-C	
	1/3	1	< 1600	MCSP-C < CSP-C		
			≥ 1600	MCSP-C > CSP-C		
		2, 3	< 3600	MCSP-C < CSP-C		
≥ 3600			MCSP-C > CSP-C			
0.03	10	1/2	ทุกระดับ	< 3000	MCSP-C < CSP-C	เล็กน้อย
				≥ 3000	MCSP-C > CSP-C	
	20	1/3	ทุกระดับ	ทุกระดับ	MCSP-C < CSP-C	<i>L</i> สูงๆ ค่าใกล้เคียงกัน
				1/2	ทุกระดับ	
		≥ 1600	MCSP-C > CSP-C			
		1/3	ทุกระดับ	< 3000	MCSP-C < CSP-C	
≥ 3000	MCSP-C > CSP-C					
0.035	10	1/2	ทุกระดับ	< 2200	MCSP-C < CSP-C	เล็กน้อย
				≥ 2200	MCSP-C > CSP-C	
	20	1/3	ทุกระดับ	ทุกระดับ	MCSP-C < CSP-C	<i>L</i> สูงๆ ค่าใกล้เคียงกัน
				1/2	ทุกระดับ	
		≥ 1200	MCSP-C > CSP-C			
		1/3	ทุกระดับ	< 1800	MCSP-C < CSP-C	
≥ 1800	MCSP-C > CSP-C					

ตารางที่ 2. เปรียบเทียบค่า AOQ ของแผนการซักตัวอย่าง CSP-C และ MCSP-C ในแต่ละระดับค่า p, i, f, c, L

p	i	f	c	L	ผลการเปรียบเทียบ ค่า AOQ	ข้อสังเกตเกี่ยวกับ ระดับความต่างของค่า AOQ			
0.005, 0.01	ทุกระดับ	ทุกระดับ	ทุกระดับ	ทุกระดับ	CSP-C < MCSP-C				
0.015, 0.02	ทุกระดับ	ทุกระดับ	ทุกระดับ	ทุกระดับ	CSP-C < MCSP-C				
0.025	10	ทุกระดับ	ทุกระดับ	< 1200	CSP-C < MCSP-C				
				\geq 1200	CSP-C < MCSP-C	เล็กน้อย			
	20	1/2	ทุกระดับ	< 1200	CSP-C < MCSP-C				
				\geq 1200	CSP-C > MCSP-C	เล็กน้อย			
		1/3	ทุกระดับ	< 1600	CSP-C < MCSP-C				
				\geq 1600	CSP-C > MCSP-C	เล็กน้อย			
0.03	10	1/2	ทุกระดับ	< 2600	CSP-C < MCSP-C				
				\geq 2600	CSP-C > MCSP-C	เล็กน้อย			
	20	1/3	ทุกระดับ	ทุกระดับ	CSP-C < MCSP-C	L สูงๆ ค่าใกล้เคียงกัน			
				ทุกระดับ	CSP-C < MCSP-C				
		1/2	ทุกระดับ	< 2400	CSP-C < MCSP-C				
				\geq 2400	CSP-C > MCSP-C				
		1/3	ทุกระดับ	< 1600	CSP-C < MCSP-C				
				\geq 1600	CSP-C > MCSP-C				
		0.035	10	1/2	ทุกระดับ		< 2400	CSP-C < MCSP-C	
							\geq 2400	CSP-C > MCSP-C	
20	1/3		ทุกระดับ	ทุกระดับ	CSP-C < MCSP-C	L สูงๆ ค่าใกล้เคียงกัน			
				ทุกระดับ	CSP-C < MCSP-C				
	1/2		ทุกระดับ	< 2000	CSP-C < MCSP-C				
				\geq 2000	CSP-C > MCSP-C				
	1/3		ทุกระดับ	< 1800	CSP-C < MCSP-C				
				\geq 1800	CSP-C > MCSP-C				

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

จากการที่ MCSP-C พัฒนามาจาก CSP-C หากพิจารณาขั้นตอนการตรวจสอบของทั้ง 2 แผนจะพบว่า MCSP-C ได้ออกแบบให้มีการเปลี่ยนกลับการตรวจสอบจากตรวจแบบบางส่วนกลับไปเป็นแบบ 100% เร็วกว่า CSP-C เมื่อกระบวนการผลิตมีคุณภาพไม่ดีหรือมีค่า p สูง กรณีเช่นนี้ MCSP-C ควรมีค่า AFI สูงกว่า CSP-C และ

MCSP-C ควรมีค่า AOQ ต่ำกว่า CSP-C เนื่องจาก 2 ค่านี้จะตรงข้ามกันคือ หากแผนใดให้ค่า AFI สูงกว่า แผนนั้นก็จะให้ค่า AOQ ต่ำกว่า นั่นคือความแตกต่างในค่า AFI และค่า AOQ ของ 2 แผนควรจะชัดเจนในกรณีที่กระบวนการผลิตมีค่า p สูง แต่จากผลการศึกษพบว่าความแตกต่างในค่า AFI และค่า AOQ ของ 2 แผนไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่า p เท่านั้น แต่ขึ้นอยู่กับระดับค่าพารามิเตอร์ของแผนที่ใช้ในการตรวจสอบด้วย คือขึ้นอยู่กับค่า i, f, c ด้วย โดยค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลต่อความแตกต่างในค่า AFI และค่า AOQ ของ 2 แผน ซึ่งจะเห็นว่า MCSP-C ไม่ได้มีค่า AFI สูงกว่าหรือต่ำกว่า CSP-C ในทุกสถานการณ์ของการผลิตและการตรวจสอบ หรือไม่ได้มีค่า AOQ ต่ำกว่าหรือสูงกว่า CSP-C ในทุกสถานการณ์ของการผลิตและการตรวจสอบเช่นกัน ดังนั้น เมื่อผู้ตรวจสอบต้องการเลือกใช้ MCSP-C และ CSP-C ตรวจสอบสายการผลิต สามารถใช้ผลสรุปในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 เป็นแนวทางในการเปรียบเทียบและเลือกใช้แผนการชักตัวอย่างทั้ง 2 แผนให้เหมาะกับสภาพและสถานการณ์การผลิตของตนเองได้นอกจากนี้ยังพบว่าค่า L หรือระดับความยาวของสายการผลิตมีผลต่อค่า AFI และค่า AOQ ด้วย โดยภาพรวมพบว่า MCSP-C มีค่า AFI ต่ำกว่าและมีค่า AOQ สูงกว่า CSP-C เมื่อสายการผลิตมีระยะสั้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเกิดจากแผนการชักตัวอย่างแบบต่อเนื่องทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นการตรวจสอบแบบ 100% จนกระทั่งสิ้นสุดการตรวจสอบแบบตรวจสอบบางส่วนด้วยอัตราส่วน f ก่อนที่จะวนกลับไปเริ่มต้นการตรวจสอบแบบ 100% ใหม่ สำหรับสายการผลิตที่มีระยะสั้นมากๆ เช่นจำนวนหน่วยการผลิตต่ำกว่า 1200 หน่วย ($L < 1200$) เป็นไปได้ว่าเมื่อความยาวสายการผลิตมีระยะสั้นจะยังไม่สิ้นสุด 1 รอบของการตรวจสอบ จึงทำให้การหาค่าเฉลี่ยไม่ถูกต้อง ค่า AFI และค่า AOQ ที่ได้จึงอาจไม่ถูกต้อง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Balamurali, S. & Subramani, K. (2004). Modified CSP-C continuous sampling plan for consumer protection. *Journal of Applied Statistics*, 31(4), 481-494. <http://dx.doi.org/10.1080/02664760410001681765A>
- Dodge, H. F. (1943). A sampling inspection plan for continuous production. *The Annals of Mathematical Statistics*, 14(3), 264-279.
- Govindaraju, K. & Kandasamy, C. (2000). Design of generalized CSP-C continuous sampling plan. *Journal of Applied Statistics*, 27(7), 829-841. <http://dx.doi.org/10.1080/02664760050120524>

- Karithap, M. (2009). *A Study of the effect of limiting the length of a production line on performance measures of multi-level continuous sampling plans* (Master thesis) Department of Applied Statistics, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok (in Thai).
- Mayureesawan, T. (2014). A study of the effect of length of production line on performance measures for single-level continuous sampling plans. *Journal of KMUTNB*, 24(1), 158-167. (in Thai)
- Mitra, A. (1993). *Fundamentals of Quality Control and Improvement* (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control* (6th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Schilling, E. G. & Neubauer, D. V. (2009). *Acceptance Sampling in Quality Control* (2nd ed.). New York: CRC Press.