บทที่ 2

แผนภูมิการควบคุม

Chance and Assignable Causes of Quality Variation

ในกระบวนการผลิตใดๆ ไม่ว่าจะมีการออกแบบที่ดีหรือมีการดูแลอย่างระมัดระวังแล้วก็ตาม ก็ยังมีความผันแปร (variability) อยู่เสมอโดยธรรมชาติ ซึ่งความผันแปรเหล่านี้เป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุที่จำเป็นซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ (unavoidable causes) โดยปกติแล้ว เรามักจะพิจารณาภาพโดยรวมของกระบวนการว่ามีความผันแปรเหล่านี้ อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (acceptable level) ในกรอบของการควบคุมคุณภาพทางสถิติ (statistical quality control) ความผันแปรตามธรรมชาติเหล่านี้มักจะเรียกว่า "chance causes" กระบวนการที่ดำเนินด้วยความผันแปรเนื่องจาก chance causes เท่านั้นจะเรียกได้ว่าอยู่ในการควบคุมทางสถิติ กล่าวโดยสรุปคือ chance causes เป็นสิ่งที่มีอยู่ในกระบวนการเป็นปกติ

นอกจากนั้นยังมีความผันแปรที่เกิดขึ้นที่พบได้จากผลลัพธ์ หรือผลที่ออกมาจากกระบวนการ ซึ่งความผันแปรในลักษณะทางคุณภาพมักเกิดขึ้นจาก 3 สาเหตุคือ

1. การปรับแต่งเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสม (improperly adjusted machines)
2. ความผิดพลาดเนื่องจากพนักงาน (operator errors)
3. วัตถุดิบที่เป็นของเสีย (defect raw material)

ความผันแปรเนื่องมาจากสาเหตุเหล่านี้ มักจะมีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับ chance causes โดยปกติมักจะแสดงภาพรวมของกระบวนการโดยพิจารณาจากระดับที่ยอมรับไม่ได้ (unacceptable level) ความผันแปรเหล่านี้ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของ chance causes มักจะเรียกว่า "assignable causes" ถ้ากระบวนการผลิตแสดงออกถึง assignable causes เหล่านี้ หมายความว่ากระบวนการนั้นอยู่นอกการควบคุม (out of control)

โดยปกติแล้วกระบวนการผลิตจะอยู่ในสภาวะที่ควบคุมและผลิตสินค้าที่เป็นที่ยอมรับได้ในระยะเวลาที่ยาวนาน อย่างไรก็ตาม อาจเกิด assignable causes ซึ่งมักจะเป็นการสุ่มเกิด ผลคือทำให้สินค้าที่ออกมาจากกระบวนการเลื่อนไปจากค่าเป้าหมาย สินค้าไม่ได้ตามความต้องการ

ของลูกค้า วัตถุประสงค์ของการใช้สถิติในการควบคุมกระบวนการคือเพื่อให้สามารถหาการเกิดของ assignable causes หรือกระบวนการที่เลื่อนไปได้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ ดังนั้นจะต้องทำการสืบสวนหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขก่อนที่กระบวนการจะผลิตสินค้าที่ไม่เป็นไปตามความต้องการ

แผนภูมิการควบคุม (Control chart) เป็นเทคนิคการควบคุมกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งอาจใช้แผนภูมิการควบคุม (Control chart) ในการประมาณพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตเพื่อกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการ นอกจากนั้นสามารถใช้ข้อมูลจากแผนภูมิการควบคุม (Control chart) ในการปรับปรุงกระบวนการได้ เป้าหมายหลักของการควบคุมกระบวนการทางสถิติคือการกำจัดความผันแปรในกระบวนการ ซึ่งอาจเป็นไปไม่ได้ที่จะกำจัดให้หมดไป แต่ แผนภูมิการควบคุม (Control chart) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการใช้ลดค่าความผันแปรได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นได้

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

มีหลายปัญหาที่ต้องการการตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธประโยคที่มีค่าพารามิเตอร์บางค่า ปกติจะเรียกประโยคเหล่านั้นว่า "สมมติฐาน" หรือ "hypothesis" กระบวนการตัดสินใจสมมติฐานเหล่านั้นเรียกว่า "การทดสอบสมมติฐาน" หรือ "hypothesis testing"

สมมติฐานทางสถิติ (statistical hypothesis) เป็นข้อความที่แสดงถึง probability distribution ของตัวแปรสุ่ม (random variable) สมมติฐานทางสถิติอาจมีค่าพารามิเตอร์ของการกระจายตั้งแต่หนึ่งค่าขึ้นไป เช่น ถ้าสนใจในค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งแรงของคอนกรีตว่ามีค่าความแข็งแรงโดยเฉลี่ย (μ) เป็น 2500 psi หรือไม่ อาจเขียนได้เป็น

$$H_0 : \mu = 2500 \text{ psi}$$
$$H_1 : \mu \neq 2500 \text{ psi} \qquad (1)$$

ประโยค $H_0 : \mu = 2500$ psi เรียกว่า null hypothesis และประโยค $H_1 : \mu \neq 2500$ psi เรียกว่า alternative hythesis ซึ่งค่าของ μ อาจเป็นค่าที่มากกว่าหรือน้อยกว่า 2500 psi ซึ่งเรียกว่า two-sided alternative hythesis บางครั้งอาจเขียนเป็น one-sided alternative hythesis ได้เป็น

$$H_0 : \mu = 2500 \text{ psi}$$
$$H_1 : \mu > 2500 \text{ psi} \qquad (2)$$

สมมติฐาน หรือ hypothesis เป็นข้อความที่แสดงถึงประชากร (population) หรือการกระจาย (distribution) ที่ศึกษาแต่ hypothesis ไม่ใช่ข้อความที่แสดงถึงค่าตัวอย่าง (sample) โดยปกติแล้ว ค่าของพารามิเตอร์ประชากรที่ระบุใน null hypothesis (2500 psi ที่ระบุในตัวอย่าง) สามารถกำหนดได้ 3 วิธี วิธีแรกกำหนดจากประสบการณ์ในอดีตหรือทราบได้จากกระบวนการหรือการทดลอง วัตถุประสงค์ของวิธีนี้เพื่อตัดสินใจถ้าสถานการณ์ที่ทดลองได้เปลี่ยนไป วิธีที่สองอาจกำหนดจากทฤษฎีหรือแบบจำลองกระบวนการที่ศึกษา ซึ่งวิธีนี้ทำเพื่อทวนสอบ (verify) ทฤษฎีหรือแบบจำลอง วิธีที่สามขึ้นกับค่าของพารามิเตอร์ของประชากรที่เป็นผลมาจากการพิจารณาภายนอก เช่นการออกแบบหรือรายละเอียดทางวิศวกรรมหรือจากข้อตกลงตามสัญญา ซึ่งวิธีนี้จะทดสอบสมมติฐานเพื่อทดสอบว่าเป็นไปตามนั้นหรือไม่

กระบวนการที่นำไปสู่การตัดสินใจว่าเป็นจริงหรือไม่นั้นจะเรียกว่า " วิธีการทดสอบสมมติฐาน (test of a hypothesis) " ในการทดสอบสมมติฐานจะใช้ข้อมูลตัวอย่างโดยการชักตัวอย่างมาจากประชากรที่สนใจ ถ้าข้อมูลนั้นสอดคล้องกับสมมติฐานจะสรุปได้ว่าสมมติฐานนั้นเป็นจริง อย่างไรก็ตาม ถ้าข้อมูลไม่สอดคล้องกับสมมติฐานจะสรุปได้ว่าสมมติฐานนั้นเป็นเท็จ

ในการทดสอบสมมติฐานจะชักตัวอย่างข้อมูล คำนวณหาค่าสถิติที่ทดสอบจากข้อมูลตัวอย่าง และใช้ข้อมูลในการทดสอบทางสถิติเพื่อตัดสินใจ เช่น ในการทดสอบ null hypothesis เพื่อยืนยันค่าความแข็งแรงของคอนกรีตดังสมการที่ (1) สมมติว่านำข้อมูลจากการชักตัวอย่าง 10 ชิ้นงานมาทดสอบค่าสถิติ sample mean หรือ $\bar{x}$ ถ้า $\bar{x}$ > 2550 psi หรือ $\bar{x}$ < 2450 psi จะบอกได้ว่าค่าความแข็งแรงของคอนกรีตชุดนี้ไม่ใช่ 2500 psi นั่นคือจะปฏิเสธ null hypothesis H_0 : μ = 2500 psi หมายความว่า alternative hythesis H_1 เป็นจริง เซ็ตของค่าที่เป็นไปได้สำหรับ $\bar{x}$ คือค่าที่มากกว่า 2550 psi หรือน้อยกว่า 2450 psi จะเรียกว่า แถบวิกฤต (critical region) หรือ แถบปฏิเสธ (rejection region) สำหรับการทดสอบ ในอีกนัยหนึ่ง ถ้า 2450 $\leq \bar{x} \leq$ 2550 psi จะยอมรับ null hypothesis H_0 : μ = 2500 psi ดังนั้นจะเรียก ช่วง [2450,2550] ว่าเป็นแถบที่ยอมรับ (acceptance region) สำหรับการทดสอบ

การตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธ null hypothesis ขึ้นอยู่กับการทดสอบค่าสถิติที่คำนวณจากข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากการสุ่ม เมื่อข้อมูลมาจากการสุ่ม การตัดสินใจที่เกิดขึ้นอาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้มีสองประเภทคือ type I errors (α) และ type II errors (β) ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2-1 แสดงประเภทของความผิดพลาด

	H_0 is True	H_0 is False
Accept H_0	No error	type II errors (β)
Reject H_0	type I errors (α)	No error

ซึ่งอธิบายได้ว่า ถ้าปฏิเสธ null hypothesis ทั้งๆที่เป็นจริงแล้ว จะเกิด type I errors (α) คือ ปฏิเสธของดี เพราะเข้าใจว่าเป็นของเสีย แต่ถ้ายอมรับ null hypothesis เมื่อเป็นเท็จ จะเกิด type II errors (β) คือ ยอมรับของเสียเพราะเข้าใจว่าเป็นของดี

โอกาสเกิดความผิดพลาดทั้งสองประเภทนี้สามารถเขียนได้เป็น

$$\alpha = P(\text{type I errors}) = P(\text{reject } H_0 | H_0 \text{ is true}) \quad (3)$$

$$\beta = P(\text{type II errors}) = P(\text{accept } H_0 | H_0 \text{ is false}) \quad (4)$$

บางครั้งอาจเขียนในรูปของ power of the test ได้เป็น

$$\text{Power} = 1-\beta = P(\text{reject } H_0 | H_0 \text{ is false}) \quad (5)$$

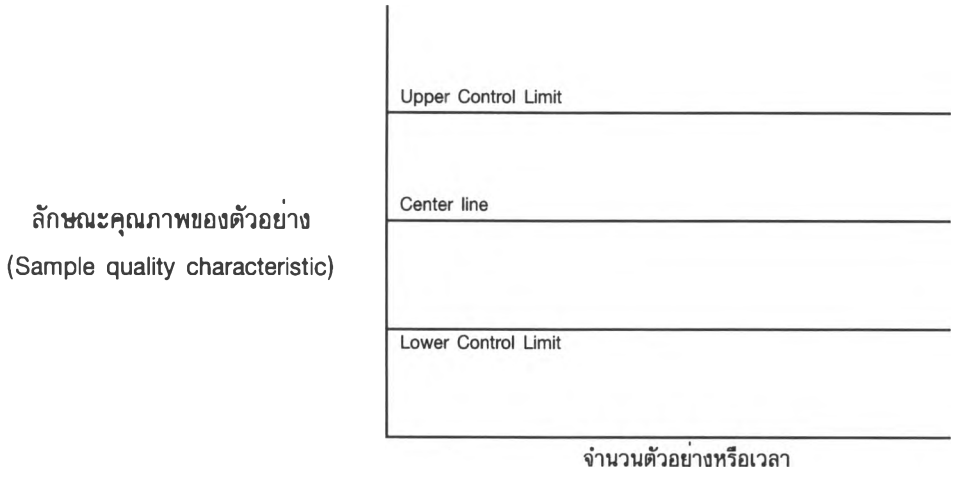
power of the test เป็นโอกาสที่ปฏิเสธ null hypothesis เมื่อสมมติฐานนั้นผิดจริง

แผนภูมิการควบคุม (Control chart)

หลักการโดยทั่วไป

แผนภูมิการควบคุม (Control chart) โดยทั่วไปจะแสดงค่าลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการจะวัดหรือคำนวณจากตัวอย่างกับจำนวนตัวอย่างหรือเวลา รูปที่ 2-1 แสดงถึงแผนภูมิการควบคุม (Control chart) แผนภูมิจะประกอบด้วย center line ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของลักษณะทางคุณภาพที่ตรงกับสภาวะที่อยู่ในการควบคุม (นั่นคือจะแสดงถึง chance causes เท่านั้น) เส้นแนวนอนอีก 2 เส้นเรียกว่า ค่าขอบเขตการควบคุมบน (upper control limit : UCL) และ ค่าขอบเขตการควบคุมล่าง (lower control limit : LCL) ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกกำหนดขึ้น ดังนั้น ถ้ากระบวนการอยู่ในการควบคุม จุดที่แสดงถึงตัวอย่างที่นำมากำหนดในแผนภูมิจะอยู่ระหว่างเส้นทั้งสอง นั่นคือ ไม่จำเป็นต้องดำเนินการใดๆกับกระบวนการเพราะอยู่ในการควบคุม แต่ถ้าเมื่อใด

ก็ตามที่จุดนั้นอยู่นอกขอบเขตการควบคุมสามารถตีความเหตุการณ์นั้นได้ว่า กระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุม และต้องดำเนินหาสาเหตุและทำการแก้ไขปัญหาต่อไปเพื่อค้นหาและกำจัด assignable cause โดยปกติแล้วมักจะลากเส้นเชื่อมจุดต่างๆบนแผนภูมิทำให้ง่ายต่อการพิจารณาลำดับของจุดในลำดับเวลา



รูปที่ 2-1 แสดงแผนภูมิการควบคุม (Control chart)

แม้ว่าจุดทั้งหมดอยู่ในขอบเขตการควบคุม แต่ถ้ามีลักษณะของข้อมูลที่เป็นระบบ (systematic) หรือเป็นข้อมูลที่ไม่เกิดจากการสุ่ม (nonrandom) สามารถระบุได้ว่ากระบวนการนั้นออกนอกขอบเขตการควบคุม เช่น ถ้าข้อมูลบนแผนภูมิ 18 ข้อมูลจากทั้งหมด 20 ข้อมูลอยู่เหนือเส้น center line และอยู่ต่ำกว่าเส้น UCL มีเพียง 2 จุดเท่านั้นที่อยู่ต่ำกว่าเส้น control limit เช่นนี้อาจเป็นไปได้ว่ามีบางสิ่งผิด ถ้ากระบวนการอยู่ในการควบคุม จุดทั้งหมดบนแผนภูมิจะต้องเป็นรูปแบบสุ่ม (random pattern) ถ้าพบว่าไม่เป็นเช่นนั้นจะต้องดำเนินการหาและกำจัดสาเหตุเหล่านั้นเพื่อปรับปรุงกระบวนการ

แผนภูมิการควบคุม (control chart) เป็นการทดสอบสมมติฐาน (hypothesis testing) ว่ากระบวนการอยู่ในสภาวะของการควบคุมทางสถิติ จุดที่แสดงบนแผนภูมิที่อยู่ในขอบเขตการควบคุมจะเทียบเท่ากับการล้มเหลวในการปฏิเสธ (failing to reject) ของการทดสอบสมมติฐานของการควบคุมทางสถิติ และ จุดที่แสดงบนแผนภูมิที่อยู่นอกขอบเขตการควบคุมจะเทียบเท่ากับการปฏิเสธ (rejecting) ของการทดสอบสมมติฐานของการควบคุมทางสถิติ เช่นเดียวกับการทดสอบสมมติฐาน (hypothesis testing) เราอาจพิจารณาโอกาสที่จะเกิด type I error ของแผนภูมิการควบคุม (control chart) (คิดว่ากระบวนการอยู่นอกการควบคุมทั้งที่ความจริงอยู่ในการควบคุม) และ โอกาสที่จะเกิด type II error ของแผนภูมิการควบคุม (control chart) (คิดว่ากระบวนการอยู่ในการควบคุมทั้งที่ความจริงออกนอกการควบคุม) ซึ่งสามารถใช้ operating-characteristic

curve ของแผนภูมิการควบคุม (control chart) แสดงโอกาสที่จะเกิด type II error ได้ ซึ่งอาจจะบอกความสามารถของแผนภูมิการควบคุม (control chart) ในการหาว่ากระบวนการเลื่อนไปจากค่าเป้าหมายด้วยขนาดเท่าไร

แบบจำลองโดยทั่วไปสำหรับแผนภูมิการควบคุมแสดงได้โดย ให้ w เป็นค่าสถิติของตัวอย่างที่ต้องการจะวัดลักษณะทางคุณภาพที่สนใจ และสมมติว่า ค่าเฉลี่ย (mean) ของ w เป็น μ_w และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของ w เป็น σ_w สามารถหาค่าตำแหน่งของเส้น center line, upper control limit และ lower control limit ได้จาก

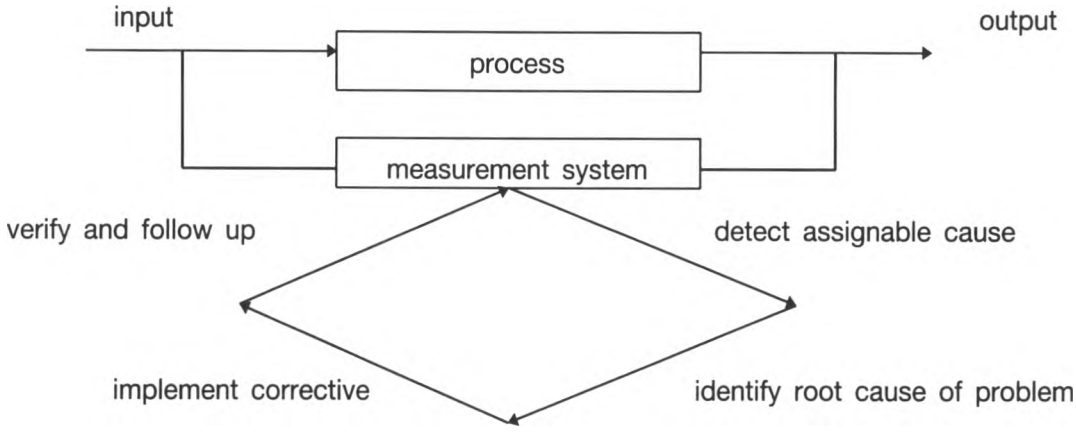
UCL	$= \mu_w + k\sigma_w$
Center line	$= \mu_w$
LCL	$= \mu_w - k\sigma_w$

เมื่อ k คือระยะห่างระหว่าง control limit และ center line แสดงในรูปของ standard deviation units ทฤษฎีโดยทั่วไปของแผนภูมิการควบคุมดังที่กล่าวมานี้ นำเสนอครั้งแรกโดย Dr. Walter A. Shewhart และมีการพัฒนาจากจุดนี้ต่อไป บ่อยครั้งที่มักเรียกว่า " Shewhart control charts "

แผนภูมิการควบคุมเป็นเครื่องมือสำหรับการบรรยายลักษณะที่แท้จริงได้อย่างแม่นยำว่า ความหมายในการควบคุมทางสถิติคืออะไร สามารถนำไปใช้ได้หลายทาง และเป็นประโยชน์ในการใช้สำรวจกระบวนการขณะดำเนินการ นั่นคือ เก็บข้อมูลตัวอย่างเพื่อนำมาสร้างแผนภูมิการควบคุม ถ้าค่าลักษณะคุณภาพที่สนใจของข้อมูลตัวอย่าง เช่น $\bar{x}$ อยู่ภายในขอบเขตการควบคุมและไม่มีพฤติกรรมเป็น systematic pattern จะบอกได้ว่ากระบวนการอยู่ในการควบคุม ณ ระดับที่ระบุไว้ในแผนภูมิ ซึ่งจะสนใจข้อมูลในอดีตที่มาจากกระบวนการที่อยู่ในการควบคุมและข้อมูลในอนาคตของกระบวนการที่จะได้จากการระบุในแผนภูมิ

สิ่งสำคัญในการใช้แผนภูมิการควบคุมในการปรับปรุงกระบวนการ ที่พบได้โดยทั่วไป คือ

1. กระบวนการทั้งหมดไม่ได้ดำเนินอยู่ในสภาวะของการควบคุมทางสถิติ
2. การใช้แผนภูมิการควบคุมเป็นประจำจะระบุถึง assignable causes ถ้าสามารถกำจัดสิ่งนี้ได้จะเป็นการลดความผันแปรของกระบวนการและนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการ กิจกรรมในการปรับปรุงกระบวนการโดยใช้แผนภูมิการควบคุมสามารถแสดงได้ดังภาพ



รูปที่ 2-2 แสดงถึงการปรับปรุงกระบวนการโดยใช้แผนภูมิการควบคุม

3. แผนภูมิการควบคุมเป็นเครื่องมือในการหา assignable causes เท่านั้น หลังจากนั้นจะต้องอาศัยการจัดการ ผู้ปฏิบัติงาน และการแก้ไขทางวิศวกรรมในการกำจัด assignable causes

ในการระบุและกำจัด assignable causes สิ่งที่สำคัญคือต้องหาสาเหตุที่แท้จริง (root cause) ของปัญหาเพื่อดำเนินการแก้ไขให้ถูกต้อง การพัฒนาระบบอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อการแก้ไขให้ถูกต้องเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นในการนำการควบคุมกระบวนการทางสถิติไปใช้งานให้เกิดผล

ปกติมักใช้แผนภูมิการควบคุมเป็นเครื่องมือในการประมาณค่า นั่นคือ จากแผนภูมิการควบคุมซึ่งแสดงถึงการควบคุมทางสถิติ เราอาจประมาณค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ เช่น ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) สัดส่วนของของเสีย (fraction nonconforming) เป็นต้น การประมาณการเหล่านี้อาจนำมาใช้กำหนดขีดความสามารถของกระบวนการ (capability of the process) ในการผลิตสินค้าที่เป็นที่ยอมรับ เช่น การศึกษาขีดความสามารถของกระบวนการ จะพิจารณาผลต่อการจัดการในการตัดสินปัญหาที่เกิดขึ้นกับวงจรผลิตภัณฑ์ รวมถึงการตัดสินใจที่จะผลิตหรือจำหน่าย การปรับปรุงโรงงานหรือกระบวนการเพื่อลดความผันแปรของกระบวนการ และการตกลงสัญญากับลูกค้าหรือผู้ส่งมอบเกี่ยวกับคุณภาพของสินค้า

แผนภูมิการควบคุมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. Variables control charts เป็นแผนภูมิการควบคุมที่ใช้เมื่อลักษณะคุณภาพที่สนใจสามารถวัดและแสดงผลได้เป็นจำนวนของการวัดที่ต่อเนื่อง ซึ่งปกติจะเรียกว่า 'variable' ในกรณีเช่นนี้จะ

เป็นการง่ายในการบรรยายลักษณะทางคุณภาพด้วยการวัดค่าของ central tendency และความผันแปร (variability) แผนภูมิการควบคุมชนิดนี้ที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือ $\bar{x}$ chart ซึ่งนิยมใช้ในการควบคุม central tendency ขณะที่แผนภูมิที่ใช้ sample range หรือ sample standard deviation จะใช้ในการควบคุม process variability

2. Attributes control charts เป็นแผนภูมิการควบคุมที่ใช้เมื่อลักษณะคุณภาพที่สนใจไม่สามารถวัดและแสดงผลได้เป็นจำนวนของการวัดที่ต่อเนื่อง ในกรณีเช่นนี้เราจะพิจารณาข้อมูลของแต่ละหน่วยผลิตภัณฑ์ว่าเป็นของดีหรือของเสีย หรืออาจนับจากจำนวนของเสีย (defect) ที่ปรากฏต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่สำคัญในการใช้แผนภูมิการควบคุมคือการออกแบบแผนภูมิ นั่นคือการเลือกขนาดตัวอย่าง (sample size) ขอบเขตการควบคุม (control limit) และความถี่ของการชักตัวอย่าง (frequency of sampling) การออกแบบแผนภูมิการควบคุมโดยปกติจะใช้ข้อมูลเบื้องต้นทางสถิติในการพิจารณา พบว่า การเพิ่มขนาดตัวอย่างมากขึ้นจะลดโอกาสที่จะเกิด type II error ได้ ดังนั้นแผนภูมิการควบคุมนี้จะสามารถหาการเกิดสภาวะออกนอกการควบคุมได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มขนาดตัวอย่างที่มากขึ้นทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสูงขึ้นด้วย ต่อมาได้มีการกำหนดการออกแบบแผนภูมิการควบคุมจากมุมมองด้านเศรษฐศาสตร์โดยการพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการชักตัวอย่าง ความสูญเสียเนื่องจากปริมาณของสินค้าที่เป็นของเสียที่ผลิตออกมา และค่าใช้จ่ายในการสืบหาสัญญาณที่จะเตือนถึงสภาวะที่กระบวนการออกนอกการควบคุม

ได้มีการใช้งานแผนภูมิการควบคุมเป็นเวลานานที่ประเทศสหรัฐอเมริกา เหตุผลที่นิยมใช้งานแผนภูมิการควบคุมเนื่องจาก

1. แผนภูมิการควบคุมเป็นเทคนิคที่พิสูจน์แล้วว่าสามารถนำมาซึ่งการปรับปรุงการเพิ่มผลผลิต (productivity) ความสำเร็จของแผนภูมิการควบคุมทำให้สามารถลด scrap หรืองานที่จะต้องนำกลับมาทำใหม่ (rework) ทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้สูง ลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มขีดความสามารถในการผลิต (วัดจากจำนวนของสินค้าที่ผลิตต่อชั่วโมง)
2. แผนภูมิการควบคุมเป็นการป้องกันการเกิดของเสียที่มีประสิทธิผล แผนภูมิการควบคุมช่วยให้สามารถรักษากระบวนการผลิตให้อยู่ในการควบคุม ซึ่งตรงกับปรัชญาที่ว่า "do it right the first time" คือทำสิ่งที่ถูกต้องตั้งแต่เริ่มแรก การคัดเลือกของดีออกจากของเสียทำให้ต้นทุนสูงกว่าการผลิตของดีตั้งแต่แรก ดังนั้นถ้าไม่มีการควบคุมกระบวนการที่มีประสิทธิผลจะทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการแก้ไขกับสินค้าที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ
3. แผนภูมิการควบคุมจะป้องกันการปรับแต่งกระบวนการที่ไม่จำเป็น แผนภูมิการควบคุมสามารถแยก common causes กับ ความผันแปรที่ผิดปกติได้ (abnormal variation) ไม่มีเครื่องมือตัวอื่นรวมถึงการปฏิบัติงานของพนักงานที่จะมีประสิทธิผลดีเท่านี้ ถ้าพนักงานปรับแต่ง

กระบวนการผลิตโดยการทดสอบเป็นครั้งคราวซึ่งไม่สัมพันธ์กับการใช้แผนภูมิการควบคุม จะทำให้เกิดการปรับแต่งโดยไม่จำเป็น ซึ่งเป็นผลให้ process performance เสียไป นอกจากนั้น แผนภูมิการควบคุมยังสอดคล้องกับปรัชญาที่ว่า "if it isn't broken, don't fix it"

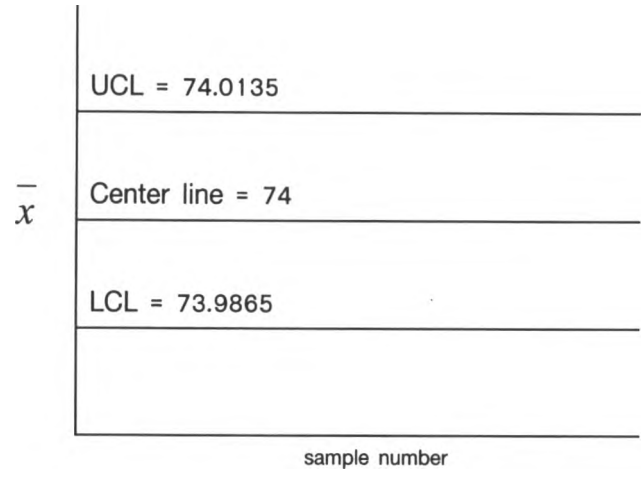
4. แผนภูมิการควบคุมจะบอกถึงการวิเคราะห์ข้อมูล บ่อยครั้งที่รูปแบบของจุดบนแผนภูมิการควบคุมจะบอกถึงค่าของการวิเคราะห์ข้อมูลให้กับผู้ปฏิบัติงานหรือวิศวกรที่มีประสบการณ์ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ จะนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการ
5. แผนภูมิการควบคุมจะบอกข้อมูลขีดความสามารถของกระบวนการ ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่สำคัญรวมถึงความเสถียรของกระบวนการสามารถหาได้จากแผนภูมิการควบคุม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำไปประมาณค่าขีดความสามารถของกระบวนการได้

การกำหนดค่าขอบเขตการควบคุม (Choice of Control Limits)

การกำหนดค่าขอบเขตการควบคุมเป็นสิ่งหนึ่งที่ต้องตัดสินใจในการออกแบบแผนภูมิการควบคุม ในการกำหนดค่าขอบเขตการควบคุมให้อยู่ห่างจาก center line จะต้องลดโอกาสที่จะเกิด type I error นั่นคือ ความเสี่ยงที่จุดจะตกอยู่หลังเส้นขอบเขตการควบคุมซึ่งบอกถึงสภาวะออกนอกการควบคุมเมื่อไม่มี assignable causes อย่างไรก็ตาม บ่อยครั้งที่จะใช้การเพิ่มความเสี่ยงของโอกาส type II error นั่นคือความเสี่ยงที่จุดจะตกอยู่ระหว่างขอบเขตการควบคุมเมื่อกระบวนการอยู่นอกการควบคุมจริงๆ ถ้าค่าขอบเขตการควบคุมอยู่ใกล้กับ center line จะได้รับผลตรงข้ามคือ ความเสี่ยงของ type I error จะเพิ่มขึ้นในขณะที่ ความเสี่ยงของ type II error จะลดลง

ในการกำหนดค่าขอบเขตการควบคุมสำหรับ $\bar{x}$ chart ที่มีค่า $\mu = 74$ และ $\sigma = 0.0045$ ใช้ค่าขอบเขตการควบคุมเป็น 3 sigma ถ้าข้อมูลที่นำมาใช้มีการกระจายเป็นแบบปกติ (normal distribution) สามารถเปิดจากตาราง standard normal table ได้ว่า โอกาสที่จะเกิด type I error เป็น 0.0027 นั่นหมายถึงว่าสัญญาณเตือนสภาวะออกนอกการควบคุมซึ่งเป็นสัญญาณที่ผิดจะเกิดขึ้น 27 จุดจาก 10,000 จุด และโอกาสที่จุดจะตกอยู่นอกขอบเขต 3 sigma ในทิศทางเดียวมีเพียง 0.00135 ทั้งที่กระบวนการอยู่ในการควบคุม สามารถเขียนค่าขอบเขตการควบคุม 3 sigma ได้เป็น

UCL	$= 74 + 3(0.0045) = 74.0135$
Center line	$= 74$
LCL	$= 74 - 3(0.0045) = 73.9865$

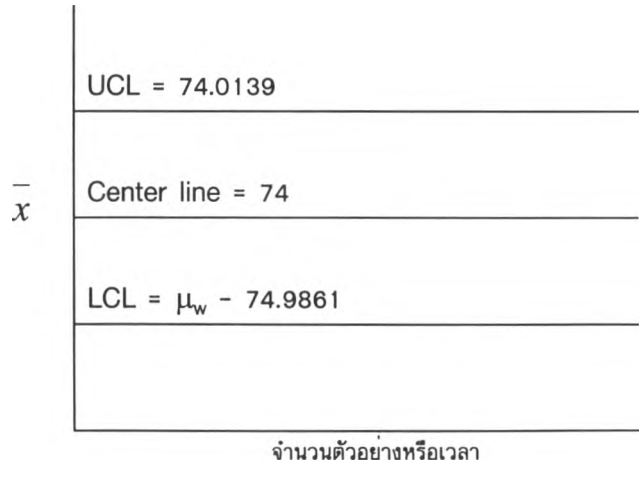


รูปที่ 2-3 แสดงถึงแผนภูมิการควบคุมที่มีค่าขอบเขตการควบคุมเป็น 3 sigma

ในทางกลับกัน เราสามารถกำหนดค่าของ type I error แล้วเปิดหาค่าขอบเขตการควบคุมจากตารางได้เช่นกัน เช่นถ้ากำหนดค่าของโอกาสที่จะเกิด type I error ในทิศทางเดียวเป็น 0.001 สามารถเปิดตารางหาได้ว่า ระยะห่างระหว่าง center line กับ UCL หรือ LCL ที่เหมาะสม คือ 3.09 σ_w ค่าขอบเขตการควบคุมจะเป็น

UCL	= 74 + 3.09(0.0045) = 74.0139
Center line	= 74
LCL	= 74 - 3.09(0.0045) = 73.9861

ค่าขอบเขตการควบคุมนี้จะเรียกว่า 0.001 probability limits สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 แสดงแผนภูมิการควบคุมที่มีโอกาสที่จะเกิด type I error ในทิศทางเดียวเป็น 0.001

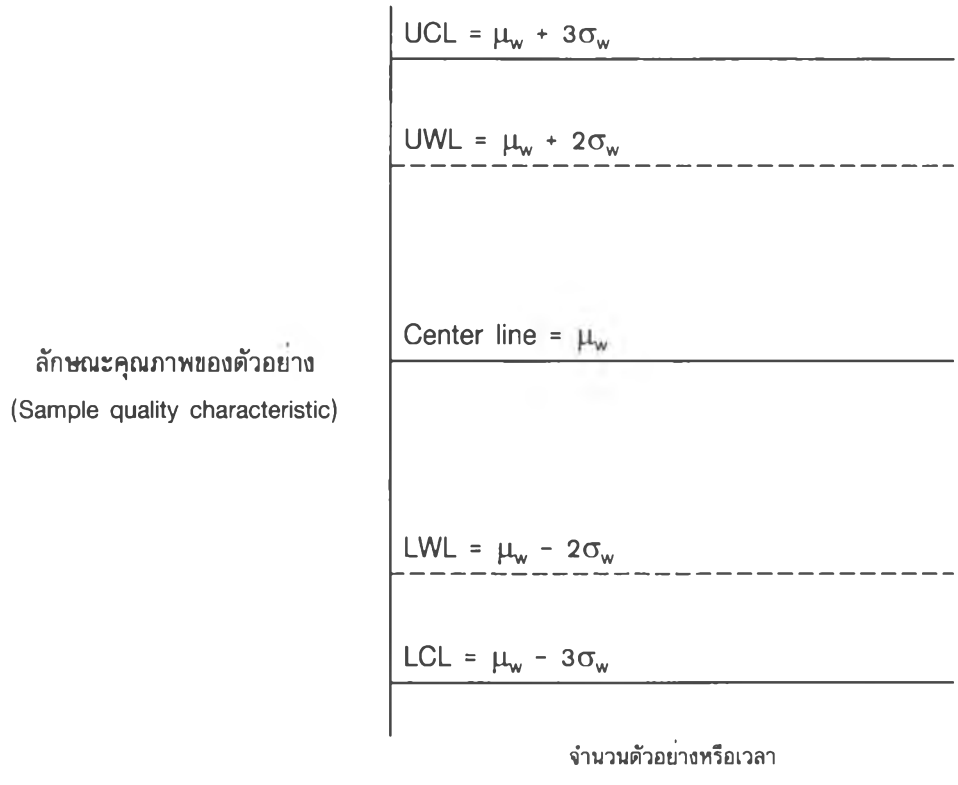
หลายครั้งที่ไม่สามารถทราบได้ว่าลักษณะคุณภาพที่สนใจมีการกระจายแบบใด ทำให้ไม่สามารถคำนวณหา probability limit ได้ ถ้าการกระจายของลักษณะคุณภาพสามารถประมาณให้เป็นการกระจายแบบปกติได้อย่างเป็นเหตุเป็นผลแล้ว แผนภูมิการควบคุมที่มีค่าขอบเขตการควบคุม 3 sigma กับแผนภูมิการควบคุมที่มีขอบเขตของโอกาสที่จะเกิด type I error เป็น 0.001 จะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ค่าขอบเขตการควบคุม 3 sigma เป็นค่าที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ส่วนค่า k ที่จะนำมาคูณกับ σ มักจะพิจารณาจากด้านเศรษฐศาสตร์

Warning Limit on Control Charts

มีข้อแนะนำให้ใช้แผนภูมิการควบคุมแบบมีค่าการควบคุม 2 ชุด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2-5 ค่าขอบเขตการควบคุมด้านนอก (outer limits) จะเป็น 3 sigma ซึ่งเป็นขอบเขตปกติ ถ้าจุดบนแผนภูมิการควบคุมอยู่นอกขอบเขตนี้จะต้องหา assignable causes และดำเนินการแก้ไขให้ถูกต้อง ส่วนค่าขอบเขตการควบคุมภายใน (inner limits) ปกติจะเป็น 2 sigma มักจะเรียกว่า "warning limit" กรณีที่สร้างแผนภูมิการควบคุมโดยระบุค่า probability limit มักระบุค่า action limits เป็น 0.001 limits และ warning limits เป็น 0.025 limits

ถ้าจำนวนจุดที่ตกอยู่ระหว่าง warning limits กับ action limits หรือมีค่าใกล้เคียงกับ warning limits สามารถสันนิษฐานได้ว่ากระบวนการนั้นดำเนินไปอย่างไม่เหมาะสม ดังนั้นควรจะเพิ่มขนาดตัวอย่างและพิจารณาข้อมูลที่เพิ่มเติมมานี้พร้อมกับข้อมูลเดิมเพื่อตรวจสอบสภาวะของการควบคุมกระบวนการ

การเพิ่ม warning limits นี้จะทำให้แผนภูมิการควบคุมมีความไวมากขึ้น แต่มีข้อเสีย คือ อาจทำให้ไม่สามารถตีความและทำให้ผู้ปฏิบัติงานสับสนได้



รูปที่ 2-5 แสดงถึงแผนภูมิการควบคุมที่มี warning limits

ขนาดตัวอย่างและความถี่ในการชักตัวอย่าง (Sample Size and Sampling Frequency)

ในการออกแบบแผนภูมิการควบคุมจะต้องระบุค่าของขนาดตัวอย่างและความถี่ในการชักตัวอย่าง (Sample Size and Sampling Frequency) โดยทั่วไปแล้วการชักตัวอย่างโดยที่ขนาดตัวอย่างมากจะทำให้ง่ายต่อการหากระบวนการที่เลื่อนไปได้เพียงเล็กน้อย ในการเลือกขนาดตัวอย่างต้องพิจารณาว่าเราต้องการหากระบวนการที่เลื่อนไปจากค่าเป้าหมายเท่าไร ถ้าต้องการหากระบวนการเลื่อนไปมากจะใช้ขนาดตัวอย่างน้อยกว่ากระบวนการที่เลื่อนไปจากค่าเป้าหมายน้อย

นอกจากขนาดตัวอย่างแล้ว ยังต้องพิจารณาความถี่ในการชักตัวอย่าง การชักตัวอย่างบ่อยๆ จะทำให้สามารถหากระบวนการที่เลื่อนไปจากค่าเป้าหมายได้เร็ว แต่จะทำให้ไม่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ อุตสาหกรรมในปัจจุบันมักจะใช้ขนาดตัวอย่างที่เล็กแต่ชักตัวอย่างบ่อยๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการผลิตสูง หรือกรณีที่อาจเกิด assignable causes ได้มากและหลายแบบ จากการพัฒนาเทคโนโลยีการวัดและ automatic sensing สามารถที่จะลดความถี่ในการชักตัวอย่างได้ ในที่สุดแล้วสินค้าทุกชิ้นสามารถทดสอบได้ระหว่างการผลิต automatic sensing และ ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานร่วมกับซอฟท์แวร์ควบคุมกระบวนการผลิต

ทางสถิติสามารถนำมาใช้ได้กับการควบคุมกระบวนการผลิตระหว่างดำเนินการ ซึ่งเป็นการพัฒนาการควบคุมกระบวนการทางสถิติที่สำคัญ

แนวทางอื่นในการกำหนดขนาดตัวอย่างและความถี่ในการชักตัวอย่าง จะใช้ค่า average run length (ARL) ของแผนภูมิการควบคุม ARL เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนจุดบนแผนภูมิการควบคุมก่อนถึงจุดที่จะบอกถึงสภาวะออกนอกการควบคุม สำหรับแผนภูมิการควบคุมชิวฮาร์ตใดๆแล้วสามารถหาค่า ARL ได้จาก

$$ARL = 1/p \qquad (3)$$

เมื่อ p เป็นโอกาสที่จุดใดๆจะอยู่นอกขอบเขตการควบคุม ดังนั้นสำหรับ $\bar{x}$ chart ที่มีค่าขอบเขตการควบคุมเป็น 3 sigma จะมีค่า p = 0.0027 คือโอกาสที่จุดหนึ่งจุดจะตกอยู่นอกขอบเขตการควบคุมเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม ดังนั้นจากสมการที่ (1) จะได้

$$ARL = 1/p = 1/0.0027 = 370 \qquad (4)$$

เป็น ARL ของ $\bar{x}$ chart เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม นั่นคือแม้ว่ากระบวนการอยู่ในการควบคุม ก็ยังเกิดสัญญาณบอกสภาวะนอกการควบคุม (out of control signal) ทุกๆ 370 ตัวอย่างโดยเฉลี่ย

การเพิ่มความถี่ในการชักตัวอย่างหรือการเพิ่มขนาดตัวอย่างให้มากขึ้นจะทำให้สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาสภาวะออกนอกการควบคุม แต่การตัดสินใจว่าจะเลือกค่าเท่าใดนั้นจะต้องพิจารณาปัจจัยตัวอื่นๆประกอบซึ่งรวมถึงต้นทุนที่เกิดจากการชักตัวอย่าง ความสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการที่ผลิตอยู่นอกขอบเขตการควบคุม อัตราการผลิต โอกาสที่กระบวนการจะเลื่อนไปจากค่าเป้าหมาย

การวิเคราะห์รูปแบบของแผนภูมิการควบคุม (Analysis of Patterns on Control Charts)

The Western Electric Handbook (1956) เสนอแนะกฎในการหารูปแบบที่ไม่เป็นการสุ่ม (nonrandom pattern) บนแผนภูมิการควบคุม และเสนอแนะข้อสรุปว่ากระบวนการจะอยู่นอกสภาวะควบคุมถ้าเกิดสิ่งต่อไปนี้ข้อใดข้อหนึ่ง

1. มีหนึ่งจุดบนแผนภูมิการควบคุมที่อยู่นอกขอบเขตการควบคุม 3 sigma
2. มีสองในสามจุดติดต่อกันที่อยู่นอกขอบเขต 2 sigma warning limits

3. มีสี่ในห้าจุดติดต่อกันที่อยู่ในช่วง 1 sigma หรืออยู่หลัง center line
4. มี 8 จุดต่อเนื่องที่อยู่เหนือหรือใต้ center line

กฎที่กล่าวมานำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่อยู่เหนือหรือใต้ center line เพียงด้านเดียวในช่วงเวลาหนึ่ง ถ้าจุดใดที่อยู่เหนือ upper warning limit และจุดถัดมาอยู่ต่ำกว่า lower warning limit แสดงว่าไม่ใช้สัญญาณที่บอกสภาวะออกนอกการควบคุม พบว่ากฎเหล่านี้มีประสิทธิผลมากในทางปฏิบัติทำให้แผนภูมิการควบคุมมีความไวเพิ่มขึ้น

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยังมีกฎเกณฑ์อื่นๆที่ใช้โดยทั่วไปในการเพิ่มความไวให้กับแผนภูมิการควบคุมในกรณีที่กระบวนการเลื่อนไปจากค่าเป้าหมายเพียงเล็กน้อยทำให้สามารถตอบสนองได้เร็วเมื่อเกิด assignable cause บ่อยครั้งที่จะตรวจสอบแผนภูมิการควบคุมและสรุปได้ว่ากระบวนการอยู่นอกการควบคุมถ้าเกิดกรณีต่อไปนี้เพียงหนึ่งหรือมากกว่านั้นคือ

1. มีจุดหนึ่งจุดหรือมากกว่าอยู่นอกขอบเขตการควบคุม
2. มีจุดอย่างน้อย 8 จุดวิ่งต่อเนื่องไม่ว่าจะเป็นในแนวเพิ่มขึ้นหรือลดลง ที่วิ่งอยู่เหนือหรือต่ำกว่าเส้น center line หรือค่ากลาง
3. สองในสามจุดติดต่อกันที่อยู่นอกขอบเขต 2 sigma warning limits แต่ยังอยู่ภายในขอบเขตการควบคุม
4. สี่ในห้าจุดติดต่อกันที่อยู่หลังขอบเขต 1 sigma
5. เมื่อข้อมูลมีรูปแบบที่ไม่ปกติ (unusual) หรือไม่เป็นข้อมูลสุ่ม (nonrandom)
6. มีจุดหนึ่งหรือมากกว่าอยู่ใกล้ warning limit หรือ control limit

ในการนำกฎเหล่านี้ไปใช้ จะต้องมีการแก้ไขทีละขั้นเมื่อพบว่ามีสภาวะออกนอกขอบเขตการควบคุม เช่น ถ้าพบว่ามีจุดอยู่นอกขอบเขตการควบคุม 1 จุด จะต้องหา assignable cause ทันที แต่ถ้ามีสองในสามจุดต่อเนื่องที่อยู่เกินช่วง 2 sigma warning limit เราจะเพิ่มความถี่ในการชักตัวอย่างมากขึ้น การตอบสนองเช่นนี้อาจเป็นการหา assignable cause ที่ไม่สมบูรณ์ แต่ถ้ากระบวนการอยู่นอกขอบเขตการควบคุมจริงจะทำให้มีโอกาสในการพบได้เร็วกว่าการชักตัวอย่างด้วยช่วงเวลาเท่าเดิม