

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและวรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวกับแผนภูมิควบคุม

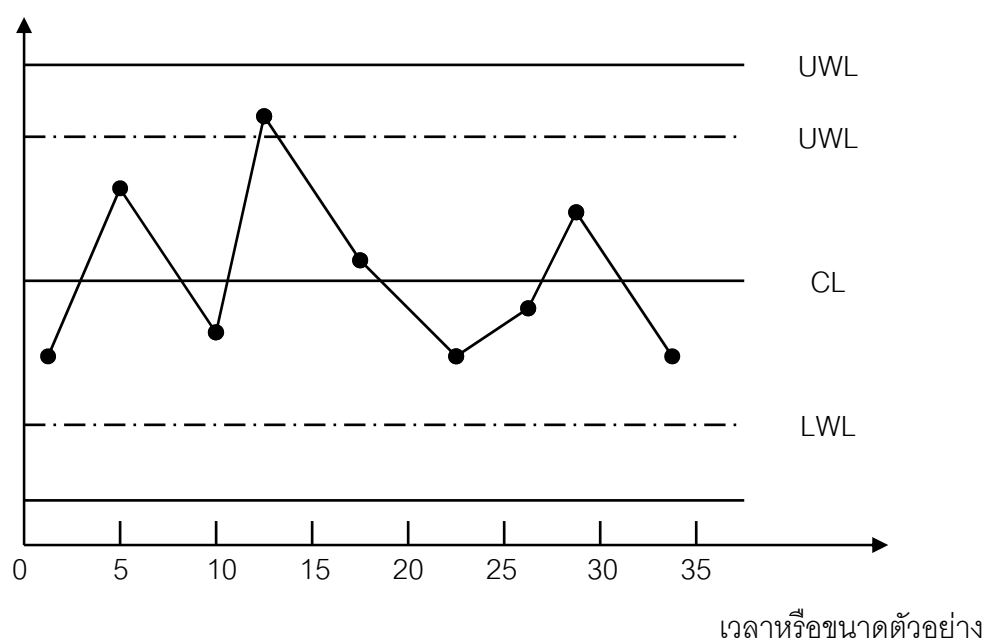
แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เพื่อที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาเป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค ซึ่งแผนภูมิควบคุมนี้เป็นเครื่องมือทางสถิติเพื่อควบคุมกระบวนการผลิตโดยอาศัยการเก็บตัวอย่างของผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบและวัดค่าคุณสมบัติที่ต้องการควบคุม จากนั้นก็นำค่าที่ได้ไปสร้างแผนภูมิควบคุม โดยอาศัยหลักและทฤษฎีทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ผลและแปลผลแล้วทำการเปรียบเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ เพื่อหาความสามารถของกระบวนการผลิตต่อไป อย่างที่กล่าวไว้แล้วว่าแผนภูมิควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะและแผนภูมิควบคุมเชิงผันแปรซึ่งแต่ละประเภทจะมีแผนภูมิที่สำคัญหลายชนิด เช่น แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ ประกอบไปด้วย แผนภูมิ np แผนภูมิ p แผนภูมิ c แผนภูมิ u เป็นต้น ส่วนแผนภูมิควบคุมเชิงผันแปร ประกอบไปด้วย แผนภูมิ $\bar{X}$ แผนภูมิ R แผนภูมิ S และ แผนภูมิ $CUSUM$ เป็นต้น ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาในส่วนของแผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ โดยพิจารณาเฉพาะแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np

2.1.1 หลักการสร้างแผนภูมิควบคุม

จากที่กล่าวไว้แล้วว่าแผนภูมิควบคุมมี 2 ประเภท คือ แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ (Attribute Control Chart) และ แผนภูมิควบคุมเชิงแปรผัน (Variable Control Chart) โดยแผนภูมิควบคุมแต่ละประเภทสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีหลักการสร้างเหมือนกัน คือ ประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้นได้แก่ เส้นควบคุมกลาง (Center Line : CL) ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL) ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit : LCL) ระยะห่างจากเส้นกลางถึงขีดจำกัดควบคุมบนจะเท่ากับระยะห่างจากเส้นกลางถึงขีดจำกัดควบคุมล่างคือเท่ากับ 3 ซิกมา (3σ) จึงเรียกแผนภูมินี้ว่า แผนภูมิควบคุม 3 ซิกมา (3σ Control Chart) บางครั้งแผนภูมิควบคุมที่สร้างจะมีขีดจำกัดอีก 2 เส้น อยู่ระหว่างขีดจำกัด

ควบคุมบนและล่าง คือ ขีดจำกัดเตือนด้านบน (Upper Warning Limit : UWL) และขีดจำกัดเตือนด้านล่าง (Lower Warning Limit : LWL) ซึ่งระยะห่างระหว่าง UWL ถึง LWL จะน้อยกว่าระยะห่าง UWL ถึง LWL โดยระยะห่างจากเส้นกลางถึงขีดจำกัดเตือนด้านบนเท่ากับ ระยะห่างจากเส้นกลางถึงขีดจำกัดเตือนด้านล่างเท่ากับ 2 ซิกมา (2σ) สำหรับการวิจัยครั้งนี้จะไม่กล่าวถึงวิธีการคำนวณขีดจำกัดเตือนในแผนภูมิ ทั้งนี้เพราะการคำนวณจะมีหลักการเหมือนกับการคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิเพียงแต่ขีดจำกัดควบคุมจะเป็นการคำนวณที่ขอบเขต 3σ Control Limit แต่ขีดจำกัดเตือนจะคำนวณที่ขอบเขต 2σ Control Limit

คุณสมบัติที่ต้องการควบคุม



ภาพที่ 2.1 แสดงถึงแผนภูมิควบคุมที่มีทั้งขีดจำกัดควบคุมและขีดจำกัดเตือน

2.1.2 ขั้นตอนการสร้างแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมประเภทต่าง ๆ ทั้งแผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ (Attribute Control Chart) และ แผนภูมิควบคุมเชิงแปรผัน (Variable Control Chart) มีขั้นตอนในการสร้างดังต่อไปนี้

1) กำหนดสิ่งที่ต้องการควบคุมหรือวัตถุประสงค์ของการควบคุมขึ้นมาก่อน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิตและชนิดของแผนภูมิควบคุมที่เลือกใช้ ดังนั้นการเลือกที่จะควบคุมคุณสมบัติใดของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับความสำคัญของคุณสมบัตินั้น ในกรณีที่คุณสมบัติ

ที่มีผลต่อคุณภาพสินค้ามีหลายชนิด การใช้แผนภูมิพาเรโตเพื่อวิเคราะห์ให้รู้ว่าคุณสมบัติใดมีความสำคัญมากน้อยเพียงใด จะช่วยให้การกำหนดสิ่งที่จะทำการควบคุมทำได้ดีขึ้น

2) พิจารณาเลือกชนิดของแผนภูมิควบคุมที่จะสร้างว่าเป็นแผนภูมิควบคุมแบบใด ระหว่างแผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะหรือแผนภูมิควบคุมชนิดเชิงผันแปร โดยพิจารณาจากค่าของคุณสมบัติที่ต้องการควบคุมว่าเป็นข้อมูลเชิงปริมาณหรือเชิงคุณลักษณะ หากค่าของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุมที่ได้จากการนับก็จะใช้แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ แต่ถ้าหากค่าของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เป็นเชิงปริมาณซึ่งได้จากการชั่ง การตวง การวัด เป็นต้น จะใช้แผนภูมิควบคุมเชิงผันแปร

3) วางแผนการเก็บข้อมูลจากการผลิต เช่น การกำหนดขนาดตัวอย่าง การกำหนดความถี่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลต้องพิจารณาจากปัจจัยหลายประการ เช่น ต้นทุนในการเก็บข้อมูลและการตรวจสอบ อัตราการผลิต ปริมาณการผลิต และสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ จะเก็บข้อมูลอย่างไรจึงจะได้ข้อมูลตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูลทั้งหมด

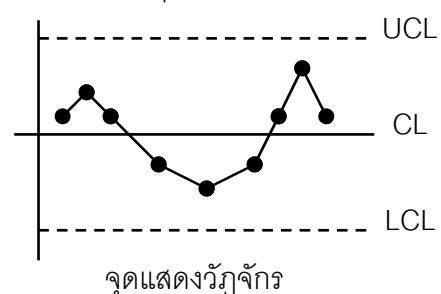
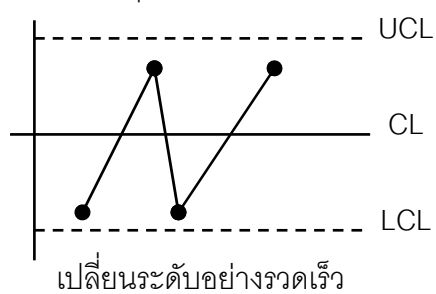
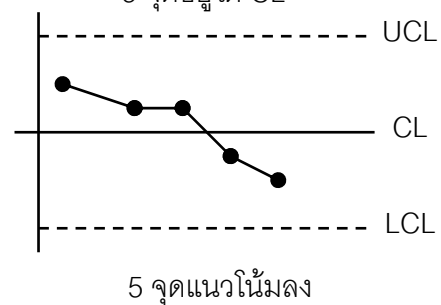
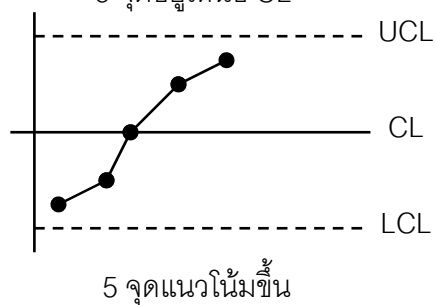
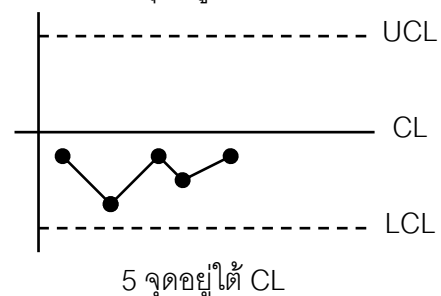
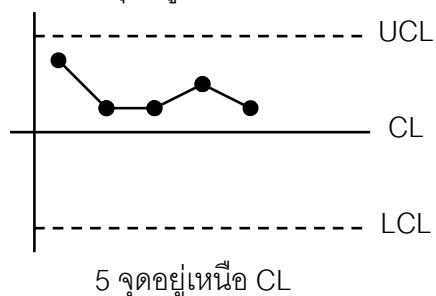
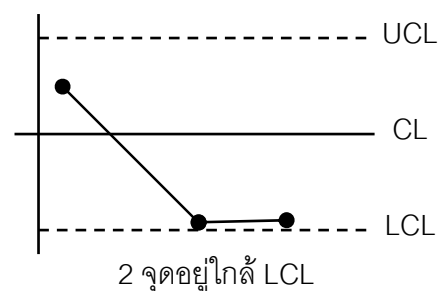
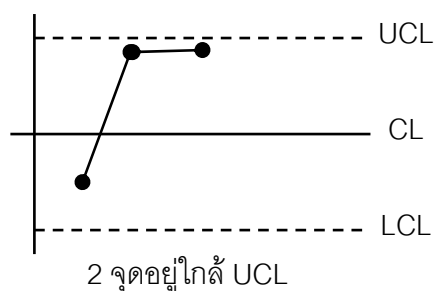
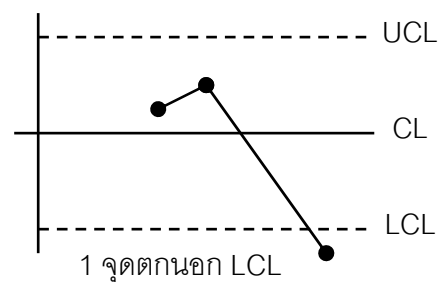
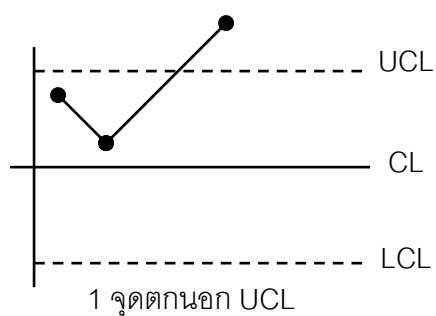
4) ในกรณีที่ต้องใช้เครื่องวัดหรือเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น เครื่องชั่ง น้ำหนัก เครื่องวัดความยาว เป็นต้น ต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด

5) สร้างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลหรือใบตรวจสอบ (Check Sheets) เพื่อให้ผู้เก็บข้อมูลสามารถบันทึกผลต่าง ๆ ลงในแบบฟอร์มได้อย่างถูกต้องและง่ายต่อการจดบันทึกโดยแบบฟอร์มที่ดีควรออกแบบให้ผู้บันทึกเขียนข้อมูลให้น้อยที่สุด เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการเก็บข้อมูล

6) เก็บรวบรวมข้อมูลลงในแบบฟอร์มที่สร้างขึ้น

7) คำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ ที่ประกอบไปด้วย เส้นกลาง (Center Line : CL) ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL) ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit : LCL) หลังจากนั้นทำการสร้างเส้นควบคุมของแผนภูมิควบคุม

8) พล็อตจุดลงในแผนภูมิควบคุมดังที่ได้จากภาพที่ 2.1 จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุม โดยดูจากการกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุมซึ่งจะแสดงถึงสภาพของกระบวนการผลิตว่าอยู่ในสภาวะการควบคุมหรือไม่ ซึ่งถ้าจุดบนแผนภูมิควบคุมแสดงลักษณะความผิดปกติของกระบวนการผลิตจะมีลักษณะดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2.2 แสดงถึงการกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุมที่แสดงถึงความผิดปกติของกระบวนการผลิต

9) ปรับปรุงแผนภูมิควบคุม โดยจุดที่เขียนลงในแผนภูมิควบคุมที่สื่อถึงความผิดปกติ จะถูกตัดออกแล้วนำจุดที่เหลือไปคำนวณขีดจำกัดควบคุมและสร้างแผนภูมิควบคุมใหม่ ซึ่งโดยทั่วไปจะได้แผนภูมิควบคุมที่แคบลง แผนภูมิควบคุมที่ปรับปรุงแล้วนี้อาจนำไปใช้เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตในอนาคตหรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ เช่น นำไปใช้เพื่อคำนวณสมรรถภาพของกระบวนการผลิต

10) ใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อพัฒนาคุณภาพสินค้า กล่าวคือ เป้าหมายสำคัญของการใช้แผนภูมิควบคุมก็เพื่อพัฒนาคุณภาพสินค้าที่ผลิตให้ดีขึ้น ดังนั้นการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมกับกระบวนการผลิตจะส่งผลต่อทางด้านจิตวิทยากับผู้ควบคุมกระบวนการผลิตทุกคน

เนื่องจากแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np เป็นแผนภูมิที่พัฒนาจากแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ p ในทำนองเดียวกัน แผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ p ใช้เพื่อควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย แต่แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np ใช้เพื่อควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย ดังนั้นจะขอกล่าวถึงแนวความคิดพื้นฐานของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ p ก่อน

2.1.3 หลักการสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ p

แผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ p เป็นแผนภูมิที่ใช้เพื่อควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียในระหว่างกระบวนการการผลิต ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจะมีคุณภาพที่แตกต่างกันซึ่งจะมีทั้งผลิตภัณฑ์ดีและเสีย ขำรุดและไม่ขำรุด ผู้ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์จะต้องควบคุมไม่ให้มีผลิตภัณฑ์เสียเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จำนวนผลิตภัณฑ์เสียอาจคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ สัดส่วน หรือนับเป็นชิ้น ซึ่งแล้วแต่ระบบการตรวจสอบของแต่ละแห่ง แผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียจะใช้ในกรณีที่พิจารณาผลิตภัณฑ์เสียเป็นสัดส่วน เช่น ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ 150 ชิ้น พบเสีย 15 ชิ้น ดังนั้นสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียคือ 15/150 เท่ากับ 0.1 เป็นต้น หลักการสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียทำได้ดังนี้

สมมติให้จากกระบวนการผลิตหนึ่ง ถ้าโดยปกติแล้วมีสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียคือ p' และ x คือ จำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่ตรวจพบ X จะเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบทวินาม (Binomial Distribution) ด้วยพารามิเตอร์ n และ p'

$$P(X = x) = \binom{n}{x} p'^x (1 - p')^{n-x} \quad ; \quad x = 0, 1, 2, 3, \dots, n$$

โดยมีค่าเฉลี่ยหรือ $E(X) = \mu = np'$ และมีความแปรปรวนหรือ $V(X) = \sigma_x^2 = np'(1 - p')$

สัดส่วนของผลิตภัณฑ์เสียในตัวอย่างที่สุ่มมา คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่พบและขนาดตัวอย่าง นั่นคือ $p = \frac{x}{n}$ โดยที่ p จะมีการแจกแจงแบบทวินามด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ p' และความแปรปรวนเท่ากับ $\frac{p'(1-p')}{n}$ ในกรณีที่ n มีขนาดใหญ่มาก ๆ สามารถที่จะประมาณการแจกแจงของ p ด้วยการแจกแจงแบบปกติได้ ทฤษฎีการสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียนั้นแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ขนาดตัวอย่างคงที่และไม่คงที่

กรณีที่ 1) การสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียเมื่อขนาดตัวอย่างคงที่

การสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียในกรณีนี้ หมายถึง การเก็บตัวอย่างของผลิตภัณฑ์แต่ละครั้งด้วยขนาดตัวอย่างที่เท่ากัน หรือขนาดตัวอย่างย่อยเท่ากันทุกครั้ง การสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียจะมีหลักการเช่นเดียวกับแผนภูมิ $\bar{X}$ และแผนภูมิ R โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ทราบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการการผลิต และไม่ทราบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการการผลิต กรณีที่ทราบค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่แท้จริงของกระบวนการผลิต p' ซึ่งในทางปฏิบัติหมายถึงต้องทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ 100% แล้วหาค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียในผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบทั้งหมด บางครั้งการตรวจสอบ 100% เพื่อหาค่า p' ทำได้ยาก อาจทำการเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตมาส่วนหนึ่งก่อน เพื่อนำมาสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียและทำการปรับปรุงแก้ไขแผนภูมิจนกระทั่งกระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุม จะถือว่าค่าเฉลี่ยของสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย $\bar{p}$ คือค่า p' นั้นเอง ในกรณีที่สองคือกรณีไม่ทราบค่า p' โดยมากมักจะเป็นการควบคุมกระบวนการผลิตในระยะเริ่มต้น การสร้างแผนภูมิจะเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตมาทำการประมาณค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียด้วยค่า $\bar{p}$ แล้วทำการสร้างแผนภูมิจากค่า $\bar{p}$ ดังรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไป

ในกรณีที่ทราบค่า p' ชัดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย หรือแผนภูมิ p คำนวณได้ดังนี้

$$UCL_p = p' + 3\sqrt{\frac{p'(1-p')}{n}}$$

$$CL_p = p'$$

$$LCL_p = p' - 3\sqrt{\frac{p'(1-p')}{n}}$$

ในกรณีที่ค่า p' จะประมาณด้วย $\bar{p}$ ชี้ดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ p คำนวณได้ดังนี้

$$\text{เมื่อ } \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{nN}$$

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่างของกลุ่มตัวอย่าง

N คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

$$UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$CL_p = \bar{p}$$

$$LCL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

เมื่อคำนวณขีดจำกัดควบคุมแล้วจะทำการสร้างแผนภูมิควบคุม ในกรณีที่คำนวณได้ขีดจำกัดควบคุมล่างมีค่าติดลบ (LCL_p มีค่าติดลบ) จะปรับให้มีค่าเป็นศูนย์ หลังจากนั้นเขียนจุด p ของแต่ละกลุ่มตัวอย่างลงในแผนภูมิ ทำการอ่านและวิเคราะห์จุดในแผนภูมิเช่นเดียวกับแผนภูมิควบคุมเชิงผันแปรในกรณีที่ขีดจำกัดตกอยู่นอกขีดจำกัดควบคุมหรือมีจุดที่แสดงความผิดปกติขึ้น ต้องค้นหาสาเหตุว่าทำไมกระบวนการผลิตจึงผลิตของเสียออกมามากหรือทำไมจึงผิดปกติ เมื่อทราบสาเหตุแล้วจึงทำการตัดจุดผิดปกติออกแล้วปรับปรุงแผนภูมิใหม่ เพื่อหาค่ามาตรฐานที่กระบวนการผลิตทำได้ ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่เป็นมาตรฐานของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ และใช้แผนภูมิควบคุมที่ปรับปรุงแล้วนี้ควบคุมกระบวนการผลิตในอนาคตหรือประยุกต์ใช้กับงานอื่น ๆ เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่อไป

กรณีที่ 2) การสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียเมื่อขนาดตัวอย่างไม่คงที่

ในหลาย ๆ สถานการณ์ การเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตมาตรวจสอบแต่ละครั้งไม่สามารถกำหนดขนาดตัวอย่างเท่ากันทุกครั้งได้อาจเนื่องจาก ในแต่ละวันหรือแต่ละกะการผลิตมีจำนวนการผลิตไม่เท่ากัน ขนาดตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่สุ่มมาตรวจสอบมักจะขึ้นอยู่กับการผลิตหรือบางครั้งการสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย ใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบ 100% ในกรณีการสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ p เมื่อตัวอย่างขนาดคงที่ แต่ขีดจำกัดควบคุมจะขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่างในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง โดยในกรณีนี้จะมีวิธีการสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย 3 วิธี

วิธีที่ 1 สร้างโดยใช้ขนาดตัวอย่างของแต่ละกลุ่มตัวอย่างคำนวณขีดจำกัดควบคุมหลักการของวิธีนี้คือ จะทำการคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแต่ละกลุ่มตัวอย่างโดยทำทุกกลุ่มซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด โดยเมื่อแทนค่า n ในการคำนวณจะหมายถึงแทนด้วยขนาดตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม ดังนั้นถ้าเก็บผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบ N กลุ่มตัวอย่างก็จะมีขีดจำกัดควบคุม N คู่ โดยแต่ละคู่คำนวณได้ดังนี้

$$UCL_p = p' + 3\sqrt{\frac{p'(1-p')}{n_i}}$$

$$CL_p = p'$$

$$LCL_p = p' - 3\sqrt{\frac{p'(1-p')}{n_i}}$$

เมื่อ n_i คือขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ i และในกรณีที่ไม่ทราบค่า p' จะประมาณด้วย $\bar{p}$ การคำนวณขีดจำกัดควบคุมลักษณะนี้ค่อนข้างเสียเวลาและยุ่งยาก แต่ในปัจจุบันมีการนำเครื่องคอมพิวเตอร์ในการทำงานมากขึ้น จึงไม่เป็นปัญหาต่อการคำนวณขีดจำกัดควบคุม ส่วนแผนภูมิที่ได้จะมีเส้นควบคุมเปลี่ยนไปในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง การวิเคราะห์แผนภูมิจะทำเช่นเดียวกันกับกรณีที่ขนาดตัวอย่างคงที่โดยพิจารณาจุด p ของกลุ่มตัวอย่างใด ๆ เทียบกับขีดจำกัดควบคุมของกลุ่มตัวอย่างนั้น ๆ

วิธีที่ 2 สร้างโดยใช้ขนาดตัวอย่างเฉลี่ยวิธีนี้จะใช้ตัวอย่างเฉลี่ยประมาณค่าขีดจำกัดควบคุม ดังนั้นขีดจำกัดควบคุมจะมีค่าคงที่ แต่แทนค่า n ด้วย $\bar{n}$ แผนภูมิ p ที่สร้างโดยวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพไม่เทียบเท่าวิธีที่ 1 การคำนวณขีดจำกัดควบคุมสามารถทำได้ดังนี้

$$\text{ขนาดตัวอย่างเฉลี่ย } (\bar{n}) = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N}$$

เมื่อ n_i คือ ขนาดตัวอย่างของกลุ่มตัวอย่างที่ i

N คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

$$UCL_p = p' + 3\sqrt{\frac{p'(1-p')}{\bar{n}}}$$

$$CL_p = p'$$

$$LCL_p = p' - 3\sqrt{\frac{p'(1-p')}{\bar{n}}}$$

ในกรณีที่ไม่ทราบสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่แท้จริงของกระบวนการผลิต p' จะประมาณด้วย $\bar{p}$ สิ่งที่ต้องพิจารณาในการคำนวณขีดจำกัดควบคุมวิธีนี้คือ ถ้าในกลุ่มตัวอย่างใดมีค่า n ต่ำกว่าค่า $\bar{n}$ มากควรคำนวณขีดจำกัดควบคุมของกลุ่มตัวอย่างนั้นโดยใช้ n จริง และถ้ามีจุดตัวอย่างใดอยู่ใกล้ขีดจำกัดควบคุมหรืออยู่นอกขีดจำกัดควบคุมต้องคำนวณขีดจำกัดควบคุมจริงโดยใช้ n ของกลุ่มตัวอย่างนั้นๆ ก่อนแล้ว พิจารณาว่าจุดตัวอย่างตกอยู่ในหรือนอกขีดจำกัดควบคุมจริง ในกรณีที่จุดตัวอย่างใดตกอยู่นอกขีดจำกัดควบคุม โดยใช้ขนาดตัวอย่างเฉลี่ยแต่ไม่ตกอยู่นอกขีดจำกัดควบคุม โดยใช้ขนาดตัวอย่างจริงจะไม่ถือว่าจุดตัวอย่างนั้นตกอยู่นอกขีดจำกัดควบคุม และในทางตรงกันข้าม ถ้าจุดตัวอย่างใดตกอยู่ใต้ขีดจำกัดควบคุมโดยใช้ขนาดตัวอย่างเฉลี่ยแต่ตกอยู่นอกขีดจำกัดควบคุมโดยใช้ขนาดตัวอย่างจริง จะถือว่าจุดตัวอย่างนั้นตกอยู่นอกขีดจำกัดควบคุมเช่นกัน

วิธีที่ 3 สร้างโดยใช้แผนภูมิควบคุมมาตรฐานวิธีนี้ จะแปลงค่า p_i ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างให้เป็นค่ามาตรฐาน

$$Z_i = \frac{p_i - p'}{\sqrt{\frac{p'(1-p')}{n_i}}}$$

ในกรณีที่ไม่ทราบสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่แท้จริงของกระบวนการผลิต p' จะประมาณด้วย $\bar{p}$ ในวิธีนี้ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย จะมีเส้นควบคุมกลางเท่ากับ 0 และมีขีดจำกัดควบคุมบนและล่างเท่ากับ +3 และ -3 ตามลำดับ การสร้างแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย ในกรณีที่ทราบสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่แท้จริงของกระบวนการผลิต p' เมื่อขนาดตัวอย่างไม่คงที่ การคำนวณขีดจำกัดควบคุมสามารถทำได้เลยโดยไม่ต้องรอเก็บข้อมูล เมื่อสร้างแผนภูมิควบคุมแล้ว การเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตมาเขียนจุดลงในแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย จะมีหลักการพิจารณาและการวิเคราะห์เช่นเดียวกับกรณีเมื่อขนาดตัวอย่างคงที่ เนื่องจากแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ p ใช้เพื่อควบคุมอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์เสียในช่วงหนึ่ง แต่ถ้าต้องการที่จะดูจำนวนผลิตภัณฑ์เสียในช่วงหนึ่งจะใช้แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np ซึ่งแผนภูมินี้ใช้หลักของการแจกแจงแบบทวินาม และ “ใช้เมื่อขนาดของตัวอย่างคงที่”

2.1.4 หลักการสร้างแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np

จากที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np มีขั้นตอนและวิธีการเหมือนแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ p ทุกประการ เพียงแต่คุณค่าของ UCL, LCL และ CL ด้วยจำนวนตัวอย่าง n ก็จะได้ขีดจำกัดควบคุม ดังนั้นการคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ np สามารถทำได้ดังนี้

กรณีที่แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียมีขนาดตัวอย่างคงที่ การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิทำได้ดังนี้

$$UCL_{np} = np' + 3\sqrt{np'(1-p')}$$

$$CL_{np} = np'$$

$$LCL_{np} = np' - 3\sqrt{np'(1-p')}$$

ในกรณีที่ไม่ทราบค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่แท้จริงของกระบวนการผลิต p' จะประมาณด้วย $\bar{p}$ ดังนั้นขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ np คือ

$$UCL_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

$$CL_{np} = n\bar{p}$$

$$LCL_{np} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

เมื่อ $n\bar{p} = (\text{ผลรวมของผลิตภัณฑ์เสีย}) / (\text{จำนวนกลุ่มตัวอย่าง})$

กรณีที่แผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียมีขนาดตัวอย่างไม่คงที่ ในกรณีนี้จะหมายถึงขนาดตัวอย่าง n ของแต่ละกลุ่มตัวอย่างมีค่าไม่เท่ากันทุกกลุ่ม การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ np ทำได้เช่นเดียวกันกับแผนภูมิ p เมื่อขนาดตัวอย่างไม่คงที่ จากที่กล่าวเอาไว้แล้วว่าแผนภูมิ np เหมาะกับการใช้เมื่อขนาดตัวอย่างคงที่เพราะการคำนวณขีดจำกัดควบคุมต้องคำนวณค่า $n\bar{p}$ ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่า n ค่าการคำนวณจึงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามค่า n ดังนั้นในกรณีนี้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ p จะเป็นที่ยอมรับใช้มากกว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np

สำหรับขอบเขตการควบคุม 3 ซิกมาของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย ลักษณะการแจกแจงอาจใช้การแจกแจงแบบปกติประมาณค่าการแจกแจงแบบทวินามได้ ซึ่งขีดจำกัดควบคุมในกรณีนี้ จะเหมือนกันกับกรณีการคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียมีขนาดตัวอย่างคงที่ การคำนวณขีดจำกัดควบคุมในกรณีนี้สามารถทำได้ดังนี้

$$UCL_{np} = np' + 3\sigma_{np}$$

$$CL_{np} = np'$$

$$LCL_{np} = np' - 3\sigma_{np}$$

เมื่อ σ_{np} เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่อง

$$3\sigma_{np} = 3\sqrt{np'q'}$$

$$3\sigma_{np} = 3\sqrt{np'(1-p')} \quad ; \quad p' + q' = 1$$

ดังนั้น

$$UCL_{np} = np' + 3\sqrt{np'(1-p')}$$

$$CL_{np} = np'$$

$$LCL_{np} = np' - 3\sqrt{np'(1-p')}$$

ในกรณีที่ไม่ทราบค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียที่แท้จริงของกระบวนการผลิต p' จะประมาณด้วย $\bar{p}$ ดังนั้นขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ np คือ

$$UCL_{np} = n\bar{p} + 3\sigma_{np}$$

$$CL_{np} = n\bar{p}$$

$$LCL_{np} = n\bar{p} - 3\sigma_{np}$$

2.1.5 แนวความคิดพื้นฐานของแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุม

Prabhu, S. S., Montgomery, D. C., และ Runger, G. C., (1997) ได้กล่าวถึงแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมว่าสามารถที่จะทำการปรับค่าแผนแบบ ของแผนภูมิควบคุมได้ โดยที่ต้องเลือก ขนาดตัวอย่าง (n) ช่วงระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่าง (h) และตัวแปรค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตให้มีความเหมาะสม โดยการสร้างแผนภูมิควบคุมให้ได้มาตรฐานนั้นจะต้องเลือก กำหนดขนาดตัวอย่าง (n) และกำหนดช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่าง (h) ให้มีค่าที่เหมาะสมและต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ส่วนการคำนวณค่าคาดหวังของช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตสามารถที่จะกำหนดได้โดยพิจารณา ร่วมกับฟังก์ชันค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost)

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพตามที่กำหนด จะเกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายในการควบคุมคุณภาพ ถ้าผู้ผลิตต้องการคุณภาพเต็ม 100% จะมีค่าใช้จ่ายสูงตามไปด้วย ดังนั้นในการควบคุมคุณภาพให้ได้ 100% นั้นเป็นไปได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่ในแง่ของผู้ผลิตแล้วการควบคุมคุณภาพถือว่าเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุด ดังนั้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ไม่ว่าจะผลิตตามสั่งหรือผลิตเพื่อรอจำหน่ายก็ตาม จะมีการควบคุมคุณภาพทุกขั้นตอนตั้งแต่การควบคุมคุณภาพก่อนการผลิต ควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิต และควบคุมคุณภาพสินค้าที่ผลิตสำเร็จแล้วทั้งนี้ก็มุ่งหวังเพื่อให้ผู้บริโภคได้รับสินค้าที่มีคุณภาพ เมื่อมีการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ผู้ผลิตจะดำเนินการควบคุมทุกขั้นตอน เพื่อให้สินค้ามีคุณภาพจึงเกิดค่าใช้จ่ายตามมา 4 ประเภท

1) ค่าใช้จ่ายด้านการป้องกัน (Prevention Cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เพื่อป้องกันการเกิดผลิตภัณฑ์ด้อยคุณภาพ ซึ่งค่าใช้จ่ายด้านนี้เป็นค่าใช้จ่ายที่จ่ายก่อนการผลิตสินค้าซึ่งประกอบไปด้วย

1.1) ค่าใช้จ่ายของการฝึกอบรมพนักงานในระดับต่าง ๆ เพื่อให้การผลิตมี

ประสิทธิภาพ

1.2) ค่าใช้จ่ายของการจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการ ออกแบบการผลิตเพื่อให้การผลิตทำได้ง่ายและไม่เกิดข้อบกพร่องในระหว่างการผลิต

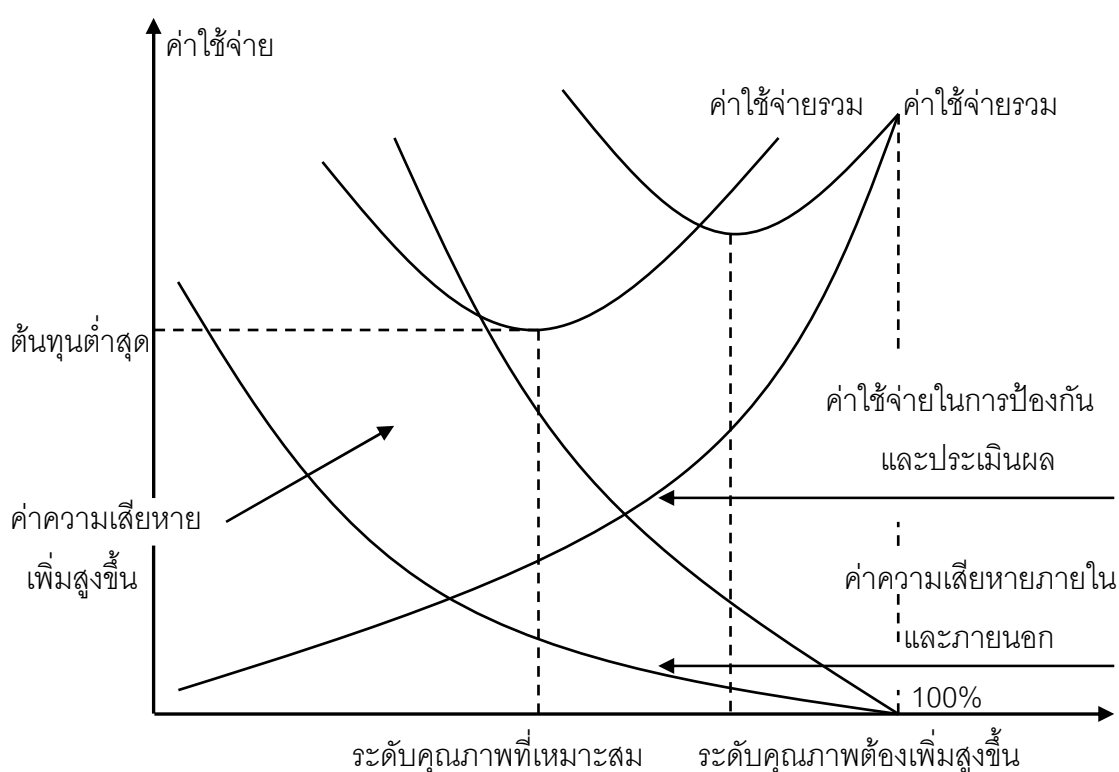
2) ค่าใช้จ่ายด้านการตรวจสอบและประเมินคุณภาพ (Quality appraisal cost)

หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่ใช้ไปเพื่อการประเมินและตรวจสอบระดับคุณภาพในระหว่างกระบวนการการผลิต เช่น ค่าทดสอบเครื่องมือเครื่องจักร ค่าทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่าผลิตได้ตามข้อกำหนดหรือตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ผล เป็นต้น

3) ค่าใช้จ่ายด้านความเสียหายที่เกิดขึ้นภายใน (Internal failure cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาไม่ได้คุณภาพตามที่กำหนด จะต้องมียค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น เพื่อแก้ไขคุณภาพสินค้าที่ไม่ได้คุณภาพเหล่านั้นให้ได้คุณภาพ ค่าใช้จ่ายเหล่านี้ได้แก่ ค่าซ่อมแซมผลิตภัณฑ์ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เสียซ่อมแซมไม่ได้จะต้องนำไปทิ้ง ซึ่งการนำไปทิ้งจะมีค่าใช้จ่ายตามมา

4) ค่าใช้จ่ายด้านความเสียหายที่เกิดจากภายนอก (External Failure cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกส่งหรือขายไปให้กับลูกค้าหรือผู้บริโภคไปแล้ว แต่เมื่อลูกค้านำสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ไปใช้เกิดมีปัญหาในการใช้งาน ค่าใช้จ่ายด้านนี้ได้แก่ ค่าซ่อมแซม ค่าปรับ ค่าชดเชย ค่าแรงเพิ่ม ค่าใช้จ่ายในการรับส่งสินค้ากลับมาซ่อม เป็นต้น

จากค่าใช้จ่ายทั้ง 4 ประเภทที่กล่าวมาข้างต้นนี้จะมีความสัมพันธ์กับระดับคุณภาพที่ทำการผลิตดังจะแสดงให้เห็นได้ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2.3 แสดงถึงค่าใช้จ่ายในการควบคุมคุณภาพ

จากภาพที่ 2-3 จะเห็นได้ว่าถ้ากระบวนการผลิตมีคุณภาพอยู่ในระดับ 100 เปอร์เซนต์หรือผลิตของทุกชิ้นได้ตรงตามขีดจำกัดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Specification limits) ค่าความเสียหายทั้งภายในและภายนอกจะไม่เกิดขึ้นเลย แต่ถ้าผลิตที่ระดับคุณภาพต่ำกว่า 100 เปอร์เซนต์ ค่าความเสียหายก็จะมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าจะทำให้กระบวนการผลิตมีระดับคุณภาพสูงก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการป้องกันและประเมินผลสูงตามไปด้วย ค่าใช้จ่ายจึงมีความสัมพันธ์เป็นรูปประซังหงาย โดยมีจุดต่ำสุดของค่าใช้จ่ายและที่จุดต่ำสุดนี้ คือ จุดที่เหมาะสมที่สุดของระดับคุณภาพในกระบวนการผลิต จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ผลิตจำต้องหาทางและวิธีการที่ทำให้ระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันก็ต้องทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำลงไปด้วย เพราะในความเป็นจริงแล้วการที่จะทำให้กระบวนการผลิตมีคุณภาพอยู่ในระดับ 100% นั้นเป็นไปได้ยาก ดังนั้นถ้าผู้ผลิตสามารถที่จะทำให้ระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับจุดที่เหมาะสมที่สุดของระดับคุณภาพในกระบวนการผลิต ก็สามารถที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ลงได้

2.2 วรรณกรรมปริทรรศน์

เนื่องจากการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำการผลิตมีจำนวนมากทำให้ค่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มักเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อันเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ โดยที่ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้เราจะเรียกว่า “กระบวนการผลิตเกิดความผันแปร” หากความผันแปรที่เกิดขึ้นมีค่ามากจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรง ดังนั้นแผนภูมิควบคุม (Control Chart) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Shewhart Control Chart คือ แผนภูมิที่เขียนขึ้นโดยใช้หลักการทางด้านสถิติ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจจับและควบคุมกระบวนการผลิต รวมไปถึงป้องกันและแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพได้ทันทั่วทั้งที่ ซึ่งแผนภูมิควบคุมนั้นมีหลายประเภท ดังจะกล่าวดังต่อไปนี้

2.2.1 ประเภทของแผนภูมิควบคุม (Type of Control Chart)

แผนภูมิควบคุม (Control Chart) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Shewhart Control Chart คือ แผนภูมิที่เขียนขึ้นโดยใช้หลักการทางด้านสถิติมาเป็นเครื่องมือในการตรวจจับ และควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพได้ทันทั่วทั้งที่ แผนภูมิควบคุมนั้นถูกคิดค้นโดย Dr. Walter Shewhart (1920) ซึ่งได้ทำงานในห้องทดลอง เบลเทเลโฟน ในปี 1920 ซึ่งเป็นคนแรกที่คิดค้นเพื่อนำสถิติเข้ามาช่วยในการติดตามกระบวนการผลิต หรือเหตุการณ์ที่ไม่

แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยที่แหล่งของความผันแปรในกระบวนการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ประเภท กล่าวคือ ความผันแปรที่ควบคุมได้ (Controlled Variation) เป็นสาเหตุธรรมชาติของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่เป็นธรรมชาติของการผลิต ประเภทของความผันแปรนี้สามารถกำจัดออกจากกระบวนการผลิตได้ โดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตใหม่ ความผันแปรอีกประเภทหนึ่ง คือ ความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrolled Variation) เป็นสาเหตุที่กำจัดได้จากแหล่งภายนอกของกระบวนการผลิต ซึ่งความผันแปรนี้ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติของการผลิต ดังนั้นสามารถที่จะบ่งชี้และแยกความผันแปรออกจากกระบวนการผลิตได้ เพื่อที่จะทำให้กระบวนการผลิตกลับเข้ามาสู่สภาวะปกติ ต่อมาในปี ค.ศ. 1924 Dr. Walter Shewhart (1924) ได้ทำการศึกษาเทคนิคการใช้แผนภูมิควบคุม และการนำแผนภูมิควบคุมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการควบคุมคุณภาพ Dr. Walter Shewhart (1924) กล่าวว่าหน้าที่หลักของแผนภูมิควบคุม คือ การตรวจจับและหาสาเหตุความผิดปกติที่เกิดขึ้นของกระบวนการผลิต ดังนั้นความสำคัญของแผนภูมิก็คือเป็นการแก้ไขกระบวนการผลิต ให้อยู่ในสภาวะการควบคุมก่อนที่กระบวนการผลิตจะทำการผลิตผลิตภัณฑ์เสียออกมา จากนั้นในปี ค.ศ. 1931 Shewhart (1931) ได้เสนอการสร้างแผนภูมิควบคุมโดยอาศัยหลักการทางสถิติเข้ามาช่วยในการสร้าง โดยที่ Shewhart (1931) ได้แบ่งแผนภูมิควบคุมออกเป็น 2 ประเภท ประกอบไปด้วย แผนภูมิควบคุมเชิงผันแปร ตัวอย่างเช่น แผนภูมิ $\bar{X}$ และแผนภูมิ R ใช้เมื่อต้องการวัดค่าออกมาเป็นตัวเลข และแผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ ตัวอย่างเช่น แผนภูมิ p แผนภูมิ np ใช้เมื่อต้องการหาค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียและจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย ส่วนแผนภูมิ c และแผนภูมิ u ใช้เมื่อต้องการตรวจสอบจำนวนรอยตำหนิของผลิตภัณฑ์ต่อหน่วย ต่อมาในปี ค.ศ. 1939 Shewhart (1939) ได้ทำการศึกษาและเสนอแนะว่า ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมควรที่จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3 ซึ่งเป็นขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับมาจนถึงปัจจุบันนี้

2.2.2 แผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมเชิงผันแปร (Economic Design of Variable Control Charts)

ในปี ค.ศ. 1956 Duncan (1956) เป็นคนแรกที่ได้ทำการศึกษาอย่างจริงจัง สำหรับการกำหนดค่าแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ซึ่งประกอบไปด้วย ขนาดตัวอย่าง (n) ช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่างขึ้นมาตรวจสอบ (h) และขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม (k) โดยที่ Duncan (1956) ได้ยกตัวอย่างให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้นดังสมการนี้ $\mu \pm k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ซึ่ง

μ คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตและ σ คือ ความแปรปรวนของกระบวนการการผลิต จากนั้นในปี ค.ศ.1977 Saniga (1977) และ Shirland (1977) ได้ทำการศึกษาถึงแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ซึ่งได้ศึกษาและพบว่าเมื่อใช้แผนภูมิควบคุมนี้ในการตรวจสอบกระบวนการผลิต จะต้องทำการกำหนดค่าแผนแบบซึ่งประกอบไปด้วย ขนาดตัวอย่าง (n) ช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่างขึ้นมาตรวจสอบ (h) และขีดจำกัดควบคุมหรือขอบเขตของการยอมรับ (k) ของแผนภูมิขึ้นมาก่อน ซึ่งจะเหมือนกับการกำหนดของ Duncan (1956) ต่อมาในปี ค.ศ. 1994 Collani (1994), Saniga (1994) และ Weigand (1994) ได้พิจารณาแตกต่างไปจากงานวิจัยที่ผ่านมา ๗ มา ตรงที่ว่าในกระบวนการผลิตจะพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนค่าแผนแบบของแผนภูมิควบคุมที่ประกอบไปด้วย n, h และ k ให้มีความเหมาะสมในระหว่างที่กระบวนการผลิตกำลังดำเนินการผลิตอยู่ จากนั้นในปี ค.ศ. 1997 Prabhu (1997), Montgomery (1997) และ Runger (1997) ได้ทำการศึกษาร่วมกันเกี่ยวกับแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย โดยให้ความสำคัญไปที่ค่าแผนแบบของแผนภูมิควบคุม ซึ่งแต่เดิมค่าแผนแบบของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยจะถูกกำหนดให้เป็นค่าที่คงที่ในการควบคุมคุณภาพ แต่ในความเป็นจริงแล้วของกระบวนการผลิต การกำหนดให้ค่าแผนแบบของแผนภูมิควบคุมมีค่าที่คงที่นั้นจะไม่สมเหตุผลผลเท่าที่ควรดังนั้นค่าแผนแบบของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย จะต้องสามารถทำการปรับเปลี่ยน (Adaptive $\bar{x}$ Chart) ให้เหมาะสมกับสภาพของกระบวนการผลิตได้ตลอดเวลา จากนั้น Cai (2002), Xie (2002), Goh (2002) และ Tang (2002) ได้พิจารณาในสถานการณ์ที่ว่ากระบวนการผลิตเป็นแบบมีแนวโน้ม (Trended Processes) โดยเลือกใช้แผนภูมิควบคุม Acceptance Control Chart มาทำการตรวจสอบหาสาเหตุความผิดปกติของกระบวนการผลิต และในปีเดียวกัน Al-Oraini (2002) และ Rahim (2002) ได้พิจารณาในสถานการณ์ที่ว่าถ้ากระบวนการผลิตเริ่มต้นอยู่ในสภาวะการควบคุมแล้ว ช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตจะยังคงอยู่ในสภาวะควบคุมจะเป็นไปตามการแจกแจงแบบ Gamma($\lambda, 2$) distribution ซึ่งตรงจุดนี้จะแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา ๗ มาทั้งหมดสำหรับแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย แต่ว่า Chen (2002) และ Yang (2002) ได้พิจารณาแตกต่างออกไปโดยที่พิจารณาให้การศึกษาหาสาเหตุความผิดปกติของกระบวนการผลิตที่อยู่ในสภาวะการควบคุม (In-Control) มีการแจกแจงแบบ Weibull Distribution โดยที่พิจารณาให้เวลาที่ใช้ในการสุ่มและการทดสอบตัวอย่าง (gn) มีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาพิจารณาในวงจรการผลิต ต่อมาในปี ค.ศ. 2002 Liu (2002), Chou (2002) และ Chen (2002) ได้พิจารณาวงจรการผลิตเหมือนกับ Duncan (1956) แต่ต่างกันตรงที่ว่า Liu (2002), Chou (2002) และ Chen (2002) ได้พิจารณาถึงความน่าจะเป็นของความ

คลาดเคลื่อน (Error Probabilities) ของ Type I error และ Type II error เมื่อต้องใช้แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยในการควบคุมคุณภาพ จากนั้นในปี ค.ศ. 2005 Magalhaes (2005) และ Moura Neto (2005) ได้พิจารณาวงจรการผลิตซึ่งจะคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Duncan (1956), Saniga (1977), Loenzen (1986) และ Vance (1986) แต่จะต่างกันตรงที่ว่า Magalhaes (2005) และ Moura Neto (2005) พิจารณาทั้ง $\bar{x}$ Control Chart และ R Chart โดยที่ R Chart จะถูกใช้ในการตรวจสอบก่อนจากนั้นจึงใช้ $\bar{x}$ Control Chart มาใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการผลิตต่อไป ในปีเดียวกัน Costa (2005) และ Magalhaes (2005) ได้พิจารณาถึงแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุม โดยเลือกใช้แผนภูมิควบคุมประเภท Two-Stage $\bar{x}$ Charts หลักการของแผนภูมิควบคุมประเภทนี้ประกอบไปด้วยตัวแปร 2 ตัว คือ ตัวแปร X และตัวแปร Y หลักการทำงานจะเริ่มต้นที่ทำการตรวจสอบตัวอย่างที่สุ่มมา ซึ่งจะกำหนดให้มีค่าเป็น $\bar{Y}$ เมื่อพบว่ามีจุดตกออกนอกช่วงการควบคุมจะทำการตรวจสอบตัวอย่างที่สุ่มมาที่กำหนดให้มีค่าเป็น $\bar{X}$ ต่อไป ซึ่งการแจกแจงของสาเหตุความผิดปกติของกระบวนการผลิตที่อยู่ในช่วงของการควบคุมมีการแจกแจงแบบ Exponential Distributed ในส่วนของฟังก์ชันค่าใช้จ่าย Costa (2005) และ Magalhaes (2005) ได้นำรูปแบบของ Markov Chain มาประยุกต์ใช้ จากนั้น Chen (2006) ได้พิจารณาถึงช่วงระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่างของวงจรการผลิต ว่าสามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้ในระหว่างการผลิต Variable Sampling Interval (VSI) โดยเลือกใช้แผนภูมิควบคุม $Hotelling T^2$ เพื่อทำการตรวจสอบหาความผิดปกติของตัวอย่างที่สุ่มมา ในส่วนของฟังก์ชันค่าใช้จ่ายเป็นการประยุกต์ใช้มาจากรูปแบบของ Markov Chain

2.2.3 แผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ (Economic Design of Attribute Control Charts)

ในปี ค.ศ. 1973 Ladany (1973) ได้ทำการศึกษาถึงแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่เป็นเชิงคุณลักษณะ โดยใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ p มาทำการตรวจสอบซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ การทำให้ได้ค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ต่อหน่วยเวลาการผลิตที่ต่ำที่เป็นที่ยอมรับได้ โดยที่ค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ที่ต่ำที่เป็นที่ยอมรับได้นั้น จะขึ้นอยู่กับกำหนัดค่าความน่าจะเป็นที่การเกิดความผิดปกติในการผลิตยิ่งกำหนดให้มีค่ามากเท่าใดก็จะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ที่ต่ำ จากนั้น Chiu (1975) ได้เสนอแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np โดยที่วงจรการผลิตจะคล้ายกับวงจรการผลิตของ Duncan (1956)

ตรงที่ว่า การดำเนินการจะอยู่ภายใต้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ ที่ใช้ในการพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีเพียงลักษณะเดียวที่มีผลทำให้กระบวนการผลิตไม่อยู่ในสภาวะการควบคุม (Single Assignable Cause) แต่จะมีข้อสมมุติของกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน กล่าวคือ Chiu (1975) มีข้อสมมุติของกระบวนการผลิตว่า กระบวนการผลิตจะหยุดดำเนินการผลิตในระหว่างที่ค้นหาสาเหตุความผิดปกติที่เกิดขึ้น และกำหนดให้จำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่ยอมรับได้ในการควบคุมคุณภาพมีค่าเท่ากับ $d + 1$ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่าน ๆ มาที่กำหนดให้มีค่าเป็น d จากนั้นในปี ค.ศ. 1976 Chiu ได้ทำการศึกษาถึงการกำหนดรูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ต่อหน่วยเวลาการผลิต ของกระบวนการผลิตระหว่างการเกิดสาเหตุความผิดปกติทางเดียว กับสาเหตุความผิดปกติหลายทางผลที่ได้ คือ สาเหตุความผิดปกติทางเดียวให้ค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ที่ใกล้เคียงกับสาเหตุความผิดปกติหลายทาง ดังนั้นในการวิเคราะห์ถึงสาเหตุความผิดปกติของกระบวนการผลิต ควรที่จะเลือกวิเคราะห์สาเหตุบกพร่องทางเดียว เพื่อลดความยุ่งยากในการค้นหาความผิดปกติของกระบวนการผลิตและในปี ค.ศ. 1978 Duncan (1978) ได้ทำการศึกษาถึงแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ p โดยมีข้อสมมุติของกระบวนการผลิตว่า การผลิตนั้นจะยังคงดำเนินการผลิตต่อไปในระหว่างที่ค้นหาสาเหตุความผิดปกติที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต แต่ว่า Duncan (1978) ไม่ได้พิจารณาค่าใช้จ่ายของการปรับกระบวนการผลิตรวมไว้ในรายได้สุทธิ (Net Income) จากนั้นในปี ค.ศ. เดียวกัน Gibra (1978) ได้ทำการศึกษาถึงแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np ซึ่งได้พิจารณาวงจรการผลิตโดยให้เวลาที่คาดหวังในการค้นหาเหตุการณ์เตือนที่ผิด (False Alarm) มีค่าเท่ากับเวลาที่คาดหวังในการค้นหาเหตุการณ์เตือนที่เกิดการบกพร่องจริง (True Alarm) ในการผลิตโดยกำหนดให้มีค่าเป็น τ_1 และพิจารณาเวลาที่คาดหวังในการสุ่มและการทดสอบตัวอย่าง (gn) เข้ามาในวงจรการผลิตซึ่งจะแตกต่างกับ Chiu (1975) ที่ไม่ได้พิจารณาเวลาที่คาดหวังในการสุ่มและการทดสอบตัวอย่าง (gn) เข้ามาในวงจรการผลิต จากนั้นในปี ค.ศ. 1982 Sultan (1982) ได้พิจารณาแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่าน ๆ มาตรงที่ว่า กำหนดให้ช่วงเวลาในการทดสอบและการแสดงผลบนแผนภูมิควบคุมมีค่าเท่ากับ $en + 1$ โดยที่ 1 หมายถึง ค่าคงที่ที่เป็นอิสระกับขนาดตัวอย่างที่สุ่มขึ้นมาตรวจสอบ จากนั้นในปี ค.ศ. 1982 Sculli (1982) และ Woo (1982) ได้ทำการศึกษาและนำเสนอผลการวิจัยเกี่ยวกับการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการหาค่าแผนแบบที่เหมาะสม ของแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np จากนั้น Sculli (1985)

และ Woo (1985) ได้ศึกษาต่อจากงานวิจัยของเขาเองที่ทำขึ้นไว้ในปี 1982 และได้แนะนำให้เห็นถึงความจำเป็นของการใช้ซอฟต์แวร์ในการหาค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุม และพารามิเตอร์ค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้การเขียนโปรแกรมขึ้นมาซึ่ง Sculli (1985) และ Woo (1985) ได้เลือกใช้ภาษา FORTRAN ซึ่งข้อดีของโปรแกรมนี้ Sculli (1985) และ Woo (1985) ได้แนะนำว่าเป็นโปรแกรมที่ต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บโปรแกรมเพียง 10K และยังสามารถเขียนโปรแกรมได้ทั้งเครื่องมินิและไมโครคอมพิวเตอร์นอกจากนี้ยังเป็นโปรแกรมที่ใช้ได้ดีกับการคำนวณเกี่ยวกับตัวเลข ต่อมาในปี ค.ศ. 1989 Collani (1989) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแผนภูมิ np และแผนภูมิ c ซึ่งได้ยกตัวอย่างมาอธิบายในการสร้างซึ่งเขาได้แนะนำว่าถ้าจะใช้แผนภูมิ np ในการควบคุมคุณภาพนั้นจำนวนตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบต้องเป็นตัวอย่างที่คงที่เสมอ จากนั้น Chung (1993) และ Kun-Jen (1993) ได้ทำการศึกษาถึงพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่ประกอบไปด้วย ขนาดตัวอย่าง (n) การยอมรับจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย (d) และช่วงเวลาระหว่างสุ่มตัวอย่าง (h) ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จำเป็นที่จะต้องเลือกค่าให้มีความเหมาะสม ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ทางเศรษฐศาสตร์ด้วย ต่อมา Box (1997), Coleman (1997) และ Baxley (1997) ได้ทำการศึกษาถึงแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมหรือแผนภูมิ $CUSUM$ ซึ่งผลจากการวิจัยได้นำไปเปรียบเทียบกับแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิ np ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผนภูมิ $CUSUM$ จะใช้ได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย เมื่อความคลาดเคลื่อนของกระบวนการผลิตเกิดการคาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย แต่ว่า Box, Coleman (1997) และ Baxley (1997) ยังได้แนะนำต่อไปว่า ถึงอย่างไรก็ตามแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียก็ยังเป็นที่นิยมในการใช้งานมากกว่า เพราะการตีความหมายของแผนภูมิที่ง่ายกว่าและยังแสดงให้เห็นถึงคุณภาพในการผลิตได้ดีกว่า จากนั้นในปี ค.ศ. 2003 Wu (2003) และ Luo (2003) ได้ทำการศึกษาถึงค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย เพื่อใช้ในการตรวจจับและควบคุมกระบวนการผลิต โดยมีพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดคือ ขนาดตัวอย่าง (n) และขีดจำกัดควบคุม (UCL, LCL และ CL) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องกำหนดขึ้นมาในการสร้างแผนภูมิควบคุมชนิดนี้ หลังจากนั้นในปีค.ศ. 2005 Wu (2005), Luo (2005) และ Zhang (2005) ได้ทำการศึกษาและนำเสนอขั้นตอนของการหาค่าที่เหมาะสมของค่าแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย (Optimal np Control Chart with Curtailment) โดยพิจารณาเฉพาะวงจรการผลิต ในส่วนของการผลิตที่ไม่อยู่ในสถานะการควบคุมซึ่งลักษณะของวงจรการผลิตเป็นแบบที่มีความต่อเนื่อง กล่าวคือ การผลิตนั้นจะยังคงดำเนินการผลิตต่อไป ในระหว่างที่ค้นหาสาเหตุการบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิต

2.2.4 ลักษณะของกระบวนการผลิต

2.2.4.1 กระบวนการผลิตจะยังคงดำเนินต่อไปในระหว่างที่ทำการค้นหาสาเหตุความผิดปกติในการผลิต (Duncan Process)

Duncan (1956) เป็นผู้แรกที่ได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการผลิตที่มีความต่อเนื่องในระหว่างการค้นหาสาเหตุความผิดปกติที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งถือได้ว่าเป็นงานวิจัยชิ้นแรกที่ได้ทำการศึกษาถึงแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุม ต่อมาในปี ค.ศ. 1971 Gibra (1971) ได้ทำการศึกษาและพัฒนารูปแบบที่มีลักษณะคล้าย ๆ กับรูปแบบของ Duncan (1956) ตรงที่ข้อสมมุติของกระบวนการผลิต กล่าวคือ กระบวนการผลิตจะยังคงดำเนินต่อไปในระหว่างที่ทำการค้นหาสาเหตุความผิดปกติในการผลิต แต่ในส่วนของวงจรการผลิตนั้นจะแตกต่างกับ Duncan (1956) ตรงที่ว่า Gibra (1971) ไม่ได้แบ่งกระบวนการผลิตออกเป็นช่วง In-Control และ Out-of-Control แต่จะดำเนินการการผลิตต่อไปจนพบความผิดปกติแล้วจึงทำการปรับปรุงแก้ไข จากนั้น Montgomery, Heikes (1975) และ Mance (1975) ได้พิจารณากระบวนการผลิตโดยให้วงจรการผลิตมีเวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิด (False Alarm) มีค่าเท่ากับเวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่มีการเกิดความผิดปกติจริง (True Alarm) ซึ่งตรงจุดนี้จะพิจารณาเหมือนกับ Gibra (1971) แต่ต่างกันตรงที่ว่า Gibra (1971) พิจารณาถึงช่วงเวลาในการทดสอบและการแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม (gn) เข้ามาในวงจรการผลิต แต่ Montgomery (1975), Heikes (1975) และ Mance (1975) ไม่ได้พิจารณาถึงช่วงเวลาในการทดสอบและการแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม (gn) เข้ามาในวงจรการผลิต ถัดมาในปี ค.ศ. 1998 Bai (1998) และ Lee (1998) ได้พิจารณาแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา ๆ มาตรงที่การสุ่มตัวอย่างขึ้นมาตรตรวจสอบแต่เดิมจะเป็นการสุ่มที่กำหนดขนาดตัวอย่างที่แน่นอน Fixed Sampling Interval (FSI) แต่ Bai (1998) และ Lee (1998) ได้พิจารณาการสุ่มตัวอย่างขึ้นมาตรตรวจสอบเป็นการสุ่มที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ Variable Sampling Interval (VSI) และยังให้ความสำคัญกับการประมาณค่าแผนแบบของแผนภูมิควบคุม (Design Control Chart) และการประมาณค่าพารามิเตอร์ค่าใช้จ่ายของกระบวนการผลิต (Cost of Parameter) และในปี ค.ศ. 2003 Chou (2003), Chen (2003), Liu (2003) และ Huang (2003) ได้พิจารณากระบวนการผลิตโดยให้กระบวนการผลิตมีเวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิด (False Alarm) ให้มีค่าเท่ากับเวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่เกิดความผิดปกติจริง (True Alarm) ในกระบวนการผลิต และเนื่องจากว่า Chou (2003), Chen (2003), Liu (2003) และ Huang (2003) ได้พิจารณาถึงแผนภูมิควบคุมที่สามารถใช้ได้กับทุก ๆ กระบวนการผลิต ที่ดำเนินการตรวจสอบหาความผิดปกติ

ของกระบวนการผลิต ดังนั้นในการตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการผลิตจะเป็นการตรวจสอบเพียงการหาค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตเท่านั้น จากนั้น Ben-Data (2000) และ Rahim (2000) ได้พิจารณาถึงกระบวนการผลิตโดยพิจารณาให้ในวงจรการผลิต มีการพิจารณาให้ค่าคาดหวังในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ $E(QC)$ รวมอยู่ในค่าคาดหวังของระยะเวลาของหนึ่งวงจรการผลิต $E(T)$

2.2.4.2 กระบวนการผลิตจะหยุดดำเนินการผลิตในระหว่างที่ทำการค้นหาสาเหตุความผิดปกติในการผลิต (Shutdown Process)

ในปี ค.ศ. 1968 Taylor (1968) ได้พิจารณากระบวนการผลิตโดยเลือกใช้แผนภูมิควบคุม $CUSUM$ มาทำการตรวจสอบหาสาเหตุความผิดปกติของกระบวนการผลิตที่ไม่มีความต่อเนื่องในระหว่างการค้นหาสาเหตุและแก้ไขสำหรับสาเหตุความผิดปกติที่เกิดขึ้น ในกระบวนการผลิต จากนั้นในปี ค.ศ. 1978 Gibra (1978) ได้ทำการศึกษาถึงการกำหนดความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหรือแผนภูมิควบคุม np Control Chart ในกรณีของกระบวนการผลิตแบบ Shutdown Process โดย Gibra (1978) ได้พิจารณาเวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิดมีค่าเท่ากับเวลาที่คาดหวัง ในการค้นหาสาเหตุการเกิดความผิดปกติที่เกิดขึ้นจริงในการผลิต และได้พิจารณาเวลาที่คาดหวังในการทดสอบและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม (gn) เข้ามาในวงจรการผลิต และในปี ค.ศ. 1980 Montgomery (1980) ได้ทำการศึกษาถึงรูปแบบของกระบวนการผลิตแบบ Shutdown Process โดยพิจารณาการเกิดการเตือนที่ผิด ซึ่งจะมีผลทำให้วงจรการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วงเวลา ประกอบไปด้วย ช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม ช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตไม่อยู่ในสภาวะควบคุม ช่วงเวลาที่ค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิด (False Alarm) และช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุความผิดปกติของกระบวนการผลิต จากนั้นในปี ค.ศ. 1986 Lorenzen (1986) และ Vance (1986) ได้ทำการศึกษาถึงแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมซึ่งได้กำหนดวงจรการผลิตของกรณีกระบวนการผลิตแบบ Shutdown Process ออกเป็น 5 ช่วงเวลา ประกอบไปด้วย ช่วงเวลาจนกระทั่งเกิดความผิดปกติ ช่วงเวลาจนกระทั่งตัวอย่างตัวต่อไปถูกสุ่มขึ้นมาตรวจสอบบนแผนภูมิควบคุม ช่วงเวลาในการทดสอบและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม ช่วงเวลาจนกระทั่งแผนภูมิควบคุมได้แสดงถึงการเตือนที่แท้จริงถึงการออกนอกขอบเขตการควบคุม และช่วงสุดท้ายคือ ช่วงเวลาในการค้นพบสาเหตุความผิดปกติในการผลิตและทำการแก้ไขสาเหตุความผิดปกติในการผลิต

การกำหนดกระบวนการผลิตในกรณีนี้ที่ กระบวนการผลิตจะหยุดดำเนินการผลิตในระหว่างที่ทำการค้นหาสาเหตุความผิดปกติในการผลิตของ Montgomery (1980), Gibra (1978), Lorenzen (1986) และ Vance (1986) มีลักษณะที่แตกต่างกันตามข้อสมมุติของแต่ละบุคคล โดยที่ Montgomery (1980), Lorenzen (1986) และ Vance (1986) ได้พิจารณาให้ช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิด แตกต่างจากช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่เกิดขึ้นจริง แต่ Gibra (1978) ได้พิจารณาช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิดมีค่าเท่ากับ ช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่เกิดการบกพร่องในการผลิตเกิดขึ้นจริง ในขณะที่ Montgomery (1980) และ Chiu (1975) ไม่ได้มีการพิจารณาช่วงเวลาในการทดสอบและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุมในวงจรการผลิต แต่ Gibra (1978), Lorenzen (1986) และ Vance (1986) ได้พิจารณาช่วงเวลาในการทดสอบและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุมในวงจรการผลิต

2.2.5 สาเหตุความผิดปกติในกระบวนการผลิต

2.2.5.1 สาเหตุความบกพร่องทางเดียว (Single Assignable Cause)

Duncan (1956) ทำการศึกษาถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่มีเพียงลักษณะเดียวที่มีผลทำให้กระบวนการผลิตไม่อยู่ในสภาวะการควบคุม (Single Assignable Cause) จากนั้น Gibra (1971) ได้พิจารณาแตกต่างจาก Duncan (1956) ตรงที่ว่า Gibra (1971) พิจารณาให้เวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิด (False Alarm) มีค่าเท่ากับเวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่เกิดความผิดปกติจริง (True Alarm) ในวงจรการผลิต ต่อมาในปี ค.ศ. 1974 Chiu (1974) และ Wetherill (1974) ได้พิจารณาแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาตรงที่ได้พิจารณาถึงเส้นโค้ง OC หรือ OC-Curve เพื่อใช้ในการสุ่มตัวอย่าง เพื่อนำมาทำการตรวจสอบถึงสาเหตุความผิดปกติของกระบวนการผลิตบนแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ในขณะที่ Chou (2006), Cheng (2006) และ Lai (2006) ได้พิจารณาถึงช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุความบกพร่องของกระบวนการผลิต (t_1) และช่วงเวลาในการปรับตั้งกระบวนการผลิต (t_2) รวมอยู่ในวงจรการผลิต ต่อมาในปี ค.ศ. 1982 Montgomery (1982) ได้พิจารณาวงจรการผลิตที่มีสาเหตุความบกพร่องทางเดียว และพิจารณาค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเหมือนกับ Gibra (1971) แต่จะแตกต่างกันตรงที่ว่า Montgomery (1982) ไม่ได้พิจารณาเวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิด (False Alarm) ให้มีค่าเท่ากับเวลาที่คาดหวังในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่เกิดความผิดปกติจริง (True Alarm) ในกระบวนการผลิต จากนั้น Lorenzen (1986) และ Vance (1986) ได้พิจารณาให้ช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่ผิด

แตกต่างจากช่วงเวลาในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่เกิดขึ้นจริงซึ่งจะแตกต่างจากของ Gibra (1978) ที่กำหนดให้ช่วงเวลทั้งสองมีค่าเท่ากัน จากนั้น Zhang (1997) และ Berardi (1997) ได้เป็นผู้ที่เริ่มนำการแจกแจงแบบ Weibull Distribution มาใช้แทนการแจกแจงแบบ Exponential Distribution ให้กรณีที่เกิดสาเหตุความบกพร่องของกระบวนการผลิตเป็นแบบทางเดียวที่อยู่ในสภาวะการควบคุมหรืออยู่ในช่วง In-Control ต่อมา Magalhaes (2001), Epprecht (2001) และ Costa (2001) ได้พิจารณาแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา ๆ มาตรงที่การกำหนดค่าแผนแบบ n, h และ k ของแผนภูมิควบคุม จะเป็นการกำหนดให้มีความเหมาะสมในแต่ละขนาดตัวอย่างที่ทำการสุ่มมาตรวจสอบ หรือสามารถทำการปรับเปลี่ยนค่าแผนแบบ (design parameters are variable ($V_p \bar{x}$ Chart)) ให้มีความเหมาะสมในแต่ละขนาดตัวอย่างที่ทำการสุ่มขึ้นมาตรวจสอบ ซึ่งจะอยู่ภายใต้วงจรการผลิตเดียวกัน และในปีเดียวกัน Xie (2001), Tang (2001), และ Goh (2001) ได้พิจารณาให้เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการสืบสาวถึงสัญญาณเตือนที่ผิดอยู่ในสภาวะการเตือนที่อยู่นอกการควบคุม (Out-of-Control) ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{\lambda} + \frac{(1 - \delta_1)sT_0}{ARL_1}$ ซึ่งจะแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ย (Mean) ของการแจกแจงที่เลือกใช้ ในการตรวจสอบหาความผิดปกติของกระบวนการการผลิต ในขณะที่ Chen (2002) และ Yang (2002) ได้พิจารณาให้การเกิดสาเหตุความบกพร่องของกระบวนการการผลิตที่อยู่ในสภาวะการควบคุม หรือ In-Control Process มีการแจกแจงแบบ Weibull Distribution

2.2.5.2 สาเหตุความผิดปกติหลายทาง (Multiple Assignable Cause)

ในปี ค.ศ. 1973 Chiu (1973) ได้พิจารณาวงจรการผลิตเหมือนกับ Duncan (1971) แต่ Chiu (1973) พิจารณาในกรณีที่การเกิดสาเหตุความผิดปกติของกระบวนการผลิตเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุนอกจากนี้แล้ว Chiu (1973) ได้ใช้วิธี Two-Dimensional Fibonacci Search มาใช้ในการหาค่าแผนแบบของแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสม ของแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย จากผลงานวิจัยที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Duncan (1971) สรุปได้ว่าวิธี Two-Dimensional Fibonacci Search มีความง่ายและรวดเร็วกว่าวิธี Direct Search ที่ Duncan (1971) ใช้ในงานวิจัย ต่อมา Chiu (1976) ได้พิจารณาวงจรการผลิตที่มีค่าใช้จ่ายเช่นเดียวกับ Chiu (1975) แต่ในงานวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาการเกิดสาเหตุบกพร่องของกระบวนการการผลิต สามารถที่จะเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ (Multiple Assignable Cause) จากนั้น Yang (2005) และ Rahim (2005) ได้พิจารณาการเกิดสาเหตุบกพร่องของวงจรการผลิตแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยกำหนดให้สาเหตุบกพร่องของวงจรการผลิตมีลักษณะเป็นไปตามการแจกแจงแบบ Weibull Distribution จากนั้น Gibra (1981) ได้พิจารณาเวลาที่ใช้ในการค้นหา

สาเหตุการเตือนที่ผิดมีค่าเท่ากับเวลาที่ใช้ในการค้นหาสาเหตุการเตือนที่เกิดความผิดปกติจริงในกระบวนการผลิตซึ่งกำหนดให้มีค่าเป็น τ ต่อมา Peters (1987) และ Williams (1987) ได้พิจารณาวงจรการผลิตที่แตกต่างไปจากงานวิจัยที่ผ่านมา ๆ มาตรงที่ว่าวงจรการผลิตจะไม่หยุดเพียงแค่นั้นวงจรการผลิตแต่การผลิตจะยังคงดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ โดยที่วงจรการผลิตจะแบ่งออกช่วง 2 ช่วง กล่าวคือ ช่วงที่อยู่ในสภาวะการควบคุมและช่วงที่ไม่อยู่ในสภาวะการควบคุม จากนั้น Chung (1995) กำหนดให้จำนวนผลิตภัณฑ์เสียที่ยอมรับได้มีค่าเป็น $d + 1$ ซึ่งจะเหมือนกับการกำหนดของ Chiu (1975) แต่ในการวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาในสถานการณ์ที่ การเกิดสาเหตุบกพร่องของกระบวนการผลิต สามารถที่จะเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ และในปี ค.ศ. Chung (1995) ได้พิจารณาแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ตรงที่ว่า แผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการตรวจสอบหาความผิดปกติของกระบวนการผลิตจะพิจารณาถึงขีดจำกัดเตือน (Warning Limit) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2σ ส่วนการเกิดสาเหตุความบกพร่องนั้น Chung (1995) ได้พิจารณาให้การเกิดสาเหตุความบกพร่องเกิดขึ้นได้ 2 ครั้งใน 1 วงจรการผลิต ซึ่งจะเป็นอิสระต่อกันโดยมีค่าเฉลี่ยเป็น $\frac{1}{\lambda_1}$ และ $\frac{1}{\lambda_2}$ ตามลำดับ

2.2.6 ค่าใช้จ่าย

Duncan (1956) ได้เสนอรูปแบบของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่คุณภาพ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการซ่อมและการทดสอบ และค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการสืบสาวถึงสาเหตุของการเตือนที่เกิดขึ้นบนแผนภูมิควบคุม แต่ว่า Duncan (1956) ไม่ได้พิจารณาค่าใช้จ่ายในการปรับและแก้ไขกระบวนการผลิตให้กับเข้าสู่สภาวะปกติรวมไว้ในรายได้สุทธิ (Net Income) และในปี ค.ศ. 1977 Chiu (1977) ได้ทำการศึกษาถึงความไวของค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ให้ความสำคัญไปที่การพิจารณาถึงการกำหนดค่าแผนแบบของแผนภูมิควบคุมและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต จากนั้นในปี ค.ศ. 1981 Saniga (1981) และ Montgomery (1981) ได้พิจารณาถึงฟังก์ชันค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) สามารถที่จะใช้ร่วมกันได้ ระหว่างแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ Control Chart และแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย p Chart แต่จะพิจารณาในสถานการณ์ที่แตกต่างกันตรงที่ว่ากระบวนการผลิตที่ใช้แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยมาทำการตรวจสอบหาความผิดปกติของวงจรการผลิตนั้น จะพิจารณาให้การเกิดสาเหตุบกพร่องของกระบวนการผลิตสามารถที่จะเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ (Multiple Assignable Cause) ส่วนกระบวนการผลิตที่ใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียมาทำการ

ตรวจสอบหาความผิดปกติของวงจรการผลิต จะพิจารณาให้การเกิดสาเหตุบกพร่องของกระบวนการผลิตมีเพียงสาเหตุเดียว (Single Assignable Cause) ในปี ค.ศ. 1995 Alexander (1995), Dillman (1995), Usher (1995) และ Damodaran (1995) ได้พิจารณาถึงฟังก์ชันค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ของ TAGUCHI'S LOSS FUNCTION โดยใช้รูปแบบค่าใช้จ่ายของ Duncan (1956) หรือที่เรียกว่า DUNCAN'S COST MODEL มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดฟังก์ชันค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ต่อมาในปี ค.ศ. 1996 Chiu (1996) และ Huang (1996) ได้พิจารณาวงจรการผลิตเหมือนกับ Duncan (1956) แต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการปรับและแก้ไขกระบวนการผลิตให้กับมาสู่สภาวะปกติ (Cost of Repair) เข้ามาในวงจรการผลิตซึ่งจะพิจารณาให้อยู่ในช่วงเวลาที่ล่าช้าหรือ Delay Time แต่จะรวมอยู่ในช่วงที่กระบวนการผลิตออกนอกช่วงของการควบคุม (Out-of-Control State) ในวงจรการผลิตและกำหนดให้มีค่าเป็น $T_2 - t$ จากนั้น Linderman (2002) และ Choo (2002) ได้พิจารณาอิทธิพลของปัจจัยค่าใช้จ่ายและปัจจัยการเสี่ยงที่มีต่อฟังก์ชันค่าใช้จ่ายสูญเสียโดยใช้แผนแบบการทดลองแบบ Fractional Factorial Design ถัดมาในปี 2004 Weheba (2004) และ Elshennawy (2004) ได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการผลิตที่แตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา ๆ มาตรงที่ว่าสนใจเฉพาะค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเท่านั้น ซึ่งไม่ได้เจาะจงว่าต้องใช้กับแผนภูมิควบคุมประเภทไหน ดังนั้นในวงจรการผลิตจะเป็นการพิจารณาค่าใช้จ่ายของกระบวนการผลิต เท่านั้น โดยไม่ได้สนใจการประมาณค่าแผนแบบของแผนภูมิควบคุม จากนั้น Vommi (2005) และ Seetala (2005) ได้พิจารณารายได้สุทธิ (Net Income) โดยพิจารณาให้ค่าใช้จ่ายของการปรับตั้งกระบวนการผลิตรวมไว้ในรายได้สุทธิซึ่งจะต่างกับ Duncan (1956) ที่ไม่ได้นำมาพิจารณารวมไว้ในรายได้สุทธิ (Net Income) ต่อมาในปี ค.ศ. 2006 Chou (2006), Chen (2006) และ Chen (2006) ได้พิจารณาค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตตามงานวิจัยของ Montgomery (1972) และ Klatt (1972) และทำการศึกษาถึงการทดสอบความแตกต่างของระดับของปัจจัยที่มีต่อค่าสังเกตเพื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของปัจจัยนั้น ๆ ที่มีต่อค่าสังเกตโดยสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทำการทดสอบสมมุติฐานที่ว่า “มีความแตกต่างของระดับของปัจจัยที่มีต่อค่าสังเกตหรือไม่”

นอกจากงานวิจัยจากต่างประเทศแล้ว ในส่วนของงานวิจัยภายในประเทศก็ได้มีผู้ทำการวิจัยไว้อยู่บ้าง ดังเช่น งานวิจัยของ สุชาติ ชื่นชวน (2533) โดยทำการศึกษาถึงการกำหนดแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการกำหนด ขนาดตัวอย่าง ความกว้างของขอบเขตควบคุม และช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่าง ในรูปแบบการผลิตที่กระบวนการผลิตจะหยุดดำเนินการผลิต เพื่อทำการค้นหาสาเหตุความผิดปกติที่เกิดขึ้นในการ

ผลิต (Shutdown Process) โดยมีพื้นฐานของรูปแบบค่าใช้จ่ายตามการกำหนดโดย Duncan (1956) ที่สมมติว่ากระบวนการผลิตจะยังคงดำเนินการผลิตต่อไป ในระหว่างที่ค้นหาสาเหตุความผิดปกติในการผลิต (Duncan Process) และทำการเปรียบเทียบกันซึ่งผลที่ได้ คือ กระบวนการแบบ Duncan Process มีค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ที่ต่ำกว่ากระบวนการผลิตแบบ Shutdown Process จากนั้น จีรวัดน์ วรสิงห์ (2539) ได้ทำการศึกษาถึงแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมโดยใช้งานวิจัยของ สุชาติ ชื่นชวน (2533) มาเป็นต้นแบบในการวิจัย ซึ่งการวิจัยครั้งนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ของกระบวนการผลิตแบบ Duncan Process และกระบวนการผลิตแบบ Shutdown Process และทำการเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ สุชาติ ชื่นชวน (2533) ซึ่งผลที่ได้จะเหมือนกันกับของ สุชาติ ชื่นชวน (2533) ในกรณีการเปรียบเทียบของกระบวนการผลิต และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสูญเสียกับงานวิจัยของ สุชาติ ชื่นชวน (2533) ก็ยังมีค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ที่ต่ำกว่า ต่อมา ผานิต โอฬารรัตน์มณี (2543) ได้ทำการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ เพื่อสร้างระบบสนับสนุนการเลือกใช้และออกแบบพารามิเตอร์ของแผนแบบแผนภูมิควบคุม เพื่อให้สามารถเลือกใช้แผนภูมิควบคุมได้อย่างถูกต้อง และให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้โดยไม่ซับซ้อน

จากงานวิจัยที่ผ่าน ๆ มาข้างต้นนี้ สามารถนำมาสรุปเป็นตารางที่แสดงถึงการพิจารณาในสถานะการณ์ที่แตกต่างกันออกไปของแต่ละงานวิจัยดังจะแสดงให้เห็นได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงถึงการพิจารณาที่แตกต่างกันของแต่ละบุคคล

Article	Type of Chart	Duncan Process	Shutdown Process	1	2	3	4	5	6	7	Method
Duncan (1956)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	Math Numerical
Taylor (1968)	<i>CUSUM</i>	-	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	Math Numerical
Gibra (1971)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	Math Numerical
Chiu (1973)	$\bar{X}$	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	Tow-Dimensional Fibonacci Search
Chiu and Wetherill (1974)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	Direct Search
Chiu (1975)	<i>np</i>	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	Fibonacci Search
Montgomery, Heikes and Mance (1975)	<i>p</i>	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	Direct Search
Chiu (1976)	<i>np</i>	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	Fibonacci Search
Chiu (1977)	<i>np</i>	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	Optimization Approach
Duncan (1978)	<i>p, np</i>	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	-	-	Numerical Method
Gibra (1978)	<i>np</i>	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	Tow - Dimensional Fibonacci Search
Gibra (1981)	<i>np</i>	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	Direct Search
Saniga and Montgomery (1981)	Flexible	-	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	-	Heuristic Method
Montgomery (1982)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	Direct Search
Sultan (1982)	<i>p</i>	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	Heuristic Method
Lorenzen and Vance (1986)	Flexible	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	Interactive Search

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แสดงถึงการพิจารณาที่แตกต่างกันของแต่ละบุคคล

Article	Type of Chart	Duncan Process	Shutdown Process	1	2	3	4	5	6	7	Method
Peters and Williams (1987)	np	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	Direct Search Techniques
Collani, Saniga and Weigand (1994)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	Step Procedure
Chung (1995)	np	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	Grid Search
Chung (1995)	$\bar{X}$	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	Pattern Search Pattern Search Techniques of Hooke and Jeeves (1961)
Alexander, Dillman, Usher and Damodaran (1995)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	Grid Search
Chiu and Huang (1996)	$\bar{X}$	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	Pattern Search Technique of Hooke and Jeeves (1961)
Zhang and Berardi (1997)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	Optimization Approach
Bai and Lee (1998)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	-	-	Optimization Approach
Celano and Fichera (1999)	$\bar{X}$	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	Genetic Algorithms
Ben-Data and Rahim (2000)	$\bar{X}$	✓	-	-	✓	✓	✓	-	✓	-	Pattern Search Technique of Hooke and Jeeves (1961)

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แสดงถึงการพิจารณาที่แตกต่างกันของแต่ละบุคคล

Article	Type of Chart	Duncan Process	Shutdown Process	1	2	3	4	5	6	7	Method
Magalhaes, Epprecht and Costa (2001)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	Optimization Approach
Xie, Tang, and Goh (2001)	Cumulative Count of Conforming (CCC) chart	✓	-	✓	-	✓	✓	-	✓	-	Fibonacci Search
Cai, Xie, Goh and Tang (2002)	Acceptance Control Chart	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	Optimization Approach
Al-Oraini and Rahim (2002)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	Optimization Approach
Chen and Yang (2002)	MA Control Chart	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	Mathematic Approach
Chen and Yang (2002)	$\bar{X}$	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	Mathematic Approach
Linderman and Choo (2002)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	Optimization Approach
Liu, Chou and Chen (2002)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	Optimization Approach
Chou, Chen, Liu and Huang (2003)	Flexible	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	-	-	Grid-Search
Weheba and Elshennawy (2004)	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	Mathematic Approach

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แสดงถึงการพิจารณาที่แตกต่างกันของแต่ละบุคคล

Article	Type of Chart	Duncan Process	Shutdown Process	1	2	3	4	5	6	7	Method
Vommi and Seetala (2005)	$\bar{X}$	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	Genetic Algorithm (GA)
Magalhaes and Moura Neto (2005)	$\bar{X}$ and R	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	Mathematic Approach
Costa and Magalhaes (2005)	$\bar{X}$	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	Optimization Approach
Yang and Rahim (2005)	<i>Hotelling T²</i>	✓	-	-	✓	✓	✓	-	✓	-	Step Procedure
Chou, Chun-Hua Chen and Chung-Ho Chen (2006)	<i>Hotelling T²</i>	✓	-	✓	-	✓	✓	-	-	-	Genetic Algorithm (GA)
Chou, Cheng and Lai (2006)	EWMA Chart	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	Genetic Algorithms (GA)
Chen (2006)	<i>Hotelling T²</i>	-	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	Genetic Algorithms (GA)

ความหมายของสัญลักษณ์ที่ใช้ในตารางที่ 2.1

- 1 คือ สาเหตุบกพร่องทางเดียว (Single Assignable Cause)
- 2 คือ สาเหตุบกพร่องหลายทาง (Multiple Assignable Causes)
- 3 คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสืบสาวถึงสาเหตุของการเตือนที่เกิดขึ้นบนแผนภูมิควบคุม (Costs of Inspection)
- 4 คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการค้นหาสาเหตุความผิดปกติในกระบวนการผลิต (Costs of Search)
- 5 คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ (Costs of Defect)
- 6 คือ ค่าใช้จ่ายในการปรับและแก้ไขกระบวนการผลิตให้กับมาสู่สภาวะปกติ (Costs of Repair)
- 7 คือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบและแสดงผลบนแผนภูมิควบคุม (Time to Test and Interpret Result)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าแต่ละงานวิจัยจะมีการพิจารณาแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมที่มีความแตกต่างกันออกไปตามข้อสมมุติของแต่ละงานวิจัย แต่จะมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่คล้ายกันคือ การทำให้กระบวนการผลิตมีค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ต่อกำลังการผลิตที่ต่ำที่สุด ซึ่งการที่ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ต่อกำลังการผลิตที่ต่ำที่สุดนั้นจะส่งผลให้ได้ค่าแผนแบบที่มีความเหมาะสมตามไปด้วย รวมถึงรูปแบบของกระบวนการผลิตก็จะแตกต่างกันออกไปด้วย โดยในการวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่าน ๆ มาทั้งหมด โดยจะทำการหาค่าแผนแบบที่เหมาะสมของแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสียสำหรับกระบวนการผลิตแบบ Duncan Process และกระบวนการการผลิตแบบ Shutdown Process ซึ่ง Duncan (1978) ไม่ได้ทำการศึกษาไว้จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ต่อกำลังการผลิต พร้อมทั้งหาค่าความเสี่ยงของผู้ผลิตและค่าความเสี่ยงของผู้บริโภคของให้กับกระบวนการผลิตแบบ Duncan Process และกระบวนการผลิตแบบ Shutdown Process รวมถึงเพื่อวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อแผนแบบทางเศรษฐศาสตร์ของแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย และมีผลต่อค่าใช้จ่ายสูญเสีย (Loss-Cost) ต่อกำลังการผลิตสำหรับกรณีที่ กระบวนการผลิตดำเนินการผลิตต่อไปในระหว่างที่ทำการค้นหาสาเหตุความผิดปกติในการผลิตหรือ Duncan Process และในกรณีที่กระบวนการผลิตจะหยุดดำเนินการผลิตในระหว่างที่ทำการค้นหาสาเหตุความผิดปกติในการผลิตหรือ Shutdown Process