บทที่ 2

รูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม

แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม

แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมเป็นแผนภูมิที่นำข้อมูลในอดีตมาร่วมการวิเคราะห์ ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยค่าของข้อมูลที่จะพลอตลงบนแผนภูมิควบคุมเกิดจากผลรวมของค่าของข้อมูลทุกค่าในอดีต โดยมีพจน์ที่เกี่ยวข้องในการใช้แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมดังนี้

1. จำนวนครั้งเฉลี่ย (Average Run Lenght ;A.R.L)

ในกระบวนการผลิต ถ้าค่าเฉลี่ยของการผลิตอยู่ที่ μ_a และต่อมาการผลิตได้เปลี่ยนแปลงไปทำให้ค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไปเป็นจำนวน δ และถ้าการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นอยู่เรื่อยๆ จนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงนั้นถูกพบโดยแผนภูมิควบคุม A.R.L คือ จำนวนเฉลี่ยของจุดจะต้องพลอตก่อนที่แผนภูมิควบคุมได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง ทั่วไปA.R.L ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมขึ้นอยู่กับค่าของระดับกระบวนการผลิต ซึ่งโดยทั่วไปมี 2 ระดับ คือ ระดับคุณภาพที่ยอมรับได้ μ_a และระดับคุณภาพที่ไม่ยอมรับ μ_r และจำนวนครั้งเฉลี่ยของระดับคุณภาพทั้ง 2 เป็น L_a , L_r ตามลำดับ

2. เขตการตัดสินใจ (Decision Limit ; h)

เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม จุดx_j ที่พลอตบนแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมจะมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงอย่างสุ่ม แต่เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงไป จุด x_j ที่พล็อตจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง เขตการตัดสินใจ(Decision Limit ; h) เป็นสิ่งที่ใช้ในการแบ่งแยกกระบวนการผลิตระหว่าง อยู่สภาวะควบคุมกับไม่อยู่ในสภาวะควบคุม ถ้า x_j ที่พล็อตมีค่าเกิน h แสดงว่าค่าเฉลี่ยของ กระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง

3. ค่าอ้างอิง (Referent Value ; k)

ค่าอ้างอิง k เป็นค่าที่ใช้ในการพลอตแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม โดยค่าอ้างอิงนี้อยู่ระหว่าง μ_a และ μ_r Ewan และKemp ได้เสนอ ค่าอ้างอิงกึ่งกลาง (Central Referent Value) $k=(\mu_a + \mu_r)/2$ ซึ่งเมื่อกำหนดค่า L_a ,L_r จะทำให้ขนาดตัวอย่าง (n) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ใช้ค่าอ้างอิงกึ่งกลางเป็นค่าอ้างอิง

วิธีการตัดสินใจของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม

1. วิธีการตัดสินใจชนิดด้านเดียว(One-sided chart)

วิธีนี้จะพิจารณาเฉพาะค่าเฉลี่ยที่สูงหรือต่ำกว่าเป้าหมายด้านในด้านหนึ่งเท่านั้น การที่จะสรุปว่ากระบวนการผลิตได้เปลี่ยนแปลงไปหรือไม่จะพิจารณาการพล็อตผลต่างสะสม $\Sigma(\bar{x}_i - k)$ เมื่อ k คือค่าอ้างอิงที่ตั้งไว้ในกรณีที่ต้องการดูการเปลี่ยนแปลงไปในทางด้านบวก การพลอตจะพลอตเฉพาะค่าบวกเท่านั้น ทันทีที่ผลต่างสะสมมีค่าน้อยกว่าศูนย์ จะต้องเริ่มพล็อตผลต่างสะสมใหม่เมื่อผลต่างสะสม$\Sigma(x_i - k)$ มีค่ามากกว่าเขตการตัดสินใจ(h) จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง ในกรณีที่ต้องการดูการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยในทางลบ ค่าอ้างอิง(k) จะต้องมีค่าน้อยกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ และให้ตรวจสอบดูว่าผลต่างสะสม $\Sigma(\bar{x}_i - k)$ มีค่าน้อยกว่า -h หรือไม่ ถ้าน้อยกว่าก็แสดงว่าได้มีการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต

2. วิธีการตัดสินใจชนิดสองด้าน(Two one-sided chart)

เป็นการตัดสินชนิดด้านเดียวทั้งด้านบวกและด้านลบพร้อมกัน โดยการให้ค่าอ้างอิงด้านบวกเท่ากับ k_1 และทางด้านลบเท่ากับk_2 โดยที่ $k_1 > k_2$

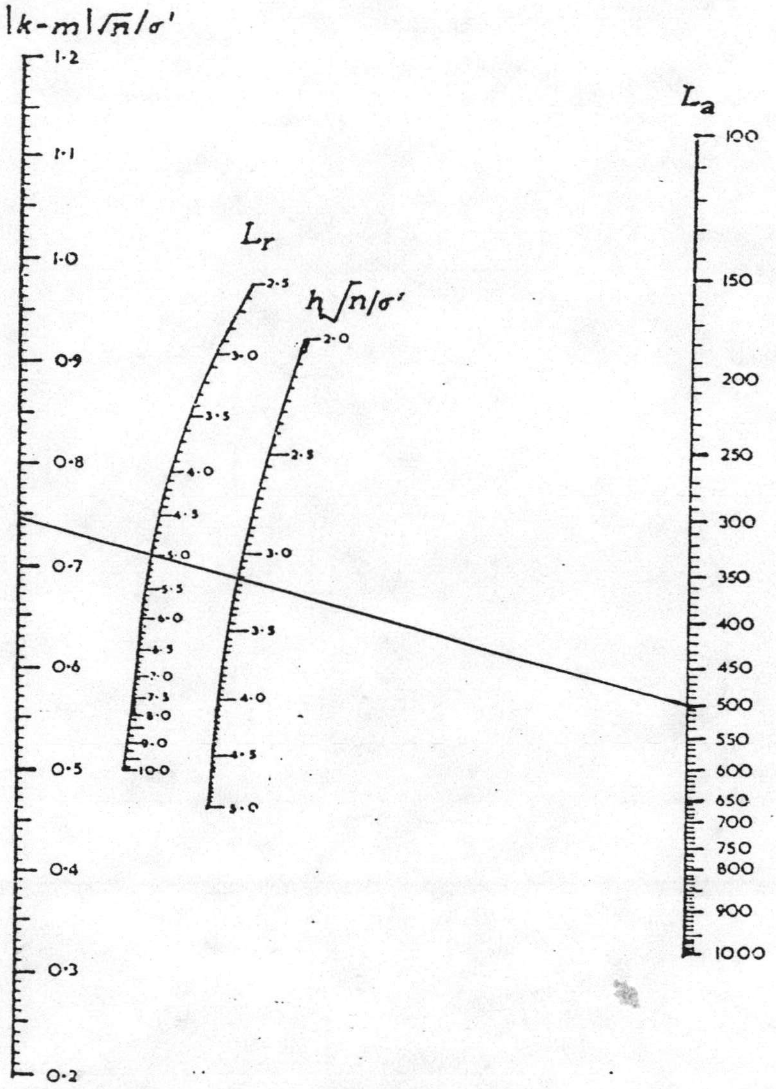
จำนวนครั้งเฉลี่ย(Average Run Lenght;A.R.L)ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม

ในการหา A.R.Lสำหรับแผนการควบคุมหาได้ไม่ง่าย ถ้าไม่อาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าช่วย ซึ่งแต่เดิมนั้นการค่า A.R.L ประมาณได้โดยอาศัยโมโนกราฟ(Monograph) ที่เสนอโดยเคนพ์ (Kemp) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เมื่อกระบวนการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ*

ให้ μ_a เป็นระดับคุณภาพที่ยอมรับได้ และ μ_r เป็นระดับคุณภาพที่ไม่ยอมรับ k เป็นค่าอ้างอิงซึ่งอยู่ระหว่าง μ_a และ μ_r และทราบค่าส่วนเบี่ยงมาตรฐาน สำหรับวิธีการตัดสินใจที่กำหนดค่าอ้างอิง k เขตการตัดสินใจ h และขนาดตัวอย่าง n จะหาค่าA.R.L ที่μ_a และ μ_r ได้ดังนี้จากรูปที่ 2.1 โดยลากผ่านจุดบนเส้น $h\sqrt{n}/\sigma$ และ$(k-\mu)\sqrt{n}/\sigma$ ไปยังเส้น L_a และ L_r ซึ่งจะได้ค่า A.R.L ที่ μ_a และค่า A.R..L ที่ μ_r ตามลำดับ

---

* หมายเหตุ การใช้โมโนกราฟในการหาค่า A.R.L ให้ค่าไม่ละเอียดและความถูกต้องขึ้นอยู่กับการลากเส้น ผู้วิจัยได้จัดทำตารางในการหาค่า A.R.L เพื่อความสะดวกในการใช้งาน แสดงไว้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 2.1 โมโนกราฟ(Monograph) ในการหาค่าA.R.L เมื่อค่าเฉลี่ยมีการแจกแจงแบบปกติ

การหาแผนแบบของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่ใช้เกณฑ์จำนวนครั้งเฉลี่ย(Average Run Lenght ;A.R.L)

จำนวนครั้งเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมคือ จำนวนเฉลี่ยของจุดที่พลอตก่อนที่แผนภูมิควบคุมได้แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วโดยไปค่า A.R.L จะมีค่ามาก ถ้ากระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลงจากระดับคุณภาพที่ยอมรับได้ μ_a ในทางตรงข้ามค่าของA.R.L จะมีค่าน้อยเมื่อกระบวนการผลิตอยู่ที่เป็นระดับคุณภาพที่ยอมรับไม่ได้ μ_r การหาค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม ค่าของ A.R.L L_a ที่ μ_a และ L_r ที่ μ_r จะถูกกำหนดซึ่งจะได้ค่าพารามิเตอร์ตามต้องการ แต่ถ้าเป็นวิธีการตัดสินใจ 2 ด้าน ค่า A.R.L ที่ μ_{a1} และμ_{a2} ซึ่งจำนวนเท่ากับ L_{r1} และL_{r1} แทนค่าL_r ทำการคำนวณ

ตัวอย่างการหาค่าแผนแบบของแผนภูมิผลรวมสะสม

การหาแผนแบบการตรวจสอบของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่มีวิธีการตัดสินใจชนิดด้านเดียว ที่มีค่า A.R.L เท่ากับ 500 เมื่อค่าเฉลี่ยของการผลิตอยู่ที่ 50 (คือระดับที่คุณภาพที่ยอมรับได้) และค่า A.R.L เท่ากับ 5 เมื่อค่าเฉลี่ยของการผลิตอยู่ที่ 55 (คือระดับคุณภาพที่ยอมรับไม่ได้) กำหนดให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5 ค่าอ้างอิง k ใช้ค่าอ้างอิงกึ่งกลาง

$$k=(55+50)/2 = 52.5$$

การหาค่า h และ n ทำโดยการลากเส้นลงไปในรูป 2.1 โดยที่ให้อยู่บนเส้นL_r เท่ากับ 5 และบนเส้น L_a เท่ากับ 500 ซึ่งจะตัดเส้น $(k - m)\sqrt{n}/\sigma$ ที่ 0.745 และเส้น $h\sqrt{n}/\sigma$ ที่ 3.35 ซึ่งจะได้ค่าพารามิเตอร์ของแผนแบบดังนี้

$$(k - m)\sqrt{n}/\sigma = 0.745$$

$$n = 2.22$$

การสุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบคุณภาพ จำนวนที่สุ่มต้องเป็นจำนวนเต็ม เพราะฉนั้นการสุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบคุณภาพครั้งนี้ใช้ตัวอย่างแต่ละครั้งเท่ากับ 2

$$h\sqrt{n}/\sigma = 3.35$$

$$h = 11.83$$

แผนแบบการตรวจสอบคุณภาพครั้งนี้มีพารามิเตอร์ประกอบด้วย k = 52.5 ,n = 2 และ h=11.83 หรือแผนแบบการตรวจสอบเป็นการหาผลต่าง $(\bar{x}_i - 52.5)$ เมื่อ $\bar{x}_i$ คือค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างสุ่มซึ่งมีขนาดเท่ากับ 2 ถ้าผลต่างสะสมมีค่าเป็นลบ ก็จะเริ่มใหม่ แต่ถ้าเกิน 11.83 จะสรุปว่าการผลิตนี้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

การคำนวณหาค่าจำนวนครั้งเฉลี่ย(A.R.L)

เพจ(Page;1945) ได้อธิบายการหาค่า A.R.L มีวิธีการหาเหมือนกับอนุกรมการทดสอบอนุกรมของแวด(Wald) ซึ่งมีขอบเขตอยู่ที่(o,h) โดยกำหนดให้ P(z) เป็นความน่าจะเป็นที่ทดสอบจะเริ่มจากขอบเขตล่างเป็นระยะทาง z N(z)เป็นขนาดตัวอย่างเฉลี่ยอย่างมีเงื่อนไขในการทดสอบ และ $N_1(z)$และ$N_2(z)$ เป็นขนาดตัวอย่างที่สุ่มโดยเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขที่การทดสอบสิ้นสุดลงบนขอบเขตล่างและขอบเขตบน ตามลำดับ

ให้ L(z) เป็นค่า A.R.L ของแบบแผน ซึ่งที่เริ่มสะสมเป็นระยะทาง z จากขอบเขตล่าง P(0) เป็นความน่าจะเป็นของการทดสอบเริ่มจากขอบเขตล่าง ถ้าการทดสอบสิ้นสุดลงบนขอบเขตล่างเป็นการยอมรับการทดสอบ และในทางตรงกันข้ามถ้าสิ้นสุดลงบนขอบเขตบนเป็นการปฏิเสธการทดสอบ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ r ที่ยอมรับการทดสอบก่อนปฏิเสธการทดสอบจะเกิดขึ้นเป็น $\{P(0)\}^r(1-P(0))$ ดังนั้นจำนวนค่าคาดหวังของการยอมรับการทดสอบก่อนปฏิเสธการทดสอบที่จะเกิดขึ้น มีค่าเป็น

$$E(r) = \sum_{r=1}^{\infty} r\,[P(0)]^r\,(1-P(0))$$

$$= (1-P(0))P(0)\sum_{r=1}^{\infty} r[P(0)]^{r-1}$$

$$= (1-P(0))P(0)\sum_{r=1}^{\infty} \frac{d}{dr}[P(0)]^r$$

$$= (1-P(0))P(0)\frac{d}{dr}[1+P(0)+[P(0)]^2+\ldots\ldots\ldots]$$

$$= [1-P(0)]P(0)\frac{d}{dr}\left[\frac{1}{1-P(0)}\right]$$

$$= [1-P(0)]P(0)\left[\frac{1}{1-P(0)}\right]^2$$

$$E(r) = \frac{P(0)}{1-P(0)}$$

ดังนั้น A.R.L คือขนาดเฉลี่ยของตัวอย่างที่มีการตรวจสอบก่อนการปฏิเสธการทดสอบ จะเท่ากับ

L(0) =(จำนวนค่าคาดหวังของการยอมรับการทดสอบก่อนปฏิเสธการทดสอบจะเกิดขึ้น)x{(ขนาดตัวอย่างที่สุ่มโดยเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขการยอมรับการทดสอบ)+(ขนาดตัวอย่างที่สุ่มโดยเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขการปฏิเสธการทดสอบ)}

$$= \left\{\frac{P(0)}{1-P(0)}\right\}\{N_1(0)\}+\{N_2(0)\}$$

$$= \frac{P(0).N_1(0) + \{1-P(0)\}\{N_2(0)\}}{\{1-P(0)\}}$$

=[{ความน่าจะเป็นของการยอมรับการทดสอบ}{ขนาดตัวอย่างสุ่มโดยเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขการยอมรับการทดสอบ}+{ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการทดสอบ}{ขนาดตัวอย่างสุ่มโดยเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขการปฏิเสธการทดสอบ}/{1-P(0)}

$$= \frac{N(0)}{1-P(0)}$$

ดังนั้น

$$A.R.L = \frac{N(0)}{1-P(0)}$$

เมื่อรู้ค่าของP(0) และ N(0) สามารถหาค่าA.R.L ได้แต่ค่าของP(0)และN(0)ได้จากรูปแบบสมการของP(z) และN(z) กำหนดให้ค่า x_i เป็นค่าสังเกตุที่ i จากประชากรที่มีฟังค์ชันความหนาแน่น f(x) และP(z) ,N(z) มีค่าเท่ากับ

$$P(z) = \int_{-\infty}^{-z} f(x)dx + \int_{0}^{h} P(x)f(x-z)dx$$

และ

$$N(z) = 1 + \int_{0}^{h} N(x)f(x-z)dx$$

สมการP(z) และN(z) อยู่ในรูปที่ซับซ้อนคำนวณหาค่าได้ยาก เคมพ์(Kemp)เสนอการประมาณค่าP(z) ,N(z) ไว้ในกรณีที่ตัวอย่าง x_j มีการแจกแจงแบบปกติ

$$P(z) = P(0)+[P(h(\sqrt{n}/\sigma)) - P(0)]\{1-\exp(-2z\theta(\sqrt{n}/\sigma))\}\{1-\exp[(-2h\theta)(\sqrt{n}/\sigma)]\}^{-1}$$

ค่าของP(0)และP(h)ได้จากการแก้สมการ

$$K_1P(0)+K_2P(h(\sqrt{n}/\sigma)) = \Phi(-\theta(\sqrt{n}/\sigma))$$

$$\exp(-2h\theta(\sqrt{n}/\sigma))K_2P(0)+K_1P(h(\sqrt{n}/\sigma)) = \Phi[(-h-\theta)(\sqrt{n}/\sigma)]$$

เมื่อ$\Phi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{x} \exp(-y^2/2)dy$

$$K_2 = [1+\Phi[(h+\theta)(\sqrt{n}/\sigma)] - \Phi[(h-\theta)(\sqrt{n}/\sigma)] - 2\Phi(\theta(\sqrt{n}/\sigma))]\{1-\exp(-2h\theta(\sqrt{n}/\sigma))\}^{-1}$$

$$K_1 = 1 - \Phi[(h - \theta)(\sqrt{n}/\sigma)]+\Phi(-\theta(\sqrt{n}/\sigma)) - K_2$$

ดังนั้น เมื่อ $\theta = 0$

$$P(z) = P(0)+[1 - 2P(0)](z/h)(\sqrt{n}/\sigma)$$

ซึ่ง

$$P(0) =\{\tfrac{1}{2}h\sqrt{(2\pi)}(\sqrt{n}/\sigma)+(1-\exp(-(h\sqrt{n}/\sigma)^2/2)\}\{h\sqrt{(2\pi)}(\sqrt{n}/\sigma)[\tfrac{3}{2}- \Phi(h(\sqrt{n}/\sigma))] +2(1-\exp(-(h\sqrt{n}/\sigma)^2/2))^{-1}$$

และค่าของ N(z) เท่ากับ

$$N(z) = N(0) - z/\theta(\sqrt{n}/\sigma) +\{[N(h(\sqrt{n}/\sigma)) - N(0)](\theta+h)(\sqrt{n}/\sigma)\}\{1-\exp(-2z\theta(\sqrt{n}/\sigma))\} \{\theta(\sqrt{n}/\sigma)(1 - \exp(-2h\theta(\sqrt{n}/\sigma)))\}^{-1}$$

ค่าของN(0)และN(h)ได้จากการแก้สมการ

$$K_1N(0)+K_2N(h) = [1 - \Phi[(h-\theta)(\sqrt{n}/\sigma)]+\Phi(-\theta(\sqrt{n}/\sigma)) - K_2h/\theta+[\exp\{\frac{-1}{2}(h-\theta(\sqrt{n}/\sigma))^2 - \exp\{-[\theta(\sqrt{n}/\sigma)]^2/2\}]/(\theta\sqrt{2\pi}\ \sqrt{n}/\sigma)]$$

$$\exp(-2h\theta(\sqrt{n}/\sigma))K_2N(0)+K_1N(h(\sqrt{n}/\sigma)) = [1+h/\theta-[\Phi((h+\theta)(\sqrt{n}/\sigma)) - \Phi(\theta(\sqrt{n}/\sigma))](1+h/\theta) - K_1h/\theta) + \exp(-\theta(\sqrt{n}/\sigma))^2/2) - \exp\{\frac{-1}{2}((h+\theta)(\sqrt{n}/\sigma))^2\}]/\theta\sqrt{2\pi}(\sqrt{n}/\sigma)]$$

ค่าK_1และK_2 หาคล้ายกับการหาในการแก้สมการของP(0) และP(h)

ดังนั้น เมื่อ $\theta = 0$

$$N(z) = N(0) + (h-z)z(\sqrt{n}/\sigma)$$

ซึ่ง

$$N(0) = 1 + \frac{h}{\sqrt{2\pi}}(\sqrt{n}/\sigma)\{\frac{3}{2} - \Phi(h(\sqrt{n}/\sigma))\}^{-1}$$

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าA.R.L

กำหนดให้ $h = 1$, $\mu_a = 0, \mu_r = 1$ โดยที่ $\theta = 0.5, z=0, n=1, \sigma = 1$ และตัวแปรสุ่ม x มีการแจกแจงแบบปกติ

ค่าคงที่ K_1และ K_2 มีค่าเท่ากับ

$$K_2 = [1+\Phi(h+\theta) - \Phi(h-\theta) - 2\Phi(\theta)]\ (1 - \exp(-2h\theta)^{-1}$$

$$= [1+\Phi(1.5) - \Phi(0.5) - 2\Phi(0.5)]\ (1 - \exp(-1.0)^{-1}$$

$$= [1 + 0.9332 - 0.6915 - 1.3830][1 - 0.3679]^{-1}$$

$$= -0.2235$$

$$K_1 = [1 - \Phi(h-\theta)+\Phi(-\theta) - K_2]$$

$$= [1 - \Phi(0.50)+\Phi(-0.50) - (-0.2235)]$$

$$= [1-0.6915+0.3085+0.2235]$$

$$= 0.8405$$

จากการแก้สมการจะได้

$$P(0) = \frac{K_1\Phi(-\theta)-K_2\Phi(-h-\theta)}{K_1^2-K_2^2e^{-2h_\theta}}$$

$$= \frac{(0.8405)\Phi(-0.5)-(-0.2235)\Phi(-1.5)}{(0.8405)^2-(-0.2235)^2e^{-1.0}}$$

$$= 0.3986$$

จากการแก้สมการจะได้

$$N(0) = (K_1^2 - K_2^2 e^{-2h\theta})^{-1}[K_1(1 - \Phi(h-\theta) + \Phi(-\theta) - K_2 h/\theta) + K_1[\exp\{-(h-\theta)^2/2\}$$

$$-\exp\{-\theta^2/2\}]1/\theta\sqrt{2\pi} \; - K_2[1 + h/\theta - \{\Phi(h+\theta) - \Phi(\theta)\}(1 + h/\theta) - K_1 h/\theta]$$

$$-K_2[\exp\{-\theta^2/2\} - \exp\{-(h+\theta)^2/2\}/\theta\sqrt{2\pi}$$

$N(0) = 1.6369$

$$A.R.L = \frac{N(0)}{1-P(0)}$$

$$= 1.6369/(1-0.3968)$$

$A.R.L = 2.7218$

ข้อสมมุติของกระบวนการผลิตในการกำหนดรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม

ลักษณะรูปแบบของกระบวนการผลิต โดยสมมุติว่าเริ่มต้นกระบวนการผลิตอยู่ในสภาควบคุมที่เวลา t =0 มีค่าเฉลี่ย μ_a และค่าความแปรปรวนมีค่าคงที่เป็นσ^2การบกพร่องในการผลิตเป็นแบบทางเดียว (Single Assignable Cause) เกิดขึ้นอย่างสุ่ม และการบกพร่องในการผลิตมีขนาดเป็น $\delta\sigma$ ซึ่งมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีค่าใหม่เป็น $\mu_r = \mu_a + \delta\sigma$ หรือ $\mu_a - \delta\sigma$ ซึ่งทำให้ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตอยู่ที่ระดับใหม่ ที่ระดับสภาวะไม่อยู่ในการควบคุมจนกระทั่งมีการตรวจพบโดยแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม และมีการปรับแก้ทำให้ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตกลับมาอยู่ที่ระดับควบคุม μ_a เช่นเดิมและจะอยู่ที่ระดับสภาวะควบคุมจนกระทั่งการบกพร่องเกิดขึ้นใหม่อีกครั้ง

ในทางปฏิบัติมีบางกรณีที่มีการเปลี่ยนระดับของกระบวนการผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง หรือกระบวนการผลิตมีสภาวะที่ไม่อยู่ในการควบคุมมากกว่า 1 สภาวะ อย่างไรก็ตามลักษณะของกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะพิจารณาสภาวะเพียง 2 สภาวะ คืออยู่ในสภาวะควบคุม และไม่อยู่สภาวะควบคุม

ลักษณะของรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการกำหนดค่าของแผนแบบของแผนภูมิควบคุม จะขึ้นอยู่กับพื้นฐานของพฤติกรรมของกระบวนการผลิตที่สนองต่อกิจกรรมในทางเศรษฐศาสตร์ ข้อสมมุติที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตต่อไปนี้ เป็นข้อสมมุติที่แสดงถึงพฤติกรรมของกระบวนการผลิตที่ใช้เป็นหลักในการพิจารณาในการกำหนดรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมของงานวิจัยครั้งนี้

1. สาเหตุการเกิดการบกพร่องเป็นการบกพร่องในการผลิตทางเดียว (Single Assignable Cause) ลักษณะของการเปลี่ยนไประหว่างสภาวะการผลิตที่อยู่ในการควบคุมไปสู่สภาวะการผลิตที่ไม่อยู่ในการควบคุมนั้นมีเพียงลักษณะเดียว และ สมมุติว่าการเกิดเหตุบกพร่องในการผลิตจะเกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาที่มีลักษณะเป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซง (Poisson Process) โดยที่การเกิดการบกพร่องในการผลิตจะมีจำนวนเป็น λ ครั้งต่อหน่วยเวลา นั้นคือ ถ้ากระบวนการผลิตเริ่มต้นในสภาวะควบคุมแล้ว ช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตจะยังคงอยู่ในสภาวะควบคุมจะเป็นไปตามตัวแปรสุ่มแบบชี้กำลัง (Exponential Random Variable) ค่าคาดหวังของเวลาที่กระบวนการผลิตยังคงอยู่ในสภาวะควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $1/\lambda$

2. ไม่เกิดการบกพร่องในระหว่างการสุ่มตัวอย่าง นั้นคือระดับของค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต จะไม่เปลี่ยนไประหว่างการสุ่มตัวอย่าง

3. ค่าใช้จ่ายของการปรับแก้หรือการซ่อมบำรุงที่นำกระบวนการผลิตกลับมาสู่สภาวะควบคุมไม่ถูกนำมาพิจารณา

4. เวลาที่ในการสุ่มตัวอย่าง การตรวจสอบ และพล๊อตจุดบนแผนภูมิเป็นสัดส่วนกับขนาดตัวอย่าง

5. ทราบค่าของปัจจัยค่าใช้จ่ายและปัจจัยการเสี่ยงที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิต

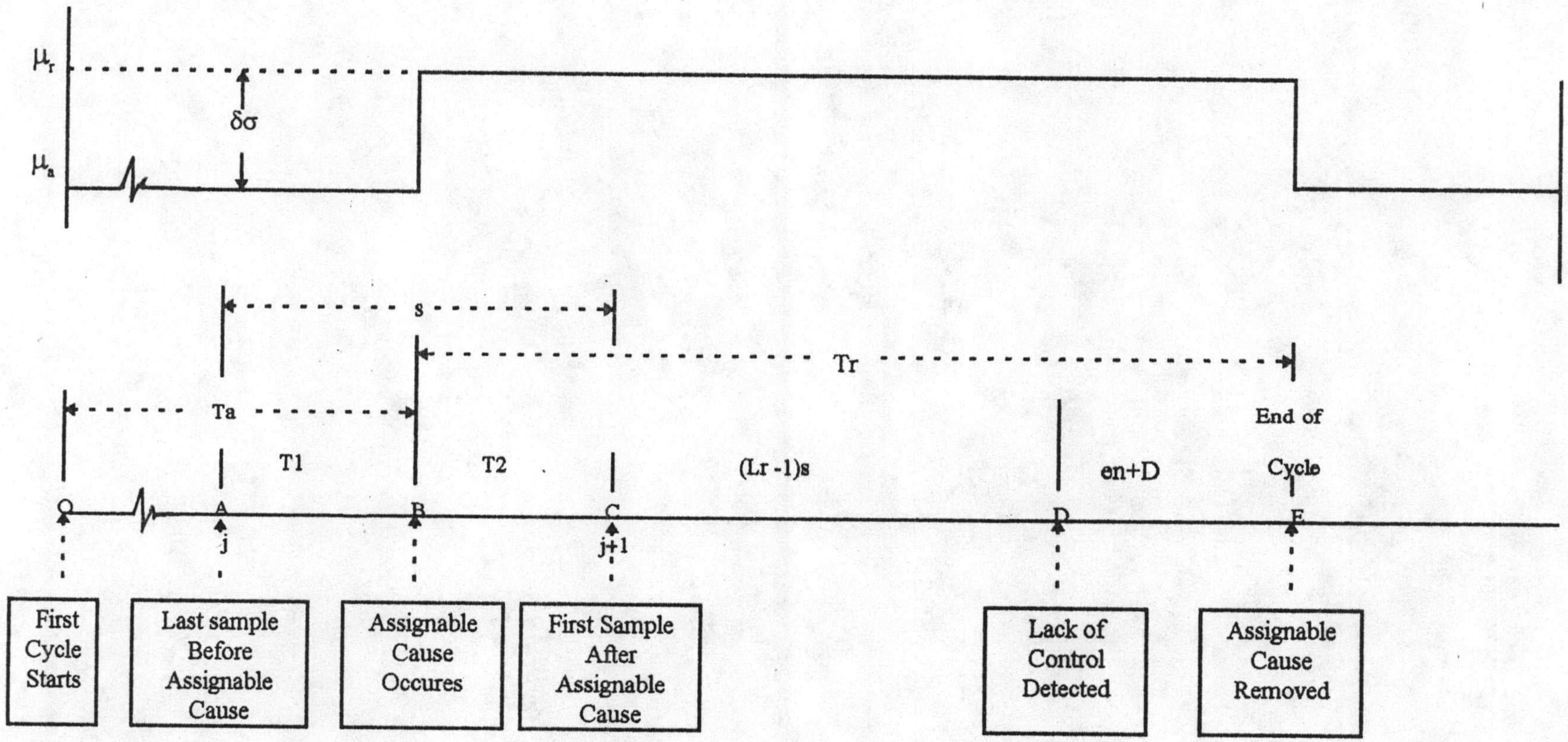
โดยทั่วไปในทางเศรษฐศาสตร์มักจะพิจารณารูปแบบในรูปของฟังชั่นค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อหน่วยเวลา ซึ่งจะพิจารณาในรูปของอนุกรมที่กำหนดเป็นวงจรการผลิต โดยที่แต่ละวงจรการผลิตจะเริ่มต้นที่กระบวนการผลิตอยู่สภาวะควบคุม เมื่อพบว่ามีบางจุดในระหว่างวงจรการผลิตแสดงถึงการบกพร่องในการผลิตเกิดขึ้น จะทำให้การผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม การเตือนบนแผนภูมิจะเกิดขึ้นเป็นการนำไปสู่การค้นหาสาเหตุการบกพร่องนั้นๆ และการแก้ไขปรับกระบวนการผลิตให้กลับไปสู่สภาวะควบคุม แล้วการผลิตก็จะเริ่มต้นใหม่

ถ้ากำหนดให้ E(T) คือ ค่าคาดหวังของช่วงความยาวของวงจรการผลิต และกำหนดให้ E(C) คือ ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในหนึ่งวงจรการผลิต ดังนั้นค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อหน่วยเวลาจะเท่ากับ

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

รูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมในกระบวนการผลิตแบบดันแคน(Duncan Process)

ลักษณะรูปแบบของกระบวนการผลิตแบบดันแคน (Duncan Process) มีข้อสมมุติว่ากระบวนการผลิตจะไม่หยุดขณะค้นหาสาเหตุการบกพร่อง
เริ่มต้นกระบวนการผลิตที่จุด O ซึ่งอยู่ในสภาวะควบคุม โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ μ_a และค่าเฉลี่ยจะคงอยู่ที่ระดับนี้จนกระทั่งเกิดการบกพร่องในการผลิตที่จุด B ซึ่งทำให้ระดับค่าเฉลี่ยของการผลิตเปลี่ยนแปลงมาอยู่ที่ μ_r การบกพร่องในการผลิตถูกทำการปรับแก้ที่จุด E และทำให้ระดับค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตกลับมาที่สภาวะอยู่ในการควบคุมที่ μ_a นั้นก็คือ OBและBE คือช่วงเวลาของกระบวนการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุมและไม่อยู่ในสภาวะควบคุมนั้นเอง โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.2ได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 วงจรการผลิตแบบกระบวนการผลิตแบบดันแคน(Duncan Process)

วงจรการผลิตถูกกำหนดในระยะเวลาการผลิต โดยที่กระบวนการผลิตจะถูกสมมุติว่า กระบวนการผลิตเริ่มต้นอยู่ในสภาวะควบคุมเสมอ โดยวงจรการผลิตจะประกอบไปด้วย 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม และช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม โดยแบ่งช่วงเวลาแบ่งได้ดังนี้

1. ช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตอยู่สภาวะควบคุม OB จากข้อสมมุติที่ว่าการเกิดการบกพร่องในกระบวนการผลิตเป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซง(Poisson Process) ดังนั้นค่าคาดหวังของเวลาที่กระบวนการผลิตยังคงอยู่ในสภาวะควบคุม

$T_a = 1/\lambda$

2. ช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม

2.1 ช่วงเวลาการเกิดการบกพร่องจนถึงการสุ่มตัวอย่างครั้งแรกเมื่อกระบวนการผลิตไม่อยู่สภาวะควบคุม ถ้าการเกิดการบกพร่องในกระบวนการผลิตจะสมมุติว่า เป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซง(Poisson Process) ที่มีความหนาแน่นเป็น λ เหตุการณ์ต่อชั่งโมง ดังนั้นถ้าสมมุติให้การเกิดการบกพร่องในการผลิตเกิดขึ้นระหว่างตัวอย่างที่ j และ j+1 โดยที่ค่าคาดหวังของช่วงเวลาของการเกิดการบกพร่องในการผลิตที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างตัวอย่างที่ j และ j+1

$$= \frac{\int_{js}^{(j+1)s} e^{-\lambda t} \lambda (t - js)\, dt}{\int_{js}^{(j+1)s} e^{-\lambda t} \lambda\, dt}$$

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

โดยที่ s คือ ช่วงเวลาระหว่างตัวอย่างที่ถูกสุ่มมีหน่วยเป็นชั่วโมง

ดังนั้นค่าคาดหวังของช่วงเวลาการเกิดการบกพร่องจนถึงการสุ่มตัวอย่างครั้งแรกเมื่อกระบวนการผลิตจะไม่อยู่ในสภาวะควบคุม เท่ากับ

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

$$= s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda$$

2.2ช่วงเวลาเกิดการสุ่มตัวอย่างครั้งแรกของกระบวนการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุมจนกระทั่งการบกพร่องตรวจพบโดยแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม

ให้จำนวนเฉลี่ยของตัวอย่างสุ่มที่ใช้เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตที่เปลี่ยนไปจะถูกตรวจพบมีค่าเป็น L_r โดยที่L_r นี้เป็นจำนวนครั้งเฉลี่ยของแผนภูมิผลรวมสะสมเมื่อกระบวนการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างของ L_r เป็น $(L_r -1)s$ ชั่วโมง

2.3 ช่วงเวลาในการสุ่มและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม สมมุติให้ e เป็นปัจจัยความล่าช้า ในการสุ่มตัวอย่างและการพล็อตจุดบนแผนภูมิควบคุมหนึ่งรายการ โดยปกติค่า e จะเท่ากับศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามค่า e สามารถมีค่ามากกว่าศูนย์ได้ ในกรณีที่การสุ่มตัวอย่างจะต้องเสียเวลาในการทดสอบค่าที่นำมาแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม ดังนั้นสำหรับขนาดตัวอย่าง n ช่วงเวลาในการสุ่มและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุมอาจเรียกว่า ความล่าช้าในการแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม มีค่าเท่ากับ en

2.4 ช่วงเวลาที่ใช้หาสาเหตุการบกพร่องในการผลิตหลังจากการบกพร่องถูกตรวจพบ มีจุดใดจุดหนึ่งตกอยู่นอกขอบเขตควบคุม มีค่าเท่ากับ $T_4 = D$

ดังนั้นค่าคาดหวังของช่วงเวลาที่กระบวนการไม่อยู่ในการควบคุมมีค่าเท่ากับ

$$T_r = s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda + (L_r -1)s + en + D$$

ดังนั้นค่าคาดหวังของระยะเวลาหนึ่งวงจรการผลิตเท่ากับ

E(T) = E(ช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตอยู่สภาวะควบคุม) + E(ช่วงเวลาที่กระบวนการการผลิตไม่อยู่สภาวะควบคุม)

$$E(T) = 1/\lambda + s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda + (L_r -1)s + en + D$$

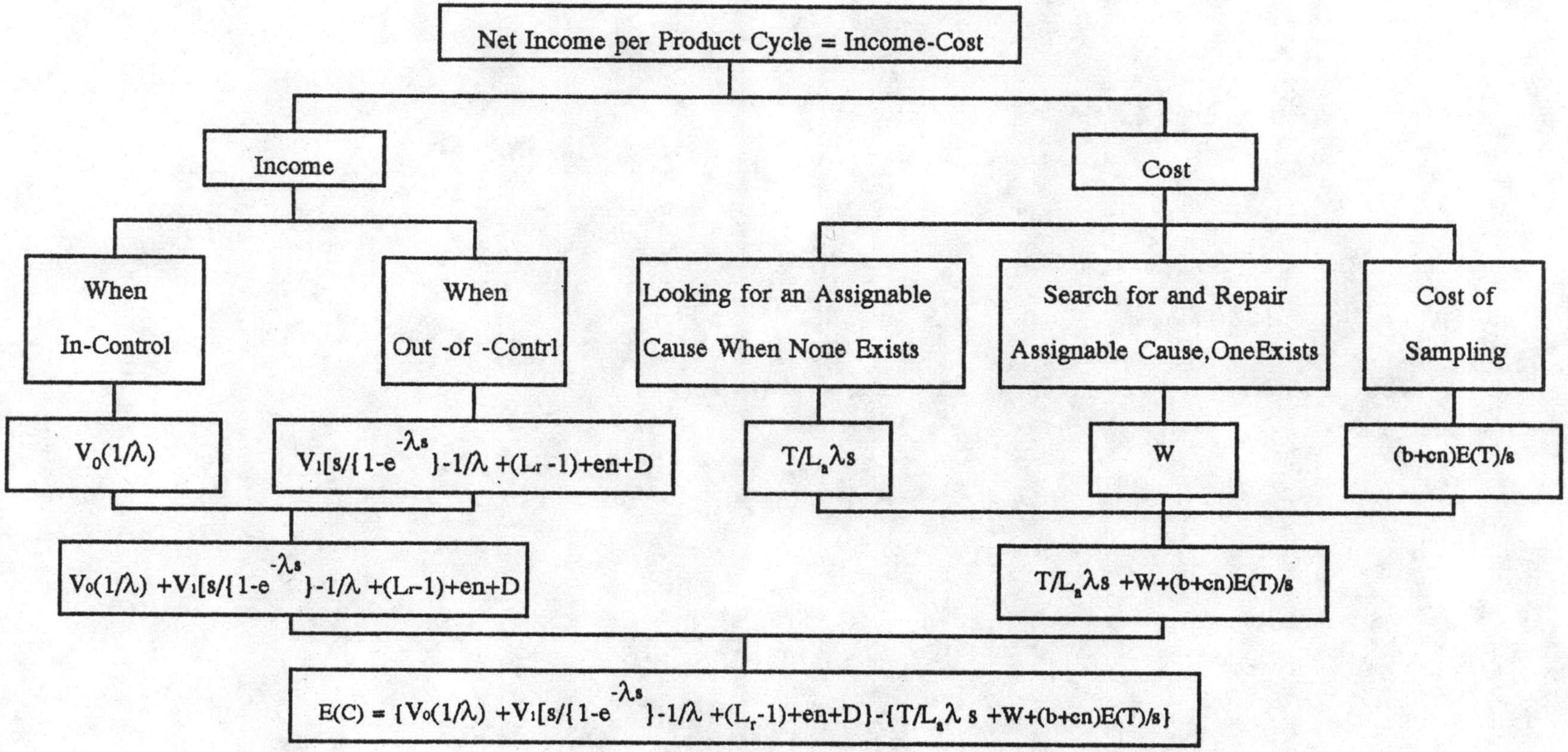
$$E(T) = s/\{1-e^{-\lambda s}\} + (L_r -1)s + en + D$$

รายได้และรายจ่ายที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งวงจรการผลิต

กำหนดให้ V_0 คือ รายได้สุทธิต่อชั่วโมงของการดำเนินการการผลิตที่เกิดขึ้น เมื่อการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม และV_1 คือ รายได้สุทธิของการดำเนินการผลิตเมื่อการผลิตไม่อยู่สภาวะควบคุม โดยที่รายได้และรายจ่ายที่เกิดขึ้นในวงจรการผลิตในกระบวนการผลิตแบบดันแคน(Duncan Prcess) ของการผลิตหนึ่งวงจรการผลิต แสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งแยกออกได้ดังนี้คือ

รายได้

1. รายได้เมื่ออยู่ในสภาวะควบคุม มีค่า $V_0 1/\lambda$
2. รายได้เมื่อไม่อยู่ในสภาวะควบคุม มีค่า $V_1 [s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda + (L_r -1)s + D + en]$



รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงรายได้และรายจ่ายที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งวงจรการผลิตในกระบวนการผลิตแบบดันแคน(Duncan Process)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายจ่าย

1. ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเตือนที่ผิด โดยทั่วไปแล้วหลังตัวอย่างทุกๆ L_a หรือ เวลาผ่านไปทุกๆ $L_a s$ ชั่วโมง จะเกิดการเตือนที่ผิดครั้งหนึ่ง เมื่อ L_a เป็นค่า A.R.L ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม เมื่อกระบวนการผลิตอยู่สภาวะควบคุม ดังนั้นค่าคาดหวังของการเตือนที่ผิด $1/\lambda$ ชั่วโมงของกระบวนการผลิตอยู่สภาวะควบคุมจะเท่ากับ $1/L_a\lambda s$ และกำหนดให้ T เป็นค่าใช้จ่ายในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิด เพราะนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเตือนที่ผิด มีค่าเท่ากับ $T/L_a\lambda s$

2. รายจ่ายของการค้นพบสาเหตุของการบกพร่องที่เกิดขึ้นในการผลิตมีค่าเป็น W

3. รายจ่ายที่เกิดจากการสุ่มและการทดสอบของตัวอย่าง n โดยที่ c เป็นรายจ่ายในการทดสอบ และ b เป็นรายจ่ายในการสุ่มตัวอย่างและการพล๊อต ดังนั้นจะมีค่าเท่ากับ b+cn และค่าคาดหวังของจำนวนครั้งของตัวอย่างที่สุ่มขึ้นมาในวงจรจะมีค่าเท่ากับค่าคาดหวังของระยะเวลาหารด้วยช่วงเวลาระหว่างตัวอย่าง หรือเท่ากับ E(T)/s ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการสุ่มและการทดสอบตัวอย่างในวงจร จะมีค่าเท่ากับ (b+cn) E(T)/s

ดังนั้นค่าคาดหวังของรายได้สุทธิต่อวงจรการผลิตจะมีค่าเท่ากับ

$$E(C) = V_0\, 1/\lambda + V_1 [\, s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda + (L_r - 1)s + en + D]$$
$$-T/L_a\lambda s - W - (b+cn)\, E(T)/s$$

ถ้ากำหนดให้ $M = V_0 - V_1$ โดยที่ M เป็นรายได้ที่สูญเสียไป เมื่อกระบวนการผลิตเปลี่ยนไปจากอยู่ในสภาวะควบคุมเป็นไม่อยู่ในสภาวะควบคุม และค่าคาดหวังของรายได้สุทธิต่อชั่วโมงหาได้จาก ค่าคาดหวังรายได้สุทธิต่อวงจรการผลิตหารด้วยค่าคาดหวังของช่วงเวลาหนึ่งวงจรการผลิต ดังนั้นค่าฟังก์ชั่นของรายได้สุทธิต่อชั่วโมงเป็น

$$E(A) = E(C)/E(T)$$
$$= V_0 - L$$

เมื่อ

$$L = \frac{[\{s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda + (L_r - 1)s + en + D]M + T/L_a\lambda s + W \quad + [(b+cn)/s]}{[1/\lambda + \{s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda + (L_r - 1)s + en + D]} \quad \ldots(1)$$

ฟังก์ชั่น L เป็นค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายสูญเสียต่อชั่วโมง (Lost Cost) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต โดยที่ L เป็นฟังก์ชั่นของพารามิเตอร์ n , h และ s ของแผนภูมิควบคุมในการที่ต้องการค่าสูงสุดของรายได้สุทธิต่อชั่วโมง [E(A)] นั้นก็คือการที่คาดหวังของค่าใช้จ่ายที่สูญเสียต่อชั่วโมง (L) มีค่าต่ำสุด ในขณะที่ V_0 เป็นตัวแปรอิสระ

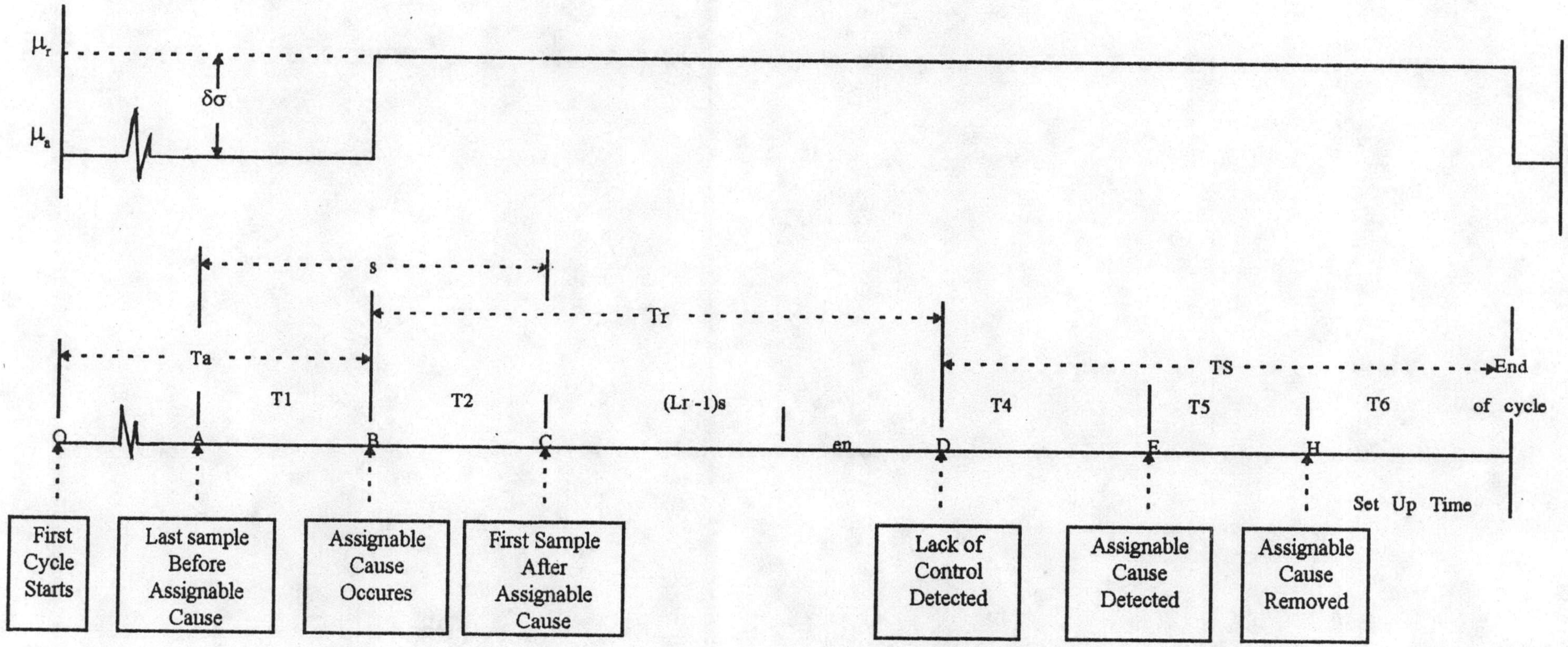
รูปแบบทางเศษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมในกระบวนการผลิตหยุดการผลิต(Shutdown Process)

รูปแบบของการผลิตแบบกระบวนการผลิตแบบดันแคน(Duncan Process) ที่มีข้อสมมุติว่ากระบวนการผลิตจะยังดำเนินการผลิตต่อไปในระหว่างการค้นหาสาเหตุการบกพร่องที่เกิดขึ้นในการผลิต ซึ่งหลายๆกระบวนการผลิตในระบบการผลิตทางอุตสาหกรรม ข้อจำกัดกล่าวอาจไม่เป็นจริงในบางระบบการผลิต ซึ่งจะมีผลให้การกำหนดรูปแบบของวงจรการผลิตและค่าใช้จ่ายในการผลิตมีลักษณะแตกต่างออกไป ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมที่มีรูปแบบการผลิตของกระบวนการผลิตจะหยุดดำเนินการผลิตในระหว่างที่ค้นสาเหตุการบกพร่องที่เกิดขึ้นในการผลิต โดยเอาลักษณะวงจรการผลิต รายได้และรายจ่าย ของรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยที่เสนอโดย สุชาติ ชื่นชวน (2533) นำมาปรับปรุงใช้ในการหาแผนแบบที่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมในครั้งนี้ ลักษณะกระบวนการผลิตหยุดการผลิต(Shutdown Process) มีข้อสมมุติว่าเมื่อมีการหยุดกระบวนการผลิตเพื่อค้นสาเหตุการบกพร่องในการผลิตและทำการปรับปรุงแก้ไขหรือจำกัดสาเหตุการบกพร่องในการผลิตแล้ว เพื่อให้การดำเนินการการผลิตใหม่ครั้งต่อไปอยู่ในสภาวะควบคุมทางสถิติ และให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด จะมีการปรับเครื่องจักรซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินโยบายทางเศรษฐศาสตร์เพื่อให้การผลิตในช่วงต่อไปมีผลให้ค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นมีค่าน้อยที่สุด

รูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบควบคุมผลรวมสะสมในกรณีกระบวนการผลิตหยุดการผลิต(Shutdown Process) ในงานวิจัยจะเป็นการพิจารณารูปแบบของกระบวนการผลิตแบบดันแคน(Duncan Process) โดยมีข้อสมมุติเพิ่มเติมคือ เมื่อพบว่าเกิดการบกพร่องในกระบวนการผลิตแล้ว จะหยุดดำเนินการการผลิตเพื่อทำการค้นสาเหตุการบกพร่องในกระบวนการผลิตแล้วทุกครั้งก่อนทำการผลิตต่อไปจะต้องมีการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่เสมอ ดังนั้นจะมีเวลาและค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องจักรเข้ามาในรูปแบบที่พิจารณา ซึ่งรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิผลรวมสะสมในการผลิตแบบกระบวนการหยุดการผลิต(Shutdown Process)ของการวิจัยครั้งนี้มีปัจจัยค่าใช้จ่ายและปัจจัยการเสี่ยงเพิ่มอีก 4 ปัจจัย คือ V_0(รายได้สุทธิเมื่อกระบวนการผลิตอยู่สภาวะควบคุม) S(ค่าใช้จ่ายในการตั้งเครื่องจักร) S_1 (ระยะเวลาที่ใช้ในการปรับเครื่องจักร) และ D_1 (ระยะเวลาในการค้นหาในแต่ละครั้งของการเกิดการเตือนที่ผิด)

การวิจัยครั้งนี้จะแบ่งวงจรการผลิตออกเป็น 3 ช่วงเวลา คือ

1. ช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม โดยมีค่าคาดหวังเป็น $1/\lambda$
2. ช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม



รูปที่ 2.4 วงจรการผลิตแบบกระบวนการผลิตหยุดการผลิต(Shutdown Process)

2.1 ช่วงเวลาจนกระทั่งการเกิดการเตือนถูกตรวจพบ โดยมีค่าคาดหวังเท่ากับ $s/\{1-e^{-\lambda s}\}-1/\lambda+(L_r-1)$

2.2 ช่วงในการทดสอบและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม โดยมีค่าคาดหวังเท่ากับ en

3. ช่วงเวลาที่หยุดการผลิต

3.1 ช่วงเวลาในการค้นหาการเกิดการเตือนที่ผิด ถ้ากำหนดให้ D_1 คือเวลาที่คาดหวังในการค้นหาการเตือนที่ผิดในแต่ละครั้ง ค่าคาดหวังของช่วงเวลาที่เกิดการเตือนที่ผิดจะเท่ากับ D_1 คูณด้วยจำนวนครั้งของการเกิดการเตือนที่ผิด เท่ากับ $1/L_a\ \lambda s$ ดังนั้นค่าคาดหวังของช่วงเวลาในการค้นหาการเตือนที่ผิดจะเท่ากับ $D_1/L_a\ \lambda s$

3.2 ช่วงเวลาที่ใช้หาสาเหตุการบกพร่องในการผลิตหลังจากการบกพร่องถูกตรวจพบเท่ากับ D

3.3 ช่วงเวลาในการตั้งเครื่องจักรเพื่อให้กระบวนการผลิตเข้าสู่การควบคุมทางสถิติ มีค่าคงที่เท่ากับ S_1 โดยที่ช่วงเวลานี้จะไม่พิจารณารวมกับเวลาที่ต้องการหลังจากกระบวนการผลิตเริ่มต้นใหม่

ดังนั้นค่าคาดหวังของระยะเวลาหนึ่งวงจรของการผลิตในกรณีกระบวนการผลิตหยุดการผลิต(Shutdown Process) มีค่าเท่ากับ

$E(T_{sp})$ = E(ช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตอยู่สภาวะควบคุม)+E(ช่วงเวลาที่กระบวนการการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม) +E(ช่วงเวลาที่หยุดการผลิต)

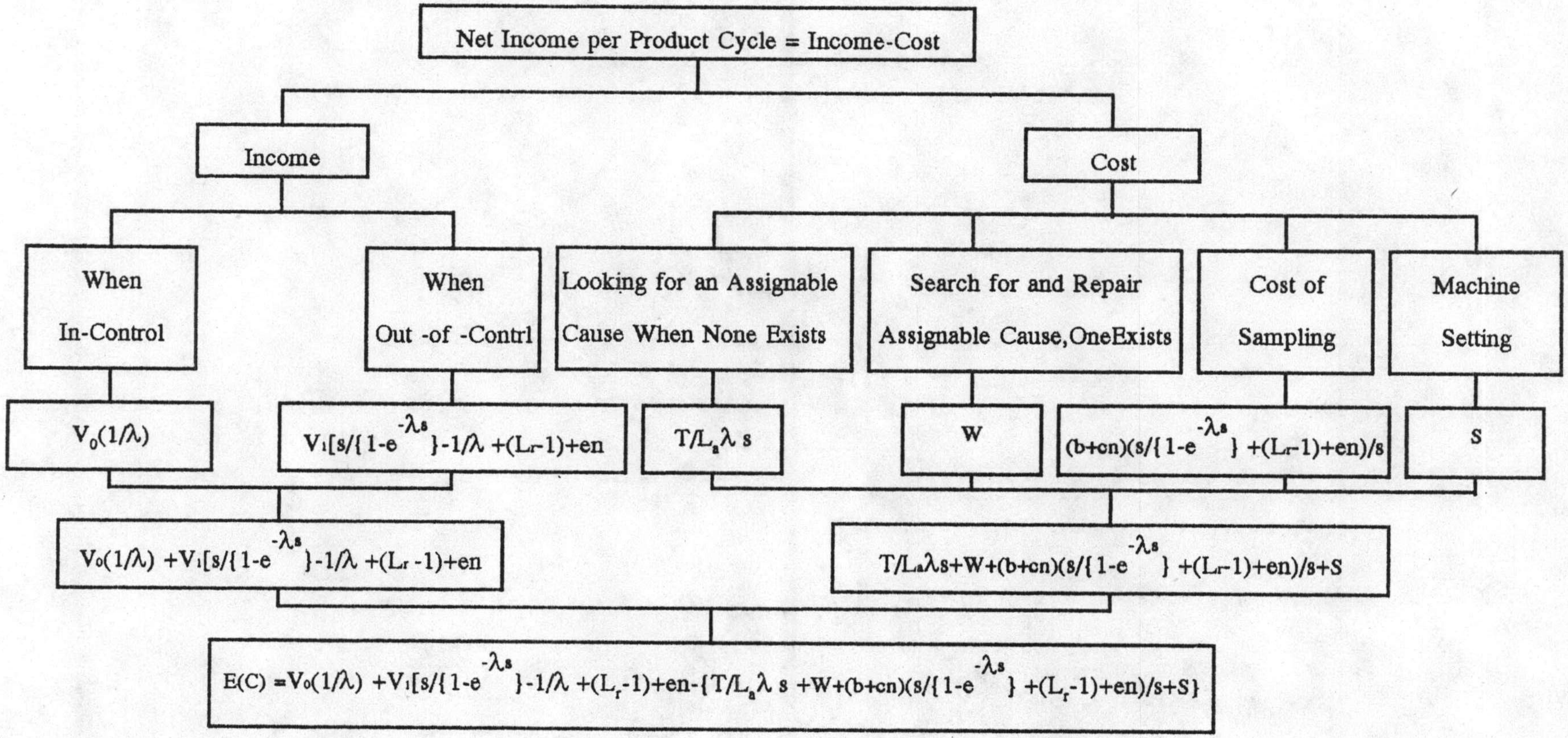
$$= E(T_{as})+E(T_{rs})+E(T_s)$$
$$= 1/\lambda + s/\{1-e^{-\lambda s}\}-1/\lambda\ +(L_r-1) + en + D_1/L_a\ \lambda s + D + S_1$$
$$= s/\{1-e^{-\lambda s}\}+(L_r-1)\ + en + D_1/L_a\ \lambda s + D + S_1$$

รายได้และรายจ่ายที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งวงจรการผลิต

ในการผลิตกรณีกระบวนการผลิตหยุดการผลิต(Shutdown Process) สามารถแยกรายได้และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในหนึ่งวงจรการผลิต แสดงในรูปที่ 2.5ซึ่งแยกออกได้ดังนี้

รายได้

1. รายได้เมื่ออยู่ในสภาวะควบคุม มีค่า $V_0 1/\lambda$
2. รายได้เมื่อไม่อยู่ในสภาวะควบคุม มีค่า $V_1[\ s/\{1-e^{-\lambda s}\}-1/\lambda\ \}+(L_r-1)\ + en\ ]$



รูปที่ 2.5 แผนผังแสดงรายได้และรายจ่ายที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งวงจรการผลิต ในกระบวนการผลิตหยุดการผลิต(Shutdown Process)

รายจ่าย

1. ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเตือนที่ผิดในหนึ่งวงจรการผลิต เกิดจากค่าใช้จ่ายในการสืบสาวสาเหตุการเตือนที่ผิด(T)คูณด้วยจำนวนการเกิดการเตือนที่ผิดที่เกิดก่อนการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการผลิต($1/L_a\lambda s$) มีค่าเท่ากับ $T/L_a\lambda s$

2. ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบและการปรับแก้หรือกำจัดสาเหตุการบกพร่องที่เกิดขึ้นในการผลิตมีค่าคงที่เท่ากับ W

3. ค่าใช้จ่ายในการสุ่มและการทดสอบในหนึ่งวงจรการผลิต เกิดจากค่าใช้จ่ายในการสุ่มและการทดสอบ (b+cn) คูณด้วยจำนวนที่คาดหวังของตัวอย่างสุ่มขึ้นมาในขณะที่กระบวนการผลิตยังคงดำเนินอยู่ $[(1/\lambda + s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda + en)/s]$ มีค่าเท่ากับ $(b+cn)\,[(1/\lambda + s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda + en)/s]$

4. ค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องจักรก่อนทำการผลิตในครั้งต่อไปมีค่าคงที่เท่ากับ S

ดังนั้นค่าคาดหวังของรายได้สุทธิต่อวงจรการผลิตในกรณีกระบวนการผลิตหยุดการผลิต (Shutdown Process)จะมีค่าเท่ากับ

$$E(C_{sp}) = V_0 1/\lambda + V_1[\, s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda + en\,] - [T/L_a\lambda s + W + (b+cn)\,[(1/\lambda + s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda + en)/s] + S$$

เมื่อ $M = V_0 - V_1$ จะได้ค่าฟังก์ชั่นของรายได้สุทธิต่อชั่วโมงเป็น

$$E(A_{sp}) = E(C_{sp})/E(T_{sp}) = V_0 - L_{sp}$$

เมื่อ $$L_{sp} = \frac{[MT_{rs} + V_0 T_s + (b+cn(T_{as}+T_{rs})) + T/L_a\lambda s + W + S]}{T_C} \qquad ...(2)$$

โดยที่ $T_{as} = 1/\lambda$, $T_{rs} = s/\{1-e^{-\lambda s}\} - 1/\lambda + (L_r - 1) + en$

$T_s = D_1/L_a\,\lambda s + D + S_1$

$T_C = T_{as} + T_{rs} + T_s$