บทที่ 2
ผลงานที่เกี่ยวข้องและหลักการทำงาน

2.1 คำนำ

ในบทที่ 2 นี้จะได้กล่าวในรายละเอียดของการควบคุมแบบป้อนกลับ การควบคุมแบบคาสเคด ข้อดีข้อเสียของการควบคุมแต่ละวิธี โครงสร้างของระบบการควบคุมแต่ละประเภท บล็อกไดอะแกรม รายละเอียดของการควบคุมของลูพในและลูพนอก วิธีการจูนตัวควบคุม ตลอดจนรวมถึงตัวอย่างการควบคุมในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม

2.2 ผลงานการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบที่ผ่านมา

มีการศึกษาเปรียบเทียบวิเคราะห์การควบคุมระหว่างการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับน้อยมาก Krishnaswamy, P.R., 1990 ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดและแบบป้อนกลับโดยศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดในลูพใน ในลักษณะของตัวแปรในระบบที่ต่างๆ กัน และกำหนดให้ลูพในมีการควบคุมแบบสัดส่วน โดยคำนวนค่าเกนของตัวควบคุม (k_c) ตามวิธีการของ Lopez, 1967 ตามสมการที่ 2.1 และเปรียบเทียบไดนามิคของ

$$k_1 k_{c1} = 0.4897\left(\frac{\theta}{\tau}\right)^{-1.085} \qquad (2.1)$$

การตอบสนองโดยใช้สัดส่วนของไอทีเออี ซึ่งพบว่า ผลการควบคุมแบบคาสเคดจะดีกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับอย่างเห็นได้ชัดเมื่อสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในลูพใน เมื่อลดค่าเดดไทม์ในลูพใน (θ_2) ลงไปการควบคุมแบบคาสเคดจะยิ่งควบคุมได้ดีกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับ โดยพบว่า หากค่าอัตราส่วนระหว่าง $\theta_2 : \tau_2$ ลดลงเป็น 0.1 การควบคุมแบบคาสเคดจะให้ผลการควบคุมดีกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับประมาณ 15 - 50 เท่า ถ้ามีการลดอัตราส่วนระหว่าง $\theta_1 : \tau_1$ ลงจาก 1 เป็น 0.1 ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อมีการลดลงของ θ_2 ลงจะทำให้ความถี่วิกฤตของลูพในเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ต้องปรับค่าเกนของตัวควบคุมให้สูงตามไปด้วย นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของ θ_1 ไม่ได้ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของการควบคุมเปรียบเทียบมากนัก และเมื่อค่าอัตราส่วนของ $\theta_2 : \tau_2$ และ $\theta_1 : \tau_1$ เพิ่มขึ้นจนเข้าใกล้ 1 การควบคุมแบบคาสเคดจะให้ผลการควบคุมที่ไม่แตกต่างจากการควบคุมแบบป้อนกลับเลย Marlin, T.E., 1995 พบว่า เมื่อไดนามิคเปรียบเทียบของเวลาของกระบวนการและเดดไทม์ของลูพในเร็วกว่าลูพนอก 20 เท่า ($\eta = 20$) จะทำให้ค่าผลรวมของความผิดพลาดสมบูรณ์ (IAE - Integral of Absolute Error) ลดลงประมาณ 95% และเมื่อ $\eta = 3$ การควบคุมแบบคาสเคดดูเหมือนจะทำได้ลำบาก เนื่องจากระบบเกิดการแกว่งค่อนข้างมาก และเมื่อสัญญาณรบกวนเป็นแบบซายน์ การควบคุมแบบคาสเคดจะทำได้ดีเมื่อค่าแอมปลิจูดมีค่าต่ำๆ และการควบคุมจะทำได้ยากขึ้นเมื่อแอมปลิจูดเพิ่มมากขึ้น

ส่วนในด้านการจูนตัวควบคุมนั้นมีวิธีการจูนที่แตกต่างกันออกไปหลายวิธี เช่น วิธีของซิกเกอร์-นิโคล วิธีการจูนของโคเฮน-คูน จะเป็นการใช้ค่าเกนสุดยอดของกระบวนการ (k_{cu}) และคาบเวลาสุดยอด (P_u) ทำการคำนวนกำหนดค่าพีไอดีให้แก่ตัวควบคุม ซึ่งระบบจะเข้าสู่สมดุลย์ที่ค่อนข้างช้าเนื่องจากมีการแกว่งของกระบวนการ วิธีการจูนโดยให้ค่าไอทีเออีต่ำสุด เป็นวิธีการอีกวิธีการหนึ่งที่ได้รับการยอมรับและนำไปใช้อย่างแพร่หลาย Lee, J. และ Sung, S.W., 1993 ได้ศึกษา

วิธีการเปรียบเทียบวิธีการจูนแบบรีเลย์ไอเอ็มซี (Relay Internal Model Control) และรีเลย์ไอทีเออี (Relay ITAE) ในการควบคุมกระบวนการในอันดับที่ 1 ที่มีเดดไทม์ และกระบวนการที่มีอันดับสูงขึ้นที่มีเดดไทม์ ซึ่งในแต่ละวิธีการที่เลือกใช้ให้ค่าพีไอดีที่แตกต่างกันออกไป แต่มีผลการตอบสนองที่คล้ายคลึงกัน

วิธีการหนึ่งซึ่งยังคงได้รับการยอมรับคือ การจูนแบบลองผิดลองถูกจะเป็นวิธีการที่นำมาจูนตัวควบคุมในกระบวนการจริงภายหลังการติดตั้งระบบควบคุมเรียบร้อยแล้ว โดยอ้างอิงกับค่าพีไอดีที่ได้ศึกษาออกแบบมาแล้วในขั้นตอนการออกแบบกระบวนการผลิต ซึ่งการจูนโดยวิธีการนี้มีข้อดี คือ เมื่อจูนแล้วจะได้ค่าที่สอดคล้องตามความต้องการของพนักงานปฏิบัติการ วิธีนี้ใช้ได้กับกระบวนการผลิตในอันดับที่ 1 และอันดับที่สูงขึ้นไปที่มีเดดไทม์ ส่วนข้อเสีย คือ การเกิดออฟเซทขึ้นในระหว่างการจูนค่า จะเห็นว่า การจูนตัวควบคุมจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้การวัดค่าการตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่

ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการต่างๆ ในการจูนตัวควบคุมด้วยกันหลายวิธีการก็ตาม ค่าพีไอดีที่ได้มานั้นก็จะไม่ใช่สิ่งที่พนักงานปฏิบัติการ หรือพนักงานบำรุงรักษาจะต้องยืนยันให้เป็นไปตามนั้นแต่ค่าพีไอดีที่ได้มานั้นจะเป็นเพียงแนวทางที่จะช่วยให้การกำหนดค่าให้แก่ตัวควบคุมทำได้ดีขึ้นเท่านั้น เพราะการกำหนดค่าให้แก่ตัวควบคุมมิใช่เป็นกฎเกณฑ์ที่ตายตัวแต่จะเป็นวิธีการที่จะทำให้สอดคล้องและเป็นไปตามเป้าหมายของการควบคุมกระบวนการผลิตเสียมากกว่า

2.3 หลักการทำงานของระบบควบคุม

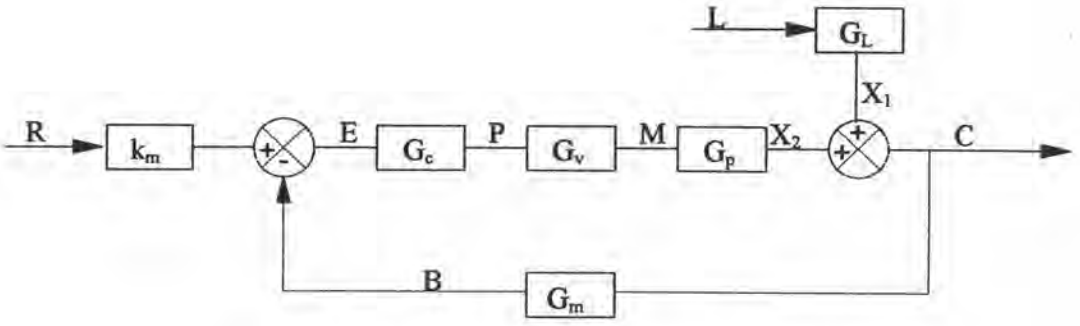
ระบบการควบคุมกระบวนการที่จัดว่าดั้งเดิมที่สุด คือ การควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งยังคงเป็นระบบที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่ด้วยข้อจำกัดในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่ยังช้าอยู่และกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมที่เพิ่มความซับซ้อนมากขึ้น ระบบการควบคุมจึงได้รับการพัฒนาให้ก้าวหน้ามากขึ้น เช่น การควบคุมแบบป้อนหน้าควบคุมแบบคาสเคด ตลอดจนกระทั่งการควบคุมระบบผู้เชี่ยวชาญ ยิ่งระบบการควบคุมดีขึ้นเพียงใดการออกแบบการควบคุมย่อมยากและซับซ้อนมากยิ่งขึ้นเพียงนั้น

2.3.1 หลักการทำงานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

การควบคุมแบบป้อนกลับเป็นการควบคุมแบบดั้งเดิมที่มีการพัฒนาขึ้นมาเป็นอันดับแรกๆ เป็นระบบควบคุมแบบง่ายๆ ประกอบด้วย อุปกรณ์ชุดตรวจวัด ตัวควบคุม และส่วนควบคุมสุดท้ายเพียงอย่างละ 1 ชุด เหมาะสำหรับการควบคุมแบบอินพุทเดียวและเอาท์พุทเดียว ในผลการควบคุมที่น่าเชื่อถือได้ดีพอสมควร เป็นระบบการควบคุมที่ใช้กันโดยทั่วไป

ก. นิยามและบล็อกไดอะแกรมพื้นฐาน

การควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นระบบการควบคุมที่ทำการวัดค่าการตอบสนองเอาท์พุทของระบบมาทำการเปรียบเทียบกับเซทพอยท์ แล้วส่งค่าความผิดพลาดไปยังตัวควบคุมเพื่อสั่งการควบคุมส่วนควบคุมสุดท้ายของกระบวนการนั้นๆ ซึ่งอาจได้แก่ วาล์วควบคุม อุปกรณ์ให้ความร้อน เป็นต้น เพื่อให้ได้การควบคุมเป็นไปตามเซทพอยท์ที่ตั้งค่าไว้ บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบป้อนกลับสามารถเขียนได้ตาม รูปที่ 2.1 ดังนี้



รูปที่ 2.1 บล็อคไดอะแกรมการควบคุมแบบป้อนกลับ

โดยที่

R = ค่าเซทพอยท์

k_m = เกนที่สภาวะคงที่ของอุปกรณ์ตรวจวัด

G_c = ทรานสเฟอร์ฟังชันของตัวควบคุม

G_v = ทรานสเฟอร์ฟังชันของอุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย

G_p = ทรานสเฟอร์ฟังชันของกระบวนการ

G_L = ทรานสเฟอร์ฟังชันของโหลด

L = การเปลี่ยนแปลงของโหลด

C = เอาท์พุท หรือการตอบสนอง

G_m = ทรานสเฟอร์ฟังชันของอุปกรณ์ตรวจวัดและทรานสมิตเตอร์

E = ค่าความผิดพลาด

หากไม่นำค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดป้อนกลับเข้ามาในระบบการควบคุมจะเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมแบบลูพเปิด แต่ถ้านำค่าดังกล่าวเข้ามาใช้จะเรียกว่า การควบคุมแบบลูพปิด โดยทรานสเฟอร์ฟังชันที่กล่าวมาทั้งหมดจะเขียนในแบบของลาปลาซทรานสฟอร์มในเทอมของการเบี่ยงเบนได้ดังนี้

$$G_c = k_c\left[1+\frac{1}{\tau_I s}+\tau_D\ s\right] \quad (2.2)$$

$$G_v = \frac{k_v}{\tau_v s+1} \quad (2.3)$$

$$G_p = \frac{k_2}{\tau s+1} \quad (2.4)$$

$$G_L = \frac{k_1}{\tau s+1} \quad (2.5)$$

$$G_m = \frac{k_m}{\tau_m s+1} \quad (2.6)$$

ข. สมการการควบคุมแบบลูพปิด

จากบล็อคไดอะแกรมในรูปที่ 2.1 จะเห็นว่ามีตัวแปรอิสระอยู่ 2 ค่า คือ เซทพอยท์ และโหลด สมการที่ 2.7 จะเป็นสมการการควบคุมแบบลูพปิดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเซทพอยท์ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโหลด สมการที่ 2.8 จะเป็นสมการการควบคุมแบบลูพปิดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดเพียงอย่างเดียว และสมการที่ 2.9 เป็นการรวมสมการที่ 2.7 และ 2.8 เข้าด้วยกัน คือ มีทั้งการเปลี่ยนแปลงของเซทพอยท์และโหลด

$$\frac{C}{R} = \frac{k_m G_c G_v G_p}{1+G_c G_v G_p G_m} \quad (2.7)$$

$$\frac{C}{L} = \frac{G_L}{1+G_c G_v G_p G_m} \quad (2.8)$$

$$C = \frac{k_m G_c G_v G_p}{1+G_c G_v G_p G_m} R+\frac{G_L}{1+G_c G_v G_p G_m} L \quad (2.9)$$

ค. เสถียรภาพของการควบคุมแบบลูพปิด

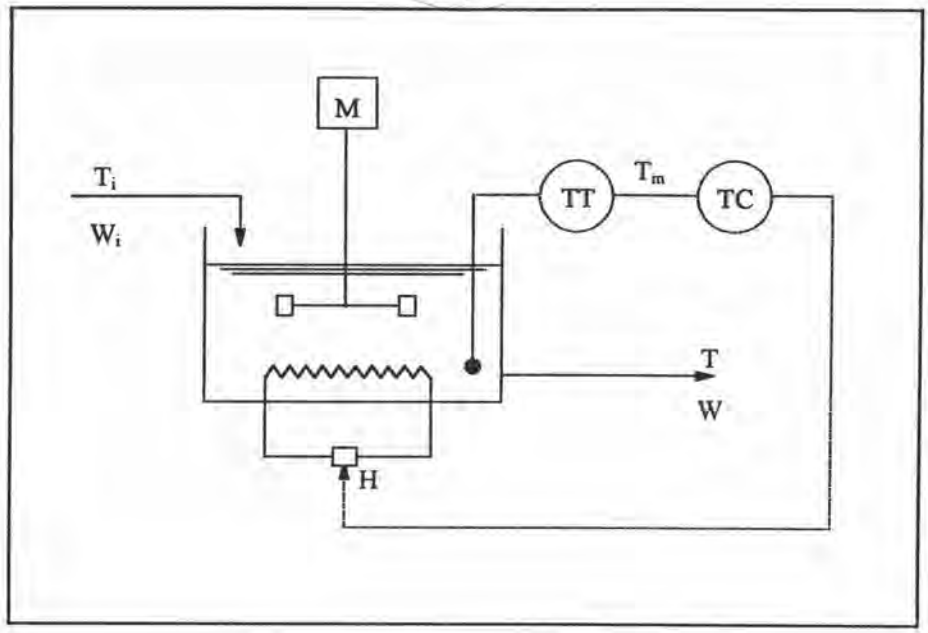
องค์ประกอบทุกตัวภายในลูพจะมีผลต่อความถี่หรือคาบของการแกว่งภายในลูพปิด โดยที่สัญญาณอินพุทที่เข้าไปในองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบจะถูกขยายหรือลดขนาดลงนั้นขึ้น

อยู่กับเกนขององค์ประกอบแต่ละตัว เมื่อสัญญาณวนครบลูพสัญญาณนั้นจะช้าไป 360 ° ขนาดของสัญญาณจะเป็นผลคูณขององค์ประกอบทุกตัวในลูพการควบคุม โดยหากพบว่าเกนของลูพมากกว่า 1 แล้ว สัญญาณจะถูกขยายให้กว้างขึ้นเรื่อยๆ การควบคุมจะไม่เสถียร แต่จะเกิดการเสถียรต่อเมื่อเกนของลูพน้อยกว่า 1 ตัวแปรสำคัญที่ทำให้ลูพควบคุมเสถียรหรือไม่ คือ การกำหนดค่าการควบคุมพีไอดี การนำสมการคุณลักษณ์ ตามสมการที่ 2.10 มาใช้จะช่วยบอกเสถียรภาพของลูพควบคุมได้ กล่าวคือ ลูพการควบคุมแบบป้อนกลับจะเสถียรได้ต่อเมื่อรากทุกตัวของสมการคุณลักษณ์มีค่าเป็นลบ หรือค่าจริง มีค่าเป็นลบ นอกเหนือจากนี้แล้วระบบจะไม่เสถียร

$$1 + G_c G_v G_p G_m = 0 \qquad (2.10)$$

ง. ตัวอย่างการควบคุมแบบป้อนกลับ

ระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นระบบที่มีการควบคุมแบบง่าย มีอินพุทและเอาท์พุทตัวเดียว ทำให้ระบบนี้ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีระบบควบคุมแบบอื่นๆ ที่ดีกว่าแล้วก็ตาม ตัวอย่างการใช้งานของการควบคุมแบบนี้ เช่น การควบคุมระดับของของเหลว ใช้ควบคุมความดัน อุณหภูมิ เหล่านี้เป็นต้น รูปที่ 2.2 เป็นบล็อคไดอะแกรมแสดงการควบคุมอุณหภูมิในถังกวนให้ความร้อนโดยการควบคุมแบบป้อนกลับ



รูปที่ 2.2 แสดงการควบคุมอุณหภูมิในถังกวนให้ความร้อน

TT = ตัววัดค่าอุณหภูมิของกระบวนการ

TC = ตัวควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการ

H = อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่กระบวนการ

จ. ข้อดีข้อเสียของการควบคุมแบบป้อนกลับ

ข้อดีที่เห็นได้ชัด คือ เป็นระบบที่ควบคุมง่าย มีการลงทุนที่ต่ำ เหมาะในการใช้งานทั่วไป มีความน่าเชื่อถือในระบบการควบคุมดีพอสมควร โดยขึ้นกับลักษณะของกระบวนการที่ควบคุม การควบคุมจะดีหรือไม่ยังขึ้นอยู่กับการเลือกหมวดในการควบคุม เช่น หมวดการควบคุมแบบ เปิด-ปิด หมวดการควบคุมแบบสัดส่วน หมวดการควบคุมที่มีอินทิกรัลและหมวดการควบคุมแบบอนุพันธ์ ซึ่งแต่ละหมวดการควบคุมจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป

ข้อเสียที่เห็นได้ชัดของการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม คือ ระบบจะไม่ทำการตอบสนองใดๆ เลย หากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากโหลดยังไม่ส่งผลกระทบถึงเซทพอยท์ของกระบวนการ ซึ่งทำให้ต้องเลือกใช้ระบบควบคุมที่ก้าวหน้าแบบอื่นๆ เข้ามาทดแทนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการที่ไม่ยอมให้เกิดความผิดพลาดเกิดขึ้นในระบบหรือยอมได้เพียงเล็กน้อย

ฉ. หมวดการทำงานของตัวควบคุม

หมวดการควบคุมของตัวควบคุมแบ่งออกได้เป็น 4 หมวด ได้ดังนี้

- การควบคุมแบบเปิด-ปิด เป็นการควบคุมแบบง่ายๆ ราคาไม่แพง ใช้กับการควบคุมที่ไม่ต้องการความแม่นยำ สมการที่ 2.11 a, b แสดงการทำงานของการควบคุมในหมวดนี้

$$p(t) = p_{max} \quad \text{ถ้า } e \geq 0 \tag{2.11a}$$

$$= p_{min} \quad \text{ถ้า } e < 0 \tag{2.11b}$$

- การควบคุมแบบสัดส่วน สัญญาณเอาท์พุทจากตัวควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับขนาดค่าความผิดพลาดโดยมีเกนของตัวควบคุมหรือแบนด์สัดส่วนเป็นตัวแปรเพียงตัวเดียวในการควบคุม สัญญาณค่าความผิดพลาดหนึ่งค่าจะให้สัญญาณเอาท์พุทของตัวควบคุมหนึ่งค่าและจะเกิดการออฟเซทเสมอ สมการที่ 2.12 แสดงการควบคุมแบบสัดส่วน ในการควบคุมการเพิ่มค่าเกนของตัวควบคุม ระบบจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้เร็วและระบบจะเสถียร แต่จะเกิดการสึกหรอขึ้นที่ส่วนควบคุมสุดท้ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อวาล์วควบคุม แต่ถ้าลดเกนของตัวควบคุมลงระบบจะมีแนวโน้มเกิดการแกว่งขึ้นลงและไม่เสถียร

$$p(t) = \bar{p}(t) + k_c\, e(t) \tag{2.12}$$

• หมวดการควบคุมแบบอินทิกรัล การควบคุมนี้จะใช้ร่วมกับการควบคุมแบบสัดส่วน โดยขนาดของเอาท์พุทจากตัวควบคุมจะเป็นสัดส่วนอย่างกลับกับอัตราการสะสมของค่าความผิดพลาด ตามสมการที่ 2.13 การควบคุมแบบนี้จะช่วยแก้ปัญหาออฟเซทของการควบคุมแบบสัดส่วน ข้อเสียของการควบคุมนี้ คือ จะเกิดแล็ก คือ ทำให้คาบเวลาของการแกว่งยาวนานขึ้น การเพิ่มค่า τ_I ให้มากขึ้นจะทำให้กระบวนเข้าสู่เซทพอยท์ช้าลง

$$p(t) = \bar{p}(t) + k_c\, e(t) + \frac{1}{\tau_I}\int e(t)dt \qquad (2.13)$$

• หมวดการควบคุมแบบอนุพันธ์ การควบคุมวิธีนี้จะใช้ร่วมกับการควบคุมแบบสัดส่วนและอินทิกรัล และเรียกสั้นๆ ว่าการควบคุมพีไอดี การควบคุมพีไอดีนี้จะให้การตอบสนองทันทีที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด ซึ่งวิธีการใน 2 วิธีแรกจะไม่สามารถทำได้ การควบคุมพีไอดีนี้ใช้ได้ดีกับกระบวนการที่มีแล็กมากๆ เช่น การควบคุมอุณหภูมิ ข้อเสียของวิธีการนี้ คือ ไม่ควรใช้กับกระบวนการที่มีสัญญาณรบกวน สมการที่ 2.14

$$p(t) = \bar{p}(t) + k_c\, e(t) + \frac{1}{\tau_I}\int e(t)dt + \tau_D \frac{de(t)}{dt} \qquad (2.14)$$

แสดงการควบคุมแบบพีไอดี การเพิ่มค่า τ_D มากขึ้นกระบวนการจะเข้าสู่เซทพอยท์ได้เร็วขึ้น แต่ขณะเดียวกันสัญญาณรบกวนก็จะถูกขยายมากขึ้นและส่งผลรบกวนการควบคุมกระบวนการมากขึ้นตามไปด้วย

2.3.2 หลักการทำงานของระบบควบคุมแบบคาสเคด

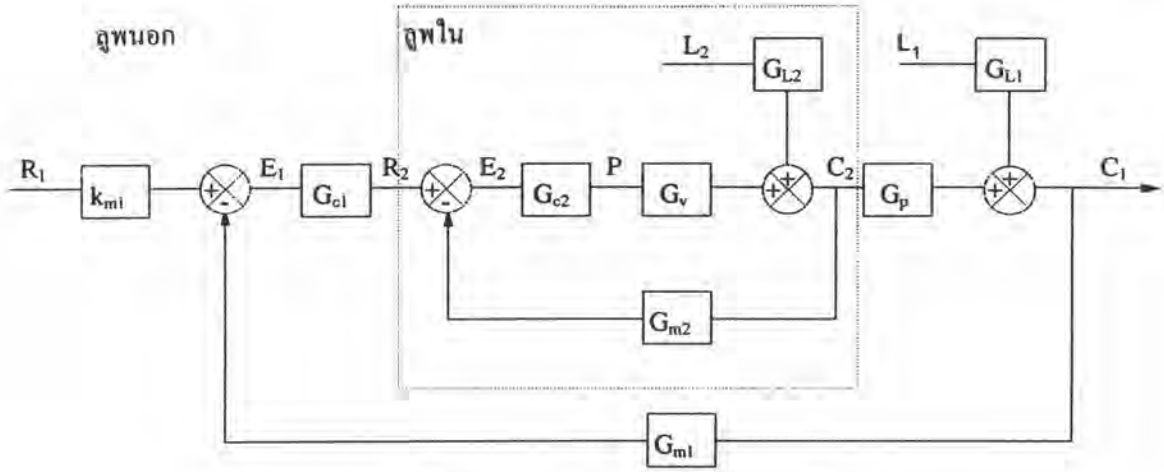
จากข้อเสียที่สำคัญมากของการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิมที่ระบบควบคุมจะไม่ตอบสนองอย่างใดเลยออกมา หากว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นยังไม่ส่งผลถึงเซทพอยท์ แต่ขณะที่การควบคุมแบบป้อนหน้าต้องการการตรวจวัดค่าที่ถูกต้องแม่นยำแน่นอนพร้อมทั้งแบบจำลองของ

กระบวนการที่ถูกต้อง เพื่อทำการคำนวนค่าเอาท์พุทของตัวควบคุม ซึ่งเป็นข้อจำกัดของวิธีการนี้ มีวิธีการอีกวิธีการหนึ่งที่ได้มีการพัฒนาและนำเข้ามาใช้งานอย่างได้ผล ซึ่งกระทำโดยการติดตั้งตัวควบคุมขึ้นมาอีกหนึ่งชุดภายในลูพหลัก ทำการวัดค่าอินพุทอีกค่าเป็นค่าที่ 2 ซึ่งได้เบี่ยงเบนไปจากสมดุลย์เดิม และให้ผลการวัดที่เร็วกว่าค่าการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับค่าตัวแปรควบคุมหลักโดยสัญญาณเอาท์พุทจากตัวควบคุมชุดที่ 1 นี้จะไปเป็นเซทพอยท์ให้แก่ตัวควบคุมในลูพในหรือลูพรอง ซึ่งจะเรียกวิธีการควบคุมนี้ว่า การควบคุมแบบคาสเคด การควบคุมนี้จะควบคุมสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับ ตัวแปรควบคุมระบบ หรือกับกระบวนการผลิตที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นได้เป็นอย่างดี

ก. โครงสร้างการควบคุมแบบคาสเคด

การควบคุมแบบคาสเคดนี้จะแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ลูพ ได้แก่ ลูพนอกหรือลูพหลัก และลูพในหรือลูพรอง โดยที่การทำงานในแต่ละลูพจะทำงานของการควบคุมแบบป้อนกลับจะต่างกันที่เซทพอยท์ของลูพในนั้นจะถูกกำหนดมาจากเอาท์พุทของตัวควบคุมของลูพนอก ซึ่งอธิบายการทำงานโดยพิจารณาจากบล็อคไดอะแกรมรูปที่ 2.3 ได้ดังนี้

- ตัววัดค่าจะวัดค่าตัวแปรของระบบควบคุมของลูพนอกและลูพในรวม 2 ค่า คือ C_1 และ C_2 ตามลำดับ เพื่อต้องการนำไปควบคุมแอคจูเอเตอร์ โดยมีจุดมุ่งหมายหลักในการควบคุมตัวแปรเอาท์พุท C_1
- การทำงานลูพในจะเหมือนการทำงานของการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม คือ ค่าตัวแปรที่วัดได้จาก C_2 จะนำมาเปรียบเทียบกับเซทพอยท์ R_2 ที่ถูกกำหนดมาจากลูพนอก ได้ค่าผิดพลาดเกิดขึ้น ส่งสัญญาณดังกล่าวเข้าไปในตัวควบคุมตัวที่ 2 (G_{c2}) เอาท์พุทจากตัวควบคุมที่สองนี้จะส่งไปควบคุมส่วนควบคุมสุดท้าย เช่น วาล์วควบคุม เพื่อควบคุมกระบวนการนั้นๆ



รูปที่ 2.3 บล็อคไดอะแกรมแสดงการควบคุมแบบคาสเคด

- การทำงานของลูพนอกก็จะเหมือนกับการทำงานของการควบคุมแบบป้อนกลับอีกชุดที่รับสัญญาณจากตัววัดค่าตัวแปร C_1 เข้ามาเปรียบเทียบกับเซทพอยท์ R_1 ซึ่งเป็นเซทพอยท์ที่แท้จริงของกระบวนการ ได้ค่าสัญญาณค่าความผิดพลาดป้อนเข้าไปยังตัวควบคุม G_{c1} ซึ่งจะกำหนดเอาท์พุท R_2 ซึ่งไปเป็นเซทพอยท์ให้กับลูพใน ซึ่งจะส่งเอาท์พุทไปยัง G_v และ G_p ของกระบวนการได้ตัวแปรเอาท์พุทออกมาคือ C_1

- สัญญาณรบกวนหรือโหลดของลูพนอกและลูพใน L_1 และ L_2 ถูกกำหนดให้เข้าภายในจุดต่างๆ ของกระบวนการ

ข. สมการการควบคุมแบบคาสเคด

การควบคุมแบบคาสเคดสามารถลดเวลาในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้อย่างรวดเร็ว โหลด L_2 จะถูกชดเชยด้วยการควบคุมแบบป้อนกลับของการควบคุมของลูพใน ซึ่งสามารถเขียนเป็นทรานสเฟอร์ฟังชันของลูพปิดให้สอดคล้องกับบล็อคไดอะแกรมในรูปที่ 2.3 ได้ดังนี้ ตามสมการที่ 2.15

$$\frac{C_1}{L_2} = \frac{G_p G_{L2}}{1+G_{c2}G_v G_{m2}+G_{c1}G_{c2}G_v G_p G_{m1}} \quad (2.15)$$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างเซทพอยท์ R_1 และตัวแปรเอาท์พุท C_1 ซึ่งเทอมความสัมพันธ์เทอมนี้จะเรียกว่าเป็น ฟังชันขับดันระบบ (Servo Function) ตามสมการที่ 2.16

$$\frac{C_1}{R_2} = \frac{G_{c1}G_{c2}G_v G_p k_{m1}}{1+G_{c2}G_v G_{m2}+G_{c1}G_{c2}G_v G_p G_{m1}} \quad (2.16)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง C_2 และ L_2 หาได้ดังสมการที่ 2.17 ดังนี้

$$\frac{C_2}{L_2} = \frac{G_{c2}G_v}{1+G_{c2}G_v G_{m2}} \quad (2.17)$$

และความสัมพันธ์ C_1 กับ L_1 หาได้ดังสมการที่ 2.18 ดังนี้

$$\frac{C_1}{L_1} = \frac{G_{L1}(1+G_{c2}G_v G_{m2})}{1+G_{c2}G_v G_{m2}+G_{c1}G_{c2}G_v G_p G_{m1}} \quad (2.18)$$

สมการคุณลักษณ์จะได้จากสมการที่ 2.19 ดังนี้

$$1+G_{c2}G_v G_{m2}+G_{c1}G_{c2}G_v G_p G_{m1} = 0 \quad (2.19)$$

และถ้า $G_{c2} = 1$ และ $G_{m2} = 0$ แล้ว การควบคุมนี้จะเป็นการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิมนั่นเอง

ค. หน้าที่การทำงานของลูพใน

สามารถประเมินได้ดังต่อไปนี้ คือ

- หากพิจารณา G_p ออกเป็นลูพการทำงาน 2 ชุด คือ ลูพใน (G_{p_2}) และลูพนอก (G_{p_1}) แล้ว การทำงานของลูพในจะเหมือนการควบคุมแบบป้อนกลับ คือ เป็นตัวชดเชยการควบคุมภายในลูพควบคุมนี้เอง เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากโหลดโดยเฉพาะโหลดที่เกิดขึ้นภายในลูพนี้เอง

- ทำหน้าที่ในการช่วยปรับไดนามิคของกระบวนการให้ดีขึ้น หรือทำให้การตอบสนองของระบบรวดเร็วขึ้น เนื่องจากบางครั้งพบว่า การออกแบบการควบคุมแบบป้อนกลับเพียงชุดเดียวนั้นไม่สามารถจะออกแบบให้ควบคุมภาวะสมดุลย์ได้โดยทั้งหมด การเพิ่มลูพควบคุมขึ้นมาอีกชุดจะช่วยปรับปรุงไดนามิคของกระบวนการให้ดีขึ้น

- ทำหน้าที่ชดเชยสัญญาณควบคุมบางส่วนในระบบที่มีสัญญาณรบกวน โดยทำการชดเชยหรือแก้ไขผลกระทบที่มาจากสัญญาณรบกวนจาก L_1 และ L_2 ก่อนที่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลกระทบต่อการควบคุม C_1

- ทำหน้าที่เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับชุดหลักในการควบคุมการทำงานของกระบวนการในขณะที่ลูพควบคุมลูพนอก จะทำหน้าที่เป็นตัวปรับแต่งเพียงเล็กหรือปรับแก้ค่าเซทพอยท์ หรืออาจกล่าวได้ว่า ลูพการควบคุมลูพนอกทำหน้าที่ปรับแต่งค่าเซทพอยท์ให้แก่ลูพควบคุมลูพใน

ง. ข้อดีและข้อเสียของการควบคุมแบบคาสเคด

ข้อดีของการควบคุมแบบคาสเคด มีดังนี้

- สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในลูพการควบคุมลูพในจะถูกแก้ไขอยู่ภายในลูพนี้เองก่อนที่จะส่งผลทำให้เกิดการแปรปรวนในลูพการควบคุมลูพนอก

- เฟสแล็กที่เกิดขึ้นภายในลูพควบคุมลูพในจะถูกแก้ไขให้ลดลงจากการวัด และการควบคุมของลูพควบคุมลูพใน ซึ่งจะช่วยส่งผลให้ลูพควบคุมลูพนอกควบคุมกระบวนการได้รวดเร็วขึ้น

- เกนของตัวแปรในลูพในจะถูกแก้ไขด้วยการควบคุมของลูพควบคุมลูพในนี้เองโดยไม่ส่งผลต่อการควบคุมภายนอก

ทอดมูลกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ลูพควบคุมภายนอกจะทำหน้าที่ในการควบคุมอัตราการไหลของมวล และ/หรือ พลังงาน โดยทำหน้าที่ควบคุมลูพควบคุมลูพในโดยตรง

ข้อเสียของการควบคุมแบบคาสเคดมีดังนี้

- มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจากจะต้องทำการติดตั้งชุดควบคุมเพิ่มขึ้นอีก 1 ชุด รวมถึงจะต้องติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าตัวแปรในลูพควบคุมลูพในเพิ่มขึ้นด้วย
- จำเป็นที่จะต้องจูนตัวควบคุมเพิ่มอีก 1 ชุด ให้สอดคล้องกันทั้ง 2 ลูพ ทั้งนี้เพื่อให้ได้สมรรถนะในการควบคุมที่ดีขึ้น

ซึ่งโดยรวมแล้วสามารถกล่าวได้ว่า การควบคุมแบบคาสเคดให้การควบคุมที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม ถ้าตัวควบคุมทั้ง 2 ชุดได้รับการจูนอย่างถูกต้อง

จ. การจูนการควบคุมแบบคาสเคด

การจูนการควบคุมแบบคาสเคดจะแบ่งการจูนออกเป็น 2 ชุดควบคุม คือ ลูพในและลูพนอก ซึ่งระบบจะทำงานได้ดีเมื่อการจูนให้ลูพทั้งสองลูพทำงานสอดคล้องกัน โดยการจูนลูพในให้ทำงานเร็วกว่าลูพนอก ซึ่งการควบคุมของลูพในจะเป็นแบบพีหรือพีไอ โดยพิจารณาจากค่าออฟเซทที่เกิดขึ้นในลูพใน หากการควบคุมแบบพีอย่างเดียวเกิดออฟเซทมากการนำอินทิกรัลเข้ามาช่วยจะทำให้การควบคุมดีขึ้น สำหรับค่าออฟเซทที่เกิดขึ้นภายในลูพเพียงเล็กน้อยจากการควบคุมแบบพีอย่างเดียวจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในการควบคุมระบบแต่อย่างใด เพราะการควบคุมจากลูพนอกจะทำหน้าที่ช่วยแก้ค่าออฟเซทนี้เองในระยะเวลาต่อมา การควบคุมที่เพิ่มค่าอนุพันธ์เข้ามาถึงแม้ว่าจะมีส่วนช่วยเพิ่มไดนามิคของการตอบสนองของระบบควบคุมให้เร็วขึ้นก็ตามแต่การ

ควบคุมแบบครบทั้งพีไอดีก็ไม่เป็นที่นิยมใช้ในการควบคุมลูพใน ส่วนในการควบคุมลูพนอกจะใช้การควบคุมแบบพีไอ หรือ พีไอดี ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการที่ควบคุม

การออกแบบระบบควบคุมแบบคาสเคดที่มีอันดับสูงหรือมีเดดไทม์สูงขึ้น อาจใช้วิธีการวิเคราะห์การตอบสนองความถี่ หรือใช้วิธีการของโบเดและไนควิสต์ มาช่วยในการวิเคราะห์โดยการยุบลูพควบคุมลูพในให้เป็นลูพเปิด โดยใช้สมการที่ 2.20 ดังนี้

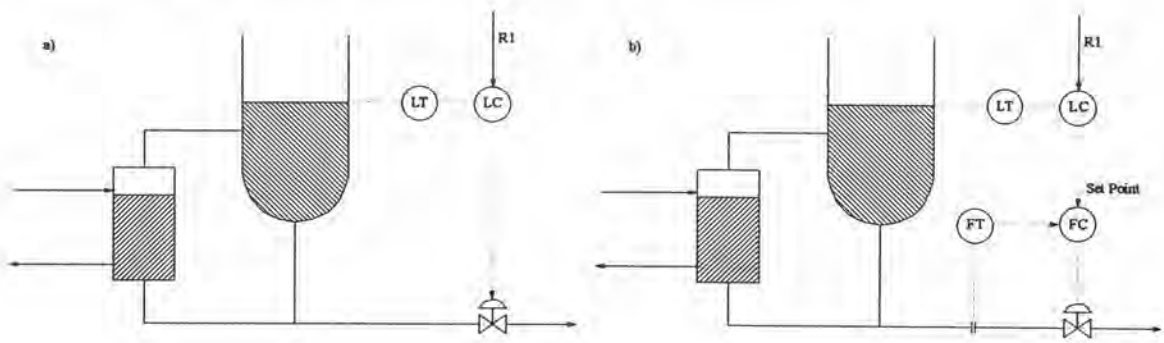
$$G_{OL} = \frac{G_{c1}k_{c2}G_v}{1+k_{c2}G_vG_{m2}}G_pG_{m1} \qquad (2.20)$$

ซึ่งในการคำนวนออกแบบนี้จะพิจารณาทั้งแบบการเปลี่ยนเซทพอยท์ (C_1/R_1) และการเปลี่ยนแปลงของโหลด (C_1/L_1 และ C_1/L_2) เพื่อดูผลของการเปลี่ยนแปลงโหลดภายหลังการออกแบบและติดตั้งระบบควบคุมภายในโรงงานแล้ว ลักษณะการทำงานของลูพในจะทำการเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของเซทพอยท์ซึ่งถูกกำหนดมาจากลูพนอกและชดเชยการเปลี่ยนแปลงของโหลดภายในลูพเอง ดังนั้นวิธีการจูนลูพในจึงต้องทำเป็นอันดับแรกก่อนการจูนลูพนอก โดยพิจารณาแบบการเปลี่ยนเซทพอยท์ในขณะที่การควบคุมของลูพนอกจะต้องอยู่ในหมวดแมนวล หลังจากการจูนลูพในเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทำการจูนลูพนอกโดยปรับหมวดการควบคุมลูพในและลูพนอกให้เป็นหมวดอัตโนมัติ ข้อพึงระวังในการปฏิบัติที่สำคัญ หากมีการจูนลูพควบคุมลูพในใหม่จะต้องทำการจูนลูพควบคุมลูพนอกใหม่อีกครั้งตามไปด้วยเสมอ และในการปฏิบัติการควบคุมการเปลี่ยนหมวดการควบคุมจากหมวดแมนวลเป็นหมวดอัตโนมัติจะเริ่มจากการเปลี่ยนที่ลูพในก่อน เมื่อลูพในได้เข้าสู่สภาวะเสถียรแล้วจึงเปลี่ยนหมวดการควบคุมของลูพนอกให้เป็นอัตโนมัติ และในทางกลับกันหากจะเปลี่ยนหมวดการควบคุมจากอัตโนมัติมาเป็นแมนวลจะเปลี่ยนจากลูพนอกก่อน ส่วนลูพในยังคงใช้หมวดอัตโนมัติได้ โดยรับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงเซทพอยท์จากลูพนอกในการควบคุม หรือเปลี่ยนหมวดการควบคุมมาเป็นแมนวลก็ได้

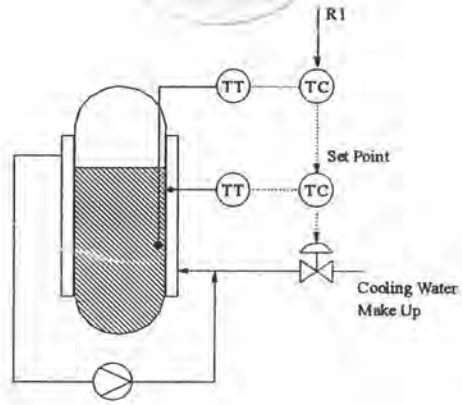
ฉ. การควบคุมแบบคาสเคดในโรงงานอุตสาหกรรม

จากข้อดีของการควบคุมแบบคาสเคดในการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของโหลดโดยเฉพาะโหลดที่เกิดขึ้นในลูพใน ทำให้มีการนำระบบการควบคุมนี้ไปใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ควบคุมอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, ในถังกวน, ในหอกลั่น, ในหม้อต้มไอน้ำ, ในเตาเผา ใช้ในการควบคุมระดับในหอรีฟลักซ์, ก้นหอกลั่น, ในถังรองรับ เป็นต้น

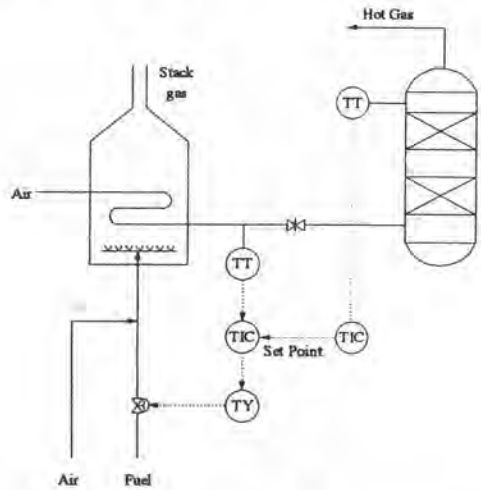
รูปที่ 2.4 a, b เป็นแผนผังการควบคุมระดับของก้นหอกลั่นโดยการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิมเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบคาสเคด ที่ใช้การควบคุมอัตราการไหลของของเหลวเป็นการควบคุมลูพใน โดยที่โหลดที่ก้นหอกลั่นจะมาจากปริมาณของเหลวที่ไหลจากเทรย์ด้านบน การเปลี่ยนแปลงของความดันที่ก้นหอ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ ส่วนโหลดที่เกี่ยวข้องกับลูพในจะได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมของวาล์วควบคุมซึ่งทำให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลง รูปที่ 2.5 และ 2.6 เป็นตัวอย่างการควบคุมแบบคาสเคดแบบอื่นๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.4 a,b การควบคุมระดับก้นหอกลั่นโดยการควบคุมแบบป้อนกลับและแบบคาสเคด



รูปที่ 2.5 การควบคุมอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์โดยการควบคุมแบบคาสเคด



รูปที่ 2.6 การควบคุมอุณหภูมิก๊าซที่ใช้ในการไล่ความชื้นในหอดูดซับโดยการควบคุมแบบคาสเคด

2.3.4 การจูนตัวควบคุม

ภายหลังจากการติดตั้งตัวควบคุมเข้าไปในกระบวนการเสร็จเรียบร้อยแล้ว สิ่งที่จำเป็นและสำคัญมากประการหนึ่ง คือ การจูนตัวควบคุม เพื่อให้การควบคุมระบบหรือกระบวนการเป็นไปตามต้องการหรือเป็นไปตามเป้าหมายของการผลิต และวิธีการจูนในภาคสนามที่นิยมใช้กันมากและให้ผลการควบคุมที่ดีวิธีการหนึ่ง คือ การจูนโดยการลองผิดลองถูก แต่เป็นวิธีการที่เสียเวลา น่าเบื่อหน่าย และอาจสร้างความเสียหายให้แก่กระบวนการในช่วงเวลาที่กำลังจูนตัวควบคุมได้ ลักษณะ

ของตัวแปรที่จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการโดยทั่วไปจะได้แก่ อัตราการไหล ระดับของของเหลว ความดัน อุณหภูมิ และองค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น

ก. แนวทางเสนอแนะในการเลือกหมวดควบคุม

- การควบคุมอัตราการไหล อัตราการไหลและความดันของของไหลต้องการการตอบสนองที่รวดเร็ว มีเดดไทม์น้อย สัญญาณรบกวนที่มีขนาดไม่ใหญ่ ส่วนใหญ่จะมาจากการไหลแบบปั่นป่วน การเปลี่ยนตำแหน่งวาล์ว เครื่องสูบไม่สามารถให้อัตราการไหลได้สม่ำเสมอ เป็นต้น หมวดการควบคุมควรเลือกหมวดพีไอ โดยตั้งเกนตัวควบคุมไว้พอประมาณไม่จำเป็นต้องใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์เข้ามาร่วม

- การควบคุมระดับ เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้วกระบวนการนี้เป็นแบบอินทิกรัล ทำให้สามารถเลือกหมวดการควบคุมเป็นพีอย่างเดียวก็พอ โดยตั้งค่า k_c ให้มีค่าสูง และซึ่งจะทำให้ระบบเสถียร ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้การควบคุมแบบอินทิกรัลเข้ามาร่วมด้วย ถ้ายอมรับการเปลี่ยนแปลงในช่วง 5% ได้

- การควบคุมความดันก๊าซ การควบคุมความดันก๊าซเพียงอย่างเดียวค่อนข้างง่าย สามารถใช้ตัวควบคุมแบบปรับตัวเองคงที่ (Self Regulator) คือ เมื่อความดันต่ำอัตราการไหลของก๊าซจะสูง แต่เมื่อความดันสูงขึ้นอัตราการไหลของก๊าซจะน้อยลง หรืออาจเลือกใช้การควบคุมแบบพีไอ โดยให้ค่าอินทิกรัลมีผลน้อยๆ ไม่จำเป็นต้องใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์แต่อย่างใด

- การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมอุณหภูมิจะเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากมีลักษณะการใช้งานแตกต่างกันมาก ตลอดจนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมีหลายชนิดแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ยังมีเดดไทม์ค่อนข้างมากเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย การเลือกหมวดการควบคุมแบบพีไอดีจะให้การควบคุมที่เร็วกว่าการควบคุมแบบพีไอ

- การควบคุมองค์ประกอบเคมี มีลักษณะคล้ายการควบคุมอุณหภูมิแต่ความแตกต่างได้หลายประการ เช่น มีสัญญาณรบกวนสูง มีการสูญเสียเวลาในการวิเคราะห์มาก ซึ่งทำให้การควบคุมทำได้ยากและการควบคุมแบบอนุพันธ์ใช้งานไม่ได้ผล

ข. การกำหนดตัวควบคุม

ในการออกแบบหรือกำหนดค่าตัวควบคุม หรือการตั้งค่าพีไอดีต้องมีความมั่นใจว่าสามารถควบคุมกระบวนการให้สอดคล้องกับความต้องการและกระบวนการอยู่ในสถานะคงตัว โดยพิจารณาจากเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ระบบควบคุมลูพปิดจะต้องมีความเสถียร
- ต้องลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนให้เหลือน้อยที่สุด
- ระบบต้องตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงเซทพอยท์ได้อย่างรวดเร็วและราบเรียบ
- ระบบต้องไม่มีค่าออฟเซท
- พยายามหลีกเลี่ยงการควบคุมที่ทำให้วาล์วควบคุมกระชากปิด-เปิดอย่างรวดเร็ว
- ระบบต้องมีความรอบัสต์ (Robustness) ต่อการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ

ก่อนที่จะทำการจูนหรือกำหนดค่าให้แก่ตัวควบคุมจะต้องทำความเข้าใจพื้นฐานในประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ

- จะต้องมีความรู้ความเข้าใจกระบวนการจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมเร็วหรือช้าเพียงใด เพื่ออย่างน้อยผู้ทำหน้าที่ควบคุมสามารถนำระบบกลับมาสู่ที่เดิมได้หากเกิดความผิดพลาดขึ้น
- จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการ ถึงขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงที่ยอมรับได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทจากตัวควบคุม

- จะต้องทราบว่าเจ้าหน้าที่ที่จะต้องเข้ามาทำการจูนตัวควบคุมจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในระบบ รวมทั้งมีความรู้ความเข้าใจที่ดีพอเกี่ยวกับการจูน หากจะต้องมีความเร่งรีบในการจูนระบบ
- จะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบความปลอดภัย หรือ อินเทอร์ล็อค (Interlock) ต่างๆ จากการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในขณะที่จูนระบบ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่จะต้องติดต่อประสานงานในกรณีเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้น
- จะต้องจดบันทึกค่ากำหนดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันไว้ เพื่อจำเป็นจะต้องกลับมาใช้ค่าเดิมในกรณีไม่สามารถหาค่าใหม่ที่สอดคล้องกับกระบวนการ หรือเกิดกรณีเร่งรีบที่จะต้องกลับสู่สภาพเดิม
- จะต้องมีการประสานงานหรือแจ้งให้ผู้ที่มีหน้าที่ในการควบคุมทราบถึงการเปลี่ยนแปลงค่าใหม่นี้

ในการออกแบบกำหนดค่าพีไอดีให้แก่ตัวควบคุม จะมีความขัดแย้งที่ผู้ออกแบบจำเป็นต้องเลือก คือ ถ้าต้องการระบบให้ตอบสนองได้รวดเร็ว ก็อาจเลือกใช้หมวดพีไอดี แต่ผลที่ตามมาคือ ระบบมีแนวโน้มที่จะไม่เสถียร หรือระบบมีการแกว่งขึ้น มีการสึกหรอของวาล์วควบคุมมาก แต่ถ้าต้องการการตอบสนองที่ราบเรียบจะต้องเลือกการควบคุมหมวดพีหรือพีไอ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นคือ ระบบเข้าสู่สภาวะเสถียรช้าลง ดังนั้นในการออกแบบกำหนดค่าให้แก่ตัวควบคุมจะต้องให้ครอบคลุมหรือใช้งานทั้งต่อการเปลี่ยนแปลงของเซทพอยท์และโหลด

อนึ่งหลักการหรือวิธีการในการออกแบบกำหนดค่าตัวควบคุมให้สอดคล้องกับความต้องการในการควบคุมมีได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

1. วิธีการสังเคราะห์โดยตรง (Direct Synthesis Method)
2. การสร้างแบบจำลองควบคุมภายในลูพควบคุม (Internal Model Control)
3. ใช้วิธีการจูนแบบต่างๆ
4. วิเคราะห์การตอบสนองความถี่
5. ทำการเลียนแบบโดยคอมพิวเตอร์โดยใช้แบบจำลองทางสถาปะ
6. ใช้วิธีการจูนในภาคสนามหลังติดตั้งอุปกรณ์

ซึ่งวิธีการในข้อ 1-5 จะเป็นการคำนวนและเป็นค่าประมาณการจะถูกต้องแม่นยำเพียงใดขึ้นอยู่กับแบบจำลอง และใช้เป็นแนวทางในการกำหนดค่าตัวควบคุมก่อนที่จะนำตัวควบคุมเข้ามาใช้ในการควบคุมจริง ส่วนวิธีการที่ 6 จะเป็นการจูนระบบในขณะควบคุมจริงที่ให้ผลถูกต้องแม่นยำกว่า

ค. การจูนตัวควบคุมแบบลองผิดลองถูก

วิธีการจูนตัวควบคุมด้วยวิธีการลองผิดลองถูกเป็นวิธีการจูนวิธีการหนึ่งที่ใช้ในภาคสนามในขณะที่มีการควบคุมกระบวนการจริง และเป็นวิธีการที่ผู้ผลิตตัวควบคุมแนะนำให้ใช้ ซึ่งผู้ควบคุมต้องเลือกหมวดการควบคุมว่าจะใช้หมวดใด จึงจะให้ผลการควบคุมที่ยอมรับได้ ซึ่งมีขั้นตอนในการจูนตัวควบคุมสรุปได้ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 ตั้งค่า τ_I ให้มีค่าสูงสุดและ τ_Dให้มีค่าต่ำที่สุด เพื่อกำจัดค่าอินทิกรัลและอนุพันธ์ให้เหลือน้อยที่สุด
- ขั้นตอนที่ 2 ตั้งค่า k_c ต่ำๆ และเลือกหมวดการควบคุมแบบอัตโนมัติ
- ขั้นตอนที่ 3 เพิ่มค่า k_c ทีละน้อยอย่างช้าๆ จนกระทั่งค่าการตอบสนองมีการแกว่งเป็นไซเคิลต่อเนื่องที่มีแอมปลิจูดเท่าๆ กัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเซทพอยท์หรือโหลด
- ขั้นตอนที่ 4 ลดค่า k_c ลงมาครึ่งหนึ่ง

- ขั้นตอนที่ 5 ถ้าต้องการควบคุมแบบพีไอ ให้ลดค่า τ_I ลงมาอย่างช้าๆ จนกระทั่งเกิดการแกว่งเป็นไซเคิลต่อเนื่อง ตั้งค่า τ_I ใหม่ให้เป็น 3 เท่าของค่า τ_I เดิม
- ขั้นตอนที่ 6 ถ้าต้องการควบคุมแบบพีไอดี ให้เพิ่มค่า τ_D จนกระทั่งเกิดการแกว่งเป็นไซเคิลต่อเนื่อง ตั้งค่า τ_D ใหม่ให้เป็นหนึ่งในสามของค่า τ_D เดิม

จะได้ค่าพีไอดีของตัวควบคุมที่จะใช้ในการควบคุม การจูนแบบลองผิดลองถูกจะใช้กับกระบวนการที่ยังไม่มีแบบจำลอง ถึงแม้ว่าการจูนด้วยวิธีการนี้จะมีวิธีการที่ง่าย แต่มีข้อเสียหลายประการที่ต้องคำนึงถึงดังต่อไปนี้ คือ

- เป็นวิธีการที่ใช้เวลามาก ถ้าต้องมีการลองผิดลองถูกหลายๆ ครั้ง เพื่อหาค่า k_c, τ_I และ τ_D ที่เหมาะสม หรือถ้ากระบวนการที่ควบคุมมีไดนามิคที่ค่อนข้างช้า และในช่วงที่มีการจูนทดสอบค่า อาจทำให้เกิดความเสียหายต่ออัตราการผลิตหรือคุณภาพผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างแพง
- ในขณะที่เกิดการแกว่งเป็นไซเคิลต่อเนื่องที่มีแอมปลิจูดสูงๆ ซึ่งเปรียบเสมือนการผลักดันให้ระบบเข้าสู่ขีดจำกัดของการเสถียร และหากในช่วงเวลาดังกล่าวมีโหลดภายนอกเข้ามารบกวนระบบ จะทำให้ระบบไม่เสถียรขึ้นในทันทีทำให้อาจจะมีอันตรายเกิดขึ้นตามมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเตาปฏิกรณ์เคมี เช่น อาจเกิดการระเบิดขึ้นได้
- การจูนแบบนี้ไม่สามารถใช้ได้กับกระบวนการที่ลูพเปิดไม่เสถียร เพราะกระบวนการดังกล่าวนี้จะไม่เสถียรเมื่อค่า k_c มีค่าต่ำๆ เช่นเดียวกับเมื่อค่า k_c มีค่าสูงๆ แต่จะเสถียรเมื่อ k_c มีค่ากลางๆ
- ใช้ไม่ได้กับกระบวนการที่ไม่สามารถหาค่าเกนสุดยอดได้ เช่น กระบวนการอันดับหนึ่งและอันดับที่สอง ที่ไม่มีเดดไทม์

ง. การจูนโดยวิธีไอทีเออีต่ำสุด (ITAE- Integral Time Absolute Error)

ไอทีเออีเป็นวิธีการวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้เป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบผลของการควบคุม โดยหากพิจารณาเป็นค่าผลรวมของค่าความผิดพลาดในแต่ละรอบของการควบคุม ซึ่งหากเป็นการรวมผลค่าความผิดพลาดโดยบวกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะไม่สามารถบอกผลการควบคุมได้ว่าดีหรือไม่ เช่น ระบบการควบคุมที่มีการแกว่งแบบซายน์อย่างสมบูรณ์ผลบวกของค่าความผิดพลาดจะมีค่าเป็นศูนย์เช่นเดียวกับระบบที่เสถียรทั่วไป ไอทีเออีจะเป็นการหาอินทิกรัลของผลคูณของค่าความผิดพลาดแบบสัมบูรณ์และเวลาที่เพิ่มมากขึ้น ตามสมการที่ 2.21 ดังนี้

$$ITAE = \int_0^\infty t|e(t)|dt \qquad (2.21)$$

นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่นๆ ที่นิยมใช้น้อยกว่าไอทีเออีได้แก่ ไอเออี (IAE-Integral Absolute Error) ไอเอสอี (Integral Squared Error) ดังสมการที่ 2.22 และ 2.23

$$IAE = \int_0^\infty |e(t)|dt \qquad (2.22)$$

$$ISE = \int_0^\infty e(t)^2 dt \qquad (2.23)$$

ส่วนวิธีการจูนโดยไอทีเออีจะแบ่งพิจารณาออกเป็น 2 กรณี ดังนี้คือ

- กำหนดค่าพีไอดี โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของเซทพอยท์
- กำหนดค่าพีไอดี โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของโหลด

ซึ่งทั้งสองกรณีจะต้องสร้างแบบจำลองของกระบวนการโดยกำหนดให้กระบวนการมีอันดับหนึ่งและมีเดดไทม์ วิธีการจูนวิธีนี้จะทำให้เกิดค่าไอทีเออีน้อยที่สุด โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า

เกนของกระบวนการ เวลาของกระบวนการ และเดดไทม์ และค่า A และ B ตามตารางที่ 2.1 โดยใช้การคำนวนตามสมการดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเซทพอยท์

$$Y = A\left(\frac{\theta}{\tau}\right)^{B} \tag{2.24}$$

เมื่อ $Y = kk_c$ ในการควบคุมแบบสัดส่วน

$Y = \frac{\tau}{\tau_I}$ ในการควบคุมแบบอินทิกรัล

$Y = \frac{\tau_D}{\tau}$ ในการควบคุมแบบอนุพันธ์

กรณีที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด จะยังคงใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.24 ยกเว้นในการควบคุมแบบอนุพันธ์ จะใช้สมการที่ 2.25 แทน

$$\frac{\tau}{\tau_I} = A + B\left(\frac{\theta}{\tau}\right) \tag{2.25}$$

ตารางที่ 2.1 การกำหนดค่าตัวควบคุมโดยวิธีการไอทีเออีในแบบจำลองอันดับหนึ่งมีเดดไทม์

ชนิดของอินพุท	ชนิดตัวควบคุม	หมวด	A	B
โหลด	PI	P I	0.859 0.674	-0.977 -0.680
โหลด	PID	P I D	1.357 0.842 0.381	-0.947 -0.738 0.995
เซทพอยท์	PI	P I	0.586 1.03[b]	-0.916 -0.165[b]
เซทพอยท์	PI	P I D	0.965 0.796[b] 0.308	-0.85 -0.1465[b] 0.929

หมายเหตุ b = ใช้สมการที่ 2.25 ในการคำนวน

2.3.5 การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบควบคุม

โดยทั่วไปแล้ว ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบควบคุมมักจะเกิดขึ้นใน 2 ช่วงเวลา คือ ในช่วงขณะกำลังเริ่มเดินเครื่อง และช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาด / ขยายกำลังการผลิตของโรงงาน ซึ่งลักษณะของการแก้ปัญหาจะแตกต่างกันออกไป ในทางปฏิบัติแล้วก่อนที่จะเริ่มเดินเครื่องโรงงานหรือเริ่มกระบวนการผลิต พนักงานทั้งฝ่ายบำรุงรักษาและปฏิบัติการจะต้องทำการตรวจสอบการทำงานของตัวควบคุมทุกลูพโดยละเอียดอยู่ หากปัญหายังคงเกิดขึ้นอีกก็ต้องตรวจสอบลูพการควบคุมลูพนั้นใหม่ พึงระลึกไว้เสมอว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นภายในลูพการควบคุมจะมีสาเหตุต่างๆ ที่แตกต่างกันหลายประการ เช่น มีปัญหามาจาก อุปกรณ์วัด/ส่งสัญญาณ ตัวควบคุม วาล์วควบคุม สายนำสัญญาณ และอาจจะมาจากปัญหาของกระบวนการผลิตเองและบางครั้งจะพบว่า ลูพการควบคุมเพียงลูพเดียวสามารถสร้างปัญหาให้กับทั้งโรงงาน หรือทำให้ไม่สามารถเดินเครื่องโรงงานทั้งโรงงานได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งลูพที่เกี่ยวกับระบบสั่งหยุดโรงงาน นอกจากปัญหาที่เกี่ยวกับกระบวนการโดยตรงแล้ว ก็ยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับพนักงานปฏิบัติการและพนักงานบำรุงรักษาในเรื่องเกี่ยวกับการจูนตัวควบคุม ที่มักจะมีความต้องการที่ไม่สอดคล้องกัน

ลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและส่งผลให้ระบบควบคุมไม่เสถียรหรือทำงานช้ามาก โดยสรุปได้แก่

1. การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการควบคุม เช่น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ใหม่
2. วาล์วควบคุมไม่ทำงานเนื่องจากก้านวาล์วติดขัดและสาเหตุอื่นๆ
3. สัญญาณลม หรือสัญญาณจากอุปกรณ์วัดความดันต่างเกิดการอุดตัน

4. อัตราแลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการเกิดตะกรันขึ้นภายใน

5. เครื่องสูบไม่สามารถขับดันของเหลวออกไปได้ด้วยอัตราเดิม

ซึ่งปัญหาในข้อ 1-4 สามารถแก้ไขด้วยการจูนตัวตวบคุมใหม่ ส่วนปัญหาในข้อ 5 ต้องแก้ไขทางด้านกลไก

ในการติดตามเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดในกระบวนการผลิต ผู้ที่ทำหน้าที่นี้จะต้องทราบรายละเอียดต่างๆ เพื่อสามารถที่จะชี้ชัดลงไปได้ว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นอย่างไร ,สามารถแก้ไขได้อย่างไร แนวทางในการที่จะทำให้เข้าใจถึงปัญหาได้ด้วยดีทำได้โดยสอบถามพนักงานที่เกี่ยวข้องโดยใช้คำถามต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. กระบวนการที่ควบคุมนี้คืออะไร

2. ตัวแปรที่ต้องการควบคุมคืออะไร

3. วัตถุประสงค์ในการควบคุมคืออะไร

4. เคยมีปัญหาเช่นเดียวกันนี้เคยเกิดขึ้นก่อนหน้านี้หรือไม่ และมีการจดบันทึกถึงวิธีการที่เคยใช้ในการแก้ปัญหานี้อย่างไร

5. ตัวควบคุมนี้จะอยู่ในหมวดแมนวลหรืออัตโนมัติมีแอกชันแบบตรงหรือแบบผกผัน

6. ความถี่ในการแกว่งของลูพควบคุมมีความถี่เท่าไร

7. ค่ากำหนดของตัวควบคุมตั้งไว้ที่เท่าไร

8. ลูพเปิดของกระบวนการนี้เสถียรหรือไม่

9. มีเอกสารอ้างอิงอื่นๆ ที่จะนำมาใช้ในการช่วยแก้ปัญหานี้หรือไม่

ซึ่งขั้นตอนต่อไปหลังจากทราบรายละเอียดดังกล่าวข้างต้นหมดแล้ว คือ ต้องตรวจสอบองค์ประกอบแต่ละตัวในลูพการควบคุมโดยละเอียด โดยคำนึงเสมอว่า อุปกรณ์ต่างๆ ในภาคสนามต้องการการดูแลบำรุงรักษามากกว่าอุปกรณ์ที่อยู่ในห้องควบคุม ขั้นตอนสุดท้ายถ้าอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมทำงานเป็นปกติ คือการจูนตัวควบคุมดังกล่าวใหม่เพื่อให้ระบบควบคุมทำงานได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ