บทที่ 2

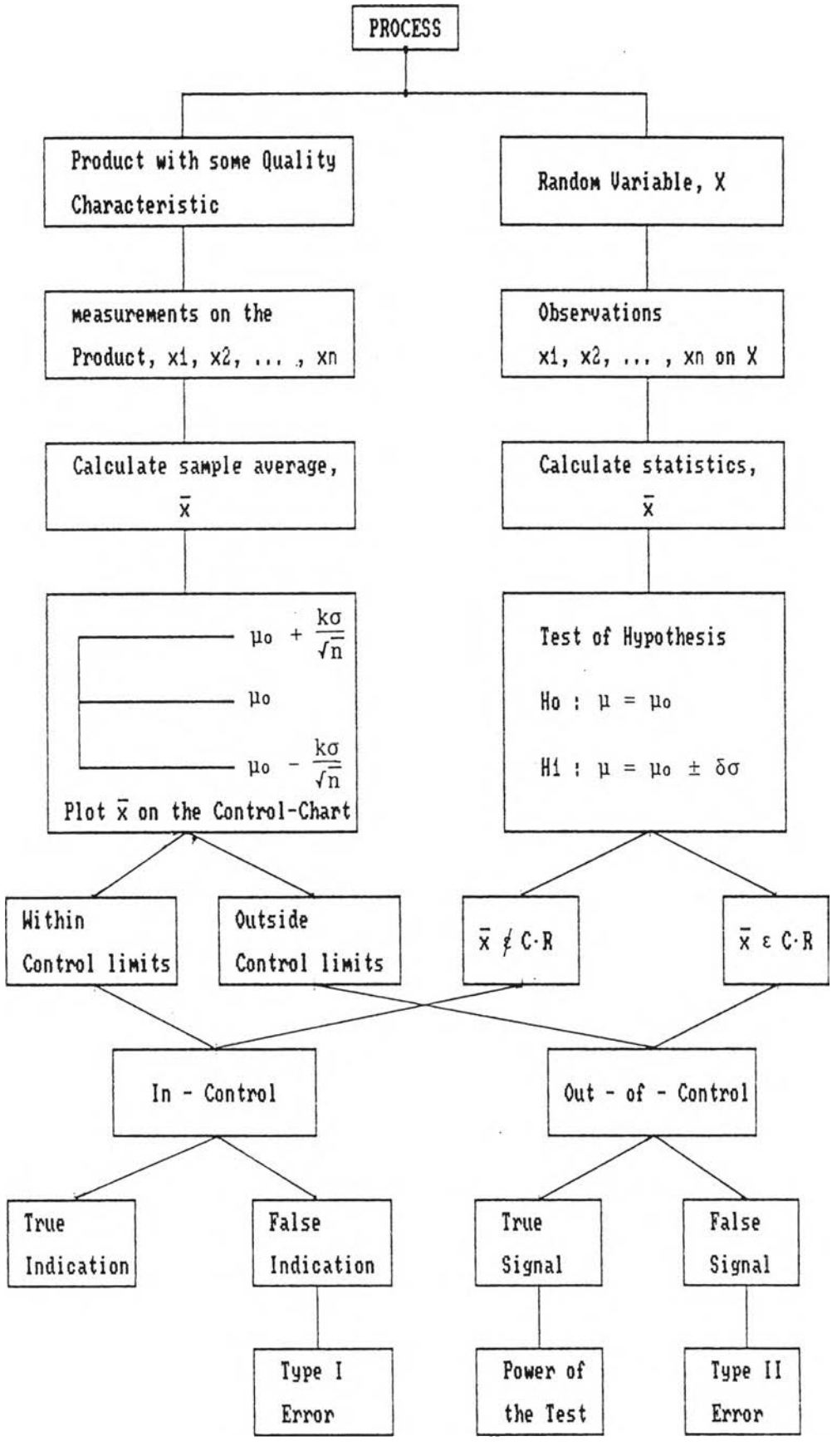
รูปแบบของแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย

2.1 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และการทดสอบสมมติฐาน

วิธีการดำเนินการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการใช้แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยจะประกอบด้วย การสุ่มตัวอย่างขนาด n ในช่วงเวลา h ชั่วโมง และจัดทำการวัดค่าคุณลักษณะเฉพาะที่สนใจของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ค่าคุณลักษณะที่สนใจนี้จะถูกนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ย แล้วนำไปพล็อตลงบนแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ถ้าค่าเฉลี่ยที่พล็อตเหล่านี้ตกอยู่ภายในขอบเขตควบคุม $(\mu_0 \pm k\sigma/\sqrt{n})$ แล้วจะยอมรับว่าผลิตภัณฑ์ที่ควบคุมคุณภาพจะอยู่ในสภาวะควบคุม (In Control State) แต่ถ้าปรากฏว่าค่าเฉลี่ยที่นำมาพล็อตตกอยู่นอกขอบเขตควบคุม ผลิตภัณฑ์ที่ควบคุมคุณภาพนั้นไม่ได้คุณภาพตามที่กำหนดหรือไม่อยู่ในสภาวะควบคุม (Out of Control State) ในขณะที่การผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม ขบวนการการผลิตจะดำเนินการผลิตต่อไปและ เมื่อการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม แสดงว่าการผลิตมีปัญหา หรือเกิดการบกพร่องในการผลิตเกิดขึ้นจึงต้องมีการค้นหาสาเหตุของการเกิดการบกพร่อง เพื่อหาแนวทางดำเนินการแก้ไขให้ขบวนการการผลิตกลับสู่สภาวะควบคุม ในการค้นหาสาเหตุการบกพร่องของการผลิต ขบวนการการผลิตอาจหยุดดำเนินการผลิตชั่วคราวหรืออาจจะดำเนินการผลิตต่อไปในระหว่างที่ค้นหาสาเหตุการบกพร่องของการผลิตก็ได้

ในทางสถิติค่าลักษณะของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่สนใจจะมีค่าเป็นตัวแปรสุ่ม X โดยอาจมีการแจกแจงแบบต่อเนื่อง หรือไม่ต่อเนื่อง และอาจมีพารามิเตอร์เพียงตัวเดียว หรือ มากกว่า สำหรับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยจะมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น μ และความแปรปรวนเป็น σ^2 ค่าลักษณะผลิตภัณฑ์ของตัวอย่าง $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$ ซึ่งเป็นค่าสังเกตุของตัวแปรสุ่ม X การคำนวณค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง $\bar{x}$ จะถูกนำมาทำการทดสอบทางสถิติ และพล็อตค่าลงบนแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยซึ่งจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบสมมุติฐานที่ค่าเฉลี่ยของการแจกแจงมีค่าเท่ากับ μ_0 และขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยก็คือขอบเขตของช่วงวิกฤต

ในคุณภาพทางสถิติอาจจะมีค่าสังเกตุ $\bar{x}$ ที่ตกอยู่นอกขอบเขตควบคุม แม้ว่าขบวนการการผลิตยังคงอยู่ในสภาวะควบคุม หรือ ค่าสังเกตุ $\bar{x}$ ที่ตกอยู่ภายในขอบเขตควบคุมในขณะที่การผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม ดังนั้นจะมีความเสี่ยงทางสถิติเกิดขึ้นในการดำเนินการควบคุมคุณภาพ



รูปที่ 2.1-1 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย และ การทดสอบสมมุติฐาน

ของแผนภูมิควบคุมซึ่งได้แก่ ความเสี่ยงที่แสดงว่าขบวนการการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุมทั้งที่ความจริงขบวนการการผลิตยังคงอยู่ในสภาวะควบคุม และความเสี่ยงที่แสดงว่าขบวนการการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุมทั้งที่ความจริงขบวนการการผลิตไม่ได้อยู่ในสภาวะควบคุม หรือ เกิดความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1 และความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 2 ของการทดสอบสมมุติฐาน แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและการทดสอบสมมุติฐานแสดงในรูปที่ 2.1-1

2.2 ข้อสมมุติของขบวนการการผลิตในการกำหนดรูปแบบของแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุม

ลักษณะของรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการกำหนดค่าของแผนแบบของแผนภูมิควบคุม จะขึ้นอยู่กับพื้นฐานของพฤติกรรมของขบวนการการผลิตที่สนองต่อกิจกรรมในทางเศรษฐศาสตร์ ข้อสมมุติที่เกี่ยวกับขบวนการการผลิตต่อไปนี้ เป็นข้อสมมุติที่แสดงถึงพฤติกรรมของขบวนการการผลิตที่ใช้เป็นหลักในการพิจารณาในการกำหนดรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยของงานวิจัย โดยสามารถพิจารณาได้เป็น

ขบวนการการผลิตจะถูกสมมุติว่ามีลักษณะเป็นสภาวะการควบคุมเดี่ยว (Single in Control State) กล่าวคือ ถ้าในขบวนการการควบคุมคุณภาพของระบบการผลิตมีการวัดค่าลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพียงหนึ่งลักษณะแล้ว สภาวะของการผลิตที่อยู่ในสภาวะควบคุมจะสนองต่อค่าเฉลี่ยของค่าลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพนั้น เมื่อไม่มีการเกิดเหตุบกพร่องในการผลิตเกิดขึ้น โดยทั่วไปขบวนการการผลิตจะต้องมีการเกิดสภาวะของการผลิตที่ไม่อยู่ในสภาวะควบคุมเกิดขึ้นอย่างน้อยหนึ่งครั้ง และการเกิดของสภาวะการผลิตที่ไม่อยู่ในสภาวะควบคุมจะขึ้นอยู่กับชนิดของการเกิดสาเหตุการบกพร่องในการผลิตที่เกิดขึ้น

ลักษณะของการเปลี่ยนไประหว่างสภาวะการผลิตที่อยู่ในการควบคุมไปสู่สภาวะการผลิตที่ไม่อยู่ในการควบคุมนั้นจะสมมุติว่าการเกิดเหตุบกพร่องในการผลิตจะเกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาที่มีลักษณะเป็นไปตามขบวนการพัวซอง (Poisson Process) โดยที่การเกิดการบกพร่องในการผลิตจะมีจำนวนเป็น λ ครั้งต่อหนึ่งหน่วยเวลา นั่นก็คือ ถ้าขบวนการการผลิตเริ่มต้นอยู่ในสภาวะควบคุมแล้ว ช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตจะยังคงอยู่ในสภาวะควบคุมจะเป็นไปตามตัวแปรสุ่มแบบเอกโปเนนเชียลที่มีค่าความหนาแน่นน่าจะเป็นเท่ากับ $1/\lambda$ หน่วยเวลา ในข้อสมมุติส่วนนี้เป็น

ไปตามการพิจารณาในรูปแบบง่าย ๆ ในการพัฒนารูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ และยังเป็นเหตุผลที่เหมาะสมของโครงสร้างในรูปแบบ Morkov Chain ซึ่งลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงของขบวนการการผลิตเช่นนี้บางครั้งจะเรียกว่า Process Failure Machanism

ในการศึกษาของระบบการผลิตปกติมักจะสมมุติว่า ขบวนการการผลิตจะไม่สามารถรู้ถึงความถูกต้องได้โดยตัวเอง ซึ่งหมายถึงเมื่อสภาวะการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงไปสู่สภาวะที่ไม่อยู่ในการควบคุมแล้ว ขบวนการการผลิตจะสามารถกลับมาสู่สภาวะควบคุมตามเงื่อนไขได้แค่เพียงการแทรกเข้าไปจัดการให้เกิดความเหมาะสมตามลักษณะของการเกิดการเตือนที่เกิดขึ้นบนแผนภูมิควบคุมเท่านั้น

2.3 ค่าใช้จ่ายที่ใช้พิจารณาในแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุม

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในขบวนการการผลิตที่ใช้ในการพิจารณาแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุม สามารถแยกพิจารณาได้ออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือ

ก. ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการสุ่มและการทดสอบ

ข. ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการสืบสาวถึงสาเหตุของการเกิดการเตือนที่เกิดขึ้นบนแผนภูมิควบคุม ตลอดจนค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการปรับหรือซ่อมบำรุงขบวนการการผลิตให้กลับคืนสู่สภาวะควบคุมทางสถิติ

ค. ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ

ในการวิเคราะห์ถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสุ่ม และการทดสอบตัวอย่าง นักวิเคราะห์เช่น Duncan (1956) Barish และ Hauser (1963, 1969) Knappenberger และ Grandage (1969) Gibbra (1971, 1978) Montgomery, Herkes และ Mance (1975) Chiu และ Cheung (1977) Jones และ Case (1981) Rahim (1985) Lorenzen และ Vance (1986) Pignatiello และ Tsai (1988) Tagaras (1989) ได้แบ่งค่าใช้จ่ายประเภทนี้ออกเป็นค่าใช้จ่ายแบบคงที่ (fixed Cost) และค่าใช้จ่ายแบบแปรผัน (Variable Cost) โดยถ้ากำหนดให้ b เป็นค่าใช้จ่ายแบบคงที่ของการสุ่มและการทดสอบตัวอย่างทั้งหมดซึ่งจะเป็นอิสระกับขนาดตัวอย่าง และกำหนดให้ c เป็นค่าใช้จ่ายแบบแปรผันของการสุ่มและการทดสอบต่อหน่วย (Unit) ของการวัดค่าในหนึ่งรายการ (Item) ของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของตัวอย่าง ดังนั้นค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดจากการสุ่มและการ

ทดสอบตัวอย่างขนาด n จะมีค่าเท่ากับ b + cn ซึ่งมีลักษณะเป็นฟังก์ชั่นเส้นตรงอย่างง่าย การที่นักวิเคราะห์ ได้กำหนดให้ค่าใช้จ่ายจากการสุ่มและการทดสอบให้เป็นฟังก์ชั่นเส้นตรงอย่างง่ายนี้เป็นเพราะว่า ในการพิจารณาถึงข้อสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวกับค่าใช้จ่ายนั้นมักจะมีข้อจำกัดและทำได้ยาก ดังนั้นการใช้ฟังก์ชั่นที่ยุ่งยากอาจไม่เป็นความเหมาะสมต่อค่าใช้จ่ายที่แท้จริง[1]

ค่าใช้จ่ายในการสืบสาว และความเป็นไปได้ในการพิจารณาความถูกต้องของขบวนการการผลิตที่เป็นไปตามการเกิดการเตือนนั้น มีการพิจารณาที่แตกต่างกันออกไป Knappenberger และ Grandage (1969) พิจารณาให้ค่าใช้จ่ายในการสืบสาวถึงการเกิดการเตือนที่ผิด (False alarm) มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการสืบสาวถึงการเกิดการเตือนเมื่อการเกิดการบกพร่องในการเกิดขึ้นจริง (True alarm) ในขณะที่ Chiu (1974) Gordon และ Weinding (1975) Jones และ Case (1981) Saniga และ Montgomery (1981) Lorenzen และ Vance (1986) ได้เสนอให้ค่าใช้จ่ายของการสืบสาวถึงการเกิดการเตือนที่ผิดมีค่าแตกต่างไปจากค่าใช้จ่ายของการสืบสาวถึงการเกิดการเตือนเมื่อเกิดการบกพร่องในการผลิตเกิดขึ้นจริง ดังนั้นจึงมี 2 รูปแบบที่นำเสนอ ซึ่งจะมีผลทำให้สัมปประสิทธิ์ของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการพิจารณามีค่าแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายของการซ่อมบำรุงหรือค่าใช้จ่ายในการกระทำให้ขบวนการการผลิตเป็นไปอย่างถูกต้องนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะ หรือ สาเหตุของการเกิดการบกพร่องในการผลิตด้วย Knappenberger และ Grandage (1969) Duncan (1971) ได้ศึกษารูปแบบที่มีการเกิดสภาวะการผลิตที่ไม่อยู่ในสภาวะควบคุมหรือเกิดการบกพร่องในการผลิต s ครั้ง และใช้จำนวนสัมประสิทธิ์ของค่าใช้จ่ายเป็น s + 1 ตัว เพื่อการค้นหาสาเหตุการบกพร่องในการผลิตและการปรับหรือซ่อมบำรุงขบวนการการผลิตตามการเกิดการเตือนที่เกิดขึ้น โดยปกติสัมประสิทธิ์ของค่าใช้จ่ายในกรณีนี้จะถูกเลือกตามขนาดของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขบวนการการผลิต ซึ่งจะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ตามมาในการซ่อมบำรุงหรือการปรับขบวนการการผลิตมีค่าไม่เท่ากับ จากการศึกษาถึงการวิเคราะห์ความไวในการใช้รูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุม ของ Chiu (1973) ในการพิจารณารูปแบบของกรณีหลายสาเหตุการบกพร่องในการผลิต (Multiple Assignable Cause) จะสามารถใช้ในการประมาณได้เป็นอย่างดี แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความ

---

[1] Montgomery, D.C. "The Economic Design of Control Charts : A Review and Literature Survey." Journal Quality Technology. Vol.12, No.2, April (1980), pp.76

เหมาะสมในการเลือกรูปแบบของการเกิดการบกพร่องเดี่ยวด้วย ดังนั้นในทางปฏิบัติแล้ว รูปแบบของการเกิดการบกพร่องเดี่ยวซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประมาณค่าน้อยกว่า และง่ายต่อการนำไปใช้ได้ดีกว่ารูปแบบหลายสาเหตุการบกพร่องในการผลิต นอกจากนี้สัมประสิทธิ์ของค่าใช้จ่ายที่พิจารณาในรูปแบบหลายสาเหตุการบกพร่องในการผลิตยังเป็นการยากต่อการกำหนด เพื่อให้เกิดความกระชับ ดังนั้นการยอมสูญเสียความเที่ยงตรง (Accuracy) เพียงเล็กน้อย โดยการใช้สัมประสิทธิ์ค่าใช้จ่ายเพียงตัวเดียว (Single Cost Coefficient)[2] โดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายในการสืบสาวถึงสาเหตุของการบกพร่องในการผลิต และความเป็นไปได้ของความถูกต้องของขบวนการการผลิตที่เป็นไปตามการเกิดการเตือนที่เกิดขึ้นบนแผนภูมิควบคุม

ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพซึ่งเป็นส่วนประกอบของค่าใช้จ่ายของการล้มเหลวในระบบการผลิต (Failure Cost) โดยได้แก่ค่าใช้จ่ายที่ต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพไปทำการแก้ไขใหม่ หรือ ทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพนั้น (Cost of Rework or Scrap) ค่าใช้จ่ายประเภทนี้จะถือว่าเป็นความล้มเหลวภายในระบบการผลิต[3] ส่วนความล้มเหลวนอกระบบการผลิตจะเกิดจากค่าใช้จ่ายที่บริษัท หรือ โรงงานผู้ผลิตต้องชดใช้ในรูปของเงินทดแทน หรือการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ใหม่ให้แก่ผู้บริโภคที่เกิดจากการดึกลับของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ นอกจากนี้ยังอาจส่งผลถึงความไม่พอใจของผู้บริโภคที่ได้รับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพตามที่บริษัท หรือ โรงงานผู้ผลิตได้กำหนดไว้ และจะเป็นสาเหตุให้มีการยกเลิกแผนการซื้อผลิตภัณฑ์นั้น หรือ ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ผลิตโดยบริษัทหรือโรงงานผู้ผลิต และในที่สุดจะทำให้เกิดการสูญเสียความมั่นใจในผลิตภัณฑ์ของบริษัทหรือ โรงงานดังกล่าว นักวิเคราะห์ใช้รูปแบบของค่าใช้จ่ายประเภทนี้เพียงตัวเดียว โดยการใช้สัมประสิทธิ์ของค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยที่อยู่ในรูปต่อหน่วยเวลาหรือต่อหน่วยรายการเป็นพื้นฐาน

โดยทั่วไปในทางเศรษฐศาสตร์ มักพิจารณาใช้รูปแบบในรูปของฟังก์ชั่นค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อหน่วยเวลาที่แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุม และค่าใช้จ่ายทั้ง 3 ประเภทที่กล่าวข้างต้น การผลิต การตรวจสอบ และ การปรับขบวนการการผลิต จะ

---

[2] Montgomery, D.C. "The Economic Design of Control Charts : A Review and Literature Survey." Journal Quality Technology. Vol.12, No.2, April (1980), pp.76

[3] Montgomery, D.C. Introduction to Statistical Quality Control. John Willy & Sons, New York, USA. (1985), pp. 309

016989

พิจารณาในรูปของอนุกรมที่กำหนดเป็นวงจรการผลิต โดยที่แต่ละวงจรการผลิตจะเริ่มต้นที่ขบวนการการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม เมื่อพบว่ามีบางจุดในระหว่างวงจรการผลิตแสดงถึงการเกิดการบกพร่องการผลิตเกิดขึ้นเป็นผลให้สภาวะการผลิตจะไม่อยู่ในการควบคุม การเตือนบนแผนภูมิควบคุมจะเกิดขึ้น ซึ่งเป็นการนำไปสู่การค้นหาสาเหตุของการเกิดการบกพร่องนั้น ๆ และถ้าการแก้ไขปรับขบวนการการผลิตให้กลับไปสู่สภาวะควบคุมแล้ว วงจรการผลิตก็จะเริ่มต้นใหม่

ถ้ากำหนดให้ E(T) คือ ค่าคาดหวังของช่วงความยาวของวงจรการผลิต และ กำหนดให้ E(C) คือ ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในหนึ่งวงจรการผลิต ดังนั้นค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อหน่วยเวลาจะเท่ากับ

$$E(A) = \frac{E(C)}{E(T)}^{*} \qquad (1)$$

วิธีการที่เหมาะสมโดยการประยุกต์สมการที่ (1) เพื่อกำหนดแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุม

---

* **ข้อสังเกต** ตัวแปรสุ่ม C และ T เป็นตัวแปรสุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน นอกจากนี้ค่าคาดหวังของอัตราส่วนของตัวแปรสุ่ม C และ T จะถูกกำหนดโดยอัตราส่วนของค่าคาดหวังทั้งสอง [E(C)/E(T)] เป็นที่รู้กันดีอยู่แล้วว่า ค่าคาดหวังของอัตราส่วนไม่เท่ากับอัตราส่วนของค่าคาดหวัง (แม้แต่ตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระ) แต่มีข้ออธิบายของสมการที่ (1) ข้างต้น สามารถเป็นไปได้กล่าวคือ อนุกรมของการผลิต การตรวจสอบ และการปรับขบวนการการผลิต ตลอดจนค่าใช้จ่ายสามารถแสดงได้โดยลักษณะพิเศษของ Stochastic Process ที่เรียกว่า Renewal Reward Process ของ Ross (1970: 51-54) ลักษณะของ Stochastic Process ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติพิเศษที่ทำให้ ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายต่อชั่วโมงสามารถกำหนดได้โดยอัตราส่วนของค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายต่อหนึ่งวงจรกับค่าคาดหวังของเวลาของวงจรที่มี หน่วยเป็นชั่วโมง แสดงใน ภาคผนวก ก.

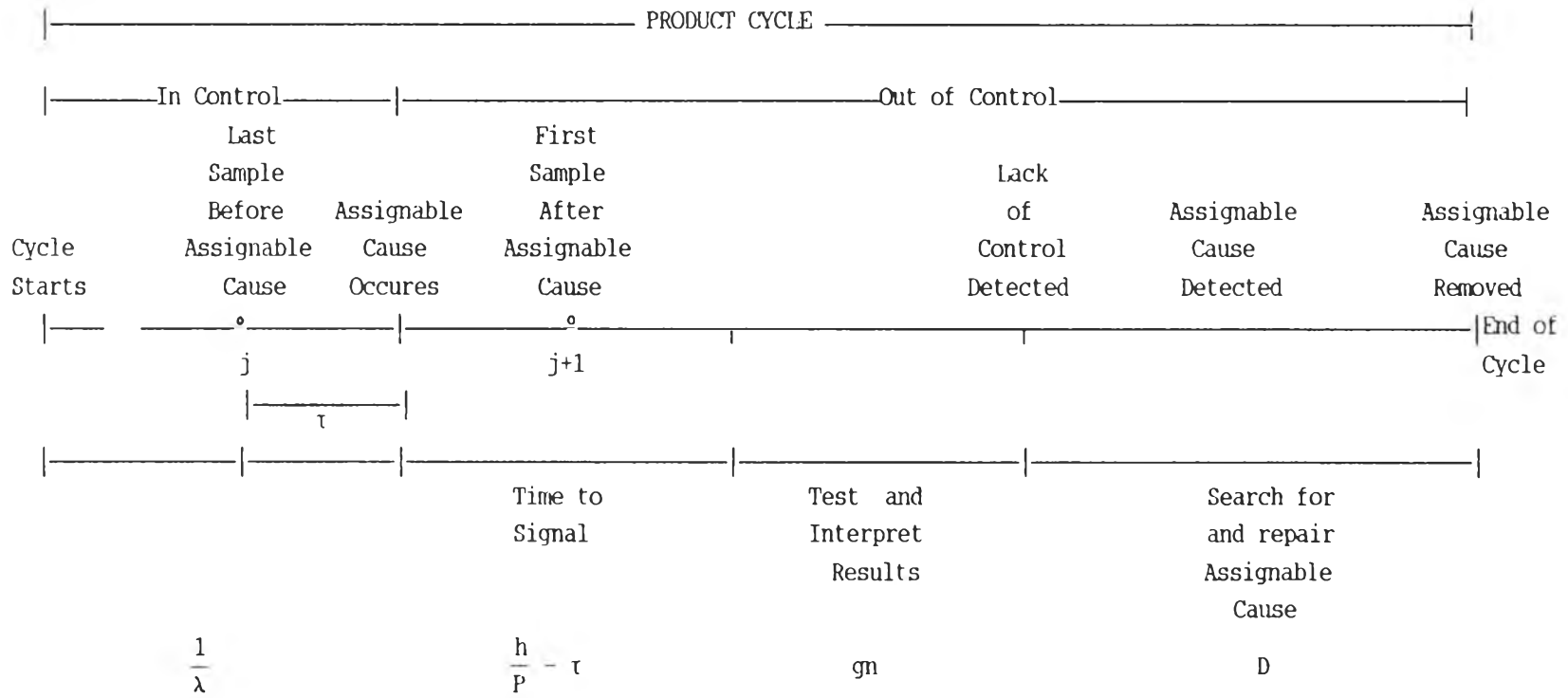
2.4 รูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยในการผลิตแบบ Duncan Process

Duncan (1956) ได้เสนอรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ในการกำหนด ขนาดตัวอย่าง ความกว้างของขอบเขตควบคุม และช่วงเวลาในการสุ่มของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย การเสนอของ Duncan ถือเป็นงานชิ้นแรกที่เป็นรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์อย่างแท้จริงของแผนภูมิควบคุมแบบ Shewhart** และเป็นวิธีการที่เหมาะสมต่อการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุม Duncan ได้เสนอเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณากำหนดค่าแผนแบบของแผนภูมิควบคุม โดยการพิจารณาหาค่าสูงสุดของรายได้สุทธิต่อหน่วยเวลา โดยมีข้อสมมุติว่า ขบวนการการผลิตจะมีค่าเฉพาะของสภาวะการผลิตที่อยู่ในการควบคุม มีค่าเป็น μ_0 และ การเกิดการบกพร่องในการผลิตเป็นแบบเดี่ยวมีขนาดเป็น δ โดยการเกิดการบกพร่องในการผลิตจะเป็นไปอย่างสุ่ม ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของขบวนการเปลี่ยนไปจาก μ_0 เป็น $\mu_0 - \delta\sigma$ หรือ $\mu_0 + \delta\sigma$ ในขณะที่ขบวนการ การควบคุมการผลิตจะทำการตรวจสอบการบกพร่องในการผลิต โดยใช้แผนภูมิควบคุมแบบค่าเฉลี่ยที่มีเส้นกลาง (Central line) อยู่ที่ μ_0 และขอบเขตการควบคุมบนและล่างอยู่ที่ $\mu_0 + k(\sigma/\sqrt{n})$ และ $\mu_0 - k(\sigma/\sqrt{n})$ ตามลำดับ ตัวอย่างจะถูกสุ่มมา ณ. ช่วงเวลา h ชั่วโมง เมื่อพบว่ามีจุด ๆ หนึ่งตกออกนอกขอบเขตการควบคุม การค้นหาถึงสาเหตุการบกพร่องในขบวนการการผลิตจะเริ่มต้น โดยมีข้อสมมุติว่าในขณะทำการค้นหาสาเหตุการบกพร่องในการผลิตขบวนการการผลิตจะคงดำเนินการผลิตต่อไป และค่าใช้จ่ายของการปรับหรือซ่อมบำรุงขบวนการการผลิต (ถ้าจำเป็น) จะไม่ถูกนำมาพิจารณาร่วมในรายได้สุทธิของรูปแบบ*** ค่าพารามิเตอร์ μ_0

** Girshick และ Rubin (1952) ได้เสนอวิธีการพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายเพื่อการกำหนดค่าของแผนแบบแผนภูมิควบคุม แต่รูปแบบที่นำเสนอยุ่งยากและมีข้อจำกัดมากเกินไป

*** ค่าใช้จ่ายในการปรับหรือซ่อมบำรุงขบวนการการผลิต Duncan ไม่นำพิจารณาร่วมในรายได้สุทธิ แต่ในการศึกษาช่วงหลัง Chiu (1975) Gibra (1971, 1973) Saniga (1977) Saniga และ Montgomery (1981) Sculli และ Woo (1982) Lorenzen และ Vance (1986) Mcwilliams (1989) พิจารณาให้ค่าใช้จ่ายในการปรับหรือกำจัดสาเหตุการบกพร่องในขบวนการการผลิต รวมอยู่กับค่าใช้จ่ายในการค้นพบสาเหตุการบกพร่องในขบวนการการผลิต

รูปที่ 2.4-1 วงจรการผลิต ในการผลิตแบบ Duncan Process



$$E(T) = \frac{1}{\lambda} + \left[\frac{h}{P} - \tau \right] + gn + D$$

$$= \frac{1}{\lambda} + h \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12} \right) + gn + D$$

σ และ δ จะสมมุติว่ารู้ค่าในขณะที่กำหนดหาค่าพารามิเตอร์แผนแบบ n, k และ h ของแผนภูมิควบคุม

การเกิดการบกพร่องในขบวนการการผลิตจะสมมุติว่า เป็นไปตามขบานการพัวซองที่มีความหนาแน่นน่าจะเป็น λ เหตุการณ์ต่อชั่วโมง ดังนั้นถ้าสมมุติให้การเกิดการบกพร่องในการผลิตเกิดขึ้นระหว่างตัวอย่างที่ j และตัวอย่างที่ j + 1 ค่าคาดหวังของเวลาของการเกิดการบกพร่องในการผลิตที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาระหว่างตัวอย่างที่ j และตัวอย่างที่ j + 1 จะมีค่าเท่ากับ

$$\tau = \frac{\int_{jh}^{(j+1)h} e^{-\lambda t} \lambda (t - jh) \, dt}{\int_{jh}^{(j+1)h} e^{-\lambda t} \lambda \, dt}$$

$$\tau = \frac{1 - (1 + \lambda h) e^{-\lambda h}}{\lambda (1 - e^{-\lambda h})}$$

Duncan ได้ทำการศึกษาค่าของ τ จากค่าตัวเลขต่าง ๆ เมื่อแผนภูมิแบบค่าเฉลี่ยได้ถูกออกแบบเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของขบวนการการผลิตในระดับ 2δ หรือระดับที่มากกว่า พบว่าค่า h ที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 ในรูปแบบของฟังก์ชั่นรายได้สุทธิโดยเฉลี่ย เวลาเฉลี่ยของการเกิดการบกพร่องในการผลิตภายในช่วงของขนาด h ดังกล่าวสามารถคำนวณค่า τ ได้โดย $\tau = (h/2) - (\lambda h^2/12)$

วงจรการผลิตถูกกำหนดในระยะเวลาเริ่มต้นของการผลิต (ขบวนการการผลิตจะสมมุติว่าเริ่มต้นอยู่ในสภาวะควบคุมเสมอ) ตลอดจนเมื่อมีการปรับขบวนการการผลิตเพื่อป้องกัน และกำจัดสาเหตุของการบกพร่องในการผลิต โดยวงจรการผลิตจะประกอบไปด้วย 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม และช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม โดยที่พิจารณาจากรูปที่ 2.4-1 ได้ดังนี้ คือ

1) ช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม จากข้อสมมุติที่ว่าการเกิดการบกพร่องในขบวนการการผลิตเป็นไปตามขบานการพัวซอง ดังนั้น ค่าคาดหวังของเวลาที่ขบานการการผลิตยังคงอยู่ในสภาวะควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $1/\lambda$

2) ช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม มีค่าคาดหวังของช่วงเวลาเป็น

$$h(\frac{1}{P}) - \tau + gn + D = h(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12}) + gn + D$$

โดยสามารถแยกพิจารณาได้เป็น

2.1) ช่วงเวลาจนกระทั่งการเกิดการเตือนถูกตรวจพบ เมื่อเกิดการบกพร่องในการผลิตเกิดขึ้น กำหนดให้ P คือความน่าจะเป็นที่การเกิดการบกพร่องในการผลิตจะถูกตรวจพบ และ Q คือความน่าจะเป็นที่การเกิดการบกพร่องในการผลิตถูกตรวจไม่พบ ซึ่งจะได้ค่า P ก็คือความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างหนึ่ง ๆ จะตกนอกขอบเขตควบคุม และ Q ก็คือความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างหนึ่ง ๆ ตกอยู่ภายในขอบเขตควบคุม เมื่อค่าเฉลี่ยของขบวนการการผลิตเปลี่ยนไป ดังนั้นเมื่อค่าเฉลี่ยของขบวนการการผลิตเปลี่ยนไปจาก μ_0 เป็น $\mu_0 \pm \delta\sigma$ แล้ว

$$P = \int_{-\infty}^{-k - \delta\sqrt{n}} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dz + \int_{k - \delta\sqrt{n}}^{\infty} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dz$$

$$P = \Phi(\delta\sqrt{n} - k) + \Phi(-\delta\sqrt{n} - k)$$

ซึ่งค่า P ก็คืออำนาจของแผนภูมิควบคุม (Power of Control Chart) นั่นเอง และถ้าเมื่อขบวนการการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม ค่าความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างหนึ่ง ๆ จะตกอยู่นอบขอบเขตควบคุมจะมีค่าเท่ากับ

$$\alpha = 2 \int_{-k}^{\infty} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dz = 2\,\Phi(-k)$$

ซึ่ง α คือความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1 หลังการเกิดการบกพร่องในการผลิตค่าความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างตกออกนอกขอบเขตควบคุมถูกตรวจพบ ณ.ตัวอย่างที่ j จะมีการแจกแจงแบบเรขาคณิตซึ่งมีค่าเท่ากับ $Q^{-1}P$ ดังนั้นจำนวนตัวอย่างโดยเฉลี่ยที่สุ่มขึ้นมาหลังการเปลี่ยนแปลงในขบวนการการผลิตจะถูกตรวจพบจะมีค่าเป็น $1/P$ ถ้า h คือช่วงเวลาระหว่างตัวอย่างที่มีหน่วยเป็นชั่วโมง และจากข้อสมมุติเบื้องต้นที่เกี่ยวกับค่าคาดหวังของเวลาการเกิดการบกพร่องในการผลิต ภายในตัวอย่างที่ j และตัวอย่างที่ j + 1 เท่ากับ τ เป็นจริงแล้ว ค่าคาดหวังของช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตจะไม่อยู่ในสภาวะควบคุมก่อนที่การเกิดการเตือนถูกตรวจพบเท่ากับ $h(1/p) - \tau$ จากการศึกษาของ Duncan เกี่ยวกับค่า τ ดังนั้นจะได้

$$h(\frac{1}{P}) - \tau = h(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12})$$

2.2) ช่วงเวลาในการสุ่มและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม ถ้ากำหนดให้ g คือ เวลาที่ใช้ในการสุ่มและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุมหนึ่งรายการ โดยปกติค่าของ g จะเท่ากับศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามค่า g สามารถมีค่าได้มากกว่าศูนย์ ในกรณีที่การสุ่มตัวอย่างจะต้องเสียเวลาในการทดสอบค่าที่จะนำมาแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม ดังนั้นสำหรับขนาดตัวอย่าง n ช่วงเวลาในการสุ่มและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุมหรือบางครั้งอาจเรียกว่า ความล่าช้าในการแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม จะมีค่าเท่ากับ gn

2.3) ช่วงเวลาในการค้นพบสาเหตุการบกพร่องในการผลิตหลังจากพบว่ามีจุด ๆ หนึ่งตกอยู่นอกขอบเขตควบคุมมีค่าคงที่เท่ากับ D

ดังนั้นค่าคาดหวังของระยะเวลาหนึ่งวงจรเท่ากับ

E(T) = E(ช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม) + E(ช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม)

= E(ช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม) + E(ช่วงเวลาจนกระทั่งการเกิดการเตือนถูกตรวจพบ)
+ E(ช่วงเวลาในการสุ่มและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม)
+ E(ช่วงเวลาในการค้นพบสาเหตุการบกพร่องในการผลิต

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} + h(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12}) + gn + D \qquad \text{-----} \quad (2)$$

<u>รายได้และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งวงจรการผลิต</u>

กำหนดให้ V_0 คือ รายได้สุทธิต่อชั่วโมงของการดำเนินการการผลิตที่เกิดขึ้น เมื่อการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม และให้ V_1 คือรายได้สุทธิของการดำเนินการผลิตเมื่อการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม การพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากหัวข้อ 2.3 และแผนผังแสดงรายได้และค่าใช้จ่ายของการผลิตหนึ่งวงจรในรูปที่ 2.4-2 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในวงจรการผลิตแยกพิจารณาได้ดังนี้คือ

ก) ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสุ่มและการทดสอบของตัวอย่างขนาด n ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $b + cn$ และค่าคาดหวังของจำนวนตัวอย่างที่สุ่มขึ้นมาในวงจรจะมีเท่ากับค่าคาดหวังของระยะเวลาของวงจรหารด้วย ช่วงเวลาระหว่างตัวอย่าง หรือเท่ากับ $E(T)/h$ ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสุ่มและการทดสอบตัวอย่างในวงจรการผลิตหนึ่ง ๆ จะมีค่าเป็น $(b + cn)E(T)/h$

ข) กำหนดให้ค่าใช้จ่ายของการค้นพบสาเหตุของการบกพร่องที่เกิดขึ้นในการผลิตมีค่าเป็น W

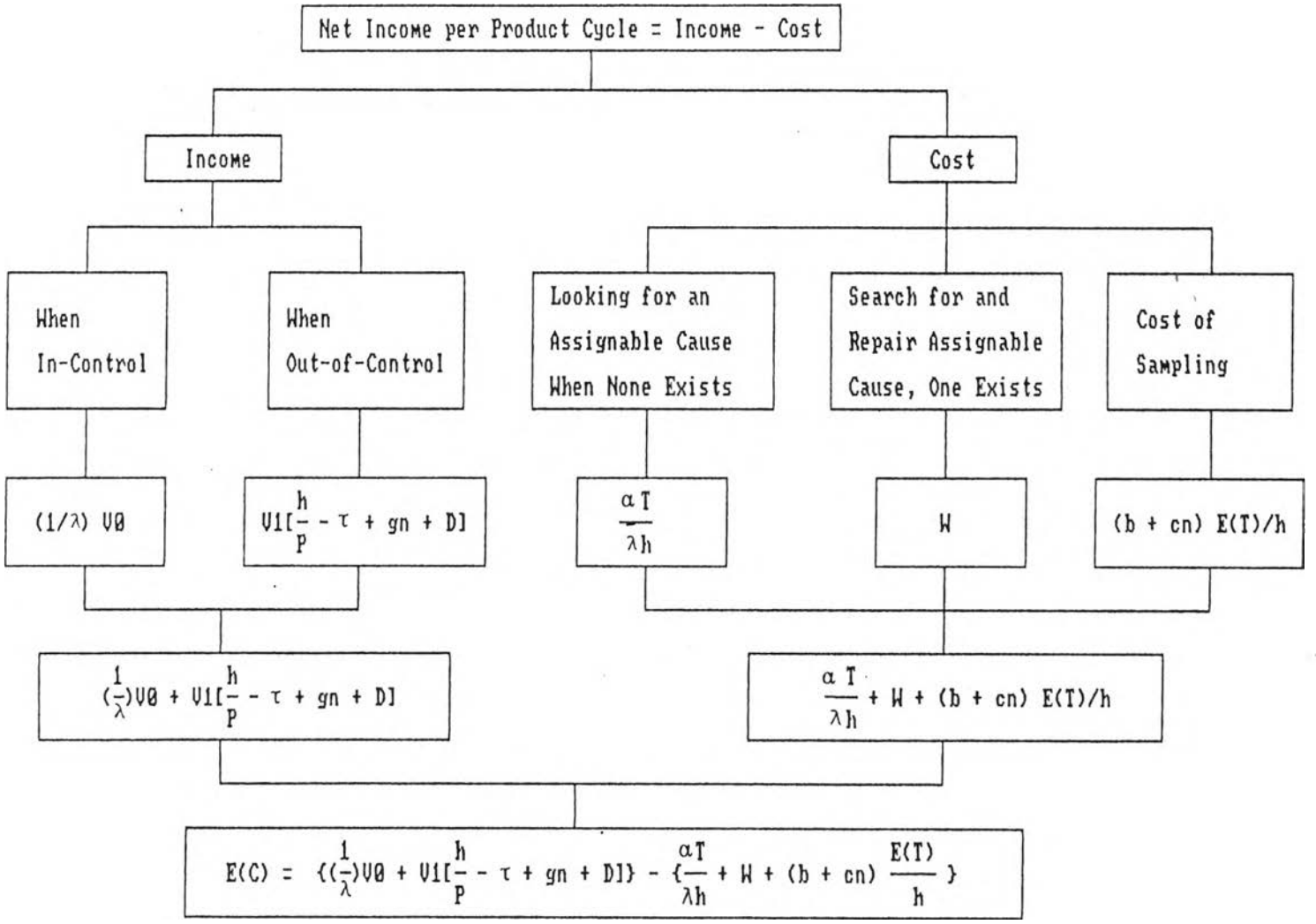
ค) กำหนดให้ค่าใช้จ่ายของการสืบสาวถึงการเตือนที่ผิดมีค่าเป็น T และ ถ้า h คือ ช่วงเวลาระหว่างการสุ่มตัวอย่างที่วัดค่าต่อหน่วยชั่วโมงแล้ว ค่าคาดหวังของจำนวนการเกิดการเตือนที่ผิดก่อนที่ขบวนการการผลิตจะออกนอกสภาวะควบคุมจะมีค่าเท่ากับ ความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1 ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ α คูณกับ ค่าคาดหวังของจำนวนตัวอย่างที่ถูกสุ่มขึ้นมาก่อนการเกิดการบกพร่องในขบวนการการผลิต ดังนั้นจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ทำให้เกิดการเตือนที่ผิดก่อนที่ขบวนการการผลิตจะไม่อยู่ในสภาวะควบคุมมีค่าเท่ากับ

$$\alpha \sum_{i=0}^{\infty} \int_{ih}^{(i+1)h} i\lambda e^{-\lambda t}\, dt = \alpha \sum_{i=0}^{\infty} i\left(e^{-i\lambda h} - e^{-(i+1)\lambda h}\right)$$

$$= \alpha\left(1 - e^{-\lambda h}\right) \sum_{i=0}^{\infty} i e^{-i\lambda h}$$

$$= \alpha\left(1 - e^{-\lambda h}\right) \frac{\partial}{\partial \lambda}\left[\frac{1}{h} \sum_{i=0}^{\infty} e^{-i\lambda h}\right]$$

$$= \frac{\alpha e^{-\lambda h}}{1 - e^{-\lambda h}}$$



รูปที่ 2.4-2 แผนผังแสดงรายได้และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งวงจรการผลิต ในการผลิตแบบ Duncan Process

Duncan ได้เสนอให้ละในเทอมของลำดับ $\lambda^2 h^2$ หรือลำดับที่มากกว่า จะทำให้ค่าของ $\alpha e^{-\lambda h}/(1 - e^{-\lambda h})$ เท่ากับ $\alpha/\lambda h$ ดังนั้น ค่าคาดหวังของรายได้สุทธิต่อวงจรการผลิตจะมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} E(C) &= V_0 \left(\frac{1}{\lambda}\right) \\ &\quad + V_1 \left[\frac{h}{P} - \tau + gn + D \right] \\ &\quad + W - \frac{\alpha T}{\lambda h} \\ &\quad + (b + cn) \frac{E(T)}{h} \\ &= V_0 \left(\frac{1}{\lambda}\right) + V_1 \left[h \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12}\right) + gn + D \right] \\ &\quad - W - \frac{\alpha T}{\lambda h} + (b + cn) \frac{E(T)}{h} \qquad \text{------(3)} \end{aligned}$$

การหาค่าคาดหวังของรายได้สุทธิต่อชั่วโมงสามารถหาได้โดย สมการที่ (3) ค่าคาดหวังรายได้สุทธิต่อวงจรการผลิตหารด้วยสมการที่ (2) ค่าคาดหวังของช่วงเวลาหนึ่งวงจรการผลิตตามสมการที่ (1) หรือ $E(A) = E(C)/E(T)$ ถ้ากำหนดต่อไปว่า $M = V_0 - V_1$ เพราะฉะนั้น M ก็คือรายได้ที่สูญเสียไป เมื่อขบวนการการผลิตเปลี่ยนไปจากสภาวะที่อยู่ในการควบคุมเป็นสภาวะที่ไม่อยู่ในการควบคุม ดังนั้นจะได้ฟังก์ชั่นของรายได้สุทธิต่อชั่วโมงเป็น

$$E(A) = \frac{E(C)}{E(T)} = V_0 - L$$

เมื่อ

$$L = \frac{\dfrac{(b + cn)}{h} + \left[M \left(\dfrac{h}{P} - \tau + gn + D\right) + W + \dfrac{\alpha T}{\lambda h} \right]}{\left[\dfrac{1}{\lambda} + \dfrac{h}{P} - \tau + gn + D \right]}$$

หรือ

$$L = \frac{\lambda MB + \alpha T/h + \lambda W}{1 + \lambda B} + \frac{(b + cn)}{h} \qquad \text{------ (4)}$$

เมื่อ

$$B = \left(\frac{h}{P} - \tau + gn + D\right) = \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12}\right)h + gn + D$$

ฟังก์ชั่น L ก็คือค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่สูญเสียต่อชั่วโมง (Lost Cost) ที่เกิดขึ้นจากขบวนการการผลิต โดย L จะเป็นฟังก์ชั่นของพารามิเตอร์ n, k และ h ของแผนภูมิควบคุม ในการประมาณค่าสูงสุดของรายได้สุทธิต่อชั่วโมง (E(A)) ก็คือ ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่สูญเสียต่อชั่วโมง (L) ที่มีค่าต่ำสุดนั่นเอง ในขณะที่ V_0 เป็นตัวแปรอิสระ เกณฑ์การหาแผนแบบที่เหมาะสมสามารถพิจารณา โดยการหาค่าต่ำสุดของค่าคาดหวังของรายได้ที่สูญเสียต่อชั่วโมง เทียบกับพารามิเตอร์ n, k และ h

2.5 รูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยในการผลิตแบบ Shutdown Process

การกำหนดรูปแบบลักษณะของการผลิตของ Duncan ในข้อสมมุติที่ว่าขบวนการการผลิตจะยังคงดำเนินการการผลิตต่อไปในระหว่างที่ค้นหาสาเหตุการบกพร่องที่เกิดขึ้นในการผลิต แต่ในหลาย ๆ ขบวนการการผลิตโดยเฉพาะในระบบการผลิตทางอุตสาหกรรม ข้อจำกัดดังกล่าวอาจไม่เป็นข้อจำกัดในบางระบบการผลิต ซึ่งจะมีผลให้การกำหนดรูปแบบของวงจรการผลิต ตลอดจนค่าใช้จ่ายมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมแบบค่าเฉลี่ยโดยมีรูปแบบการผลิตเป็น ขบวนการการผลิตจะหยุดดำเนินการการผลิตในระหว่างที่ค้นหาสาเหตุการบกพร่องที่เกิดขึ้นในขบวนการการผลิต การศึกษาจะเป็นการพิจารณาถึงความแตกต่างของรูปแบบการผลิตในสองรูปแบบ คือรูปแบบการผลิตแบบ Duncan Process ในกรณีที่ขบวนการการผลิตจะยังคงดำเนินการการผลิตต่อไปในระหว่างที่ค้นหาสาเหตุการบกพร่องในการผลิต และ Shutdown Process ในกรณีที่ขบวนการการผลิตจะหยุดดำเนินการการผลิตในระหว่างที่ค้นหาสาเหตุการบกร่องในการผลิตของระบบการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อความเหมาะสมในการนำมาใช้ในแผนภูมิควบคุมในขบวนการการผลิต

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมในการผลิตแบบ Shutdown Process

แบบแผนทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยกรณี Duncan Process ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.4 ในส่วนนี้ของงานวิจัยจะเป็นการศึกษาเพื่อพัฒนารูปแบบในการผลิตแบบ Shutdown Process

Montgormery (1980) ได้พิจารณาการผลิตในแบบ Shutdown Process โดยพิจารณาการเกิดการเตือนที่เป็นการเตือนที่ผิดซึ่งจะมีผลทำให้เกิดเวลาที่คาดหวังของการค้นหาถึงสาเหตุการเตือนที่ผิด และได้พิจารณาวงจรการผลิตออกเป็น 4 ช่วงเวลาคือ

1. ช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม จะมีค่าคาดหวังเป็น $1/\lambda$
2. ช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม จะมีค่าคาดหวังเป็น $h(1/p) - \tau$
3. ช่วงเวลาที่ค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิด โดยมีค่าคาดหวังเท่ากับเวลาที่คาดหวังในการพบสาเหตุการเตือนที่ผิด คูณด้วย จำนวนครั้งของการเกิดการเตือนที่ผิด โดยถ้ากำหนดให้ D_1 คือเวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิดแต่ละครั้ง ซึ่งจะได้ว่าค่าคาดหวังของเวลาในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิดจะมีค่าเป็น $D_1 \alpha e^{-\lambda h}/(1 - e^{-\lambda h}) = D_1 \alpha/\lambda h$
4. ช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุการบกพร่องในขบวนการการผลิต และถ้าการปรับหรือกำจัดสาเหตุการบกพร่องของขบวนการการผลิต มีค่าคงที่เท่ากับ D

ดังนั้นวงจรการผลิต กรณี Shutdown Process ของ Montgomery คือ

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} + h\left(\frac{1}{P}\right) - \tau + \frac{\alpha D_1}{\lambda h} + D$$

วงจรการผลิตของ Montgomery นี้ มีลักษณะเช่นเดียวกันกับวงจรการผลิตของ Chiu (1975) ในการศึกษาแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมคุณลักษณะ (Economic Design of Attribute Control Chart) การกำหนดวงจรการผลิตของ Montgomery และ Chiu มีลักษณะที่เหมือนกันก็คือ ไม่มีการพิจารณาถึงช่วงเวลาในการทดสอบ และ การแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม (gn) เข้ามาในวงจรการผลิต ในขณะที่ Gibra (1978) ในการศึกษาการกำหนดความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของพารามิเตอร์ของแผนควบคุมแบบ np ของกรณี Shutdown Process โดย Gibra ได้พิจารณาเวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิดมีค่าเท่ากับเวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่การเกิดการบกพร่องในการผลิตเกิดขึ้นจริง และได้พิจารณาเวลาที่คาดหวังในการทดสอบ และการแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม (gn) เข้ามาในวงจรการผลิต วงจรการผลิตของ Gibra มีค่าเป็น

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} + \frac{v}{P} - \tau + ng + \tau_1 + \frac{\alpha\tau_1\ (1/\lambda - \tau)}{v} + \tau_2$$

โดยที่ τ = ค่าคาดหวังของเวลาการเกิดการบกพร่องในการผลิต ระหว่างในตัวอย่างที่ j และตัวอย่างที่ j + 1

v = ช่วงเวลาในการสุ่ม

τ_1 = เวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิดหรือการเตือนที่เกิดการบกพร่องในการผลิตที่เกิดขึ้นจริง

τ_2 = เวลาในการปรับแก้ไขหรือกำจัดสาเหตุการเกิดการบกพร่องในการผลิต

ข้อสังเกต ค่าของ $\frac{\alpha(1/\lambda - \tau)}{v}$ จะมีค่าเท่ากับ $\frac{\alpha e^{-\lambda h}}{1 - e^{-\lambda h}} = \frac{\alpha}{\lambda h}$ จำนวนครั้งของการเกิดการเตือนที่ผิดของ Duncan

Lorenzen และ Vance (1986) ในการศึกษาแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมได้กำหนดวงจรการผลิตของกรณี Shutdown Process ออกเป็น 5 ช่วงเวลา คือ

1. ช่วงเวลาจนกระทั่งเกิดการบกพร่อง โดยช่วงเวลาจนกระทั่งเกิดการบกพร่องในการผลิตจะมีค่าเท่ากับ เวลาเฉลี่ยจนกระทั่งเกิดการบกพร่องในการผลิตรวมกับเวลาที่ใช้ในการค้นหาในกรณีที่การเกิดการเตือนที่ผิด ซึ่งจะมีค่าเป็น $1/\lambda + D_1\alpha e^{-\lambda h}/(1 - e^{-\lambda h})$ เท่ากับ $1/\lambda + D_1\alpha/\lambda h$
2. ช่วงเวลาจนกระทั่งตัวอย่างตัวต่อไปถูกสุ่มขึ้นมา จะมีค่าเป็น τ
3. ช่วงเวลาในการทดสอบและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม จะมีค่าเป็น gn
4. ช่วงเวลาจนกระทั่งแผนภูมิควบคุมได้แสดงถึงการเตือบที่แท้จริงถึงการออกนอกขอบเขตควบคุมมีค่าเท่ากับ $h(1/p)$
5. ช่วงเวลาในการค้นพบสาเหตุการบกพร่องในการผลิต และทำการปรับหรือกำจัดสาเหตุการบกพร่องในการผลิต โดยถ้าพิจารณาให้ T_1 คือเวลาที่คาดหวังในการค้นพบสาเหตุการบกพร่องในการผลิต และ T_2 คือเวลาที่คาดหวังในการปรับหรือกำจัดสาเหตุการบกพร่องในการผลิต ดังนั้นช่วงเวลาในการค้นพบสาเหตุการบกพร่องในการผลิต และการปรับหรือกำจัดสาเหตุการบกพร่องของขบวนการการผลิตจะมีค่าเท่ากับ $T_1 + T_2$

วงจรการผลิตของ Lorenzen และ Vance มีค่าเป็น

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} + \frac{\alpha D_1}{\lambda h} - \tau + ng + h\left(\frac{1}{P}\right) + T_1 + T_2$$

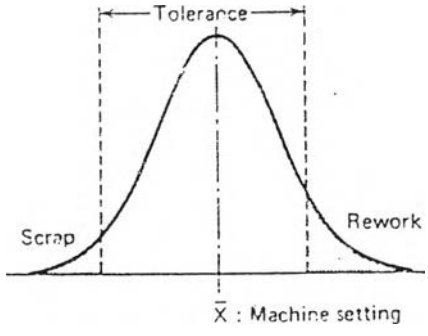
การกำหนดวงจรการผลิตทั้งของ Montgomery Gibra Lorenzen และ Vance มีลักษณะที่แตกต่างกันตามข้อสมมุติของแต่ละบุคคล ในขณะที่ Montgomery Lorenzen และ Vance ได้พิจารณาให้ช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิดแตกต่างจากช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่เกิดขึ้นจริง แต่ Gibra ได้พิจารณาช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิดมีค่าเท่ากับช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่การเกิดการบกพร่องในการผลิตเกิดขึ้นจริง และในขณะที่ Montgomery และ Chiu ไม่ได้มีการพิจารณาช่วงเวลาในการทดสอบและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุมในวงจรการผลิต แต่ Gibra Lorenzen และ Vance ได้พิจารณาช่วงเวลาในการทดสอบและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุมในวงจรการผลิต

2.5.2 <u>รูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ในการผลิตแบบ Shutdown Process</u>

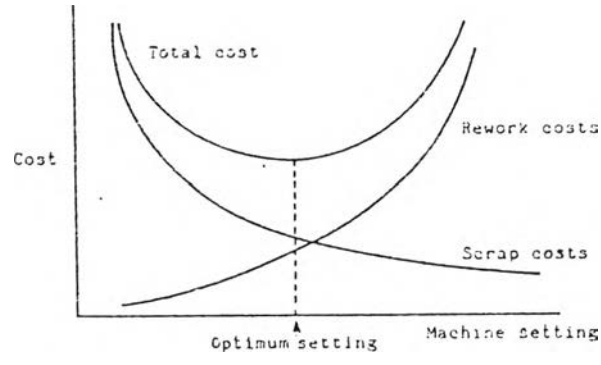
เมื่อขบวนการการผลิตไม่สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด หรือได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ดังนั้นการพิจารณาถึงค่าต่ำสุดที่เกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในการยอมรับของผลิตภัณฑ์และค่าใช้จ่ายในการปฏิเสธผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น Charbonneau และ Webster (1978) ได้เสนอวิธีในการพิจารณาเพื่อลดค่าใช้จ่ายของการผลิต ออกเป็น

1. ขยายขอบเขตการกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์นั่นก็คือการขยายขอบเขตควบคุมออกไป
2. จัดซื้อเครื่องมือหรือเครื่องจักรใหม่
3. พยายามเพิ่มขบวนการการผลิต
4. ซ่อมบำรุงหรือจัดสร้างเครื่องมือเครื่องจักร
5. ทำการปรับตั้งเครื่องจักร (Machine Setting)

ถ้าระบบการผลิตไม่สามารถกระทำได้ใน 4 ข้อแรก จำเป็นที่จะต้องกระทำในข้อที่ 5 โดยการตั้งปรับเครื่องจักรเพื่อให้การผลิตอยู่ในสภาวะควบคุมทางสถิติ เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด โดยเป็นการทดแทนกันระหว่างค่าใช้จ่ายที่ต้องทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ (Scrap Cost) กับค่าใช้จ่ายที่นำผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพนำไปปรับแก้ไขใหม่ (Rework Cost) ดังรูปที่ 2.5-1



รูปที่ 2.5-1 ประสิทธิภาพของเครื่องจักรในเส้นโค้ง PDF



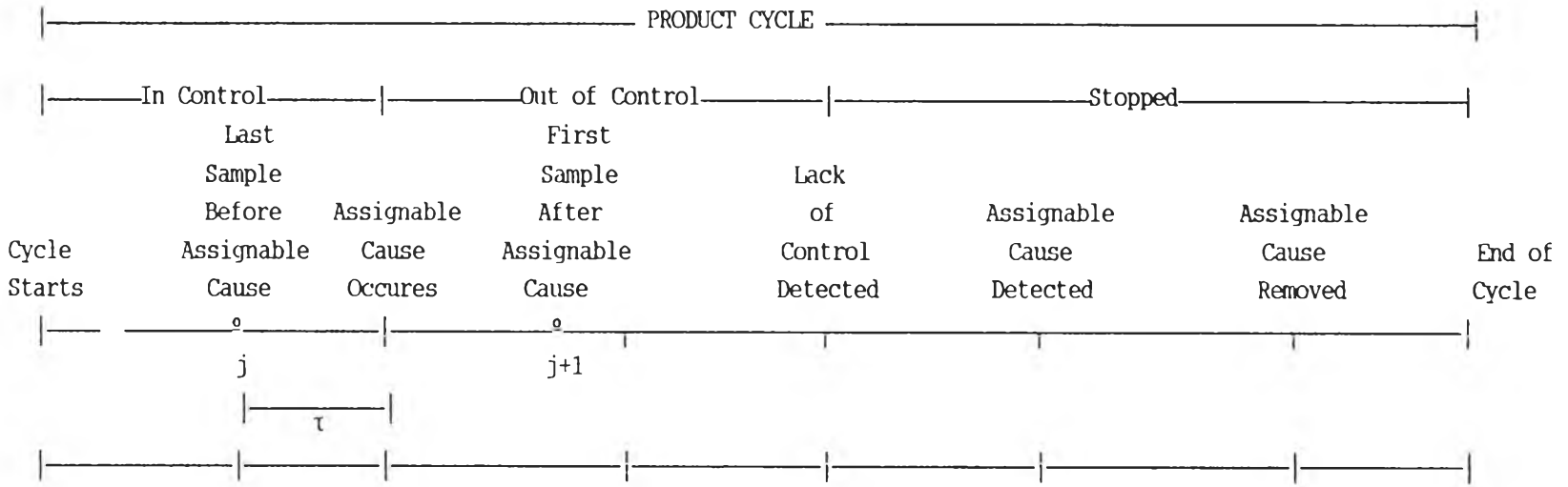
รูปที่ 2.5-2 จุดบนเส้นโค้งที่แสดงค่าใช้จ่ายต่ำสุด

Lindenmeyer Burch และ Andrews (1984) ได้พิจารณาถึงการหาค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อให้การผลิตอยู่ในสภาวะควบคุมทางสถิติ โดยพิจารณาค่าต่ำสุดของผลรวมในค่าใช้จ่ายของการทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพและค่าใช้จ่ายในการนำผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพมาทำการปรับแก้ไขดังรูปที่ 2.5-2 และในกรณีที่ค่าใช้จ่ายทั้งสองมีค่าเท่ากัน ค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องจักรสำหรับค่าเฉลี่ยของขบวนการการผลิตจะอยู่ตรงกลาง

กรณีการผลิตในแบบ Shutdown Process เมื่อมีการหยุดขบวนการการผลิตเพื่อค้นหาสาเหตุการบกพร่องในการผลิตและทำการปรับแก้ไขหรือกำจัดสาเหตุการบกพร่องในการผลิตแล้ว และเพื่อให้การดำเนินการการผลิตใหม่ในครั้งต่อไปอยู่ในสภาวะควบคุมทางสถิติ และให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด การปรับตั้งเครื่องจักรจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินนโยบายทางเศรษฐศาสตร์เพื่อให้การผลิตในช่วงต่อไปมีผลให้ค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นมีค่าน้อยที่สุด

รูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบควบคุมค่าเฉลี่ยในกรณี Shutdown Process ในงานวิจัยนี้จะเป็นการพิจารณาจากรูปแบบของแผนแบบตามรูปแบบของ Duncan โดยมีข้อสมมุติเพิ่มเติมคือ เมื่อพบว่าเกิดการบกพร่องในขบวนการการผลิตแล้ว จะหยุดดำเนินการการผลิตเพื่อทำการค้นหาสาเหตุการบกพร่องในขบวนการการผลิตที่เกิดขึ้น และเมื่อทำการปรับแก้ไขหรือกำจัดสาเหตุบกพร่องในการผลิตแล้ว ทุกครั้งก่อนทำการผลิตต่อไปจะต้องมีการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่เสมอ ดังนั้นจะมีเวลา และค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องจักรเข้ามาเกี่ยวข้องในรูปแบบที่พิจารณา รูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบของแผนภูมิแบบค่าเฉลี่ยในการผลิตแบบ Shut-

รูปที่ 2.5-3 วงจรการผลิต ในการผลิตแบบ Shutdown Process



$$E(T) = \frac{1}{\lambda} + \left[\frac{h}{P} - \tau \right] + gn + \frac{D_1 \alpha}{\lambda h} + D + S_1$$

$$= \frac{1}{\lambda} + h \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12} \right) + gn + \frac{D_1 \alpha}{\lambda h} + D + S_1$$

down Process ของงานวิจัยนี้จะแบ่งวงจรการผลิตออกเป็น 3 ช่วงเวลา ดังรูปที่ 2.5-3 คือ

1. ช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม โดยมีค่าคาดหวังเป็น $1/\lambda$
2. ช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม
   - 2.1 ช่วงเวลาจนกระทั่งการเกิดการเตือนถูกตรวจพบ โดยมีค่าคาดหวังเท่ากับ $h(1/p) - \tau$
   - 2.2 ช่วงเวลาในการทดสอบและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม โดยมีค่าคาดหวังเท่ากับ gn
3. ช่วงเวลาที่หยุดการผลิต
   - 3.1 ช่วงเวลาในการค้นหาการเกิดการเตือนที่ผิด ถ้ากำหนดให้ D_1 คือเวลาที่คาดหวังในการค้นหาการเตือนที่ผิดในแต่ละครั้ง ค่าคาดหวังของช่วงเวลาที่เกิดการเตือนที่ผิดจะมีค่าเท่ากับ D_1 คูณด้วย จำนวนครั้งของการเกิดการเตือนที่ผิด $\alpha e^{-\lambda h}/(1 - e^{-\lambda h}) = \alpha/\lambda h$ ดังนั้นค่าคาดหวังของช่วงเวลาในการค้นหาการเตือนที่ผิดจะเท่ากับ $D_1 \alpha e^{-\lambda h}/(1 - e^{-\lambda h}) = D_1 \alpha/\lambda h$
   - 3.2 ช่วงเวลาในการค้นพบ และปรับแก้ไขหรือกำจัดสาเหตุการบกพร่องในการผลิตมีค่าคงที่เท่ากับ D
   - 3.3 ช่วงเวลาในการตั้งปรับเครื่องจักรเพื่อให้ขบวนการการผลิตเข้าสู่การควบคุมทางสถิติมีค่าคงที่เท่ากับ S_1 โดยที่ช่วงเวลานี้จะไม่พิจารณารวมกับเวลาที่ต้องการหลังจากขบวนการการผลิตเริ่มต้นการผลิตใหม่

กำหนดให้ $E(T_s)$ คือค่าคาดหวังของวงจรการผลิตในกรณี Shutdown Process ดังนั้น $E(T_s)$ มีค่าเท่ากับ

$$E(T_s) = \frac{1}{\lambda} + \left[\frac{h}{P} - \tau\right] + gn + \frac{\alpha D_1}{\lambda h} + D + S_1$$

$$= \frac{1}{\lambda} + h\left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12}\right) + gn + \frac{\alpha D_1}{\lambda h} + D + S_1 \qquad (5)$$

<u>รายได้และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งวงจรการผลิต</u>

การพิจารณาฟังก์ชั่นค่าใช้จ่ายในกรณี Shutdown Process ของงานวิจัยนี้จะกำหนดค่าเหมือนกับกรณี Duncan Process ในหัวข้อ 2.4 ดังแผนผังแสดงรายได้และค่าใช้จ่ายของการผลิตหนึ่งวงจรในรูปที่ 2.5-4

โดย E(C) ค่าคาดหวังของรายได้สุทธิต่อวงจรการผลิตจะมีค่าเท่ากับ

V_0 ค่าคาดหวังของรายได้ต่อชั่วโมงในขณะที่ขบวนการการผลิตอยู่ในช่วงของสภาวะควบคุม คูณด้วย $1/\lambda$ ค่าคาดหวังของเวลาที่ขบวนการารผลิตอยู่ในสภาวะควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $V_0[1/\lambda]$

บวกด้วย V_1 ค่าคาดหวังของรายได้สุทธิต่อชั่วโมงในขณะที่ขบวนการการผลิตไม่อยู่ในช่วงของสภาวะควบคุมคูณด้วยค่าคาดหวังของช่วงเวลาที่ขบวนการการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ $h[1/p - 1/2 + \lambda h/12] + gn$

ดังนั้นค่าคาดหวังของเวลาที่ขบวนการการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $V_1\{h[1/p - 1/2 + \lambda h/12] + gn\}$

หักด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในขบวนการการผลิต

โดยที่ค่าใช้จ่ายในขบวนการการผลิตจะประกอบด้วย

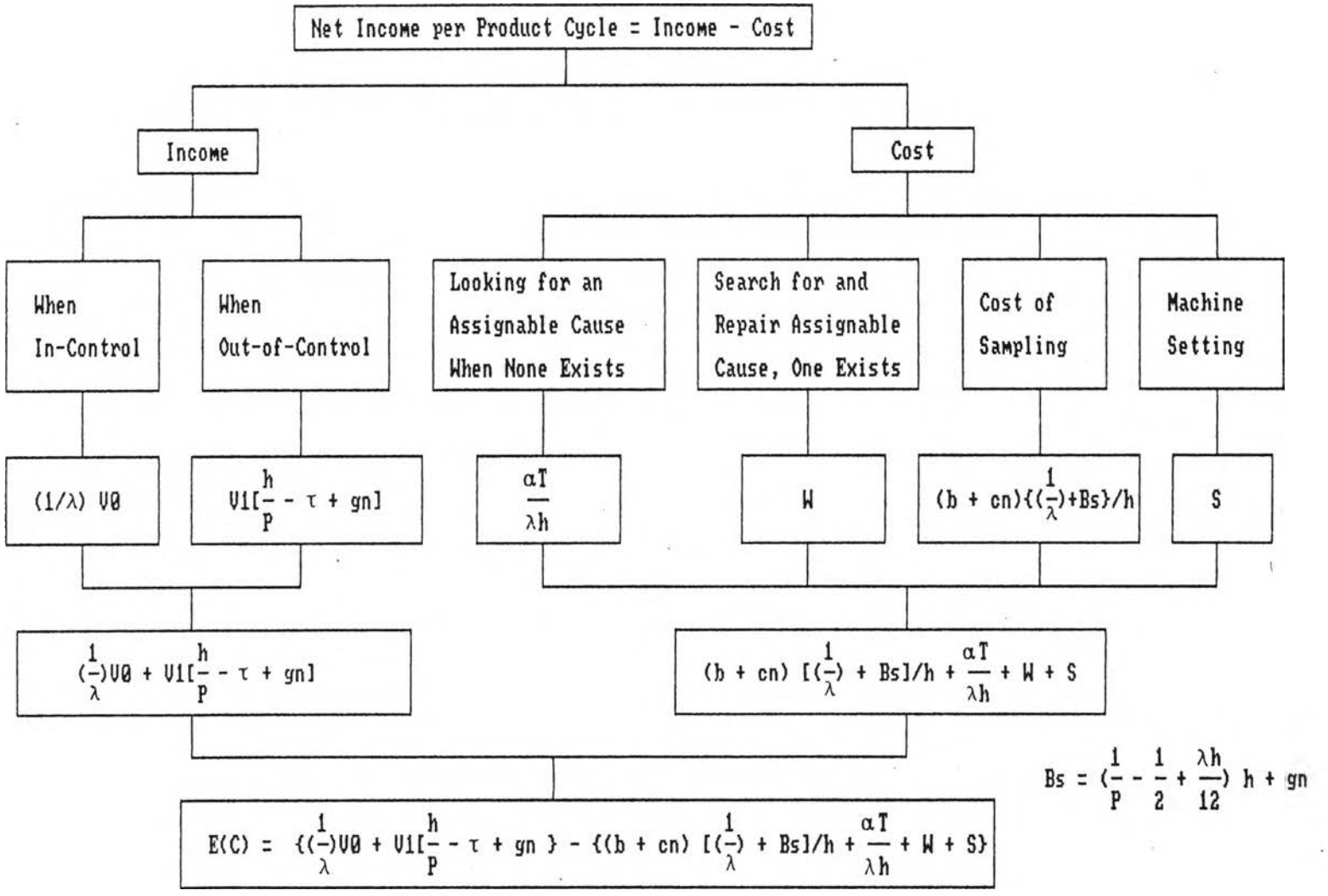
ก) ค่าใช้จ่ายในการสุ่มและการทดสอบ $(b + cn)$ คูณด้วยจำนวนที่คาดหวังของตัวอย่างที่สุ่มขึ้นมาในขณะที่ขบวนการการผลิตยังดำเนินการการผลิตอยู่ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\{[1/\lambda + h(1/p - 1/2 + \lambda h/12) + gn]/h\}$ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการสุ่มและการทดสอบในหนึ่งวงจรการผลิตจะมีค่าเท่ากับ $(b + cn)\{[1/\lambda + h(1/p - 1/2 + \lambda h/12) + gn]/h\}$

ข) ค่าใช้จ่ายในการสืบสาวถึงสาเหตุการเตือนที่ผิด (T) คูณด้วยจำนวนการเกิดการเตือนที่ผิดที่เกิดขึ้นก่อนการเปลี่ยนแปลงในขบวนการการผลิต $\alpha e^{-\lambda h}/(1 - e^{-\lambda h}) = \alpha/\lambda h$

ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเตือนที่ผิดในหนึ่งวงจรการผลิตจะมีค่าเท่ากับ $\alpha T/\lambda h$

ค) ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบและการปรับแก้ไขหรือกำจัดสาเหตุการบกพร่องที่เกิดขึ้นในการผลิตมีค่าคงที่เท่ากับ W

ง) ค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องจักรก่อนทำการผลิตในครั้งต่อไปมีค่าคงที่เท่ากับ S



รูปที่ 2.5-4 แผนผังแสดงรายได้และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งวงจรการผลิต ในการผลิตแบบ Shutdown Process

รายได้สุทธิของวงจรการผลิตหนึ่ง ๆ ในกรณี Shutdown Process คือ

$$E(C_s) = V_0\left(\frac{1}{\lambda}\right) + V_1\left[h\left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12}\right) + gn\right] - (b + cn)\left[\frac{\frac{1}{\lambda} + h\left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12}\right) + gn}{h}\right] - \frac{\alpha T}{\lambda h} - W - S \quad (6)$$

จากสมการที่ (1) $E(A) = E(C)/E(T)$ ในหัวข้อ 2.3 ค่าคาดหวังของรายได้สุทธิต่อชั่วโมงเป็น

$$E(A) = \frac{E(C_s)}{E(T_s)} = V_0 - L_s$$

กำหนดให้

$$B_s = \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12}\right)h + gn$$

$$C_s = \frac{\alpha D_1}{\lambda h} + D + S_1$$

$$M = V_0 - V_1$$

แล้วฟังก์ชั่นค่าใช้จ่ายที่สูญเสียในกรณี Shutdown Process คือ

$$L_s = \frac{\lambda M B_s + \lambda V_0 C_s + (b + cn)\left(\frac{1 + \lambda B_s}{h}\right) + \frac{\alpha T}{h} + \lambda W + \lambda S}{1 + \lambda(B_s + C_s)} \quad (7)$$

2.6 การผันแปรของขบวนการการผลิต และความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าของผลิตภัณฑ์ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย

การศึกษาสถิติเศรษฐศาสตร์ เทอมของความคลาดเคลื่อนมักมีการนำเข้ามาพิจารณาในรูปแบบที่ใช้อยู่เสมอ สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติและความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิค่าเฉลี่ย ขั้นตอนในการวัดค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ (X) มักมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นอยู่เสมอ ในขบวนการการผลิตค่าความแปรปรวนของการผลิต (σ^2) จะสมมุติให้เป็นค่าคงที่และเป็นอิสระกับค่าเฉลี่ยของขบวนการการผลิต (μ_0) การพิจารณาค่าของแผนภูมิควบคุมจะสมมุติว่า ค่าที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์ (X) จะรวมค่าของเทอมของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และมีความแปรปรวนเป็น

$$\sigma_\varepsilon^2 = \varepsilon\sigma^2$$

เมื่อ σ^2 คือความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์ (X) ค่าคงที่ ε จะถูกกำหนดตามขนาดของความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าของผลิตภัณฑ์ (X) ในกรณีที่การวัดค่าเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ค่าของ ε จะมีค่าเป็นศูนย์ แต่ถ้าการวัดค่ามีความเอนเอียง (Biased) เกิดขึ้น ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ จึงจำเป็นต้องมีการปรับที่วัด (X) โดยการลบด้วยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย และต้องพิจารณาถึงผลกระทบของ σ_ε^2 ด้วย

โดยปกติค่าของข้อมูลจะมีทั้งความแปรปรวนที่เกิดจากขบวนการการผลิตและความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าของผลิตภัณฑ์รวมอยู่ ดังนั้นการพยายามแยกตัวใดตัวหนึ่งออกจากกันจึงเป็นไปได้ยาก การวิเคราะห์จึงมักกำหนดการพิจารณาเป็นแบบการแปรผันร่วม (Combinded Variability) แต่อย่างไรก็ตามความเหมาะสมจะขึ้นอยู่กับค่าการแปรผันของขบวนการการผลิต ซึ่งจะต้องเป็นสิ่งแรกของการประมาณค่าที่ถูกต้องเพื่อกำหนดถึงความสามารถของการผลิต แต่งานที่เกี่ยวกับการวัดค่าของผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำทุกวันนั้นความถูกต้องจึงเป็นไปได้ยาก และจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่าของผลิตภัณฑ์อยู่เสมอ

Box (1988: 3-4) ....สำหรับการวัดค่าของข้อมูล ปกติจะกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ศูนย์ ในกรณีการวัดข้อมูลในเชิงปริมาณ (เช่น ความสูง น้ำหนัก พื้นที่ กำลังต้านทานการดึง ความอ่อนของโลหะ เกณฑ์ความร้อน และเวลาแสดงการเปลี่ยนแปลงของวัตถุ) ค่าแจกแจงมาตรฐาน (Standard Deviation) จะเพิ่มขึ้นพร้อมกับค่าเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้ความแปรปรวนของขบวนการการผลิต (σ^2) จะถูกสมมุติว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปพร้อม

1 10312107

กับค่าเฉลี่ยของขบวนการ โดยมีสัมประสิทธิ์ของการผันแปรเท่ากับ $\gamma = \sigma/\mu$ ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่คงที่ แม้ว่าโดยปกติ ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจะไม่มีเกณฑ์ที่แน่นอนเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของขบวนการ แต่ในทางปฏิบัติจะสมมุติว่าสัมประสิทธิ์ของการผันแปร γ นี้มีค่าคงที่

จากนิยามข้างต้นจะสามารถแสดงถึงค่าเฉลี่ย และการแจกแจงมาตรฐานของขบวนการการผลิต และความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ($\bar{X}$) ได้ในแต่ละสภาวะดังนี้

<u>ในสภาวะควบคุม</u>

$$\mu = \mu_0$$

$$\sigma = \sigma_0$$

$$\sigma^2_{(\bar{x})} = (1 + \varepsilon)\frac{\sigma_0^2}{n}$$

<u>ในสภาวะที่ไม่อยู่ในการควบคุม</u>

$$\mu = \mu_1 = \mu_0 + \bar{o}\sigma_0$$

$$\sigma = \sigma_1 = \sigma_0 + \delta\frac{\sigma_0^2}{\mu_0} = (1 + \delta\gamma)\sigma_0$$

$$\sigma^2_{(\bar{x})} = (1 + \varepsilon)\frac{\sigma_1^2}{n} = (1 + \varepsilon)(1 + \delta\gamma)^2\frac{\sigma_0^2}{n}$$

ดังนั้นค่าของอำนาจของแผนภูมิควบคุมและความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1 ในหัวข้อ 2.4

$$P = \Phi(\delta\sqrt{n} - k) + \Phi(-\delta\sqrt{n} - k)$$

$$\alpha = 2\Phi(-k)$$

ได้ใหม่เป็น

$$P' = \Phi\left[\frac{\delta\sqrt{n} - k}{(\sqrt{1 + \varepsilon})(1 + \delta\gamma)}\right] + \Phi\left[\frac{-\delta\sqrt{n} - k}{(\sqrt{1 + \varepsilon})(1 + \delta\gamma)}\right] \quad (*)$$

$$\alpha' = 2\Phi\left[\frac{-k}{\sqrt{1 + \varepsilon}}\right] \quad (**)$$

จากสมการ * และ ** Tagaras (1989) ได้ศึกษาพบว่า ค่าของ α' ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการเตือนที่ผิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นในค่าของ ε และเมื่อเพิกเฉยในเทอมที่สองของ P' ($\Phi\left[\frac{-\delta\sqrt{n} - k}{(\sqrt{1 + \varepsilon})(1 + \delta)}\right]$) ผลที่ตามมาก็คือ ผลกระทบของ ε บน P' อำนาจของแผน

ภูมิควบคุมจะขึ้นอยู่กับเครื่องหมาย (+ หรือ -) ของ $\delta\sqrt{n} - k$ ในกรณีที่ P' มีค่าเกิน 0.5 ซึ่งหมายความว่า ค่าของ $\delta\sqrt{n} - k > 0$ จะมีผลทำให้ค่าของ P' ลดลง ในขณะที่ค่าของ ε เพิ่มขึ้น แต่ถ้าค่าของ $P' < 0.5$ แล้ว ค่าของ P' จะเพิ่มขึ้น เมื่อค่า ε เพิ่มขึ้น ในกรณีของการเปลี่ยนแปลง τ จะมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า P' ดังนั้นผลการเปลี่ยนแปลงของ ε และ τ จะทำให้ความแปรปรวนของขบวนการการผลิตเพิ่มขึ้น Iglewicz Myers และ Howe (1968) ศึกษาเทอมของ $\delta\tau$ จะมีค่าน้อยกว่า 1 ในทุกกรณี ในขณะที่โดยปกติค่าของ δ จะมีค่าไม่เกิน 2 และ τ จะมีค่าไม่เกิน 0.3 สำหรับค่าสังเกตุที่มีการแจกแจงแบบปกติและมีค่ากลางเป็นศูนย์ ดังนั้นในเทอม $1 + \delta\tau$ จะมีค่าเป็นบวกในทุก ๆ กรณี

2.7 การประมาณค่าแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย

ในขณะที่รูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมได้ถูกเลือกขึ้นมาใช้ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การศึกษาถึงวิธีการในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมจะมีความจำเป็นต่อการได้มาซึ่งส่วนประกอบที่ดีที่สุดของค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมซึ่งได้แก่ n ขนาดตัวอย่าง k ความกว้างของขอบเขตควบคุม และ h ช่วงเวลาในการสุ่ม ที่จะให้ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียต่ำสุดหรือให้รายได้สุทธิสูงสุด Duncan (1956) ได้เสนอวิธีการในการประมาณค่าของแผนแบบแผนภูมิควบคุม ในรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมที่นำเสนอ โดยการพิจารณาถึงค่าสูงสุดของ E(C) รายได้สุทธิที่เกิดขึ้นในวงจรการผลิต เพื่อทำการหาอนุพันธ์ย่อยของฟังก์ชั่น L ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียต่อชั่วโมง เทียบกับ n, k และ h ให้ได้มาซึ่งส่วนประกอบที่ดีที่สุดของค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุม ที่มีค่าใช้จ่ายสูญเสียต่ำสุด แต่วิธีการของ Duncan มีข้อจำกัดต่อการพิจารณาปัจจัยค่าใช้จ่ายและปัจจัยการเสี่ยงในบางตัวเช่น M รายได้ที่สูญเสียเมื่อขบวนการการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม g เวลาในการสุ่มการทดสอบ และการแสดงผลบนแผนภูมิควบคุมซึ่งจะต้องไม่มีขนาดใหญ่ แต่ถ้าค่าของ M และ g มีขนาดใหญ่แล้ว การประมาณค่าแผนแบบในวิธี Duncan จะให้ผลที่ไม่ถูกต้อง Goel (1978) ได้ศึกษาการประมาณค่าของแผนแบบในรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมของ Duncan โดยการหาค่าต่ำสุดของ L ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียและได้ค่าของพารามิเตอร์ที่ดีกว่าวิธีการประมาณค่าของ Duncan นอกจากนี้วิธีการที่นำเสนอโดย Goel ยังสามารถพิจารณาหาค่าที่เหมาะสมของ M และ g ที่มีขนาดใหญ่ได้ หรือ แม้แต่ δ ค่าการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยของขบวนการการผลิต

ที่มีขบาดเล็ก Chiu และ Wetherill (1974) ได้เสนอการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมในลักษณะของแผนแบบกึ่งเศรษฐศาสตร์ โดยการเลือกขนาดของค่าอำนาจในการทดสอบบนเส้นโค้ง OC มาพิจารณาในการประมาณค่าของแผนแบบของแผนภูมิควบคุม โดยเสนอให้ใช้ค่า P ค่าของอำนาจของการทดสอบหรืออำนาจของแผนภูมิควบคุมมีค่าเป็น 0.90 หรือ 0.95 และ ได้จัดทำตารางเพื่อใช้ในการประมาณค่าแผนแบบของแผนภูมิควบคุม วิธีการมาณค่าของ Chiu และ Wetherill นี้จะให้ค่าได้ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงของการประมาณของ Goel และ Duncan [4] Montgomery (1980) ได้เสนอการหาค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุมโดยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาวิธีการของ Chiu และ Wetherill ซึ่งให้ค่าที่แท้จริงตามแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์

ในงานวิจัยนี้วิธีการประมาณค่าของแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยในกรณี Duncan Process จะใช้วิธีการของ Montgomery ส่วนในกรณีของ Shutdown Process จะพัฒนาวิธีการของ Chiu และ Wetherill ในการประมาณค่าลักษณะแผนแบบกึ่งเศรษฐศาสตร์ และ Montgomery ในการประมาณค่าแผนแบบตามรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์

2.7.1 <u>วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมในแผนแบบกึ่งเศรษฐ-ศาสตร์</u>

Chiu และ Wetherill (1974) ได้พัฒนาการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยมีลักษณะเป็นแผนแบบกึ่งเศรษฐศาสตร์ วิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุม จะพิจารณาจากการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชั่นค่าใช้จ่ายที่สูญเสียภายใต้ค่าบนเส้นโค้ง OC โดยการเลือกจุดของความเสี่ยงของผู้บริโภค (Consumer's risk) บนเส้นโค้ง OC การกำหนด ค่า k และ n จะหาได้จากตารางที่จัดทำขึ้น ส่วนการกำหนดค่า h โดยการหาค่าจากสมการพีชคณิต วิธีการของ Chiu และ Wetherill นี้จะให้ค่าของแผนแบบได้ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง และโดยเฉพาะวิธีการแก้ปัญหาในการหาค่าของแผนแบบ n และ k จะให้ค่าได้ดีกว่าวิธีการของ Duncan เพราะได้มีการนำเส้นโค้ง OC มาใช้ในการพิจารณาในการควบคุมคุณภาพ

---

[4] Chiu and Wetherill. "A Simplified Sheme for the Economic Design of X-Chart." <u>Journal of Quality Technology.</u> Vol.6, No.2 (1974) : pp.64

สาระสำคัญของการนำเสนอแผนแบบกึ่งเศรษฐศาสตร์ ก็คือการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นของการเตือนเมื่อเกิดการบกพร่องในการผลิตเกิดขึ้นจริง (P อำนาจของแผนภูมิควบคุม) มีค่าเป็น 0.90 หรือ 0.95 ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความเสี่ยงของผู้บริโภคที่มีค่าเป็น 0.10 หรือ 0.05 ตามลำดับ นั่นก็คือ

$$P = \int_{-\infty}^{-k - \delta\sqrt{n}} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}} \, dz = \Phi(-k - \delta\sqrt{n}) = 0.90 \text{ หรือ } 0.95$$

ถ้ากำหนดให้ $\delta\sqrt{n} - k = a$

เมื่อ $a = 1.2926$ ถ้า $P = 0.90$ และ $a = 1.6449$ ถ้า $P = 0.95$

เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ การหาค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายที่สูญเสีย Chiu และ Wetherill พิจารณาค่า λ มีค่าน้อย ๆ เช่น $\lambda = 0.01$ ซึ่งจะมีผลให้สมการฟังก์ชั่นค่าใช้จ่ายที่สูญเสียในการผลิตแบบ Duncan Process ซึ่งมีค่าเป็น

$$L = \frac{\lambda MB + \alpha T/h + \lambda W}{1 + \lambda B} + \frac{(b + cn)}{h}$$

เมื่อ $B = h[1/p - 1/2 + \lambda h/12] + gn - D$

โดยเมื่อค่าของ λB มีค่าน้อย ๆ เมื่อเทียบกับ 1 ดังนั้นในเทอม $1 + \lambda B$ จะมีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้นจะได้ฟังก์ชั่นค่าใช้จ่ายที่สูญเสียใหม่เป็น

$$L' = \lambda BM + \frac{\alpha T}{h} + \lambda W + \frac{(b + cn)}{h}$$

แทนค่า n จาก $\delta\sqrt{n} - k = a$ ลงในสมการ L' สังเกตุค่า P (ที่ปรากฏใน B) จะมีค่าคงที่ ทำการหาอนุพันธ์ย่อยของ L' เทียบกับ k และ h จะได้

$$\frac{\partial L'}{\partial k} = 2(c + \lambda gMh)(a + k) - \delta^2 T \frac{\partial \alpha}{\partial k} = 0 \qquad (*)$$

$$\frac{\partial L'}{\partial h} = \lambda M\left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2}\right)h^2 - \alpha T - (b + cn) = 0 \qquad (**)$$

ในสมการ (*) ในเทอมของ λgMh โดยปกติค่าจะมีค่าน้อย (เพราะว่าค่าของ g มีค่าที่น้อย) ที่สามารถยอมรับได้ Goel (1968) ได้แสดงในค่าของ g ที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.3 ในกรณีของค่า h ในแต่ละเทอมที่ปรากฏในสมการ (*) และ (**) จะมีปัญหา

ตารางที่ 2.7-1 ตารางกำหนดแผนแบบแผนภูมิควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ของ Chiu และ Wetherill สำหรับ $0.90 \leq P < 0.95$

A*	Alpha	K	Delta							
			0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	
10	0.3173	1.0	21	10	6	4	3	2	*	n
			0.609	0.593	0.579	0.572	0.558	0.575	*	1/P - 1/2
22	0.1336	1.5	31	14	8	5	4	3	2	n
			0.611	0.606	0.601	0.608	0.572	0.567	0.601	1/P - 1/2
62	0.0455	2.0	44	20	11	7	5	4	3	n
			0.604	0.596	0.604	0.606	0.596	0.572	0.577	1/P - 1/2
130	0.0214	2.3	52	23	13	9	6	5	*	n
			0.606	0.608	0.606	0.579	0.593	0.556	*	1/P - 1/2
220	0.0124	2.5	58	26	15	10	7	5	4	n
			0.606	0.602	0.593	0.579	0.576	0.586	0.572	1/P - 1/2
520	0.0051	2.8	67	30	17	11	8	6	*	n
			0.609	0.606	0.602	0.598	0.581	0.574	*	1/P - 1/2
1000	0.0027	3.0	74	33	19	12	9	6	5	n
			0.607	0.605	0.595	0.601	0.572	0.610	0.576	1/P - 1/2
1900	0.0014	3.2	81	36	21	13	9	7	*	n
			0.607	0.607	0.591	0.606	0.607	0.583	*	1/P - 1/2
5500	0.0005	3.5	92	41	23	15	11	8	6	n
			0.608	0.607	0.608	0.599	0.575	0.579	0.588	1/P - 1/2
40000	0.0001	4.0	112	50	28	18	13	10	7	n
			0.609	0.606	0.609	0.606	0.586	0.567	0.609	1/P - 1/2

$h = \{(\alpha T + b + cn)/[\lambda M(P^{-1} - 0.50)]\}^{1/2}$

$A^* = \delta^2 T/(c + \lambda Mg)$

* เมื่อค่า P ไม่เป็นจริงในช่วง 0.90 และ 0.95 การใช้ตารางโดยการเลือกแผนแบบที่อยู่ด้านบน หรือ ด้านล่างของ * ที่ให้ค่า k ได้ใกล้เคียงที่สุด เช่น แผนการเลือก $k = 2.3$ และ $\delta = 2.00$ จะแทนโดยการใช้แผนการเลือกโดย $k = 2.5$ และ $\delta = 2.00$

ตารางที่ 2.7-2 ตารางกำหนดแผนแบบแผนภูมิควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ของ ของ Chiu และ Wetherill สำหรับ 0.95 < P

A*	Alpha	K'	Delta							
			0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	
11	0.3173	1.0	28	13	7	5	4	3	2	n
			0.553	0.546	0.533	0.538	0.523	0.522	0.535	1/P - 1/2
25	0.1336	1.5	40	18	10	7	5	4	3	n
			0.511	0.055	0.551	0.537	0.533	0.523	0.525	1/P - 1/2
70	0.0455	2.0	44	20	11	7	5	4	3	n
			0.604	0.596	0.604	0.606	0.596	0.572	0.577	1/P - 1/2
140	0.0214	2.3	63	28	16	10	7	6	4	n
			0.550	0.550	0.547	0.552	0.550	0.524	0.547	1/P - 1/2
240	0.0124	2.5	69	31	18	11	8	6	5	n
			0.552	0.549	0.542	0.553	0.542	0.538	0.525	1/P - 1/2
570	0.0051	2.8	80	36	20	13	9	7	5	n
			0.550	0.547	0.550	0.546	0.547	0.535	0.550	1/P - 1/2
1050	0.0027	3.0	87	39	22	14	10	8	6	n
			0.551	0.548	0.548	0.549	0.542	0.526	0.530	1/P - 1/2
2050	0.0014	3.2	94	42	24	16	11	8	6	n
			0.552	0.551	0.547	0.537	0.539	0.542	0.547	1/P - 1/2
5900	0.0005	3.5	106	48	27	17	12	9	7	n
			0.552	0.547	0.547	0.552	0.547	0.542	0.538	1/P - 1/2
42200	0.0001	4.0	128	57	32	21	15	11	8	n
			0.551	0.551	0.551	0.554	0.536	0.537	0.551	1/P - 1/2

$$h = \{(\alpha T + b + cn)/[\lambda M(P^{-1} - 0.50)]\}^{1/2}$$

$$A^* = \delta^2 T/(c + \lambda Mg)$$

ต่อการแก้สมการ Chiu และ Wetherill จึงเสนอให้ใช้ค่าของ λgM แทนค่า λgMh ใน สมการ (*) แม้ว่าผลที่ได้จากการประมาณจะปรากฏว่าได้ค่าที่ไม่ค่อยดีนัก แต่การแก้สมการหา ค่าของแผนแบบจะทำได้สดวกขึ้น ดังนั้นจากสมการ (*) และ (**) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\frac{(a + k)}{\phi(k)} = \frac{\delta^2 T}{c + \lambda Mg} \qquad */$$

$$h = \sqrt{\frac{\alpha T + b + cn}{\lambda M(1/P - 1/2)}} \qquad **/$$

ตามลำดับ โดยที่ $\phi(U)$ หมายถึง ฟังก์ชั่นหนาแน่นของตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐาน

สมการ */ จะใช้ในการหาค่าของ n และ k โดยการเปิดตารางที่ 2.7-1 และ 2.7-2 สำหรับค่า 0.90 และ 0.95 ตามลำดับ ส่วนสมการ **/ จะใช้แทนค่าในการ หาค่า h

<u>การคำนวณหาค่าแผนแบบของ Chiu และ Wetherill</u>

ถ้ากำหนดให้ปัจจัยค่าใช้จ่ายและปัจจัยการเสี่ยงมีค่าเป็น

$\delta = 1$ $\lambda = 0.01$ $M = 50$ $g = 0.05$ $D = 2$ $T = 50$

$W = 25$ $b = 0.50$ $c = 0.10$

การหาแผนแบบกึ่งเศรษฐศาสตร์เมื่อ $0.90 \leq P < 0.95$ ใช้ตารางที่ 2.7-1 โดยดำเนินการ คำนวณดังต่อไปนี้

1 คำนวณหาค่า A* เมื่อ $A^* = \frac{\delta^2 T}{c + \lambda Mg} = 400$

2 หาค่าของ n และ k จากตารางที่ 2.7-1 (ใช้ค่า A* = 520) จะได้ค่า

k = 2.8 และ n = 17 เป็นค่าที่เหมาะสม สำหรับ $\delta = 1.0$

3 คำนวณหาค่า h โดยใช้ตารางที่ 2.7-1 ช่วยจะได้ $\alpha = .0051$

ค่า $1/P - 1/2 = 0.601$ จะได้ค่า $h = \sqrt{\frac{\alpha T + b + cn}{\lambda M(1/P - 1/2)}} = 2.858$

4 ประมาณค่าใช้จ่ายที่สูญเสีย $L = \frac{\lambda BM + \alpha T/h + \lambda W}{1 - \lambda B} + \frac{b + cn}{h}$

จะได้ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียเท่ากับ 3.2813

ตารางที่ 2.7-3 ตารางกำหนดแผนแบบแผนภูมิควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$
สำหรับ $0.90 \leq P < 0.95$ เมื่อ $k = 1.0 - 2.5$

A*	Alpha	K	Delta				
			0.50	1.00	1.50	2.00	
< 11	0.3174	1.0	21	5	2	*	n
			0.6090	0.6213	0.6508	*	1/P - 1/2
11 - 12	0.2713	1.1	23	6	3	*	n
			0.6076	0.5972	0.5719	*	1/P - 1/2
13 - 15	0.2301	1.2	25	6	3	2	n
			0.6072	0.6182	0.5882	0.5545	1/P - 1/2
16 - 18	0.1936	1.3	27	7	3	2	n
			0.6076	0.5979	0.6076	0.5675	1/P - 1/2
19 - 21	0.1615	1.4	29	7	3	2	n
			0.6087	0.6191	0.6305	0.5829	1/P - 1/2
22 - 26	0.1336	1.5	31	8	3	2	n
			0.6106	0.6013	0.6575	0.6013	1/P - 1/2
27 - 32	0.1096	1.6	33	8	4	2	n
			0.6131	0.6231	0.5879	0.6231	1/P - 1/2
33 - 40	0.0891	1.7	36	9	4	2	n
			0.6072	0.6072	0.6072	0.6489	1/P - 1/2
41 - 49	0.0719	1.8	38	10	4	2	n
			0.6110	0.5948	0.6300	0.6791	1/P - 1/2
50 - 61	0.0574	1.9	41	10	5	3	n
			0.6068	0.6154	0.5787	0.5626	1/P - 1/2
62 - 77	0.0455	2.0	43	11	5	3	n
			0.6117	0.6037	0.5963	0.5771	1/P - 1/2
78 - 98	0.0357	2.1	46	11	5	3	n
			0.6090	0.6260	0.6172	0.5944	1/P - 1/2
99 - 126	0.0278	2.2	49	12	5	3	n
			0.6072	0.6149	0.6419	0.6149	1/P - 1/2
127 - 164	0.0214	2.3	51	13	6	3	n
			0.6135	0.6060	0.5925	0.6392	1/P - 1/2
165 - 215	0.0164	2.4	54	14	6	3	n
			0.6127	0.5987	0.6127	0.6677	1/P - 1/2
217 - 285	0.0124	2.5	57	14	6	4	n
			0.6126	0.6200	0.6366	0.5716	1/P - 1/2

* เมื่อค่า P ไม่เป็นจริงในช่วง 0.90 และ 0.95 การใช้ตาราง โดยการเลือกแผนแบบที่อยู่ด้านบน หรือ ด้านล่าง ของ * ที่ให้ค่า k ได้ใกล้เคียงที่สุด เช่น แผนการเลือก $k = 1.1$ และ $\delta = 2.00$ จะแทนโดยการใช้แผนการเลือกโดย $k = 1.2$ และ $\delta = 2.00$

ตารางที่ 2.7-3 (ต่อ) ตารางกำหนดแผนแบบแผนภูมิควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$
สำหรับ $0.90 \leq P < 0.95$ เมื่อ $k = 2.6 - 4.0$

A*	Alpha	K	Delta				
			0.50	1.00	1.50	2.00	
287 - 382	0.0093	2.6	60	15	7	4	n
			0.6130	0.6130	0.5936	0.5879	1/P - 1/2
383 - 516	0.0069	2.7	63	16	7	4	n
			0.6139	0.6072	0.6139	0.6072	1/P - 1/2
517 - 702	0.0051	2.8	67	17	7	4	n
			0.6087	0.6024	0.6380	0.6300	1/P - 1/2
703 - 966	0.0037	2.9	70	17	8	4	n
			0.6107	0.6244	0.5985	0.6570	1/P - 1/2
967 - 1342	0.0027	3.0	73	18	8	5	n
			0.6132	0.6198	0.6198	0.5782	1/P - 1/2
1343 - 1880	0.0019	3.1	77	19	9	5	n
			0.6098	0.6161	0.5879	0.5929	1/P - 1/2
1881 - 2660	0.0014	3.2	80	20	9	5	n
			0.6132	0.6132	0.6072	0.6132	1/P - 1/2
2661 - 3800	0.0010	3.3	84	21	9	5	n
			0.6109	0.6109	0.6300	0.6371	1/P - 1/2
3801 - 5480	0.0007	3.4	88	22	10	5	n
			0.6092	0.6092	0.5984	0.6653	1/P - 1/2
5481 - 7979	0.0005	3.5	91	23	10	6	n
			0.6137	0.6081	0.6196	0.5880	1/P - 1/2
7980 - 11727	0.0003	3.6	95	24	11	6	n
			0.6129	0.6074	0.5924	0.6074	1/P - 1/2
11723 - 17409	0.0002	3.7	99	26	11	6	n
			0.6126	0.6072	0.6126	0.6303	1/P - 1/2
17410 - 26088	0.0001	3.8	103	26	11	6	n
			0.6127	0.6074	0.6364	0.6573	1/P - 1/2
26089 - 40000	0.0001	3.9	107	27	12	7	n
			0.6132	0.6080	0.6080	0.5894	1/P - 1/2
> 40000	0.0001	4.0	112	*	*	*	n
			0.6090	*	*	*	1/P - 1/2

* เมื่อค่า P ไม่เป็นจริงในช่วง 0.90 และ 0.95 การใช้ตารางโดยการเลือกแผนแบบที่อยู่ด้านบน หรือ ด้านล่างของ * ที่ให้ค่า k ได้ใกล้เคียงที่สุด เช่น แผนการเลือก $k = 4.0$ และ $\delta = 2.00$ จะแทนโดยการใช้แผนการเลือกโดย $k = 3.9$ และ $\delta = 2.00$

ในตารางของการกำหนดค่าแผนแบบกึ่งเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมของ Chiu และ Wetherill ตารางที่ 2.7-1 และตารางที่ 2.7-2 การพิจารณาค่าของ A* จากตาราง ในตัวอย่างข้างต้น ค่า A* ที่ได้จากการคำนวณซึ่งมีค่าเท่ากับ 400 พิจารณาค่าของ P เป็น $0.90 \leq P < 0.95$ ผู้ที่ปฏิบัติงานในการควบคุมคุณภาพสามารถเลือกค่าของ A* จากตารางได้ถึง 2 ค่าคือ A* = 220 หรือ A* = 520 ถ้าผู้ปฏิบัติเลือกค่า A* เป็น 520 ค่าของแผนแบบจะได้ n ขนาดของตัวอย่างเป็น 17 k ขอบเขตควบคุมเป็น 2.8 h ช่วงเวลาในการสุ่มเป็น 3 ชั่วโมง และได้ L ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียเป็น 3.4598 แต่ถ้าผู้ปฏิบัติเลือกค่าของ A* เป็น 220 ค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบจะเปลี่ยนไป โดยได้ n = 15, k = 2.5 h = 2.674 และค่าใช้จ่ายที่สูญเสียเป็น 3.111 ซึ่งค่าที่ได้จะแตกต่างกันและจะมีผลในทางลบต่อการปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพ และในแง่ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิต

การวิจัยในครั้งนี้ได้จัดทำตารางการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบของแผนภูมิควบคุม Chiu และ Wetherill ขึ้นใหม่ คือตารางที่ 2.7-3 โดยกำหนดช่วงในการพิจารณาค่า A* ของตารางใหม่ โดยพิจารณาตามขนาดของค่า k ที่มีค่าจาก 1.0 ถึง 4.0 โดยที่ค่า k จะเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 สำหรับอำนาจของแผนภูมิควบคุมเป็น $0.90 \leq P < 0.95$ เพื่อให้มีความสะดวกต่อการเลือกค่าของแผนแบบ

การใช้ตารางที่ 2.7-3 จะเหมือนกับตารางที่ 2.7-1 และ 2.7-2 จากตัวอย่างข้างต้น คำนวณค่า A* = 400 และจากตารางค่า A* จะตกอยู่ในช่วง 383 - 516 ซึ่งได้ค่า k = 2.7 และ n = 16 คำนวณหาค่า h และ L ได้ h = 2.838 และ ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียเป็น 3.2622 เมื่อเทียบกับการคำนวณโดยใช้แผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของ Montgomery จะได้ค่า n = 13, k = 2.65, h = 2.5008 และค่าใช้จ่ายที่สูญเสียเป็น 3.2282 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ตารางที่ 2.7-3 จะให้ค่าใกล้เคียงค่าที่แท้จริงกว่าการใช้ตารางที่ 2.7-1

<u>การประมาณค่าแผนแบบของแผนภูมิกึ่งเศรษฐศาสตร์ ในกรณี Shutdown Process</u>

วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบของแผนภูมิควบคุมในแผนแบบกึ่งเศรษฐ-ศาสตร์ของ Chiu และ Wetherill ในการประมาณค่าพารามิเตอร์แผนแบบของแผนภูมิควบคุมในการผลิตแบบ Duncan Process ที่กล่าวไว้ในข้างต้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์แผนแบบของแผนภูมิควบคุม ในกรณีที่ Shutdown Process ของงานวิจัย

นี้ได้ โดยพิจารณาค่า P ค่าอำนาจของแผนภูมิควบคุมเป็น 0.90 หรือ 0.95 เช่นเดียวกับกรณี Duncan Process ดังนั้นจากการพิจารณาของ Chiu และ Wetherill

$$P = \int_{-\infty}^{-k - \delta\sqrt{n}} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dz = \Phi(-k - \delta\sqrt{n}) = 0.90 \text{ หรือ } 0.95$$

โดยที่ $\delta\sqrt{n} - k = a$

เมื่อ $a = 1.2826$ ถ้า $P = 0.90$ และ $a = 1.6449$ ถ้า $P = 0.95$

ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียในกรณี Shutdown Process สมการที่ (7)

$$L_s = \frac{\lambda M B_s + \lambda V_0 C_s + (b + cn)\left(\frac{1 + \lambda B_s}{h}\right) + \frac{\alpha T}{h} + \lambda W + \lambda S}{1 + \lambda(B_s + C_s)}$$

เมื่อ

$$B_s = \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2} + \frac{\lambda h}{12}\right)h + gn$$

$$C_s = \frac{\alpha D_1}{\lambda h} + D + S_1$$

$$M = V_0 - V_1$$

เพื่อความสะดวกในการประมาณค่า การพิจารณาค่าของ λ น้อย ๆ เช่นเดียวกับการพิจารณาของ Duncan Chiu และ Wetherill ค่าของเทอม $1 + \lambda(B_s + C_s)$ จะมีค่าเข้าใกล้ 1 การละในเทอม $1 + \lambda(B_s + C_s)$ จะมีผลให้ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียพิจารณาใหม่เป็น

$$L_s' = \lambda M B_s + V_0 C_s + \frac{(b + cn)(1 + \lambda B_s)}{h} + \frac{\alpha T}{h} + \lambda W + \lambda S$$

เมื่อแทนค่าของ n จากสมการ $\delta\sqrt{n} - k = a$ ในสมการ L_s' ค่า P อำนาจของแผนภูมิที่ปรากฏในค่า B_s จะเป็นค่าคงที่ หาอนุพันธ์ L_s' เทียบกับค่าพารามิเตอร์ k และ h ตามลำดับ โดย

$$\frac{\partial L_s'}{\partial k} = 2(a + k)(c + \lambda Mgh) - \delta^2 \frac{\partial \alpha}{\partial k}(T + D_1 V_0) = 0 \qquad (*)$$

$$\frac{\partial L_s'}{\partial h} = \lambda M\left(\frac{1}{P} - \frac{1}{2}\right)h^2 - \alpha V_0 D_1 + (b + cn)(-\lambda gn - 1) - \alpha T = 0 \qquad (**)$$

ในเทอม λgMh ของสมการ (*) Chiu และ Wetherill ได้เสนอให้ใช้ค่า λgM แทน เพื่อสะดวกต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุม สมการ (*) และ (**) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\frac{(a + k)}{\phi(k)} = \frac{\delta^2 (T + D_1 V_0)}{(c + \lambda Mg)} \qquad (*/)$$

และ

$$h = \sqrt{\frac{\alpha(T + V_0 D_1) + (b + cn)(\lambda gn + 1)}{\lambda M(1/P - 1/2)}} \qquad (**/)$$

ค่า $\phi(U)$ หมายถึง ฟังก์ชั่นหนาแน่นของตัวแปรสุ่มปกติมาตรฐาน

วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับ Chiu และ Wetherill โดยสมการ */ ใช้ในการคำนวณหาค่า n และ k โดยการเปิดตารางที่ 2.7-3 สำหรับค่า P เป็น $0.90 < P < 0.95$ ส่วนสมการ **/ ใช้แทนค่าในการหาค่า h และสมการที่ 7 คำนวณค่าใช้จ่ายที่สูญเสีย

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณหาค่าแผนแบบ Chiu และ Weterill ใน Shutdown Process

กำหนดให้ปัจจัยค่าใช้จ่ายและปัจจัยการเสี่ยง

$\delta = 1$ $\lambda = 0.01$ $M = 50$ $g = 0.05$ $D = 2$ $T = 50$ $W = 25$

$b = .50$ $c = 0.10$ $V_0 = 50$ $S = 10$ $S_1 = .50$ $D_1 = 5$

การหาแผนแบบกึ่งเศรษฐศาสตร์ เมื่อกำหนด $0.90 < P < 0.95$ ตาราง 2.7-3 ดำเนินการคำนวณดังนี้

1 คำนวณหาค่า A^* เมื่อ $A^* = \frac{\delta^2 (T + D_1 V_0)}{(c + \lambda Mg)} = 2400$

2 จากตารางที่ 2.7-3 พิจารณาหาค่า n และ k (ค่า A^* ตกอยู่ในช่วง 1881-2660)

เมื่อ $\delta = 1.0$ ค่า $n = 20$ ค่า $k = 3.2$

3 คำนวณหาค่า h โดยใช้ตารางที่ 2.7-3 พิจารณาค่า $\alpha = .0014$

$(1/p - 1/2) = 0.6132$

ค่า $h = \sqrt{\frac{\alpha(T + V_0 D_1) + (b + cn)(\lambda gn + 1)}{\lambda M(1/P - 1/2)}} = 3.009$

4 ประมาณค่าใช้จ่ายที่สูญเสีย

$$L_s = \frac{\lambda MB_s + \lambda V_0 C_s + (b + cn)\left(\frac{1 + \lambda B_s}{h}\right) + \frac{\alpha T}{h} + \lambda W + \lambda S}{1 + \lambda(B_s + C_s)}$$

$= 3.8057$

2.7.2 <u>วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมในแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์</u>

ในการหาค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งได้แก่การหาค่าของ n, k และ h ที่มีค่าของ L ต่ำสุด จากวิธีที่เสนอโดย Duncan ปรากฏว่ามีความยุกยากในการแก้สมการเพราะว่า ค่าของ P และ α จะไม่สามารถหาค่าได้ ถ้าไม่ทราบค่าของ n และ k ก่อน Montgomery (1980) ได้เสนอแผนการหาค่าของแผนแบบที่เหมาะสม โดยการหาค่าของ h และ k ที่มีค่า L ต่ำสุดในแต่ละค่าของ n โดยแผนการหานี้จะทำซ้ำ ๆ กันในทุกค่า n ที่กำหนด แล้วพิจารณาว่าส่วนประกอบของค่าของแผนแบบใดที่มีค่าใช้จ่ายที่สูญเสียต่ำที่สุดจะเป็น ค่าแผนแบบที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพ

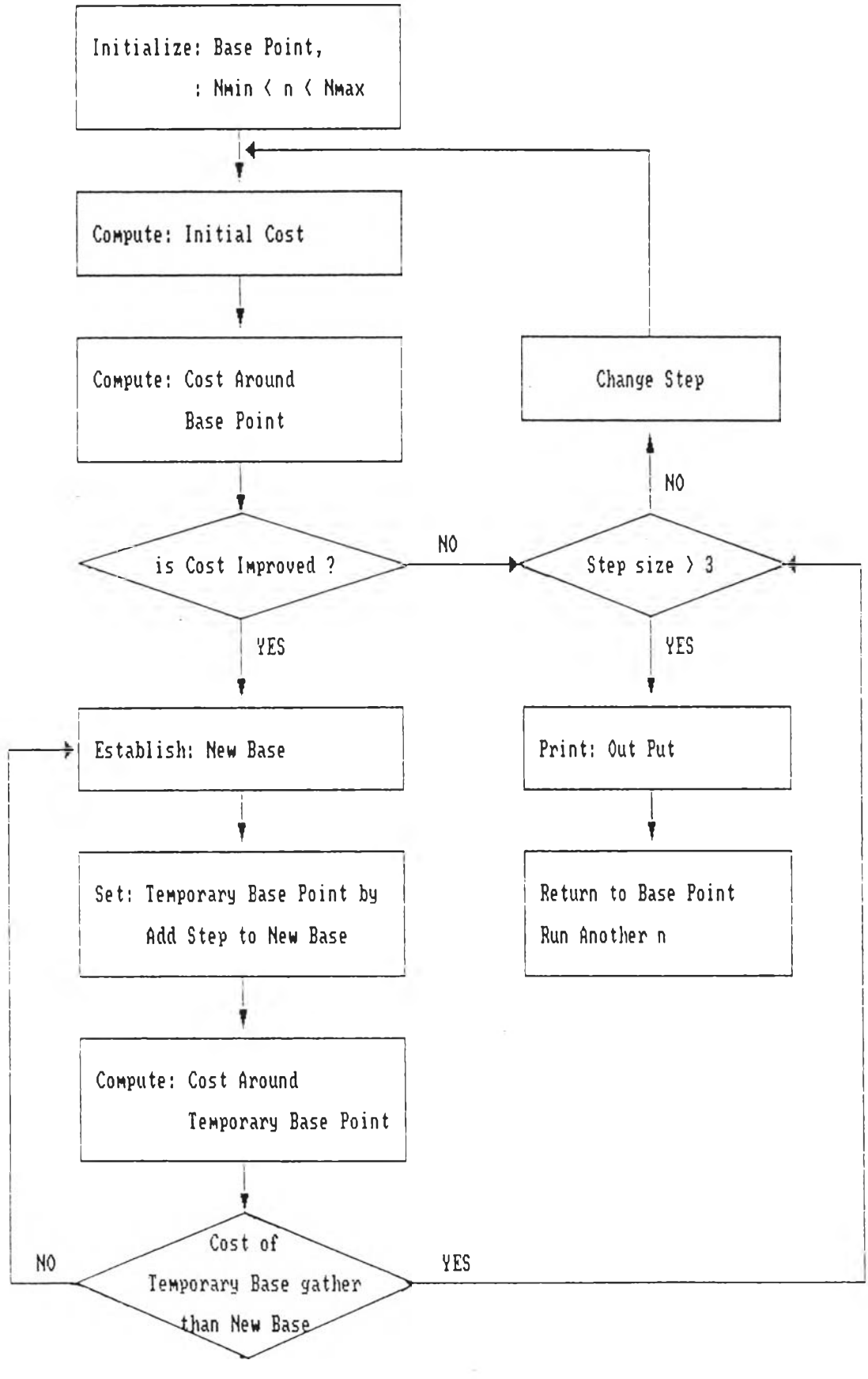
โดยแผนการหาค่าแผนแบบจะเริ่มต้นโดยการประมาณค่าของ n จากวิธีการของ Chiu และ Wetherill เพื่อนำมากำหนดช่วงของ n คำนวณค่าของ L และ h โดยเริ่มค่าของ k = 0.5 ในค่า n ที่พิจารณา กำหนดขั้นตอนการคำนวณเป็น 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเพิ่มค่าของ k ครั้งละ 0.5 เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าของ L จนได้ค่าของ L มีค่าต่ำสุดแล้วเริ่มขั้นตอนที่สองโดยการเพิ่มค่า k ครั้งละ 0.1 และขั้นตอนที่สาม เพิ่มค่า k ครั้งละ 0.01 โดยที่แต่ละขั้นตอนจะทำการเปรียบเทียบของค่า L ซ้ำ ๆ กันจบกว่าค่าของ L จะต่ำที่สุด เมื่อทำเสร็จในขั้นตอนที่สามแล้ว จะเริ่มแผนการหาใหม่โดยการทำซ้ำกับแผนการหาเดิมใน n ตัวต่อไป โดยสามารถสรุปขั้นตอนของแผนการหาค่าของแผนแบบในแผนผังดำเนินการในรูปที่ 2.7-1

ในการพิจารณาเพื่อหาค่าแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุม ในการผลิตแบบ Shutdown Process โดยมีรายละเอียดของแผนผังดำเนินการ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จัดทำเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป แสดงในภาคผนวก ง. โดยสามารถอธิบายขั้นตอนของโปรแกรมได้ดังนี้

เมื่อแทนค่าของปัจจัยค่าใช้จ่ายและปัจจัยการเสี่ยง

1 กำหนดค่า n_0 โดยวิธีการของ Chiu และ Wetherill เมื่อกำหนดค่า P เป็น 0.90 ทำการคำนวณค่า n_0 จาก $\delta\sqrt{n} - k = a = 1.2826$

และ $$\frac{(a + k)}{\phi(k)} = \frac{\delta^2 (T + D_1 V_0)}{(c + \lambda M g)}$$



รูปที่ 2.7-1 แผนผังแผนการหาค่าแผนแบบแผนภูมิควบคุมที่ให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด

2. คำนวณค่า k และ h สำหรับแต่ละค่าของ n โดยให้ n มีช่วงเป็น

$\max [(1, n_0 - 10) \leq n \leq n_0 + 10]$

การคำนวณค่า k โดยการกำหนดค่า k ให้เริ่มต้นที่ 0.5 ในขณะเดียวกันก็คำนวณค่า h โดยที่

$$h = \sqrt{\frac{\alpha(T + V_0 D_1) + (b + cn)(gn + 1)}{\lambda M(1/P - 1/2)}}$$

นำค่าพารามิเตอร์ n , k และ h ที่คำนวณได้และค่าของปัจจัยค่าใช้จ่ายและปัจจัยการเสี่ยง แทนค่าหาค่า L_s ค่าใช้จ่ายสูญเสีย

$$L_s = \frac{\lambda M B_s + \lambda V_0 C_s + (b + cn)\left(\frac{1 + \lambda B_s}{h}\right) + \frac{\alpha T}{h} + \lambda W + \lambda S}{1 + \lambda(B_s + C_s)}$$

3. เพิ่มค่า k ทีละ 0.5 และในขณะเดียวกันก็คำนวณค่า h ใหม่ แล้วนำค่าต่าง ๆ ที่ได้ คำนวณหาค่าใช้จ่ายที่สูญเสีย (L_s) ดังขั้นในค่า n ที่คำนวณอยู่ จะได้ค่า k เป็น $k_1, k_2, k_3, \ldots$ ค่า h เป็น $h_1, h_2, h_3, \ldots$ และค่า L เป็น $L_1, L_2, L_3, \ldots$ พิจารณาค่า L ที่มีค่าต่ำสุด

เมื่อ $L_s = [(1, n_0 - 10), k, h)$ ลบค่า k ออก 0.5

4. ทำเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3 แต่เพิ่มค่า k ทีละ 0.1 พิจารณาค่า L ที่มีค่าต่ำสุด ลบค่า k ออก 0.1

5. เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3 และ 4 แต่เพิ่มค่า k ทีละ 0.01 พิจารณาค่า L ที่มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งจะได้ $L_s^* = [(1, n_0 - 10), k^*, h^*]$ ของค่า n ที่คำนวณอยู่

6. คำนวณหาค่า L^* k^* และ h^* ของ n ตัวต่อไป โดยการทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 5