

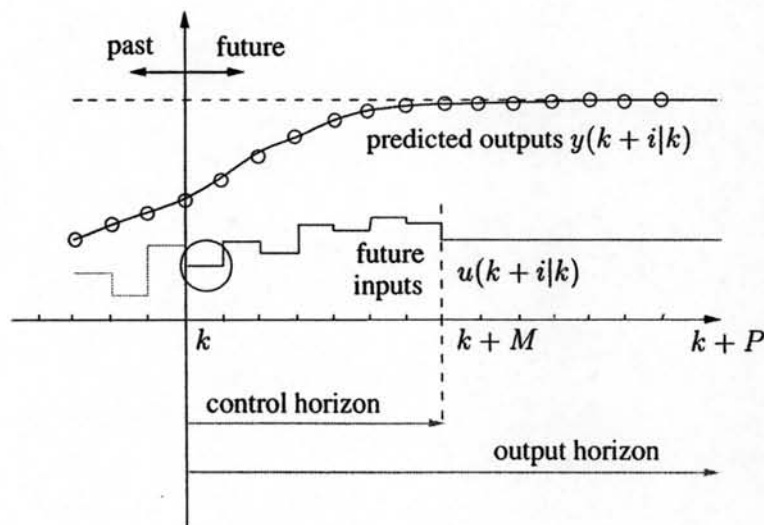
บทที่ 3

การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง

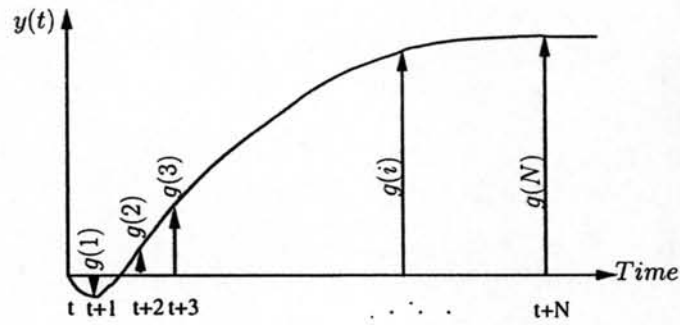
จากการระบุเอกลักษณ์ในบทที่ 2 ทำให้ทราบถึงแบบจำลองเชิงเส้นของกระบวนการควบคุมระดับของเหลวในลักษณะที่เป็นเมตริกซ์ฟังก์ชันถ่ายโอน จากการปรับเปลี่ยนสัญญาณด้านเข้ารอบจุดทำงานทั้งสามกรณี ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์ต้องการควบคุมระดับของเหลวทุกช่วงการทำงาน ด้วยเทคนิคการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง โดยบทนี้กล่าวถึง การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง และกลยุทธ์การปรับตั้งพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองในลำดับต่อไป

3.1 การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง

การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง ปัจจุบันได้ถูกพัฒนาออกเป็นหลายเทคนิค แต่เทคนิคที่เราเลือกขึ้นมาศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้คือ การควบคุมเมตริกซ์พลวัต (dynamic matrix control: DMC) [11], [12] เนื่องจากเป็นพื้นฐานการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองชนิดอื่น ทั้งยังง่ายต่อการทำความเข้าใจ และเหมาะสมกับระบบควบคุมหลายสัญญาณเข้า หลายสัญญาณออก เช่น กระบวนการควบคุมระดับของเหลวเป็นต้น



รูปที่ 3.1: กลยุทธ์การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง



รูปที่ 3.2: การหาค่าสัมประสิทธิ์ $g(i)$ จากผลตอบสนองขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

กลยุทธ์การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองแสดงได้ดังรูป 3.1 สามารถอธิบายได้ว่าสัญญาณด้านออกในอนาคตจะถูกทำนายจากแบบจำลอง สัญญาณควบคุม และสัญญาณด้านออกในอดีต เมื่อ P คือขอบเขตการทำนาย (predict horizon), M คือขอบเขตการควบคุม (control horizon) ซึ่งขั้นตอนการควบคุมเริ่มจาก กำหนด J คือฟังก์ชันต้นทุน (cost function) เพื่อให้ได้สัญญาณด้านออกตามข้อกำหนด จากนั้นจึงคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่ทำให้ฟังก์ชันต้นทุนมีค่าต่ำสุด แล้วนำสัญญาณนั้นส่งไปควบคุมกระบวนการ โดยลำดับต่อไปแสดงถึงการได้มาของสมการสำคัญที่ใช้ในการคำนวณ

แบบจำลองที่ถูกพิจารณาในการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองด้วยเทคนิคควบคุมเมตริกซ์พลวัต นั้นแสดงได้ดังสมการที่ (3.1)

$$y(t) = y_0 + \sum_{i=1}^{\infty} g(i)\Delta u(t-i) \tag{3.1}$$

โดย $g(i)$ แทนค่าชั้ตัวอย่างสัญญาณออกที่ i เมื่อสัญญาณเข้าเป็นแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วยดังรูปที่ 3.2, $y(t)$ แทนสัญญาณออกที่เวลา t , $\Delta u(t) = u(t) - u(t-1)$ และ $u(t)$ แทนสัญญาณควบคุมที่เวลา t สำหรับการพิจารณาค่าเริ่มต้น $y_0 = 0$ โดยไม่เสียนัยทั่วไปสามารถทำนายสัญญาณออกได้ดังสมการ (3.2)

$$\hat{y}(t+k|t) = \sum_{i=1}^{\infty} g(i)\Delta u(t+k-i|t) \tag{3.2}$$

เมื่อ $\hat{y}(t+k|t)$ คือสัญญาณออกของเวลา $t+k$ ที่ถูกทำนายจากข้อมูล ณ เวลา t ขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาผลของสัญญาณรบกวน ทำให้สามารถทำนายสัญญาณออกได้ใหม่ดังนี้

$$\hat{y}(t+k|t) = \sum_{i=1}^{\infty} g(i)\Delta u(t+k-i|t) + \hat{n}(t+k|t) \tag{3.3}$$

โดยที่พิจารณาสัญญาณรบกวนเป็นค่าคงที่ $\hat{n}(t+k|t) = \hat{n}(t|t) = y_m(t) - \hat{y}(t|t)$ ตลอดขอบเขตการทำนาย P จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\hat{y}(t+k|t) &= \sum_{i=1}^k g(i)\Delta u(t+k-i|t) + \sum_{i=k+1}^{\infty} g(i)\Delta u(t+k-i|t) + y_m(t) - \sum_{i=1}^{\infty} g(i)\Delta u(t-i|t) \\ &= \sum_{i=1}^k g(i)\Delta u(t+k-i|t) + f(t+k|t)\end{aligned}\quad (3.4)$$

เมื่อ $y_m(t)$ คือสัญญาณออกที่วัดได้ ณ เวลา t , $f(t+k|t)$ คือผลตอบอิสระของกระบวนการ และสามารถคำนวณจากความสัมพันธ์ในสมการที่ (3.5)

$$f(t+k|t) = y_m(t|t) + \sum_{i=1}^{\infty} (g(k+1) - g(i))\Delta u(t-i|t) \quad (3.5)$$

สำหรับกระบวนการที่มีเสถียรภาพ ค่าสัมประสิทธิ์ $g(i)$ จะมีค่าคงที่ ณ หลังการซักสุ่มตัวอย่างสัญญาณออกที่ N ซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก $g(k+i) - g(i) \approx 0, i > N$ ดังนั้นจากสมการ (3.5) สามารถแสดงได้ใหม่ว่า

$$f(t+k|t) = y_m(t|t) + \sum_{i=1}^N (g(k+1) - g(i))\Delta u(t-i|t) \quad (3.6)$$

ดังนั้นจึงแสดงการทำนายสัญญาณออกทุกค่าซักสุ่มตัวอย่างในขอบเขตการทำนายได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\hat{y}(t+1|t) &= g(1)\Delta u(t|t) + f(t+1|t) \\ \hat{y}(t+2|t) &= g(2)\Delta u(t|t) + g(1)\Delta u(t+1|t) + f(t+2|t) \\ &\vdots \\ \hat{y}(t+P|t) &= \sum_{i=P-M+1}^P g(i)\Delta u(t+P-i|t) + f(t+P|t)\end{aligned}\quad (3.7)$$

ซึ่ง $P \geq M$ เสมอ และนิยามระบบเป็นเมตริกซ์พลวัต G ได้ดังสมการที่ (3.8)

$$G = \begin{bmatrix} g(1) & 0 & \dots & 0 \\ g(2) & g(1) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g(M) & g(M-1) & \dots & g(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g(P) & g(P-1) & \dots & g(P-M+1) \end{bmatrix}_{P \times M} \quad (3.8)$$

ส่วนต่อไปเป็นการนิยามฟังก์ชันต้นทุน เพื่อให้สัญญาณด้านออกมีค่าตามข้อกำหนดที่ต้องการ แสดงได้ดังสมการที่ (3.9)

$$J = \sum_{j=1}^P [\hat{y}(t+j|t) - w(t+j)]^2 + \sum_{j=1}^M \lambda [\Delta u(t+j-1|t)]^2 \quad (3.9)$$

โดยที่ $w(t)$ แทนสัญญาณอ้างอิง และ λ แทนค่าคงที่ถ่วงน้ำหนักการแกว่งของสัญญาณควบคุม จากนั้นเรานิยาม

$$W(t) = [w(t+1), \dots, w(t+P)]^T \quad (3.10)$$

$$F(t) = [f(t+1), \dots, f(t+P)]^T \quad (3.11)$$

แทนเวกเตอร์ของสัญญาณอ้างอิง และเวกเตอร์ของผลตอบอิสระของกระบวนการในขอบเขตการทำนายตามลำดับ เมื่อไม่พิจารณาเงื่อนไขบังคับ สัญญาณควบคุมที่ทำให้ฟังก์ชันต้นทุนมีค่าน้อยที่สุดสามารถคำนวณได้ดังนี้ [13]

$$\Delta U(t) = (G^T G + \lambda I)^{-1} G^T (W(t) - F(t)) \quad (3.12)$$

เพราะฉะนั้นสัญญาณที่ส่งไปควบคุมจะมีลักษณะดังสมการที่ (3.13)

$$U(t) = U(t-1) + \Delta U(t) \quad (3.13)$$

เมื่อ $U(t)$ คือ เวกเตอร์ของสัญญาณควบคุมที่กำลังจะถูกส่งออกไปควบคุมกระบวนการซึ่งมีขนาด $M \times 1$

และ $U(t-1)$ คือ เวกเตอร์ของสัญญาณควบคุมที่ถูกส่งออกไปควบคุมกระบวนการในการชักสุมข้อมูลที่แล้ว โดยที่สัญญาณควบคุมเป็นเมตริกซ์ที่มีลักษณะดังนี้

$$U(t) = \begin{bmatrix} u(t|t) \\ \vdots \\ u(t+M-1|t) \end{bmatrix}_{M \times 1} \quad (3.14)$$

และสัญญาณควบคุมที่ถูกส่งออกไปยังกระบวนการ จะส่งเพียงที่ตำแหน่งแรกของเมตริกซ์ $U(t)$ ซึ่งคือ $u(t|t)$ เท่านั้น

ทำนองเดียวกันจากข้างต้นซึ่งเป็นการพิจารณาแบบหนึ่งสัญญาณเข้า หนึ่งสัญญาณออก ในการพิจารณากระบวนการสองสัญญาณเข้า สองสัญญาณออก สามารถแสดงเมตริกซ์ของสัญญาณด้านออกในอนาคตได้ดังนี้

$$\hat{Y}(t) = \begin{bmatrix} \hat{y}_1(t+1|t) \\ \vdots \\ \hat{y}_1(t+P|t) \\ \hat{y}_2(t+1|t) \\ \vdots \\ \hat{y}_2(t+P|t) \end{bmatrix}_{2P \times 1} \quad (3.15)$$

เมื่อ $\hat{y}_1(t)$ และ $\hat{y}_2(t)$ แทนสัญญาณด้านออกในอนาคตที่หนึ่ง และสองตามลำดับ ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3.16)

$$\begin{aligned} \hat{y}_1(t) &= \sum_{i=1}^{N_{11}} g_{11}(i) \Delta u_1(t) + \sum_{i=1}^{N_{12}} g_{12}(i) \Delta u_2(t) \\ \hat{y}_2(t) &= \sum_{i=1}^{N_{21}} g_{21}(i) \Delta u_1(t) + \sum_{i=1}^{N_{22}} g_{22}(i) \Delta u_2(t) \end{aligned} \quad (3.16)$$

โดยสัญญาณควบคุมในอนาคต และผลตอบอิสระสามารถนิยามได้ใหม่คือ

$$\Delta U(t) = [\Delta u_1(t|t), \dots, \Delta u_1(t+M-1|t), \Delta u_2(t|t), \dots, \Delta u_2(t+M-1|t)]^T \quad (3.17)$$

$$F(t) = [f_1(t+1|t), \dots, f_1(t+P|t), f_2(t+1|t), \dots, f_2(t+P|t)]^T \quad (3.18)$$

เมื่อผลตอบอิสระที่หนึ่ง และสองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.19)

$$\begin{aligned}
 f_1(t+k|t) &= y_{m1}(t) + \sum_{i=1}^{N11} (g_{11}(k+i) - g_{11}(i)) \Delta u_1(t-i|t) \\
 &\quad + \sum_{i=1}^{N12} (g_{12}(k+i) - g_{12}(i)) \Delta u_2(t-i|t) \\
 f_2(t+k|t) &= y_{m2}(t) + \sum_{i=1}^{N21} (g_{21}(k+i) - g_{21}(i)) \Delta u_1(t-i|t) \\
 &\quad + \sum_{i=1}^{N22} (g_{22}(k+i) - g_{22}(i)) \Delta u_2(t-i|t)
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

ซึ่งเมตริกซ์พลวัตที่ถูกละการนิยามขึ้นใหม่จะมีขนาดมิติ $2P \times 2M$ และคำนวณได้ดังนี้

$$G = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix}_{2P \times 2M} \tag{3.20}$$

เมื่อ G_{rs} คือ เมตริกซ์พลวัตย่อยที่เกิดจากสัญญาณด้านเข้าที่ s และสัญญาณด้านออกที่ r โดยขณะเดียวกันฟังก์ชันต้นทุนถูกนิยามใหม่ดังสมการที่ (3.21)

$$J = \sum_{j=1}^P \|\hat{y}(t+j|t) - w(t+j)\|_{\Gamma^T \Gamma}^2 + \sum_{j=1}^M \|\Delta u(t+j-1|t)\|_{\Lambda^T \Lambda}^2 \tag{3.21}$$

โดยที่ $\Gamma^T \Gamma$, $\Lambda^T \Lambda$ เป็นเมตริกซ์ทแยงมุมที่มีขนาด $2P \times 2P$ และ $2M \times 2M$ ตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณ $\Delta U(t)$ ที่ทำให้ฟังก์ชันต้นทุน (3.21) มีค่าน้อยสุดได้ดังนี้

$$\Delta U(t) = (G^T \Gamma^T \Gamma G + \Lambda^T \Lambda)^{-1} G^T \Gamma^T \Gamma (W(t) - F(t)) \tag{3.22}$$

ซึ่งเมตริกซ์ $\Gamma^T \Gamma$ และ $\Lambda^T \Lambda$ แสดงได้ดังต่อไปนี้

$$\Gamma^T \Gamma = \begin{bmatrix} \gamma_1^2 I_{M \times M} & 0 \\ 0 & \gamma_2^2 I_{M \times M} \end{bmatrix}_{2P \times 2P} \tag{3.23}$$

$$\Lambda^T \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1^2 I_{P \times P} & 0 \\ 0 & \lambda_2^2 I_{P \times P} \end{bmatrix}_{2M \times 2M} \tag{3.24}$$

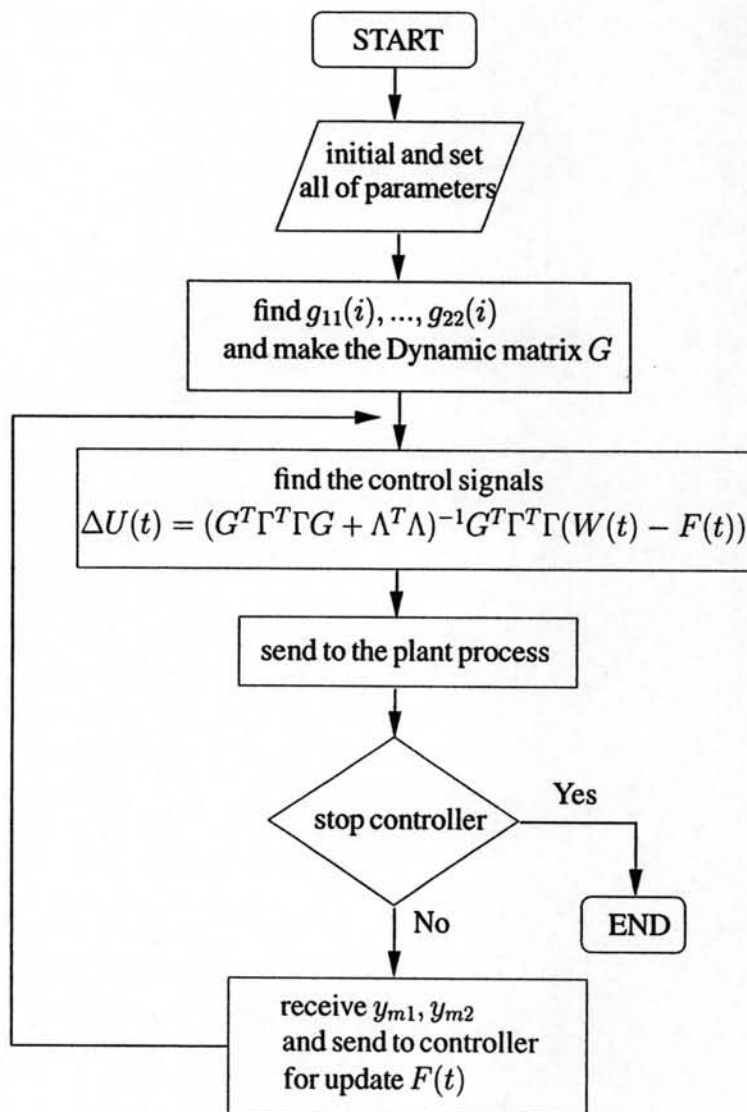
และสัญญาณควบคุมคือ

$$U(t) = U(t - 1) + \Delta U(t) \quad (3.25)$$

โดยที่

$$U(t) = \begin{bmatrix} u_1(t|t) \\ \vdots \\ u_1(t + M - 1|t) \\ u_2(t|t) \\ \vdots \\ u_2(t + M - 1|t) \end{bmatrix}_{2M \times 1} \quad (3.26)$$

และสัญญาณที่ถูกส่งไปยังกระบวนการคือ $u_1(t|t)$ และ $u_2(t|t)$ เท่านั้น ซึ่งลำดับชั้นการทำงานของ การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองสามารถแสดงดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3: แผนภาพการทำงานของตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง

3.2 การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง

หลังจากที่ทราบถึงการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองในบทที่ 3.1 นี้จะพบว่า การทำนายสัญญาณด้านนอกในอนาคตนั้นเกิดจากแบบจำลองเป็นสำคัญ ซึ่งในส่วนของการระบุเอกลักษณ์ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า กระบวนการควบคุมของเหลวมีความไม่เชิงเส้นที่จุดทำงานต่างๆ นั่นคือแบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงที่ช่วงจุดทำงานต่างกัน ดังนั้นการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองด้วยเทคนิคการควบคุมเมตริกซ์พลวัตนั้นอาจยังไม่เหมาะสมนัก เนื่องจากการทำนายเกิดจากแบบจำลองเพียงแบบจำลองเดียว ซึ่งไม่ครอบคลุมความไม่เชิงเส้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการจริง

กลยุทธ์การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งการควบคุมนี้อ้างอิงการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองในกรณีปกติถึงสามตัวควบคุม เพื่อที่จะทำนายสัญญาณด้านนอกในอนาคตที่เป็นไปได้ในแต่ละจุดทำงาน จากนั้นจึงตรวจสอบเงื่อนไขสัญญาณด้านนอกของกระบวนการเพื่อคำนวณปัจจัยถ่วงน้ำหนัก (weighting factor) ให้แต่ละตัวควบคุม แล้วจึงคำนวณสัญญาณควบคุมสุทธิส่งไปควบคุมกระบวนการ

ขั้นตอนการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองด้วยเทคนิคการควบคุมเมตริกซ์พลวัต แต่จะพิจารณาสัญญาณด้านนอกในอนาคตทุกย่านจุดทำงาน ในที่นี้ได้เลือกไว้สามช่วง ดังที่ระบุในบทที่ 2 การระบุเอกลักษณ์กระบวนการ หลังจากคำนวณสัญญาณควบคุมทั้งสามกรณีเสร็จสิ้นลำดับต่อไปคือการคำนวณปัจจัยถ่วงน้ำหนัก เมื่อพิจารณาจุดทำงานของกระบวนการเป็นสามช่วงการทำงาน (ต่ำ, กลาง, สูง) เงื่อนไขดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังนี้

1. ถ้า $y_{m,r} \geq y_{3,r}$ แล้ว

$$x_{1,s} = 0, \quad x_{2,s} = 0, \quad x_{3,s} = 1$$

2. ถ้า $y_{2,r} < y_{m,r} < y_{3,r}$ แล้ว

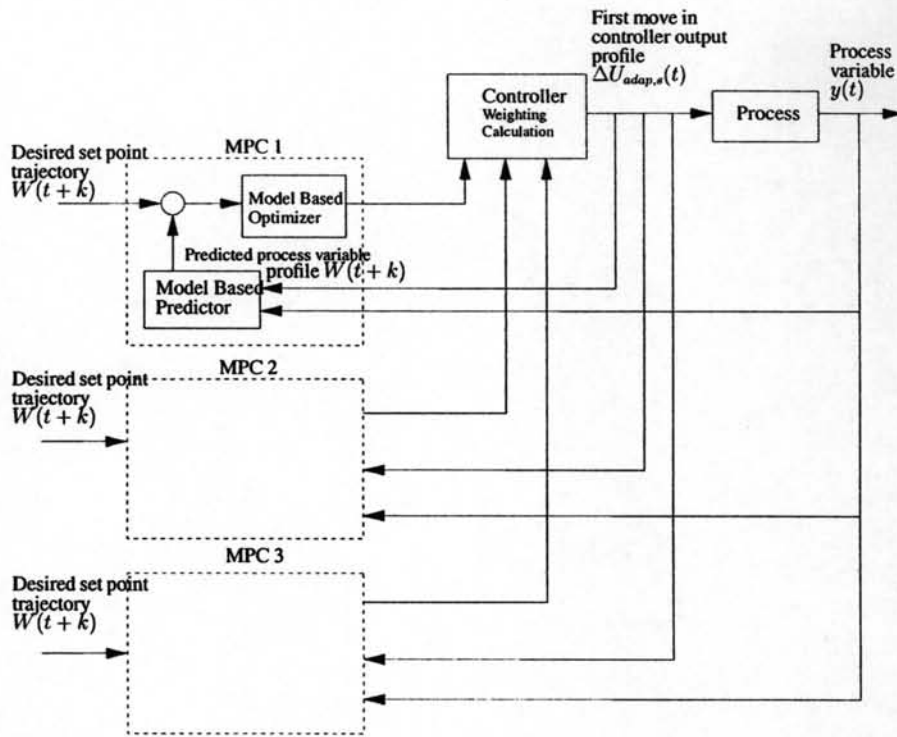
$$x_{1,s} = 0, \quad x_{2,s} = 1 - x_{3,s}, \quad x_{3,s} = \frac{y_{m,r} - y_{2,r}}{y_{3,r} - y_{2,r}}$$

3. ถ้า $y_{2,r} < y_{m,r} < y_{3,r}$ แล้ว

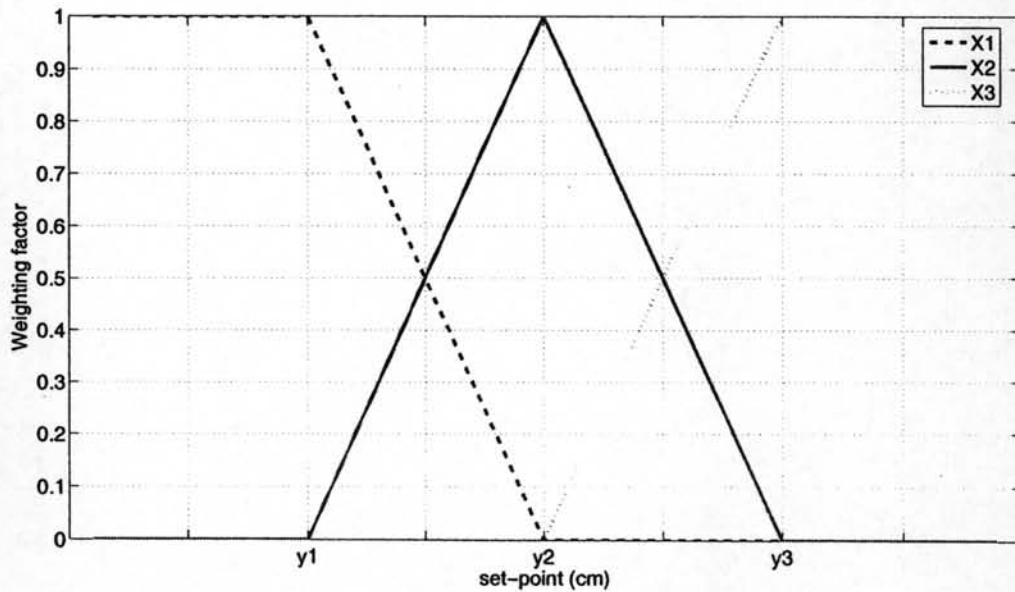
$$x_{1,s} = 1 - x_{2,s}, \quad x_{2,s} = \frac{y_{m,r} - y_{1,r}}{y_{2,r} - y_{1,r}}, \quad x_{3,s} = 0$$

4. ถ้า $y_{m,r} \leq y_{1,r}$ แล้ว

$$x_{1,s} = 1, \quad x_{2,s} = 0, \quad x_{3,s} = 0$$



รูปที่ 3.4: กลยุทธ์การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง



รูปที่ 3.5: ความสัมพันธ์ระหว่างจุดทำงานในย่านต่างๆ และค่าปัจจัยถ่วงน้ำหนัก

เมื่อ

- $y_{m,r}$ คือสัญญาณด้านออกที่ r ที่วัดได้
- $y_{1,r}$ คือตำแหน่งจุดทำงานระดับต่ำจากสัญญาณออกที่ r
- $y_{2,r}$ คือตำแหน่งจุดทำงานระดับกลางจากสัญญาณออกที่ r
- $y_{3,r}$ คือตำแหน่งจุดทำงานระดับสูงจากสัญญาณออกที่ r
- $x_{1,s}$ คือปัจจัยถ่วงน้ำหนักที่จุดทำงานระดับต่ำที่สัญญาณควบคุมที่ s
- $x_{2,s}$ คือปัจจัยถ่วงน้ำหนักที่จุดทำงานระดับกลางที่สัญญาณควบคุมที่ s
- $x_{3,s}$ คือปัจจัยถ่วงน้ำหนักที่จุดทำงานระดับสูงที่สัญญาณควบคุมที่ s

โดยเงื่อนไขข้างต้นสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างจุดทำงาน และค่าปัจจัยถ่วงน้ำหนักได้ดังรูปที่ 3.5 จากนั้นจึงคำนวณสัญญาณควบคุมปรับตัวดังสมการที่ (3.27)

$$\Delta U_{adap,s}(t) = \sum_{l=1}^3 x_{l,s} \Delta U(t)_{l,s} \quad (3.27)$$

เมื่อ $r=1, 2, \dots, R$ $s=1, 2, \dots, S$ $l=1, 2, \dots, L$

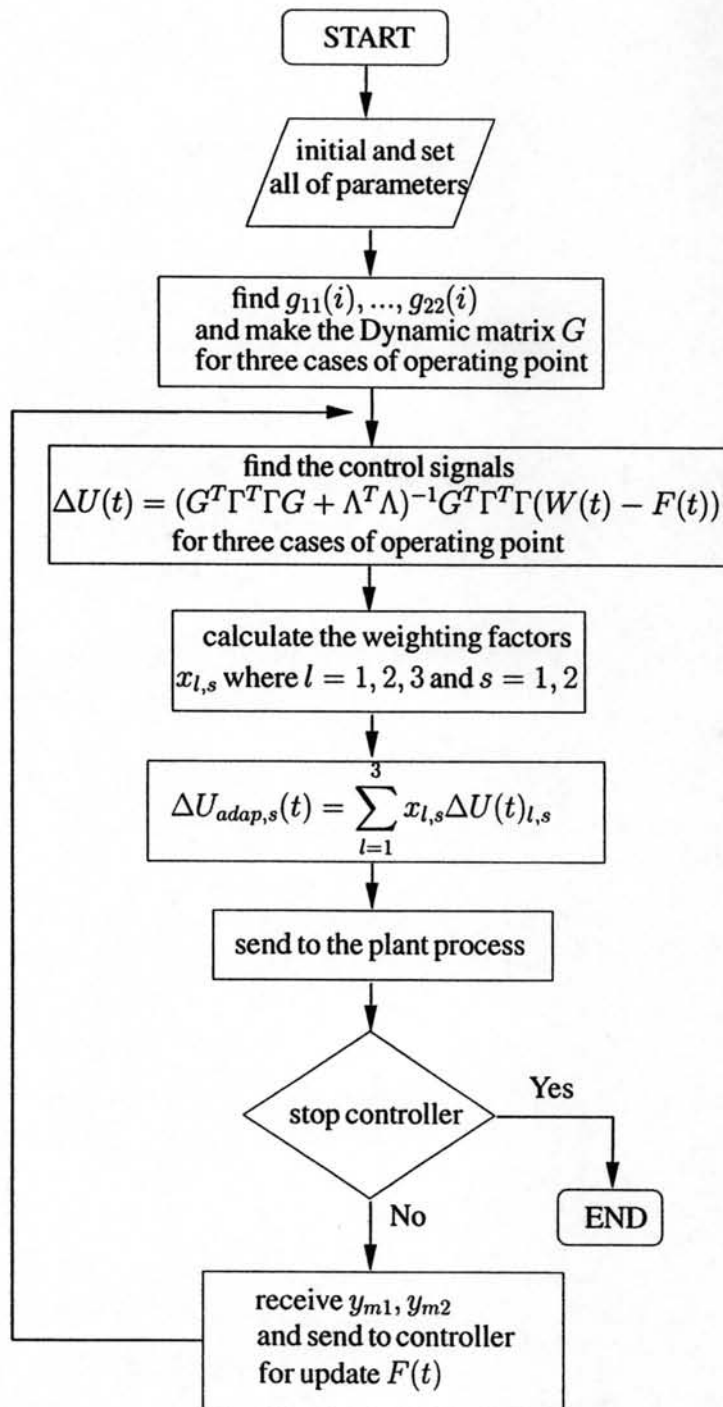
โดย R, S และ L คือจำนวนสัญญาณด้านออก, จำนวนสัญญาณด้านเข้า และจำนวนจุดทำงานที่พิจารณาตามลำดับ ซึ่งในที่นี้ $L=3$ ดังนั้น $l=1, 2$ และ 3 คือ จุดทำงานที่ระดับต่ำ กลาง และสูงตามลำดับ จากนั้นจึงคำนวณสัญญาณควบคุมสุทธิดังสมการ

$$U(t) = U(t-1) + \Delta U_{adap,s}(t) \quad (3.28)$$

โดยที่

$$U(t) = \begin{bmatrix} u_1(t|t) \\ \vdots \\ u_1(t+M-1|t) \\ u_2(t|t) \\ \vdots \\ u_2(t+M-1|t) \end{bmatrix}_{2M \times 1} \quad (3.29)$$

และส่งสัญญาณที่ $u_1(t|t)$ และ $u_2(t|t)$ ไปควบคุมที่กระบวนการเท่านั้น ขั้นตอนการทำงานของ การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6: แผนภาพการทำงานของตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง

3.3 กลยุทธ์การปรับตั้งพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง

จากบทที่ผ่านมาทำให้เราทราบถึงหลักการ, วิธีการควบคุมของตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองและตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง แต่เนื่องจากพารามิเตอร์ที่มีเป็นจำนวนมาก ทำให้ยากต่อการปรับตั้ง ดังนั้นในบทนี้จึงกล่าวถึงหลักการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการควบคุมทั้งสองวิธี ซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของ R. Shridhar และ D. J. Cooper ในปี 1998 [14] โดยขั้นตอนดังกล่าวต่อไป

แบบจำลองที่ได้จากการระบุเอกลักษณ์กระบวนการ ซึ่งอยู่ในรูปของระบบอันดับหนึ่งรวมการประวิงเวลาดังสมการ (3.30)

$$\frac{y_r(s)}{u_s(s)} = \frac{K_{rs}e^{-\theta_{rs}s}}{\tau_{rs}s + 1} \quad (3.30)$$

เมื่อ $r = 1, 2, \dots, R$ $s = 1, 2, \dots, S$

โดยแบบจำลองจำเป็นต้องแปลงเป็นระบบกันหนะ เพื่อใช้ในการสร้างเมตริกซ์พลวัต ซึ่งค่าชั้กลุ่มข้อมูล T ที่เหมาะสมสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.31)

$$T_{rs} = \max(0.1\tau_{rs}, 0.5\theta_{rs}) \quad (3.31)$$

$$T = \min(T_{rs}) \quad (3.32)$$

จากนั้นการคำนวณขอบเขตการทำนาย ขอบเขตแบบจำลองสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.33), (ข.1)

$$P = N = \max\left(\frac{5T_{rs}}{T} + k_{rs}\right) \quad (3.33)$$

$$k_{rs} = \left(\frac{\theta_{rs}}{T} + 1\right) \quad (3.34)$$

ส่วนขอบเขตการควบคุม สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.35)

ตารางที่ 3.1: ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากกลยุทธ์การปรับตั้งสำหรับการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง

จุดทำงานที่พิจารณา	พารามิเตอร์	$r = 1, s = 1$	$r = 2, s = 1$	$r = 1, s = 2$	$r = 2, s = 2$
ระดับกลาง	T_{rs2}	45.2	41.6	47.2	44.3
	P_{rs2}	55.492	51.7692	58.5	54.3413
	k_{rs2}	1.1683	1.7692	1.7692	1.0962
	M_{rs2}	12.0337	11.7692	13.1154	11.7452
	$\lambda_{12}^2 = 21.5736$			$\lambda_{22}^2 = 46$	
พิจารณารวมทุกจุดทำงาน		$T = 41$	$P = 60$	$N = 60$	$M = 15$

ตารางที่ 3.2: ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากกลยุทธ์การปรับตั้งสำหรับการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง พร้อมการควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง

จุดทำงานที่พิจารณา	พารามิเตอร์	$r = 1, s = 1$	$r = 2, s = 1$	$r = 1, s = 2$	$r = 2, s = 2$
ระดับต่ำ	T_{rs1}	38.2	43.3	47.2	43
	P_{rs1}	54.0632	63.6395	66.0053	63.0789
	k_{rs1}	1.3947	1.3947	1.1579	1.2632
	M_{rs1}	11.421	12.7894	13.579	12.5790
	$\lambda_{11}^2 = 68.6740$	$\lambda_{21}^2 = 167.534$			
ระดับกลาง	T_{rs2}	45.2	41.6	47.2	44.3
	P_{rs2}	62.6737	58.8868	65.205	63.1895
	k_{rs2}	1.1842	1.8421	1.8421	1.1053
	M_{rs2}	13.0789	12.7895	14.2632	12.7632
	$\lambda_{12}^2 = 46.158$	$\lambda_{22}^2 = 97.2940$			
ระดับสูง	T_{rs3}	65.1	56.8	52	52.8
	P_{rs3}	88.8579	81.5368	71.5711	77.0737
	k_{rs3}	1.1842	1.5263	1.6316	1.1579
	M_{rs3}	18.3158	16.4737	15.3158	15.0526
	$\lambda_{13}^2 = 43.1460$	$\lambda_{23}^2 = 228.88$			
พิจารณารวมทุกจุดทำงาน		$T = 38$	$P = 89$	$N = 89$	$M = 18$

$$M = \max \left(\frac{\tau_{rs}}{T} + k_{rs} \right) \quad (3.35)$$

จากนั้นจึงเลือกค่าถ่วงน้ำหนักของสัญญาณผิดพลาดในอนาคต γ_r^2 เพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักความผิดพลาด λ_s^2 ตามสมการ (3.36)

$$\lambda_s^2 = \frac{M}{500} \sum_{r=1}^R \left[\gamma_r^2 K_{rs}^2 \left\{ P - k_{rs} - \frac{3}{2} \frac{\tau_{rs}}{T} + 2 - \frac{(M-1)}{2} \right\} \right] \quad (3.36)$$

ดังนั้นแบบจำลองพลวัตจากบทที่ 2.2 และกลยุทธ์การปรับตั้งที่กล่าวข้างต้น สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ได้ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งในที่นี้เราเลือกให้ $\gamma_r^2 = 1$ โดยขั้นตอนต่อไปเราจึงนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปปรับตั้งกับตัวควบคุม ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วนคือ เมื่อนำไปจำลองผลทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และเมื่อประยุกต์ใช้ควบคุมกระบวนการจริงผ่านทางระบบการควบคุมแบบกระจายตัวสามารถแสดงได้ดังบทที่ 4

3.4 สรุป

สำหรับกระบวนการควบคุมระดับของเหลวที่ได้พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ เราได้ศึกษาการออกแบบตัวควบคุมขั้นสูงชนิดหนึ่งนั่นคือการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง โดยในครั้งแรกเรากล่าวถึงพื้นฐานการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง ด้วยเทคนิคการควบคุมเมตริกซ์พลวัต จากนั้นจึงกล่าวถึงการเพิ่มส่วนของการควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง เพื่อให้ตัวควบคุมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และรองรับกับจุดทำงานที่อาจเปลี่ยนแปลงในอนาคต ในลำดับถัดมานำเสนอส่วนของกลยุทธ์การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมดังกล่าว ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงในบทถัดไป