หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การควบคุมแบบป้อนกลับ

4.1 คำนำ

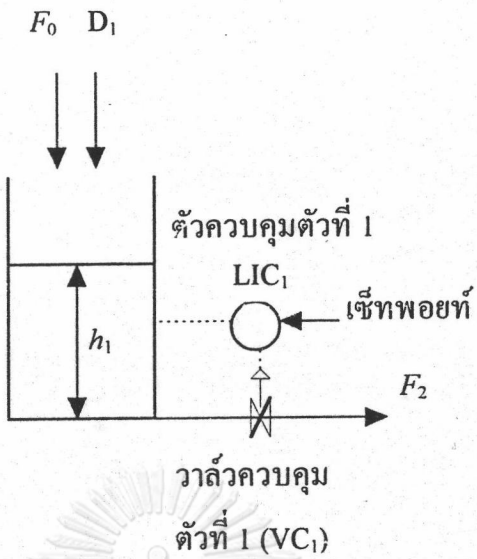
จากแบบจำลองระบบในบทที่ 3 ผู้อ่านได้ทราบถึงลักษณะและกลไกในกระบวนการ รวมทั้งทราบสมการที่ใช้ในการสร้างโปรแกรมเลียนแบบระบบแล้ว. เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจถึงการเขียนสมการในบทที่ 3 เพิ่มขึ้นผู้เขียนวิทยานิพนธ์ขอแนะนำทฤษฎีของตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งมีทั้งแบบอะนาล็อก และดิจิตัลและวาล์วควบคุมไว้ในบทนี้. เพื่อไม่ให้เนื้อความขาดหายไป, ผู้เขียนวิทยานิพนธ์จะกล่าวถึงลูปการควบคุมแบบป้อนกลับไว้พอเป็นสังเขป.

4.2 ลูปการควบคุมแบบป้อนกลับ

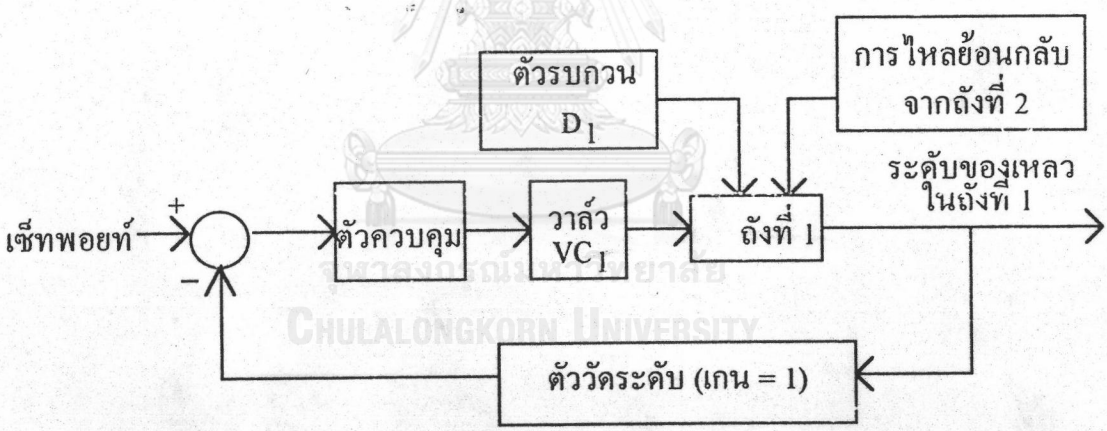
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 3.1 พิจารณาในถังใบแรก ดังรูปที่ 4.1.

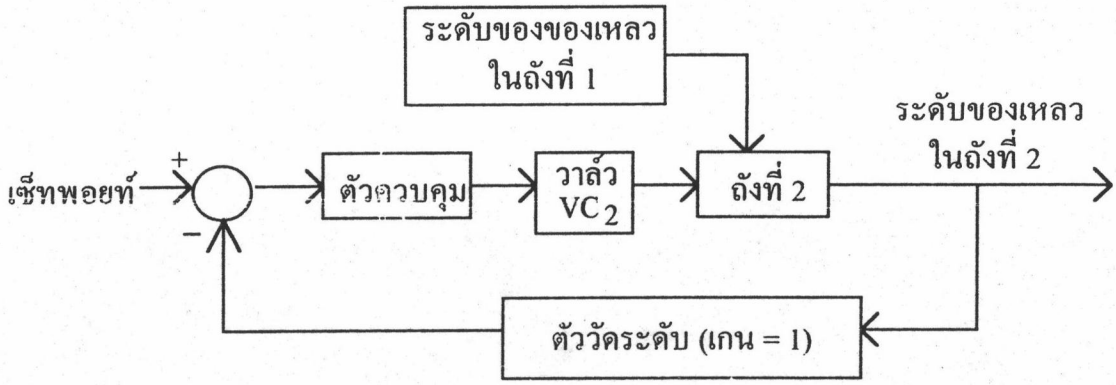
อัตราการไหล F_2 นั้นแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เกิดขึ้นจากการไหลออกเนื่องจากความต่างระดับ h_1 และอัตราการไหลย้อนกลับจากถังที่ 2 ฉะนั้นจึงสามารถเขียนรูปไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 4.2.



รูปที่ 4.1 ถังที่ 1 ของระบบ 2 ถัง.



รูปที่ 4.2 รูปไดอะแกรมของลูปที่ 1 (ถังที่ 1).



รูปที่ 4.2 รูปไดอะแกรมของลูปที่ 2 (ถังที่ 2).

4.3 วาล์วควบคุม

วาล์วควบคุมจะทำหน้าที่รับสัญญาณควบคุมมาจากตัวควบคุม เพื่อปรับช่วงการเปิดให้เป็นไปตามที่ตัวควบคุมสั่งมา. สัญญาณควบคุมนั้นมี 2 ลักษณะคือ เป็นสัญญาณที่มีค่าเป็นสัดส่วนกับความมากน้อยของการเปิดวาล์ว และสัญญาณที่สั่งการขยับของวาล์วให้มากขึ้นหรือน้อยลงกว่าที่เปิดอยู่ในขณะนั้น ทั้งนี้ผู้ที่จะออกแบบระบบต้องเลือกวาล์วและตัวควบคุมให้ใช้สัญญาณควบคุมลักษณะเดียวกัน.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.1 สมการการไหลของของเหลวผ่านวาล์ว

ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลของของเหลวกับระดับการเปิดปิดวาล์ว และความดันคร่อมวาล์วเป็นดังนี้

$$q = Cvf(l)\sqrt{\frac{\Delta Pv}{g_s}} \qquad (4.1)$$

เมื่อ l คือ ค่าการเปิดปิดวาล์ว มีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์หรือเศษส่วนการเปิด ซึ่งจะมีความหมายเดียวกับตัวแปร P_1 ในสมการ (3.4) และ (3.10)

f คือ ค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์ว มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 (เป็นฟังก์ชันของ l)

ΔPv คือ ความดันลดคร่อมวาล์ว

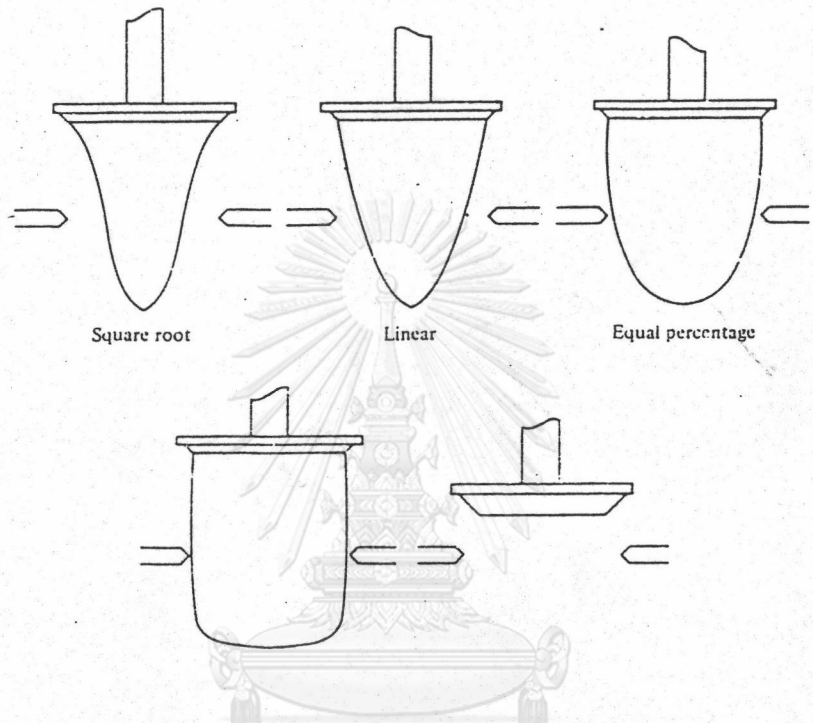
g_S คือ ความถ่วงจำเพาะของของเหลว

ซึ่งเราสามารถรวมพจน์ที่คงที่ต่าง ๆ ในสมการแล้วเขียนเสียใหม่ให้ดูง่ายดังสมการที่ (3.4), (3.10) และ (3.11) ได้.

4.3.2 ค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์ว

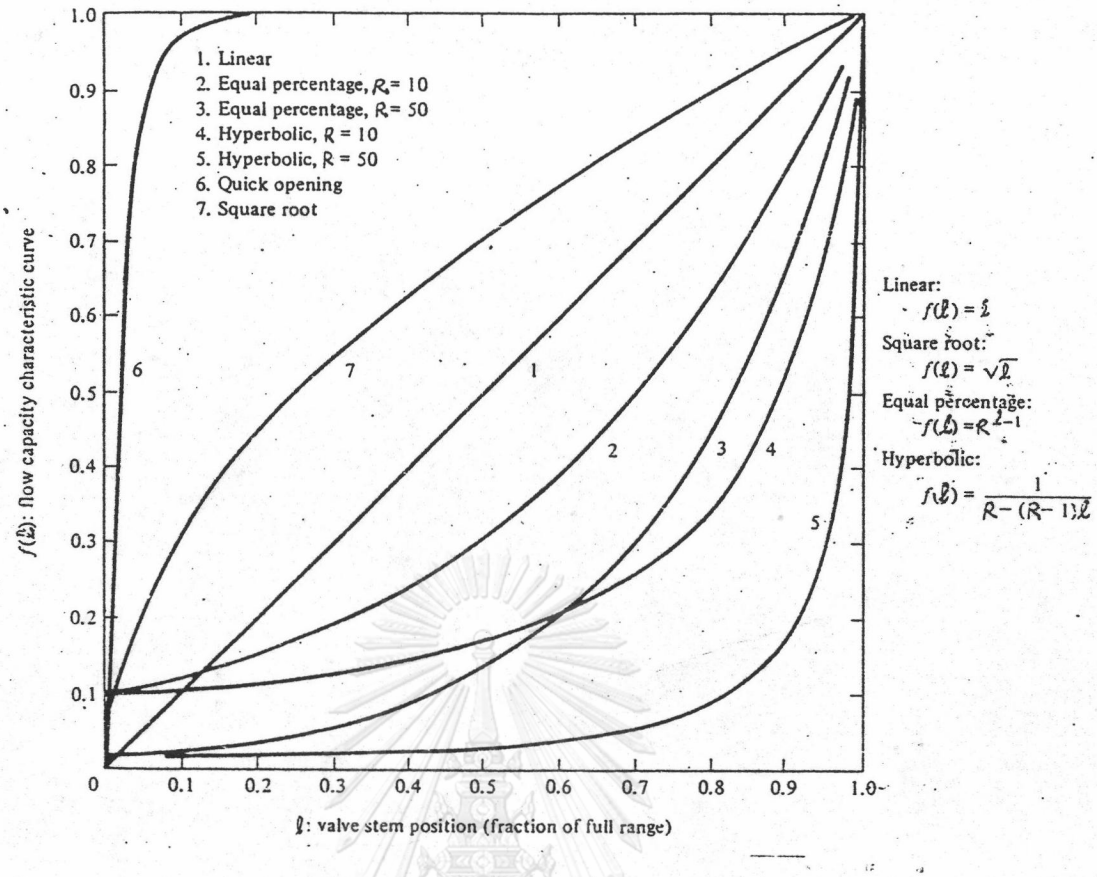
วาล์วควบคุมในท้องตลาดจะสร้างลิ้น (value plug) ให้มีลักษณะต่างๆ กันดังรูปที่ 4.4 ซึ่งลิ้นแต่ละแบบจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์ว (f) กับค่าเศษส่วนการเปิดปิดวาล์ว (l) ต่างๆ กันดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกมาเพียง 3 แบบดังในรูปที่ 4.6.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

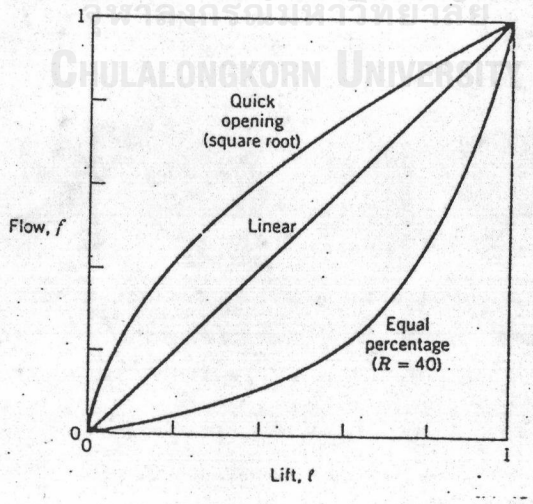


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.4 ลิ้นของวาล์วควบคุมแบบต่างๆ



รูปที่ 4.5 ค่าคงที่คุณสมบัติของวาล์วควบคุม



รูปที่ 4.6 แบบค่าคงที่ของวาล์วควบคุม
ที่ใช้ในโปรแกรมเลียนแบบระบบ

4.4 ตัวควบคุม

ตัวควบคุมแบบพีไอดี ดั้งเดิม เหมาะกับงานควบคุมแบบเชิงเส้นและใช้ได้กับวาล์วที่ต้องการสัญญาณควบคุมแบบเป็นสัดส่วนกับตำแหน่งการเปิดปิดวาล์วเท่านั้น. ต่อมาเมื่อวิทยาการด้านดิจิตัลเกิดขึ้นตัวควบคุมแบบดิจิตัลจึงเกิดขึ้น และยังเกิดตัวควบคุมที่พิเศษเฉพาะงานขึ้นในตัวควบคุมที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เบส และไมโครคอมพิวเตอร์เบส.

4.4.1 ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดอะนาล็อก

การตอบสนองของตัวควบคุมแบบนี้เป็นที่รู้จักกันดีซึ่งแสดงดังสมการที่ (4.2).

$$CO = CO_0 + K\left\{e + R\int edt + \tau_D \frac{de}{dt}\right\} \qquad (4.2)$$

ข้อเสียของการตอบสนองแบบนี้สามารถกล่าวได้เป็น 3 ประการ คือ

ประการที่ 1 ค่า CO_0 ต้องได้รับการปรับตั้งที่ดีเพื่อให้การควบคุมระบบเป็นไปได้ดี แต่ค่า CO_0 ที่ปรับไว้ดีที่เซ็ตพอยท์หนึ่งของกระบวนการหนึ่งก็จะใช้ได้ดีเฉพาะที่สภาวะนั้น

ประการที่ 2 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์ในทันทีทันใด จะทำให้ค่า e เปลี่ยนอย่างฉับพลัน และจะทำให้การตอบสนองในเทอม ดีไรเวทีฟ รุนแรงมาก เสมือนกับว่าตัวควบคุมกระทำตัวเป็นตัวรบกวนระบบเสียเอง.

ประการที่ 3 ระบบจะเกิด รีเซ็ทวายด์อัพ เนื่องจากในช่วงเปิดเครื่องหรือเปลี่ยนเซ็ทพอยท์หรือเกิดการรบกวน ระบบยังตอบสนองไม่ทัน ค่า e จะมาก ทำให้พจน์อินทีกรัล มีค่ามากและสะสมไว้ซึ่งนอกจากจะทำให้การตอบสนองขณะนั้นรุนแรงแล้ว ยังมีผลให้การตอบสนองในครั้งต่อๆ ไปรุนแรงอีกด้วย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4.2 ตัวควบคุมแบบพีไอดีชนิดดิจิตัล

ตัวควบคุมแบบนี้ยังคงยึดรูปแบบของการตอบสนองมาจากสมการ (4.2) ดังนี้

ก. โพซิชันฟอร์ม แบบ ดีไรเวทีฟ ที่ค่าความผิดพลาด (Position form with derivative on error).

สมการ (4.2) จะเขียนโดย ดีสครีตเทียบเท่า (Discrete equivalent) ได้เป็น

$$CO = CO_0 + K\left\{e_n + Rdt\sum_{k=1}^{n} e_k + \frac{\tau_D}{\Delta t}\left(e_n - e_{n-1}\right)\right\} \qquad (4.3)$$

เมื่อ Δt คือ ช่วงห่างของการตอบสนองของตัวควบคุม

n คือ ตัวกำกับบอกครั้งที่ของการตอบสนองของตัวควบคุม (รอบที่ของการคำนวณ)

ข. โพซิชันฟอร์มแบบดีไรเวทีฟที่ค่าวัด (Position form with derivative on measurement)

หากจะกำจัดการตอบสนองของพจน์ดีไรเวทีฟที่รุนแรงเกินไป อันเกิดจากการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ทันทีทันใด สามารถทำได้โดยการสมมติให้ค่าเซ็ทพอยท์คงที่. พจน์ ดีไรเวทีฟ จะเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{\tau_D}{\Delta t}\left(e_n - e_{n-1}\right) = \frac{\tau_D}{\Delta t}\left\{\left(SP - PV_n\right) - \left(SP - PV_{n-1}\right)\right\}$$

$$= \frac{\tau_D}{\Delta t}\left(SP - PV_n - SP - PV_{n-1}\right)$$

$$= \frac{\tau_D}{\Delta t}\left(PV_{n-1} - PV_n\right)$$

ซึ่งสัญญาณควบคุมจะกลายเป็น

$$CO = CO_0 + K\left\{e_n + R\Delta t\sum_{k=1}^{n} e_k + \frac{\tau_D}{\Delta t}\left(PV_{n-1} - PV_n\right)\right\} \qquad (4.4)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อ PV คือค่าของตัวแปรกระบวนการที่วัดได้

ค. เวโลซิตีฟอร์มแบบดีไรเวทีฟที่ความผิดพลาด

เวโลซิตีฟอร์ม ใช้เขียนสมการการตอบสนองของตัวควบคุมโดยให้ค่าสัญญาณควบคุมเป็นค่าที่มากขึ้นหรือน้อยกว่าที่เปิดอยู่ขณะนั้น.

ตำแหน่งวาล์วครั้งใหม่ = ตำแหน่งครั้งที่แล้ว + ตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลง (ΔCO)

ตำแหน่งวาล์วครั้งใหม่และครั้งที่แล้วสามารถเขียนได้ในทำนองเดียวกับสมการที่ (4.3).

$$\Delta CO = K\left[\left(e_n - e_{n-1}\right) + \mathrm{Re}_n\,\Delta t + \frac{\tau_D}{\Delta t}\left\{\left(e_n - e_{n-1}\right) - \left(e_{n-1} - e_{n-2}\right)\right\}\right]$$

$$= K\left[\left(e_n - e_{n-1}\right) + \mathrm{Re}_n\,\Delta t + \frac{\tau_D}{\Delta t}.\left(e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}\right)\right] \qquad (4.5)$$

ง. เวโลซิตีฟอร์ม แบบดีไรเวทีฟที่ค่าวัด

จากสมการที่ (4.5) ถ้าถือว่าค่าเซ็ทพอยท์มีค่าคงที่ (เพื่อลดความรุนแรงของการตอบสนอง ในกรณีที่มีการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์) จะเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\Delta CO = K\left[\begin{array}{l}\left(SP - PV_n - SP + PV_{n-1}\right) + \mathrm{Re}_n\,\Delta t \\ \\ \quad + \dfrac{\tau_D}{\Delta t}\left(SP - PV_n - 2SP + 2PV_{n-1} + SP - PV_{n-2}\right)\end{array}\right]$$

$$\Delta CO = K\left[PV_{n-1} - PV_n + \mathrm{Re}_n\,\Delta t + \frac{\tau_D}{\Delta t}.\left(2PV_{n-1} + PV_n - PV_{n-2}\right)\right] \qquad (4.6)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จ. การยับยั้งรีเซ็ทวายด์อัพ

ดังได้กล่าวถึงรีเซ็ทวายด์อัพแล้วในหัวข้อ 4.4.1, เราสามารถต่อต้านรีเซ็ทวายด์อัพได้โดยยับยั้งการเพิ่มขึ้นของพจน์อินทีกรัลในสมการการตอบสนองของตัวควบคุม เมื่อพบกรณีต่อไปนี้

กรณีที่ 1 สัญญาณควบคุมสั่งวาล์วเปิดเต็มที่ในขณะที่เปิดเต็มที่อยู่แล้ว

กรณีที่ 2 สัญญาณควบคุมสั่งวาล์วปิดเต็มที่ในขณะที่ปิดเต็มที่อยู่แล้ว

เหตุผลประการหนึ่งที่พิจารณา 2 กรณีข้างต้นเพราะในทั้ง 2 กรณี จะทำให้ค่าสัมบูรณ์ของพจน์อินทีกรัลมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก และมีทิศทางที่จะทำให้สัญญาณควบคุมส่งผลให้ตัวแปรควบคุมออกห่างจากค่าเซ็ทพอยท์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University