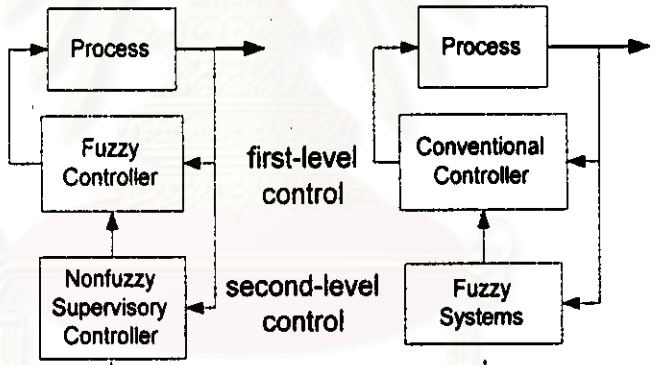
บทที่ 2
การควบคุมที่กำกับดูแลด้วยฟัซซี

ระบบควบคุมซึ่งประกอบด้วยกระบวนการและตัวควบคุมต่อกันเป็นวงรอบ อาจมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการควบคุมกระบวนการที่ซับซ้อนให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนด ดังนั้นการใช้โครงสร้างควบคุมแบบหลายระดับอาจมีประโยชน์มากขึ้น คือ ตัวควบคุมในแต่ละระดับจะง่าย ไม่ซับซ้อน และสามารถให้ประสิทธิภาพการควบคุมที่ดีขึ้นได้ โดยทั่วไปตัวควบคุมระดับล่างถูกออกแบบเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพและทำหน้าที่ควบคุมโดยตรง ส่วนตัวควบคุมระดับบนทำหน้าที่กำกับดูแล ในที่นี้จะพิจารณาโครงสร้างควบคุมสองระดับ ซึ่งระดับหนึ่งเป็นระบบฟัซซี ดังนั้นมีโครงสร้างที่เป็นไปได้อยู่ 2 อย่างในรูป 2.1ก และ 2.1ข โดยโครงสร้าง 2.1ข มีข้อดีคือสามารถจัดการกับ การรบกวนของระบบ การเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ และพลวัตของระบบที่มิได้นำมาออกแบบได้คล้ายคลึงกับระบบควบคุมแบบปรับตัวเองโดยทั่วไป [27]



รูปที่ 2.1ก รูปที่ 2.1ข

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของการออกแบบระบบควบคุมโดยทั่วไปในทางปฏิบัติได้แก่การหาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายระบบที่ต้องการควบคุมอย่างถูกต้องแม่นยำพอเพียงต่อการออกแบบตัวควบคุม หากสมการอธิบายระบบขาดความถูกต้องแม่นยำที่พอเพียง ก็มักจะส่งผลถึงประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่จำเป็นต้องออกแบบโดยอาศัยสมการอธิบายระบบเหล่านั้น อย่างไรก็ตามการควบคุมในทางปฏิบัติจริงหลายๆอย่าง เช่นการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไป มักใช้ความรู้ประสบการณ์และความชำนาญของผู้ปฏิบัติการในการควบคุมหรือปรับจูนตัวควบคุม ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและให้ผลการควบคุมที่ค่อนข้างดี ตัวควบคุมตรรกฟัซซีจึงเหมาะสมกับลักษณะการควบคุมแบบนี้มาก กล่าวคือถ้าไม่ทราบสมการทางคณิตศาสตร์อธิบายระบบหรือทราบแต่ไม่ถูกต้องแม่นยำก็ยังสามารถออกแบบตัวควบคุมตรรกฟัซซีที่อาจรับประกันประสิทธิภาพบางอย่างได้

วิธีการออกแบบตัวควบคุมตรรกฟัซซีอาจจำแนกได้เป็น 2 วิธีใหญ่ๆคือ

1. การออกแบบโดยวิธีลองผิดลองถูก เป็นการออกแบบโดยอาศัยความรู้เกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการของผู้ออกแบบนำมาสร้างเป็นฐานกฎ IF-THEN และฟังก์ชันภาวะสมาชิกต่างๆที่เหมาะสม ความรู้เกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการนี้อาจได้มาจากการสอบถามจากผู้ปฏิบัติการที่มีความเชี่ยวชาญในการควบคุมจริง หรือจากคู่มือปฏิบัติงานของกระบวนการ เมื่อได้ข้อมูลต่างๆที่ถูกต้องและครบถ้วนก็สามารถออกแบบตัวควบคุมตรรกฟัซซีได้จากฐานกฎและฟังก์ชันภาวะสมาชิกเหล่านั้น ขั้นต่อมาจึงเป็นการทดสอบผลการควบคุม โดยอาจทดสอบโดยการจำลองระบบก่อนเมื่อมั่นใจจึงนำไปทดสอบโดยการควบคุมกระบวนการจริง ในระหว่างการทดสอบนี้หากผลการควบคุมยังไม่เป็นที่น่าพอใจ ก็ทำการปรับแต่งฐานกฎหรือฟังก์ชันภาวะสมาชิกใหม่จนกระทั่งผลการควบคุมเป็นที่พอใจ

2. การออกแบบอย่างเป็นระบบ เป็นการออกแบบโครงสร้างและพารามิเตอร์ของตัวควบคุมตรรกฟัซซีเพื่อให้สามารถรับประกันประสิทธิภาพบางอย่างได้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ยกตัวอย่างเช่นการรับประกันเสถียรภาพเป็นต้น

ในทางปฏิบัติอาจใช้วิธีการทั้งสองช่วยในการออกแบบระบบควบคุมเพื่อให้ผลการควบคุมเป็นไปตามเงื่อนไขที่ต้องการ ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีออกแบบตัวควบคุมตรรกฟัซซีโดยวิธีลองผิดลองถูก ตัวควบคุมตรรกฟัซซีที่ใช้จะทำหน้าที่กำกับดูแลตัวควบคุมพีไอในวงรอบปกติ

การออกแบบตัวควบคุมตรรกฟัซซีโดยวิธีลองผิดลองถูก

ขั้นตอนการออกแบบสามารถสรุปได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ศึกษาวิเคราะห์ระบบที่ต้องการควบคุมเพื่อเลือกตัวแปรต่างๆที่จำเป็นต่อการควบคุม ได้แก่ ตัวแปรสถานะและตัวแปรที่ใช้ในการควบคุม ตัวแปรสถานะควรสามารถแสดงถึงคุณลักษณะหลักของระบบที่ต้องการควบคุมได้ เช่นในกระบวนการกลั่น ตัวแปรสถานะอาจเป็นความเข้มข้นของสารหรืออุณหภูมิเป็นต้น ส่วนตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมต้องสามารถส่งผลต่อตัวแปรสถานะที่เลือกได้ ตัวแปรสถานะจะเป็นสัญญาณเข้าของตัวควบคุมตรรกฟัซซี และสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมจะเป็นสัญญาณออก นอกจากการเลือกตัวแปรต่างๆให้เหมาะสมกับกระบวนการที่ต้องการควบคุมแล้ว ก็ต้องกำหนดช่วงการทำงานของระบบควบคุมด้วย

ขั้นที่ 2 สร้างฐานกฎการควบคุมในรูป IF-THEN ขึ้นพร้อมทั้งฟังก์ชันภาวะสมาชิกต่างๆที่สอดคล้องกัน กฎต่างๆที่สร้างขึ้นนี้จะเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสถานะกับตัวแปรที่ใช้ในการควบคุม การสร้างฐานกฎจะสร้างขึ้นจากความรู้ความเข้าใจในกระบวนการที่ต้องการควบคุม อาจโดยการสอบถามจากผู้ปฏิบัติการที่ชำนาญหรือจากหนังสือคู่มือปฏิบัติงานของกระบวนการเป็นต้น

ขั้นที่ 3 ทดสอบตัวควบคุมที่ได้กับกระบวนการจริง หากผลการควบคุมที่ได้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ ก็ทำการปรับจูนฟังก์ชันภาวะสมาชิกหรือฐานกฎจากข้อมูลต่างๆที่ได้รับจากการทดสอบ แล้วจึงนำไปทดสอบอีก การปรับจูนจะกระทำจนกระทั่งได้ผลตอบที่พอใจ

ตัวควบคุมตรรกฟัซซีที่ได้จากการออกแบบที่กล่าวมานี้จะเป็นตัวควบคุมแบบระดับเดียว คือวงรอบการควบคุมจะประกอบด้วยกระบวนการและตัวควบคุมตรรกฟัซซีต่อกันเป็นวงรอบป้อนกลับ ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมจริงวงรอบป้อนกลับแบบระดับเดียวอาจให้ผลการควบคุมบางอย่างที่ไม่ดีนัก ในขณะที่การควบคุมแบบหลายระดับอาจสามารถปรับปรุงผลการควบคุมในจุดนั้นได้ ซึ่งตัวควบคุมในระดับล่างจะทำหน้าที่หลักในการควบคุมกระบวนการโดยตรง ส่วนตัวควบคุมในระดับสูงขึ้นมาจะทำหน้าที่กำกับดูแล ในที่นี้จะพิจารณากรณีเฉพาะที่ตัวควบคุมระดับล่างเป็นตัวควบคุมพีไอดีธรรมดา และในระดับสูงขึ้นจะเป็นตัวควบคุมตรรกฟัซซีเพื่อกำกับดูแลปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีตามกฎการควบคุมที่ได้ออกแบบไว้

ระบบควบคุมฟัซซีสำหรับปรับจูนอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอดี

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันตัวควบคุมพีไอดีเป็นที่นิยมในการนำมาใช้งานในการควบคุมกระบวนการทางภาคอุตสาหกรรมทั่วๆไป เพราะตัวควบคุมพีไอดีมีข้อดีหลายประการ เช่น มีความน่าเชื่อถือได้ในการควบคุม มีความคงทนของประสิทธิภาพในระดับหนึ่ง มีโครงสร้างที่ง่ายในการทำความเข้าใจ และง่ายในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์เมื่อผลตอบของระบบยังไม่น่าพอใจหรือมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์หรือการทำงานของกระบวนการ ตัวควบคุมแบบพีไอดีในรูปมาตรฐานสามารถเขียนได้ดังนี้

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \qquad (2.1)$$

หรือ

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau)d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \qquad (2.2)$$

โดย

K_p, K_i, K_d	เป็นอัตราขยายสัดส่วน อินทิกรัล และอนุพันธ์ตามลำดับ
$T_i = K_p / K_i$	เป็นค่าคงที่เวลาของอินทิกรัล
$T_d = K_d / K_p$	เป็นค่าคงที่เวลาของอนุพันธ์
$e(t) = r(t) - y(t)$	เป็นสัญญาณค่าผิดพลาด
$r(t)$	คือค่ากำหนด
$y(t)$	คือผลตอบที่ต้องการควบคุมของระบบ

และสามารถเขียนในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$\frac{\mathrm{U}(s)}{\mathrm{E}(s)} = \mathrm{G}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \tag{2.3}$$

พิจารณาในรูปเวลาเต็มหน่วยที่มีคาบเวลาการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ h โดยใช้การประมาณแบบสี่เหลี่ยม (rectangular approximation) [28] จะสามารถเขียนได้ดังสมการ (2.4) ถึง (2.6) ข้อดีของการประมาณด้วยวิธีนี้คือ สัญญาณควบคุมจะมีเสถียรภาพเสมอ

เทอมสัดส่วน: $$P(kh) = K_p(r(kh) - y(kh)) \tag{2.4}$$

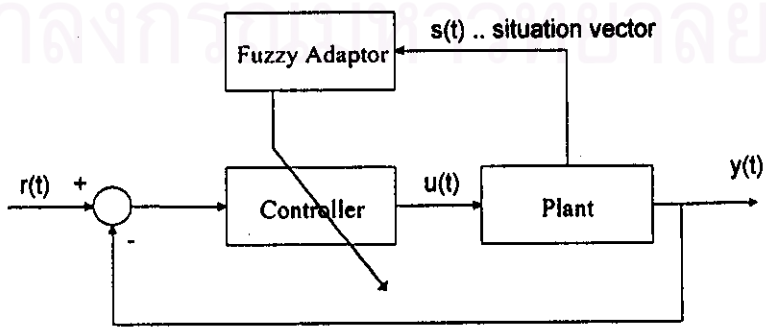
เทอมอินทิกรัล: $$I(kh+h) = I(kh) + \frac{K_p h}{T_i} e(kh) \tag{2.5}$$

เทอมอนุพันธ์: $$D(kh) = \frac{K_p T_d}{h} \Delta e(kh) \tag{2.6}$$

ได้ $$u(kh) = P(kh) + I(kh) + D(kh) \tag{2.7}$$

เมื่อ $\Delta e(kh) \stackrel{\Delta}{=} e(kh) - e(kh-h)$

ความสำเร็จในการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดีขึ้นอยู่กับการออกแบบเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์อัตราส่วนทั้ง 3 ตัวให้เหมาะสม การปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 เพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมมีค่าเหมาะสมที่สุดเป็นเรื่องที่ทำได้ไม่ง่ายนัก เพราะต้องใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ และอาจมีปัญหาเกี่ยวกับความไม่เป็นเชิงเส้นของกระบวนการที่ต้องการควบคุม ดังนั้นการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้ประสบการณ์และกฎเกณฑ์ง่ายๆกันเป็นส่วนมาก ดังนั้นการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมตรรกฟัซซีเพื่อช่วยในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์จึงน่าจะสามารถช่วยปรับปรุงผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดีธรรมดาให้ดีขึ้นได้ [24] โครงสร้างของตัวควบคุมแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของตัวควบคุมพีไอดีที่พารามิเตอร์ถูกปรับด้วยฟัซซี

ตัวควบคุมฟัซซีจะสร้างฐานกฎในรูปของกฎ IF-THEN ซึ่งฐานกฎนี้จะเป็นการอธิบายว่าจะต้องปรับค่าอัตราขยายของพีไอดีในเวลาจริง (real time) อย่างไรภายใต้สภาวะหนึ่งๆ เพื่อความสะดวกจึงทำการปรับสเกลของอัตราขยายให้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยกำหนดช่วงค่าที่เป็นไปได้เป็น $K_p \in [K_{p,\min}, K_{p,\max}] \subset \Re$ และ $K_I \in [K_{I,\min}, K_{I,\max}] \subset \Re$ ค่า $K_{\min}$ และ $K_{\max}$ สามารถหาได้จากการทดลอง เป็นที่แนะนำว่า [24]

$$K_{p,\min} = 0.32K_u \qquad K_{p,\max} = 0.6K_u \tag{2.8}$$

$$K_{d,\min} = 0.08K_uT_u \qquad K_{p,\min} = 0.15K_uT_u \tag{2.9}$$

โดยที่ K_u และ T_u คือค่าอัตราขยายและคาบการแกว่งที่ทำให้ผลตอบของระบบแกว่งด้วยขนาดคงที่ภายใต้การควบคุมแบบสัดส่วน ซึ่งจะได้ค่าอัตราขยายซึ่งอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ดังนี้

$$K'_p = \frac{K_p - K_{p,\min}}{K_{p,\max} - K_{p,\min}} \tag{2.10}$$

$$K'_I = \frac{K_I - K_{I,\min}}{K_{I,\max} - K_{I,\min}} \tag{2.11}$$

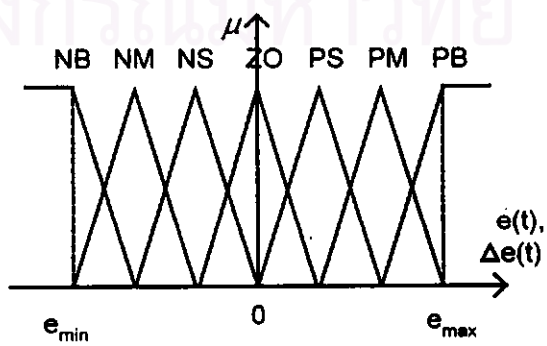
ส่วนค่าพารามิเตอร์ K_d จะอ้างอิงจากค่า K_p และ K_i ดังสมการ

$$K_d = \frac{K_pT_i}{\alpha} = \frac{K_p^2}{\alpha K_i} \tag{2.12}$$

ให้ข้อมูลเข้าของระบบฟัซซีได้แก่ $e(kh)$ และ $\Delta e(kh)$ กฎฟัซซีในรูปกฎ IF-THEN จะอยู่ในรูปแบบ

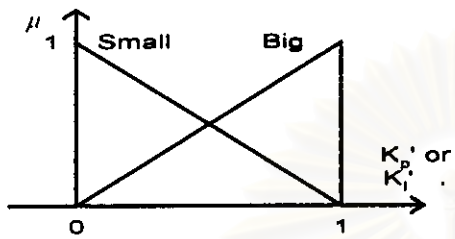
$$\text{IF } e(kh) \text{ is } A^l \text{ and } \Delta e(kh) \text{ is } B^l, \text{ THEN } K'_p \text{ is } C^l, K'_I \text{ is } D^l, \alpha \text{ is } E^l \tag{2.13}$$

เมื่อ A^l, B^l, C^l, D^l, E^l คือฟัซซีเซต, $l = 1,2,...,49$ ให้ช่วงค่าของ $e(kh)$ และ $\Delta e(kh)$ เป็น $\left[e_{Al}^-, e_{Al}^+\right]$ และ $\left[e_{\Delta Al}^-, e_{\Delta Al}^+\right]$ ตามลำดับ และนิยามตัวแปรเชิงภาษาสำหรับ $e(kh)$ และ $\Delta e(kh)$ ไว้ 7 ตัว ได้แก่ ค่าลบมาก (NB) ค่าลบปานกลาง (NM) ค่าลบน้อย (NS) ค่าศูนย์ (ZO) ค่าบวกน้อย (PS) ค่าบวกปานกลาง (PM) และค่าบวกมาก (PB) ดังนั้นได้จำนวนกฎในฐานกฎทั้งสิ้น 49 กฎ ดังรูปที่ 2.3

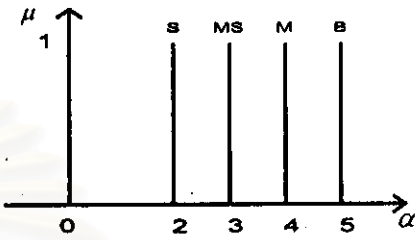


รูปที่ 2.3 ตัวแปรเชิงภาษาของ $e(kh)$ และ $\Delta e(kh)$

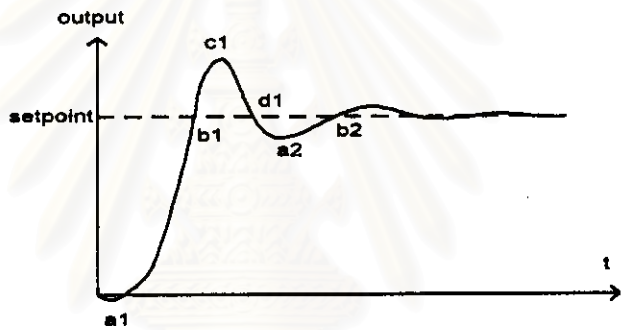
ให้ตัวแปรเชิงภาษาของฟัซซีเซต C', D' มี 2 ตัวคือเล็ก (Small) และใหญ่ (Big) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวแปรเชิงภาษาทั้งสองแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนตัวแปรเชิงภาษาของฟัซซีเซต E' เป็นแบบเซตโทน (Singleton) แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ตัวแปรเชิงภาษาของ K_p' และ K_i'



รูปที่ 2.5 ตัวแปรเชิงภาษาของ α



รูปที่ 2.6 ผลตอบของกระบวนการโดยทั่วๆไปต่อสัญญาณเข้าแบบขั้น

ต่อมาเป็นการหาฐานกฎที่เหมาะสม พิจารณาผลตอบของกระบวนการต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นดังรูปที่ 2.6 ในเวลาเริ่มแรก (ช่วง a1) ต้องการให้ผลตอบมีเวลาขึ้นที่รวดเร็ว นั่นคือต้องใช้สัญญาณควบคุมค่าสูง จึงให้ K_p' และ K_i' มีค่ามากๆ ดังนั้นได้กฎสำหรับสัญญาณรอบๆ a1 เป็น

$$\text{IF } e(kh) \text{ is } PB \text{ and } \Delta e(kh) \text{ is } ZO, \text{ THEN } K_p' \text{ is } Big, K_i' \text{ is } Big \qquad (2.15)$$

ทำนองเดียวกันที่รอบๆ b1 ในรูปที่ 2.6 เพื่อให้ส่วนพุ่งเกินมีค่าน้อยๆ จึงใช้สัญญาณควบคุมค่าต่ำ โดยให้ K_p' และ K_i' มีค่าน้อยๆ ดังนั้นได้กฎสำหรับสัญญาณรอบๆ b1 เป็น

$$\text{IF } e(kh) \text{ is } ZO \text{ and } \Delta e(kh) \text{ is } NB, \text{ THEN } K_p' \text{ is } Small, K_i' \text{ is } Small \qquad (2.16)$$

สัญญาณควบคุมรอบๆ c1 และ d1 จะเหมือนกับที่ a1 และ b1 ตามลำดับ โดยใช้วิธีการพิจารณาเช่นนี้ สามารถหากฎทั้ง 49 กฎได้ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ถึง 2.9

		$\Delta e(kh)$						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
$e(kh)$	NB	B	B	B	B	B	B	B
	NM	S	B	B	B	B	B	S
	NS	S	S	B	B	B	S	S
	ZO	S	S	S	B	S	S	S
	PS	S	S	B	B	B	S	S
	PM	S	B	B	B	B	B	S
	PB	B	B	B	B	B	B	B

รูปที่ 2.7 ฐานกฎฟัซซีสำหรับ K'_p

		$\Delta e(kh)$						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
$e(kh)$	NB	B	B	B	B	B	B	B
	NM	S	B	B	B	B	B	S
	NS	S	S	B	B	B	S	S
	ZO	S	S	S	B	S	S	S
	PS	S	S	B	B	B	S	S
	PM	S	B	B	B	B	B	S
	PB	B	B	B	B	B	B	B

รูปที่ 2.8 ฐานกฎฟัซซีสำหรับ K'_I

		$\Delta e(kh)$						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
$e(kh)$	NB	B	B	B	B	B	B	B
	NM	S	B	B	B	B	B	S
	NS	S	S	B	B	B	S	S
	ZO	S	S	S	B	S	S	S
	PS	S	S	B	B	B	S	S
	PM	S	B	B	B	B	B	S
	PB	B	B	B	B	B	B	B

รูปที่ 2.9 ฐานกฎฟัซซีสำหรับ α

โดยใช้ product inference engine ใช้การแปลงฟัซซีแบบ triangular-type fuzzifier และการแปลงกลับฟัซซีแบบ center average defuzzifier พารามิเตอร์ K'_p K'_I และ α ถูกปรับค่าตามสมการ

$$K'_p = \frac{\sum_{l=1}^{49} \bar{y}'_p \mu_{A^l}(e(kh)) \mu_{B^l}(\Delta e(kh))}{\sum_{l=1}^{49} \mu_{A^l}(e(kh)) \mu_{B^l}(\Delta e(kh))} \tag{2.17}$$

$$K'_I = \frac{\sum_{l=1}^{49} \bar{y}'_I \mu_{A^l}(e(kh)) \mu_{B^l}(\Delta e(kh))}{\sum_{l=1}^{49} \mu_{A^l}(e(kh)) \mu_{B^l}(\Delta e(kh))} \tag{2.18}$$

$$\alpha = \frac{\sum_{l=1}^{49} \bar{y}_{\alpha}^{l} \mu_{A^l}(e(kh)) \mu_{B^l}(\Delta e(kh))}{\sum_{l=1}^{49} \mu_{A^l}(e(kh)) \mu_{B^l}(\Delta e(kh))} \tag{2.19}$$

เมื่อ $\bar{y}_{p}^{l}$, $\bar{y}_{i}^{l}$ และ $\bar{y}_{\alpha}^{l}$ เป็นค่าตามแกนนอนตรงกลางของกราฟฟังก์ชันภาวะสมาชิกที่สอดคล้องกับค่า μ_{A^l} และ μ_{B^l} ของกฎที่ l ในการสร้างฐานกฎของตัวควบคุมฟัซซีจะใช้วิธีเดียวกันทั้งสองวงรอบการควบคุม

หลังจากคำนวณหาค่า K_p', K_i' และ α ได้แล้วก็จะคำนวณหาค่าอัตราขยายทั้ง 3 ของตัวควบคุมพีไอดีได้ดังนี้

$$K_p = \left(K_{p,\max} - K_{p,\min}\right)K_p' + K_{p,\min} \tag{2.20}$$

$$K_i = \left(K_{i,\max} - K_{i,\min}\right)K_i' + K_{i,\min} \tag{2.21}$$

$$K_d = K_p^2/(\alpha K_i) \tag{2.22}$$

เมื่อได้ศึกษาพื้นฐานความรู้ในทฤษฎีระบบควบคุมที่กำกับดูแลด้วยฟัซซีดังที่ได้กล่าวถึงในบทนี้แล้ว ก็จะทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่กำกับดูแลด้วยฟัซซีในการควบคุมกระบวนการกลั่นโดยวิธีการจำลองระบบการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ การทดลองจะเปรียบเทียบผลการควบคุมกับการควบคุมแบบพีไอธรรมดา

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลั่น

เนื่องจากกระบวนการกลั่นเป็นระบบไม่เป็นเชิงเส้นสูง และการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แม่นยำเพื่ออธิบายกระบวนการกลั่นทำได้ลำบาก ดังนั้นในที่นี้จะเลือกใช้แบบจำลองอย่างง่ายในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนซึ่งศึกษาโดย Wood และ Berry [29] แบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเข้าได้แก่อัตราส่วนการป้อนสารกลับยอดหอ (L) และอัตราการป้อนไอ (V) กับผลตอบที่สนใจได้แก่อุณหภูมิที่ยอดหอและฐานหอ ดังนี้

$$\begin{bmatrix} T_{top} \\ T_{bottom} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ V \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{1F} \\ G_{2F} \end{bmatrix} F \tag{2.23}$$

เมื่อ

$$G_{11} = \frac{-0.038\,e^{-0.5s}}{8s+1} \qquad G_{12} = \frac{0.046\,e^{-0.5s}}{11s+1}$$

$$G_{21} = \frac{-0.23\,e^{-1.5s}}{8s+1} \qquad G_{22} = \frac{0.62\,e^{-0.5s}}{10s+1}$$

$$G_{1F} = \frac{-0.001\,e^{-1.0s}}{10s+1} \qquad G_{2F} = \frac{-0.18\,e^{-1.0s}}{5.5s+1}$$

T_{top} คือ อุณหภูมิของชั้นภายในหอกลั่น ณ ตำแหน่งยอดหอ

T_{bottom} คือ อุณหภูมิของชั้นภายในหอกลั่น ณ ตำแหน่งฐานหอ

F คือ อัตราการป้อนสารกลางหอ

หน่วยของอัตราขยายคือ องศาเซลเซียส-ชั่วโมง/กิโลกรัม หน่วยของค่าคงตัวเวลาและการล้าหลังทางเวลาคือนาที เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองระบบไม่ได้หาจากหอกลั่นของห้องปฏิบัติการวิจัย ดังนั้นการจำลองระบบจึงเป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการใช้ตัวควบคุมนี้เท่านั้น เมื่อปฏิบัติงานกับหอกลั่นจริงอาจต้องมีการปรับจูนค่าพารามิเตอร์พีไอเริ่มต้นให้เหมาะสมกับระบบจริงของห้องปฏิบัติการวิจัยก่อน

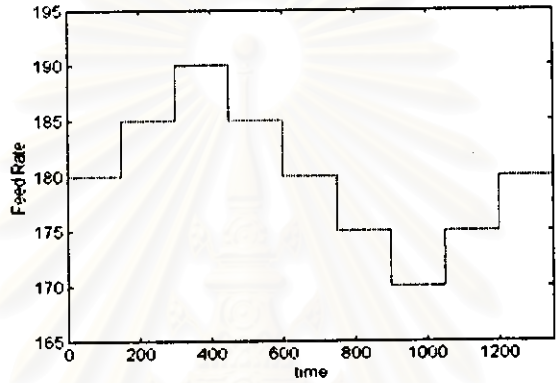
โครงสร้างของระบบควบคุม

เนื่องจากหอกลั่นเป็นระบบหลายตัวแปรเข้าหลายตัวแปรออก ตัวแปรต่างๆในระบบกระบวนการกลั่นมีผลต่อผลตอบที่เราสนใจทั้งสิ้น แต่ตัวแปรในการควบคุมมีลักษณะเป็นคู่กันกับผลตอบที่สนใจ คู่ตัวแปรเหล่านี้จะเป็นกรณีที่ตัวแปรส่งผลต่อผลตอบมากที่สุด เช่นการป้อนสารกลับยอดหอ (L) คู่กับคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ยอดหอ และการป้อนไอ (V) คู่กับคุณภาพสารผลิตภัณฑ์ฐานหอ แต่ในทางปฏิบัติจริงไม่นิยมการวัดความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์โดยตรงเพื่อการป้อนกลับเพราะต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นานพอสมควรและเครื่องมือในการวัดมีราคาสูง จึงเลือกใช้การวัดผลตอบอุณหภูมิของชั้นที่เหมาะสมภายในหอกลั่นแทนความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิจุดเดือดมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารในสภาวะสมดุลตามแผนภาพจุดเดือดของสารผสมที่ต้องการกลั่นนั้นเมื่อความดันตกคร่อมหอมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวควบคุมพีไอ 2 ตัวที่กำกับดูแลด้วยพัชชีเพื่อควบคุมคู่ตัวแปรทั้งสองคู่ การควบคุมมี 2 วงรอบ ได้แก่วงรอบการควบคุมอุณหภูมิที่ยอดหอและที่ฐานหอ แต่ละวงรอบจะพิจารณาเสมือนการควบคุมระบบแบบ SISO

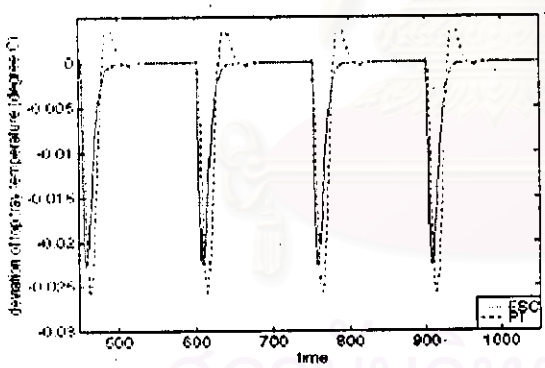
ผลการจำลองระบบ

ในที่นี้จะเลือกค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ K_p และ K_I ที่ทำให้ระบบมีเสถียรภาพ โดยจะพิจารณาเลือกจากช่วงค่า $[K_{p,\min}, K_{p,\max}]$ และ $[K_{I,\min}, K_{I,\max}]$ ในการจำลองระบบจะสมมติให้อุณหภูมิและองค์ประกอบของสารป้อนเข้ารวมทั้งความดันหอมีค่าคงที่ พิจารณาเมื่อระบบอยู่ในสภาวะอยู่ตัว ผลการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้าเป็นแบบขั้นเปรียบเทียบในสองกรณี คือ กรณีใช้ตัวควบคุมพีไอในวงรอบยอดหอและวงรอบฐานหอ โดยมีค่า K_p =2, K_I =0.5 และ กรณีใช้ตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยพัชชีทั้งสองวงรอบ มีค่า $K_{p,\max}$ =2 และ $K_{I,\max}$ =0.5 เหมือนกันทั้งสองวง

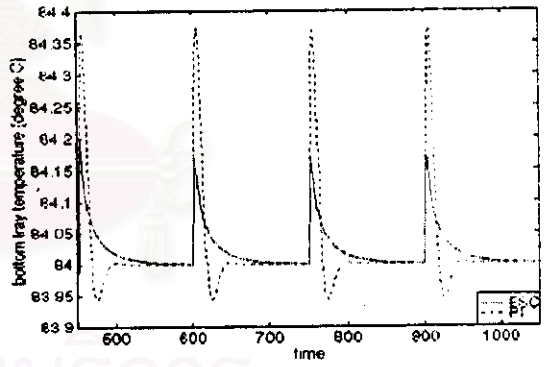
รอบ เลือกค่าเริ่มต้นของ $K_p = 1$ และ $K_I = 0$ กราฟผลตอบแสดงดังรูปที่ 2.11 ถึง 2.14 จะเห็นว่าการใช้ตัวควบคุมพีไอที่กำกับดูแลด้วยฟัซซีทั้งวงรอบยอดหอและวงรอบฐานหอ สามารถลดผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสารเข้ากลางหอที่มีต่อผลตอบอุณหภูมิยอดหอได้รวดเร็วกว่ากรณีใช้ตัวควบคุมพีไอธรรมดา แต่ผลตอบอุณหภูมิฐานหอจะมีเวลาเข้าช้ากว่าเล็กน้อย และผลตอบทั้งสองวงรอบต่างก็มีส่วนพุ่งเกินต่ำกว่ากรณีตัวควบคุมพีไอ



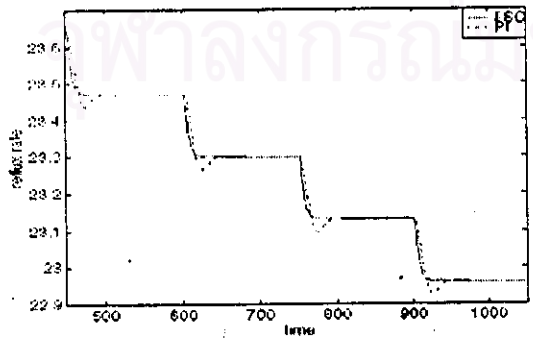
รูปที่ 2.10 การรบกวนของอัตราป้อนสารเข้ากลางหอที่ใช้ศึกษา



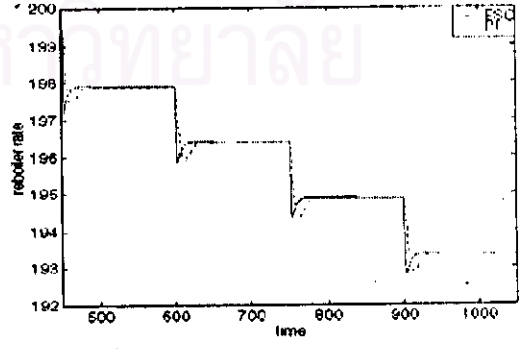
รูปที่ 2.11 ผลตอบส่วนเบี่ยงเบนอุณหภูมิยอดหอ



รูปที่ 2.12 ผลตอบอุณหภูมิฐานหอ



รูปที่ 2.13 อัตราการป้อนสารกลับยอดหอ



รูปที่ 2.14 อัตราการป้อนไอฐานหอ

สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอที่กำกับดูแลด้วยตัวควบคุมฟัซซี โดยตัวควบคุมแบบพีไอทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมหลัก และมีตัวควบคุมฟัซซีทำหน้าที่วิเคราะห์สถานการณ์ต่างๆแล้วทำการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลักตามความเหมาะสม การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีเป็นการใช้ความรู้เกี่ยวกับลักษณะของผลตอบขณะเวลาหนึ่งๆ ประกอบกับความรู้เกี่ยวกับกระบวนการที่ต้องการควบคุม นำมาพิจารณาสร้างฟังก์ชันภาวะสมาชิกสำหรับตัวแปรเข้าและตัวแปรออกต่างๆ และสร้างฐานกฎการควบคุมขึ้น เนื่องจากในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีเป็นการอาศัยความรู้และประสบการณ์ของผู้ออกแบบ ดังนั้นเมื่อออกแบบแล้วควรทำการทดสอบผลการควบคุมที่ได้ก่อนนำไปใช้จริง การทดสอบอาจทำกับหอกลั่นทดลองขนาดเล็กหรือใช้การจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ก็ได้ แต่ต้องคำนึงเกี่ยวกับความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลั่นที่ใช้ในการจำลองระบบด้วย

ในที่นี้ใช้การจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบผลการควบคุมที่มีการกำกับดูแลด้วยตัวควบคุมฟัซซี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอกลั่นใช้แบบจำลองอย่างง่ายที่ศึกษาโดย Wood และ Berry ผลการจำลองระบบแสดงว่าตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยฟัซซีนี้ให้ผลตอบที่ดีพอสมควร การออกแบบตัวควบคุมก็ทำได้ไม่ยุ่งยากมากนัก ดังนั้นจะนำตัวควบคุมแบบกำกับดูแลด้วยตัวควบคุมฟัซซีนี้ไปประยุกต์ใช้ควบคุมกระบวนการกลั่นจริงของหอกลั่นของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย