

## บทที่ 5

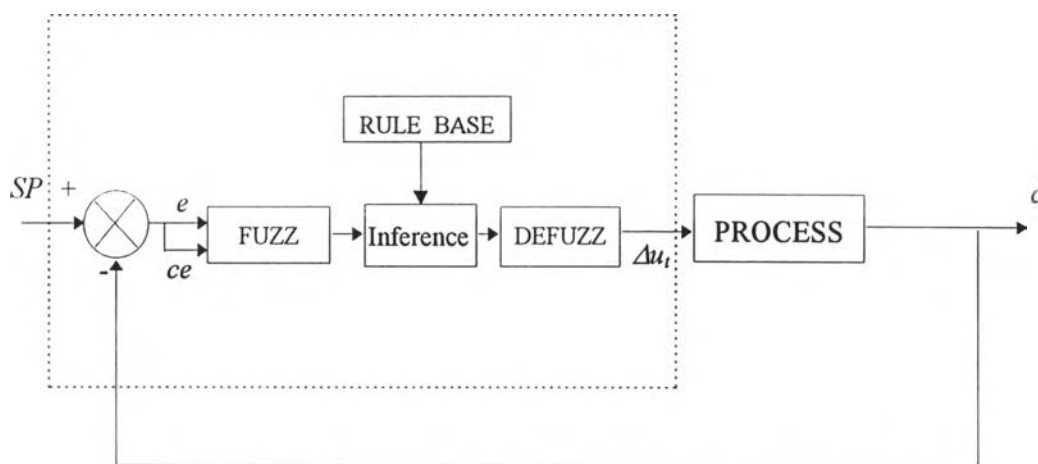
### การออกแบบตัวควบคุมกระบวนการ แบบพีชชีลอจิก

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการออกแบบตัวควบคุมพีชชีลอจิก โดยจะยึดแนวทางการออกแบบตัวควบคุมในบทที่ 3 ซึ่งลักษณะของตัวควบคุมพีชชีในงานวิจัยนี้ออกแบบด้วยกลยุทธ์ของการแบ่งย่านการควบคุมออกเป็นย่านเกินสูงและย่านเกินต่ำ โดยมีกฎที่ใช้เฉพาะในแต่ละย่าน โดยกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบ ได้แก่ นิยามตัวแปรระบบ การนิยามตัวแปรภาษาและจำนวนของพีชชีเซตสำหรับตัวแปรอินพุทและเอาต์พุท ลักษณะและโครงสร้างของฟังก์ชันสมาชิก เทคนิคในการพีชชีฟิเคชัน แนวทางการออกแบบกฎการควบคุม วิธีการอนุมาน วิธีการดีพีชชี และในที่สุดท้ายจะเป็นการเสนอวิธีการปรับจูนตัวควบคุมพีชชีสำหรับงานวิจัยนี้ พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการปรับจูนกระบวนการทดลอง

#### 5.1 การออกแบบตัวควบคุมแบบพีชชีลอจิก

ตัวควบคุมพีชชีลอจิกแบบพื้นฐานแสดงในรูปที่ 5.1 โดยที่ตัวแปรสำคัญคือตัวแปรอินพุทซึ่งแสดงใช้สถานะการณที่เกิดขึ้นกับกระบวนการ มีเพียงสองตัวคือ ความผิดพลาด ( $e$ ) และการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด ( $ce$ ) จึงเป็นการยากที่ตัวควบคุมดังกล่าวจะสามารถรองรับ

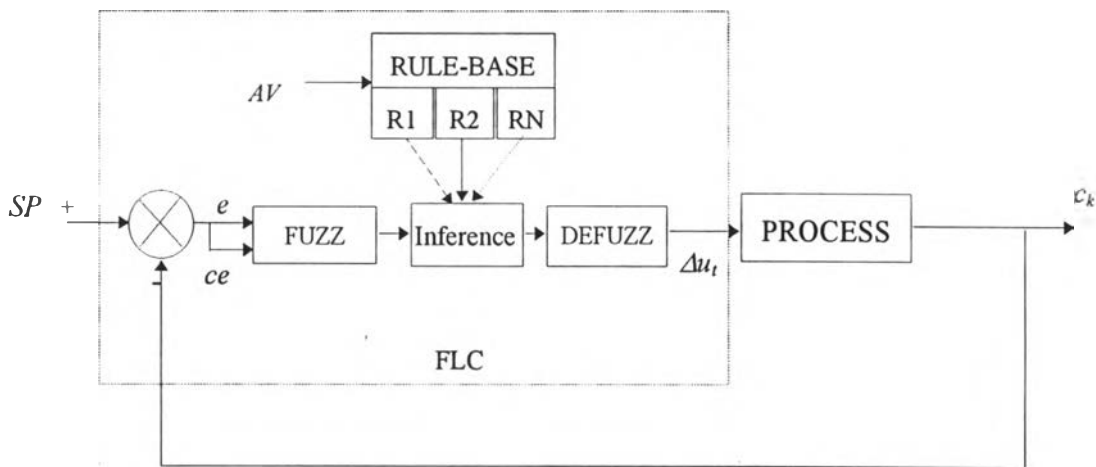
กับลักษณะของความไม่เชิงเส้นของทั้งกระบวนการ ได้ทั้งหมด กล่าวคือตัวควบคุมอาจทำงานได้ดีในย่านแกนกระบวนการต่ำโดยมีลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่ค่อนข้างเป็นไปอย่างฉับพลันเพื่อลดเวลาขาขึ้น (Rise time) ของกระบวนการ แต่ขณะเดียวกันลักษณะสัญญาณเอาต์พุตเช่นนี้จะทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพการควบคุมในย่านแกนกระบวนการสูง



รูปที่ 5.1 โครงสร้างตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกแบบพื้นฐาน

กระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยส่วนมากมักมีคุณลักษณะที่ไม่เชิงเส้น ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามย่านปฏิบัติการ (Operating region) ภายในกระบวนการ โดยย่านของกระบวนการนั้นอาจแบ่งได้เป็น ย่านแกนสูง ย่านแกนต่ำ ค่าคงที่เวลา (Time constant) มาก ไทม์ดีเลย์ (Time delay) มาก เป็นต้น ถ้าแกนกระบวนการ ( $K_p$ ) ค่าคงที่เวลา ( $\tau_p$ ) และ ไทม์ดีเลย์ ( $T_d$ ) ใช้บ่งชี้ความไม่เชิงเส้นของกระบวนการ คุณลักษณะเหล่านี้จะขึ้นกับย่านที่ต่างกันในกระบวนการ สำหรับกระบวนการทดลองในงานวิจัยนี้ เป็นกระบวนการที่มีลักษณะของแกนไม่คงที่ดังนั้นการออกแบบตัวควบคุมจึงต้องพิจารณาถึงย่านการทำงานต่างๆ ตามลักษณะแกนของกระบวนการ

การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกในงานวิจัยนี้ จะเป็นการออกแบบโดยคำนึงถึงย่านของความไม่เชิงเส้นของกระบวนการ (Qin และ Borders, 1993) ซึ่งจำแนกได้เป็น ย่านแกนสูงและย่านแกนต่ำ ดังนั้นจึงสามารถที่จะเลือกออกแบบหรือกำหนดลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตให้มีค่าที่สอดคล้องกับย่านของแกนของกระบวนการต่างๆ ได้ เช่นการทำงานในย่านแกนสูง ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นแบบนุ่มนวลค่อยเป็นค่อยไป แต่สำหรับย่านแกนต่ำเอาต์พุตจะเป็นแบบเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด โครงสร้างของตัวควบคุมแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 โครงสร้างตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกแบบแบ่งย่านการทำงาน

นอกจากตัวแปรอินพุตคือ ความผิดพลาด  $e$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด  $ce$  แล้ว ตัวแปรช่วย  $AV$  จะเป็นตัวแปรซึ่งบ่งชี้ย่านปฏิบัติการภายในกระบวนการและเป็นตัวกำหนดชุดของกฎที่มีพฤติกรรมที่สอดคล้องกับแกนของกระบวนการในย่านนั้นๆ เพื่อใช้อนุมานหาค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างจะแสดงในสมการ

$$\Delta u = f(c, ce, AV) \quad (5.1)$$

โดย  $f$  หมายความว่าถึงความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นของตัวควบคุมแบบฟัซซี  
 ตัวแปรช่วย  $AV$  อาจเป็นเอาต์พุตจากตัวควบคุม  $u$ , หรือตัวแปรควบคุม  $c$  หรือระดับ  
 ปฏิบัติการเซ็ทพอยท์  $SP$  ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าใช้ตัวแปรใดในการนิยามหรือบ่งชี้ย่านปฏิบัติการ  
 ตัวอย่างเช่นการควบคุมระดับน้ำในกระบวนการทดลอง ซึ่งสามารถแบ่งย่านปฏิบัติการได้ตาม  
 เกนของกระบวนการที่ระดับความสูงปฏิบัติการใดๆ ดังนั้นเราจึงสามารถใช้ระดับความสูง  
 ปฏิบัติการหรือระดับของเซ็ทพอยท์เป็นตัวแปรช่วยได้ ขั้นตอนและรายละเอียดในการออกแบบ  
 ตัวควบคุมมีดังต่อไปนี้

#### 5.1.1 ขอบเขตของเอกภพ (Universe of discourse)

ส่วนนี้จะเป็นส่วนแรกในการออกแบบตัวควบคุม ซึ่งเป็นการกำหนดตัวแปรที่ใช้กับ  
 ระบบการควบคุม ตัวแปรทั้งหมดนิยามได้ดังนี้

ก.  $e_t$ : ความผิดพลาด นิยามโดยผลต่างระหว่างระดับของเซ็ทพอยท์กับระดับของน้ำใน  
 ถึงขณะนี้ จะเขียนได้เป็น

$$e_t = SP_t - PV_t \quad (5.2)$$

เมื่อ  $SP_t$  คือระดับของเซ็ทพอยท์ปัจจุบัน

$PV_t$  คือตัวแปรควบคุมหรือระดับน้ำที่วัดได้ในปัจจุบัน

นั่นคือถ้า  $e_t$  มีค่าเป็นบวก แสดงว่าขณะนั้นระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าค่าเซ็ทพอยท์ ถ้า  $e_t$  เป็นลบแสดงว่าระดับน้ำอยู่สูงกว่าค่าเซ็ทพอยท์ และถ้า  $e_t$  เป็นศูนย์ จะหมายถึงระดับน้ำอยู่ที่จุดสมดุลหรือค่าเซ็ทพอยท์

ข.  $ce_t$ : การเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด นิยามโดย ผลต่างของความผิดพลาดที่วัดได้ในปัจจุบันกับความผิดพลาดที่วัดได้จากครั้งก่อนในช่วงเวลาการเก็บข้อมูล ซึ่งเขียนเป็นสมการได้คือ

$$ce_t = (e_t - e_{t-1}) \quad (5.3)$$

โดย  $e_t$  คือความผิดพลาดในปัจจุบัน

$e_{t-1}$  คือความผิดพลาดในครั้งก่อน

นั่นคือถ้า  $ce_t$  มีค่าเป็นบวก แสดงว่าขณะนั้นระดับน้ำกำลังออกห่างจากเซ็ทพอยท์ ถ้า  $ce_t$  เป็นลบแสดงว่าระดับน้ำกำลังเข้าใกล้เซ็ทพอยท์ และถ้า  $ce_t$  เป็นศูนย์ จะหมายถึงระดับน้ำเข้าสู่จุดสมดุลหรืออาจเกิดออฟเซ็ท (offset) กับกระบวนการ

ค.  $AV_t$ : ย่านการทำงานของตัวควบคุม นิยามโดยระดับของเซ็ทพอยท์ เนื่องจากสามารถแสดงถึงความไม่เชิงเส้นของกระบวนการที่ระดับความสูงใดๆ เพื่อใช้พิจารณาออกแบบกฎการควบคุมในแต่ละย่านการทำงาน

$$AV_t = SP_t \quad (5.4)$$

ตัวแปรช่วย  $AV_t$  จะถูกปรับค่าให้อยู่ในช่วงเอกภพ  $[-1,1]$  โดยการคำนวณตามค่าฟูสเกลของการวัดเก็บข้อมูล ซึ่งค่าฟูสเกลของการวัดเก็บข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่า เท่ากับ 10 โวลต์ ดังนั้นตัวแปรช่วย  $AV_t$  จะเขียนได้ด้วยสมการ

$$AV_t^* = (AV_t - 5)/5 \quad (0 \leq AV_t \leq 10) \quad (5.5)$$

นั่นคือ  $AV_t^*$  มีค่าเป็นบวกจะหมายถึงขณะนั้นระบบกำลังปฏิบัติการอยู่ในส่วนบนของกระบวนการซึ่งมีแกนสูง  $AV_t^*$  มีค่าเป็นศูนย์แสดงว่าระบบปฏิบัติการอยู่ในช่วงกลางกระบวนการซึ่งเป็นย่านเกณฑ์ และถ้า  $AV_t^*$  มีค่าเป็นลบแสดงว่าระบบกำลังปฏิบัติการอยู่ในส่วนล่างซึ่งเป็นย่านเกณฑ์

ง.  $\Delta u_t$ : การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุตจากตัวควบคุมในช่วงของการเก็บข้อมูล จะเป็นตัวแปรที่แสดงการกระทำของตัวควบคุม ในการปรับกระบวนการสำหรับแต่ละเหตุการณ์

ค่าเอาต์พุตจริงของตัวควบคุมจะเป็นผลรวมของค่าสัญญาณเอาต์พุตเดิมกับการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณในปัจจุบันแสดงในสมการที่ (5.6)

$$u_t = u_{t-1} + \Delta u_t \quad (5.6)$$

ตัวแปรทั้งหมดจะถูกสเกลค่าให้อยู่ในช่วงเอกภพ  $[-1,1]$  ค่าของแต่ละตัวแปรจะถูกปรับให้มีช่วงกว้างหรือแคบซึ่งกำหนดโดยแฟคเตอร์การสเกล การสเกลค่าตัวแปรต่างๆ จะแสดงด้วยสมการ

$$e_t^* = e_t/S_e \quad (-S_e \leq e_t \leq S_e) \quad (5.7)$$

$$ce_t^* = ce_t/S_{ce} \quad (-S_{ce} \leq ce_t \leq S_{ce}) \quad (5.8)$$

$$\Delta u_i^* = \Delta u_i / S_{\Delta u} \quad (5.9)$$

โดย  $S_e$ ,  $S_{ce}$  และ  $S_{\Delta u}$  คือแฟกเตอร์การสเกลของ  $e$ ,  $ce$  และ  $\Delta u$  ตามลำดับ

ตัวแปรอินพุตทั้งหมดจะถูกสเกลค่าและส่งเข้าสู่กระบวนการฟuzzyฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนค่าให้อยู่ในเอกภพของฟuzzyตามฟuzzyเซตต่างๆ ที่ได้นิยามไว้ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป เอาท์พุทจากการอนุมานคือตัวแปร  $\Delta u_i^*$  จะมีค่าอยู่ในช่วง  $[-1,1]$  และจะถูกปรับให้เป็นค่าจริงในช่วง  $[-10,10]$  ด้วยค่าฟูสเกลของการ์ดเก็บสัญญาณซึ่งในที่นี้กำหนดให้มีค่า 10 โวลต์และสเกลค่าออกด้วย  $S_{\Delta u}$  เพื่อใช้คำนวณค่าเอาท์พุทจริงของตัวควบคุม  $u$ ,

### 5.1.2 ตัวแปรภาษาและฟuzzyเซต

การกำหนดตัวแปรภาษาและจำนวนฟuzzyเซตของระบบจะเป็นขั้นตอนต่อไปของการออกแบบ ซึ่งการกำหนดจำนวนฟuzzyเซตสำหรับแต่ละตัวแปรจะขึ้นกับความละเอียดในการควบคุมที่ต้องการ จำนวนของฟuzzyเซตมากจะหมายถึงความถึงการทำงานที่ต้องการความละเอียดสูงซึ่งจะมีความยุ่งยากในการออกแบบกฎการควบคุมเนื่องจากจำนวนของความเป็นไปได้ของเหตุการณ์มีมาก จำนวนฟuzzyเซตที่น้อยจะทำให้การออกแบบกฎเป็นไปได้ง่ายขึ้น เพราะจะมีจำนวนกฎที่เป็นไปได้น้อยแต่ความละเอียดในการควบคุมจะลดน้อยลงด้วย การนิยามจำนวนฟuzzyเซตสำหรับแต่ละตัวแปรจะใช้การพิจารณาจากความจำเป็นและประสบการณ์ในการควบคุมกระบวนการนั้นๆ เป็นหลัก จำนวนฟuzzyเซตที่นิยามสำหรับตัวแปรต่างๆ ในงานวิจัยจะพิจารณาจากความจำเป็นในการใช้งาน คือเลือกใช้จำนวนฟuzzyเซต 5 ฟuzzyเซตสำหรับตัวแปรอินพุต  $e$  และ  $ce$  3 ฟuzzyเซตสำหรับตัวแปรช่วย  $AV$  นั่นคือแบ่งย่านปฏิบัติการออกเป็น 3 ย่าน

และ 7 ฟัชซีเซตสำหรับตัวแปรเอทพุท  $\Delta u$ , เพื่อเพิ่มความเป็นไปได้ของข้อสรุปสำหรับแต่ละเหตุการณ์ ทำให้การควบคุมมีความละเอียดมากขึ้นได้โดยไม่ต้องใช้จำนวนกฎการควบคุมที่มากนัก ฟัชซีเซตสำหรับตัวแปรทั้งหมดแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงฟัชซีเซตของแต่ละตัวแปร

ตัวแปร	ฟัชซีเซต
$e^*$	{PB, PS, ZE, NS, NB}
$ce^*$	{PB, PS, ZE, NS, NB}
$AV^*$	{PB, ZE, NB}
$\Delta u^*$	{PB, PM, PS, ZE, NS, NM, NB}

โดย PB = Positive Big

PM = Positive Medium

PS = Positive Small

ZE = Zero

NS = Negative Small

NM = Negative Medium

NB = Negative Big



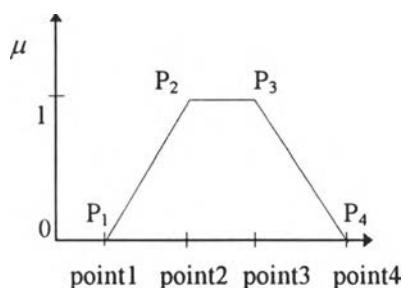
### 5.1.3 ฟังก์ชันสมาชิก

รูปแบบของฟังก์ชันสมาชิกสำหรับระบบฟัซซีมีหลายรูปแบบตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 สำหรับการประยุกต์ในด้านการควบคุมนั้น รูปแบบที่ใช้โดยทั่วไปได้แก่ฟังก์ชันสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมคางหมู และ ฟังก์ชัน  $\pi$  สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ฟังก์ชันแบบสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมคางหมูเท่านั้น เนื่องจากเป็นรูปแบบที่สะดวกในการปรับเปลี่ยนรูปทรงในการปรับจูนมากที่สุด

โครงสร้างของฟังก์ชันสมาชิกที่ใช้ จะประกอบด้วยพารามิเตอร์ 4 ตัวคือ  $P_1, P_2, P_3$  และ  $P_4$  โดยจะนิยามได้ด้วยโคออร์ดิเนตต่อไปนี้

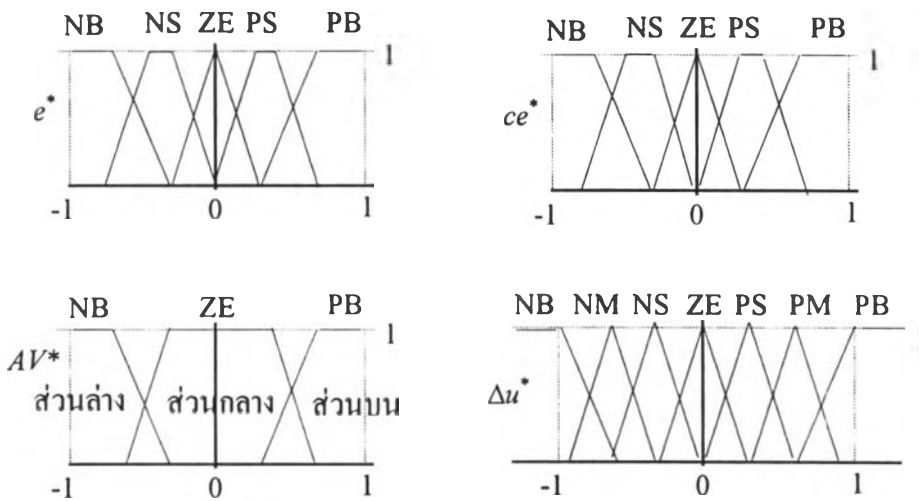
$$P_1 = (\text{point1}, 0) : \quad P_2 = (\text{point2}, 1) : \quad P_3 = (\text{point3}, 1) : \quad P_4 = (\text{point4}, 0)$$

รูปร่างของฟังก์ชันแสดงได้ในรูปที่ 5.3 การปรับเปลี่ยนรูปทรงของฟังก์ชันสามารถทำได้โดยการปรับตำแหน่งของตัวแปร  $\text{point1}, \text{point2}, \text{point3}$  และ  $\text{point4}$  โดยมีเงื่อนไขคือ  $\text{point1} \leq \text{point2} \leq \text{point3} \leq \text{point4}$  ภายในช่วงเอกภพของตัวแปรนั้นๆ เช่นเมื่อต้องการฟังก์ชันสมาชิกรูปสามเหลี่ยมจะสามารถสร้างได้โดยการกำหนดให้  $\text{point2} = \text{point3}$  และถ้าต้องการรูปสี่เหลี่ยมคางหมูก็ทำได้โดยให้  $\text{point2} \neq \text{point3}$



รูปที่ 5.3 แสดงโครงสร้างฟังก์ชันสมาชิก

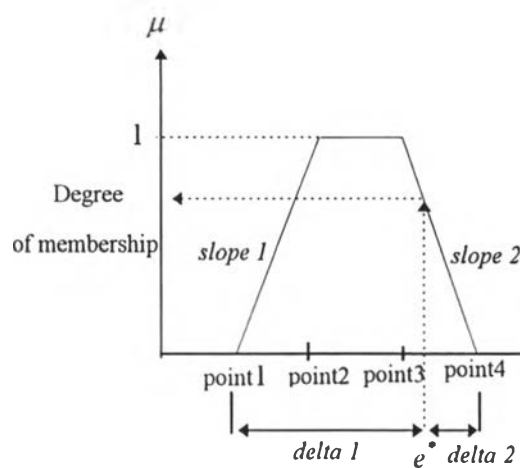
ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรทั้งหมดแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 นิยามฟังก์ชันสมาชิกของตัวควบคุม

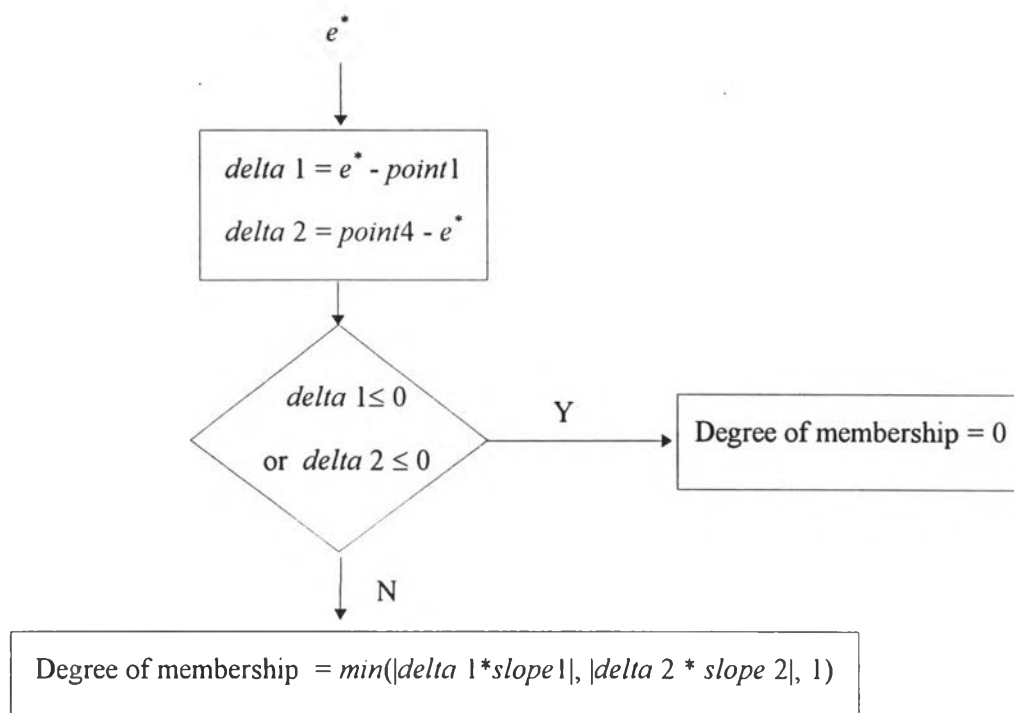
5.1.4 กระบวนการฟัซซีฟิเคชัน

กระบวนการนี้เป็นการแปลงตัวแปรอินพุตซึ่งเป็นค่าคริสพ์ให้อยู่ในรูปของตัวแปรฟัซซีเพื่อใช้ในกระบวนการอนุมาน งานวิจัยนี้จะใช้วิธีการคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิกโดยวิธีการของ Viot (1993) ซึ่งวิธีการจะแสดงได้ในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แสดงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต  $e^*$

สรุปเป็นแผนภูมิสายงานคือ



รูปที่ 5.6 แผนภูมิสายงานการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต  $e^*$

ตัวอย่างการคำนวณ

สมมติโครงสร้างของฟังก์ชันสมาชิก  $PS$  แสดงในรูปตัวแปร โครงสร้าง point1-point4 ดังนี้

$$\text{point } 1 = 0, \text{ point } 2 = 0.2, \text{ point } 3 = 0.4, \text{ point } 4 = 0.5$$

สมมติตัวแปรอินพุต  $e^*$  มีค่าเป็น 0.1 การคำนวณหาค่าดีกรีความเป็นสมาชิกของ  $e^*$  ใน

ฟังก์ชัน  $PS$  แสดงได้ดังนี้

$$\text{delta } 1 = 0.1 - 0 = 0.1$$

$$\text{delta } 2 = 0.5 - 0.1 = 0.4$$

$$\text{slope1} = (0 - 1) / (0 - 0.2) = 5$$

$$\text{slope2} = (1 - 0) / (0.4 - 0.5) = -10$$

$$\mu_{PS}(0.1) = \min\{|0.1 * 5|, |0.4 * (-10)|, 1\} = \min\{0.5, 4, 1\} = 0.5$$

นั่นคือ  $e^*$  ซึ่งมีค่า 0.1 จะมีค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต  $PS$  เท่ากับ 0.5 ตัวแปรอื่นๆ จะหาได้ด้วยวิธีเดียวกัน ค่าความเป็นสมาชิกที่คำนวณได้เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการอนุมานซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

#### 5.1.5 กฎการควบคุม

การสร้างกฎการควบคุม จะเป็นการกำหนดข้อสรุปหรือเอาท์พุทฟัซซีเพื่อให้ตัวควบคุมสามารถทำงานต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในส่วนองเงื่อนไขนั้นๆ กฎเหล่านี้จะอยู่ในรูปของเงื่อนไขการตัดสินใจการควบคุมกระบวนการของผู้ออกแบบ โดยอยู่ในรูปของกฎทางภาษา ตัวอย่างกฎการควบคุมสำหรับกระบวนการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงได้ในรูปแบบของภาษาธรรมชาติคือ

IF “Level is little higher than a setpoint”

AND “Rate of change in level is close to a setpoint”

AND “Setpoint is in a high gain region”

THEN “Maintain the flowrate of inlet water”

ELSE

IF “Level is far lower than a setpoint”

AND “Rate of change in level is far from a setpoint”

AND “Setpoint is in a low gain region”

THEN “Increase the flowrate of inlet water a lot”

ELSE ...

กฎการควบคุมข้างต้นจะเขียนได้ในรูปแบบทั่วไปดังสมการที่ (5.10)

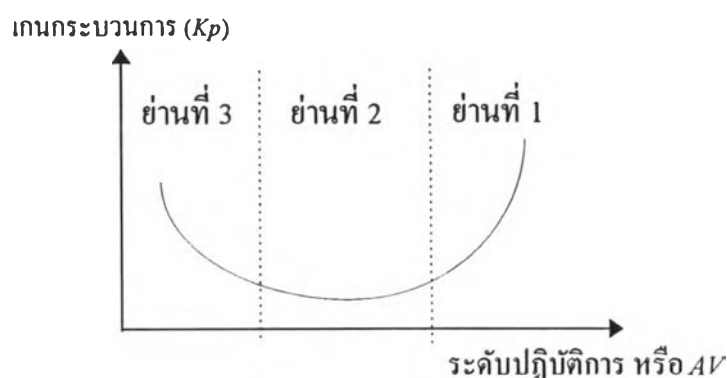
IF  $e$  is  $A_i$ ; AND  $ce$  is  $B_i$ ; AND  $AV$  is  $C_i$ ; THEN make  $\Delta u$   $D_i$ ; (5.10)

เมื่อ  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  และ  $D_i$  เป็นตัวแปรภาษาซึ่งแสดงถึงเหตุการณ์ต่างๆ ในลักษณะฟัซซีเซตสำหรับ

ตัวแปร  $e$ ,  $ce$ ,  $AV$  และ  $\Delta u$  ตามลำดับ

จากโครงสร้างของกฎข้างต้น แต่ละย่านการทำงานของตัวควบคุมจะแสดงด้วยตัวแปร  $AV$  ซึ่งหลักในการออกแบบกฎการควบคุมในแต่ละย่านการทำงานคือ การแสดงการป้อนกลับแบบลบเพื่อรักษาเสถียรภาพของการควบคุม โดยเอาท์พุทหรือข้อสรุปในแต่ละกฎจะถูกกำหนดจากความเห็นและประสบการณ์ของผู้ออกแบบตามสถานะการณ์ที่เกิดขึ้นกับกระบวนการ

จากโครงสร้างของกระบวนการทดลอง เราสามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของกระบวนการได้ โดยพิจารณาจากลักษณะการเปลี่ยนแกนกระบวนการตามระดับปฏิบัติการซึ่งแสดงด้วยตัวแปร  $AV$  โดยสามารถทำประมาณแบบคร่าวๆ ได้ในรูปที่ 5.7

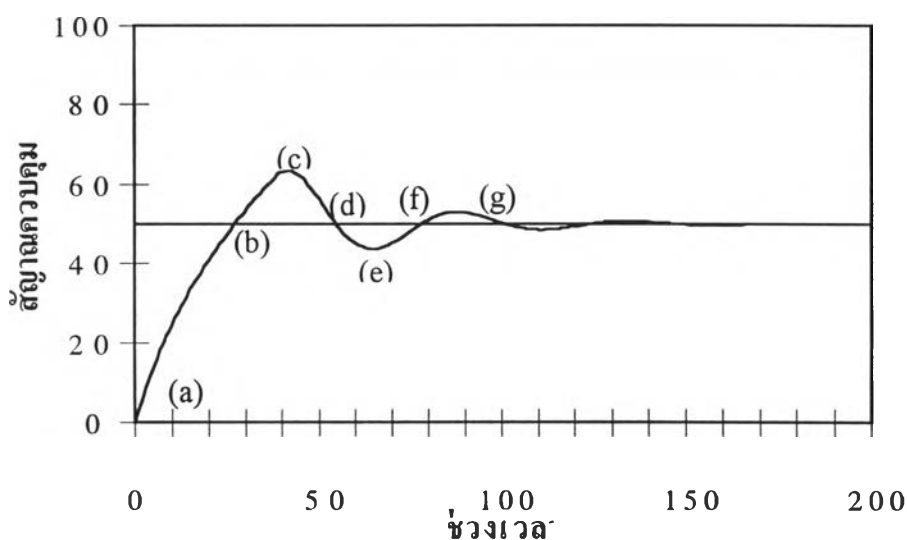


รูปที่ 5.7 คุณลักษณะโดยประมาณของกระบวนการทดลอง

จากคุณลักษณะของกระบวนการทำให้สามารถแบ่งย่านการทำงานออกเป็น 3 ย่าน โดย ย่านที่ 1 (แทนด้วยพีชชีเซต  $PB$ ) คือส่วนบนของดังจะเป็นย่านเกินกระบวนการสูง การออกแบบ เออร์ทพุทของกฎสำหรับการทำงานภายในย่านนี้ควรจะเป็นไปในลักษณะของสัญญาณเออร์ทพุท หรือ  $\Delta u$  ที่ค่อนข้างนุ่มนวลเพื่อลดการเกิดโอเวอร์ชูทของตัวแปรควบคุม ย่านการทำงานที่ 2 (แทนด้วยพีชชีเซต  $ZE$ ) คือส่วนกลางของดังเป็นย่านเกินกระบวนการค่อนข้างต่ำ ดังนั้น สัญญาณเออร์ทพุทจากตัวควบคุมภายในย่านนี้ ควรจะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและค่อนข้างมากเพื่อที่จะสามารถลดเวลาขาขึ้นของตัวแปรควบคุมซึ่งทำให้ได้ผลตอบสนองที่เร็วขึ้นขึ้น และในย่านที่ 3 (แทนด้วยพีชชีเซต  $NB$ ) คือส่วนล่างของดังเป็นย่านที่เกินกระบวนการมีค่าสูงอีกครั้ง การออกแบบสัญญาณเออร์ทพุทสำหรับการทำงานในย่านนี้จะคล้ายคลึงกับการออกแบบ สัญญาณเออร์ทพุทในย่านที่ 1 แต่จะแตกต่างที่ทิศทางการเปลี่ยนเกินซึ่งมีทิศตรงกันข้าม เช่นเมื่อ ต้องการให้ระดับเพิ่มขึ้นสำหรับย่านที่ 1 จะสามารถกำหนดให้สัญญาณเออร์ทพุทมีค่าเพิ่มขึ้น (วาล์วเปิดมากขึ้น) ได้ไม่มากนักเนื่องจากเกินกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่ม

ขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่สำหรับการทำงานในย่านที่ 3 นี้ จะสามารถกำหนดให้สัญญาณเอาท์พุทมีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากได้เพื่อชดเชยเกณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่น้อยลง อีกทั้งชดเชยคุณลักษณะของวาล์วควบคุมแบบอีควอลเปอร์เซนต์ซึ่งมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำผ่านวาล์วมีค่าที่น้อยสำหรับตำแหน่งการปิด/เปิดที่น้อยๆ

การออกแบบกฎการควบคุมสำหรับแต่ละย่านปฏิบัติการ จะออกแบบ โดยการสมมติให้ผลตอบสนองจากระบบการเป็นแบบอันดับแรกและไม่มีโพลีศูนย์ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ผลตอบสนองของกระบวนการ

ในแต่ละย่านของการทำงาน เหตุการณ์ที่เป็นไปได้สำหรับแต่ละตัวแปรอินพุทนั้นคือจำนวนของพีชชีเซตที่ได้นิยามไว้ซึ่งมีจำนวนตัวแปรละ 5 พีชชีเซต ดังนั้นจำนวนเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะเป็น  $5 \times 5 = 25$  เหตุการณ์ หรือจะมีจำนวนกฎในย่านนี้ทั้งหมด 25 กฎ แสดงได้ในรูปคู่ลำดับของเงื่อนไขในตารางที่ 5.2, 5.3, 5.4 โดยการพิจารณาคู่ลำดับของเงื่อนไข

ต่างๆในตารางตามเหตุการณ์ที่ควรจะเกิดขึ้นจากผลตอบสนองจากระบวนการในรูปที่ 5.8 จะทำให้สามารถกำหนดเอาท์พุทหรือข้อสรุปของกฎในคู่ลำดับนั้นได้ ตัวอย่างเช่น

พิจารณาตารางที่ 5.2 (ย่านการทำงานที่ 2)

คู่ลำดับ  $e = PB, ce = NB$  (จุด a)

IF  $e$  is PB AND  $ce$  is NB AND  $AV$  is ZE THEN  $CO$  is PB (ลดไรส์ไทม์)

คู่ลำดับ  $e = PS, ce = NB$  (จุด b)

IF  $e$  is PS AND  $ce$  is NB AND  $AV$  is ZE THEN  $CO$  is NM (ลดโอเวอร์ชูท)

กฎอื่นๆ จะสามารถสร้างได้ด้วยวิธีเดียวกัน

กฎการควบคุมที่ออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้ทำโดยพิจารณาถึงย่านการทำงานทั้ง 3 ย่าน ดังนั้นจำนวนกฎที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะมีจำนวน 75 กฎ หลังจากทำการตัดกฎที่ไม่จำเป็นออกแล้วจะเหลือจำนวนกฎที่ใช้ทั้งหมด 57 กฎ ลักษณะของกฎฟัซซีที่ใช้ทั้งหมดจะแสดงในรูปของตาราง FAM (Fuzzy associative memory) ดังแสดงในตารางที่ 5.2, 5.3 และ 5.4



ตารางที่ 5.2 แสดงกฎพีชคณิตในย่านการทำงานที่ 1 ( $AV$  is  $PB$ )

$\begin{matrix} e^* \\ ce^* \end{matrix}$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NM	NS	NB	PB
NS		NS	NS	PS	
ZE		NS	ZE	PS	
PS		PS	PS	PS	
PB	NB	PM	PS	PM	PM

ตารางที่ 5.3 แสดงกฎพีชคณิตในย่านการทำงานที่ 2 ( $AV$  is  $ZE$ )

$\begin{matrix} e^* \\ ce^* \end{matrix}$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NM	NM(b)	PB(a)
NS		NS	NS(f)	PS	
ZE		NS	ZE (g)	PS (e)	
PS		NS	PS	PM	
PB	NB	PS	PM(d)	PB	PB

ตารางที่ 5.4 แสดงกฎฟัซซีในย่านการทำงานที่ 3 ( $AV$  is  $NB$ )

$e^*$ $ce^*$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NM	NS	PS	PB
NS		NS	NS	PM	
ZE		NS	ZE	PM	
PS		PS	PS	PB	
PB	NB	PM	PS	PB	PB

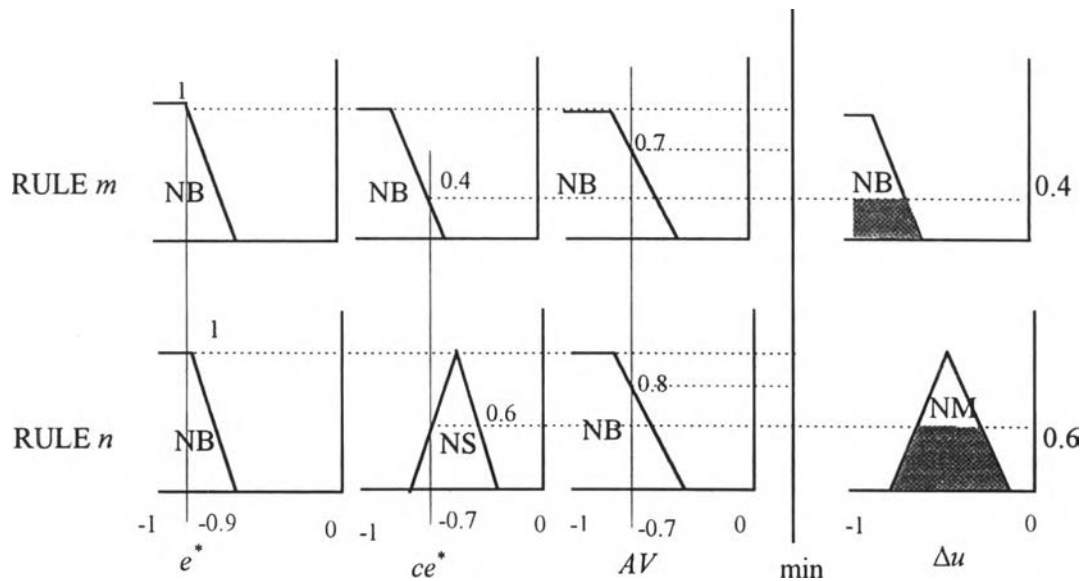
### 5.1.6 กระบวนการอนุมาน

วิธีการอนุมานสำหรับตัวควบคุมฟัซซีลอจิกโดยทั่วไปจะใช้สองวิธีคือวิธีการ *Max-Min* และวิธีการ *Max-Prod* ซึ่งรายละเอียดได้แสดงไว้ในบทที่ 3 เนื่องจากฟัซซีลอจิกในระบบควบคุมนั้นสามารถอนุมานได้ทั้งสองวิธี โดยให้ผลที่คล้ายคลึงกัน งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เพียงวิธีการอนุมานแบบ *Max-Min* ด้วยเหตุผลของการออกแบบอัลกอริทึม โปรแกรมการคำนวณหาค่าเอาต์พุตในขั้นตอนการดีฟัซซีที่ไม่ยากนัก พิจารณาตัวอย่างการอนุมานแบบ *Max-Min* ซึ่งสมมติให้อนุมานด้วยกฎการควบคุม 2 กฎคือ

rule  $m$  : IF  $e$  is NB AND  $ce$  is NB AND  $AV$  is NB THEN  $\Delta u$  is NB

rule  $n$  : IF  $e$  is NB AND  $ce$  is NS AND  $AV$  is NB THEN  $\Delta u$  is NM

การอนุมานแบบ *Max-Min* จะสามารถแสดงได้ในลักษณะของรูปภาพตามรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 การอนุมานแบบ *Max-Min*

การอนุมานทำได้โดยเปลี่ยนค่าตัวแปรอินพุตแบบคริสพีที่ได้จากตัววัดในกระบวนการให้เป็นตัวแปรฟัซซีด้วยกระบวนการฟัซซีฟิเคชันตามที่ได้กล่าวในข้างต้น จนได้ค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละตัวแปรอินพุต จากนั้นนำค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรในแต่ละกฎเชื่อมเข้าด้วยกันด้วยตัวดำเนินการ “AND” ทำให้ได้ผลลัพธ์ซึ่งก็คือค่าความแรงของแต่ละกฎเป็นค่าที่น้อยที่สุดของค่าความเป็นสมาชิกแต่ละตัวแปร ค่าความแรงนี้จะเป็นตัวกำหนดรูปร่างหรือขนาดความสูงของฟังก์ชันสมาชิกในส่วนข้อสรุป  $\Delta u$

จากรูป ความแรงของกฎที่  $m$  หาได้จาก

$$\mu_m = \min\{\mu_{NB}(e^*), \mu_{NS}(ce^*), \mu_{NB}(AV^*)\}$$

$$= \min\{1, 0.4, 0.7\} = 0.4$$

ความแรงของกฎที่  $n$  หาได้จาก

$$\mu_n = \min\{\mu_{NB}(e^*), \mu_{NS}(ce^*), \mu_{NB}(AV^*)\}$$

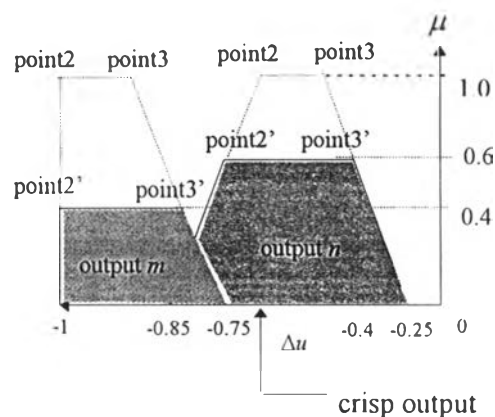
$$= \min\{1, 0.6, 0.8\} = 0.6$$

ค่าความแรงนี้จะเป็ผลให้รูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกในส่วนเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงทำให้ตัวแปร โครงสร้างของฟังก์ชันเปลี่ยนไปด้วย จากกฎที่  $m$  ฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุต  $NB$  จะมีค่าความแรงจากการอนุมานเป็น 0.4 และ ในกฎที่  $n$  ฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุต  $NM$  มีค่าความแรงเป็น 0.6 ค่าเหล่านี้จะนำไปใช้การคำนวณตัวแปร โครงสร้างของฟังก์ชันสมาชิก  $NB$  และ  $NM$  ใหม่เพื่อใช้คำนวณหาเอาต์พุตของระบบในกระบวนการดีฟัซซี่สำหรับหัวข้อต่อไป

### 5.1.7 กระบวนการดีฟัซซี่

งานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีการดีฟัซซี่แบบจุดศูนย์กลางของพื้นที่ เนื่องจากวิธีนี้จะให้ผลของสัญญาณควบคุมที่นุ่มนวลและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด วิธีการดีฟัซซี่แสดงในรูปที่

5.10 ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการอนุมานข้างต้น



รูปที่ 5.10 การดีฟัซซี่แบบจุดศูนย์กลาง

ผลจากกระบวนการอนุমানข้างต้น เอาร์ทพุทของระบบซึ่งเป็นสัญญาณปรับอุปกรณ์ขั้นสุดท้าย จะหาได้โดยการเฉลี่ยค่าเอาร์ทพุทพีซีซีที่ได้จากกฎ  $m$  และ  $n$  ด้วยวิธีหาจุดศูนย์กลางถ่วงของพื้นที่แรง ในรูป 5.10 ดังนี้

คำนวณหาข้อมูลเอาร์ทพุทกฎที่  $m$  (ฟังก์ชันสมาชิก NB)

สมมติให้เอาร์ทพุท  $m$  มีโครงสร้างของฟังก์ชันสมาชิกเดิมตามรูปที่ 5.3 โดยมีข้อมูลโครงสร้างคือ

: point1 = -1.1 point2 = -1 point3 = -0.9 point4 = -0.75

คำนวณหา point2, point3 ใหม่ที่ค่าความแรง strength = 0.4 ได้โดย

$$\text{slope1} = (1-0)/(\text{point2}-\text{point3}) = 1/(-1+1.1) = 10$$

$$\text{point2}' = (\text{strength} - 0)/(\text{slope1}) + \text{point1} = 0.4/10 - 1.1 = -1$$

$$\text{slope2} = (0-1)/(\text{point4} - \text{point3}) = -1/(-0.75 + 0.9) = -6.67$$

$$\text{point3}' = \text{point4} - (0-\text{strength})/\text{slope2} = -0.75 - (0.4/6.67) = -0.8$$

จะได้โครงสร้างของฟังก์ชันสมาชิก NB ใหม่เป็น

point1 = -1.1 point2 = -1 point3 = -0.8 point4 = -0.75

คำนวณพื้นที่แรงของเอาร์ทพุท  $m$

$$A_m = 0.5 * [(1-0.8) + (1-0.75)] * 0.4 = 0.09$$

คำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงพื้นที่  $A_m$

$$W_m = (1-0.75) * 0.5 + 0.75 = 0.9$$

คำนวณหาข้อมูลเอาต์พุตทุกจุดที่  $n$  (ฟังก์ชันสมาชิก  $MM$ )

สมมติให้เอาต์พุต  $n$  มีข้อมูลโครงสร้างฟังก์ชันสมาชิกคือ:

$$\text{point1} = -0.85 \quad \text{point} = -0.5 \quad \text{point3} = -0.5 \quad \text{point} = -0.25$$

คำนวณหา  $\text{point2}$ ,  $\text{point3}$  ใหม่ที่ค่าความแรง  $\text{strength} = 0.6$  ได้ด้วยวิธีเดียวกัน

จะได้โครงสร้างของฟังก์ชันสมาชิก  $MM$  ใหม่เป็น

$$\text{point1} = -0.85 \quad \text{point2} = -0.6 \quad \text{point3} = -0.4 \quad \text{point4} = -0.25$$

คำนวณพื้นที่แรเงาของเอาต์พุต  $n$  และจุดศูนย์กลางถ่วง

$$A_n = 0.5 * [(0.6 - 0.4) + (0.5 - 0.25)] * 0.6 = 0.24$$

$$W_n = (0.85 - 0.25) * 0.5 + 0.25 = 0.55$$

คำนวณหาค่าเอาต์พุตรวมของระบบได้ด้วยสมการจุดศูนย์กลางถ่วงในบทที่ 3

$$\begin{aligned} -\Delta u^* &= \frac{W_m A_m + W_n A_n}{A_m + A_n} \\ &= \frac{(0.9)(0.09) + (0.24)(0.55)}{0.09 + 0.24} \\ &= 0.64 \end{aligned}$$

ถ้า  $S_{\Delta u} = 100\%$  จะได้  $\Delta u = 0.64 * 10 \text{ โวลต์} * 100\% = 6.4 \text{ โวลต์}$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่าเอาต์พุตของระบบคือการลดขนาดของเอาต์พุตเดิมลงมา 6.4 โวลต์ ถ้าเอาต์

พุตเดิมมีค่าเป็น 10 โวลต์ เอาต์พุตใหม่จะเป็น  $u_i = 10 - 6.4 = 3.6 \text{ โวลต์}$

## 5.2 เทคนิคการปรับจูนตัวควบคุม

เทคนิคในการปรับจูนตัวควบคุมพีซซีลอคยังคงไม่มีทฤษฎีที่ใช้กันอย่างแน่นอนเช่นเดียวกับตัวควบคุมพีไอดี วิธีการปรับจูนของแต่ละงานวิจัยจึงแตกต่างกันไป แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นลักษณะของการลองผิดลองถูกเป็นหลัก Qin และ Border (1993) ได้ใช้แนวทางการปรับจูนตัวควบคุมพีซซีลอค ในรูปแบบของการแสดงความสัมพันธ์ของแฟคเตอร์การสเกลกับพารามิเตอร์ปรับจูนของตัวควบคุมพีไอ ซึ่งก็คือการประมาณ โครงสร้างของตัวควบคุมพีซซีให้เทียบเท่ากับ โครงสร้างของตัวควบคุมพีไอ การปรับจูนในทางปฏิบัตินั้นยังใช้ได้ไม่สะดวกนัก เนื่องจากการเทียบโดยสมการทางคณิตศาสตร์ทำให้วิเคราะห์ได้ยาก Yamashita et al. (1987) ปรับจูนตัวควบคุมที่ได้สร้างขึ้นด้วยหลักการที่คล้ายกันแต่เป็นการเทียบแฟคเตอร์การสเกลกับ เกนสัดส่วนของตัวควบคุมพีไอดีเท่านั้น ซึ่งในบางกระบวนการที่มีพลวัตที่ค่อนข้างเร็ววิธีนี้อาจใช้ได้ผลไม่ดีนัก สำหรับงานวิจัยนี้จะเสนอแนวทางในการปรับจูนอีกแบบหนึ่งซึ่งมีลักษณะที่ง่ายไม่ซับซ้อน และไม่เกี่ยวข้องกับสมการคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากใดๆ โดยได้ประยุกต์มาจากแนวทางในการปรับจูนของ Zheng (1992) การปรับจูนทำโดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ปรับจูนทั้งสามตัว คือ  $S_e$ ,  $S_{ce}$  และ  $S_{\Delta u}$  ซึ่งทิศทางของการปรับจะขึ้นอยู่กับการนิยามสำหรับแต่ละการออกแบบ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ความไวของตัวควบคุม เป็นสัดส่วนผกผันกับ  $S_e$ ,  $S_{ce}$  และ เกนของตัวควบคุมแปรผันตรงกับ  $S_{\Delta u}$  ซึ่งสรุปไว้ในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลของพารามิเตอร์ปรับจูนตัวควบคุมพีชชีลอจิก

พารามิเตอร์	ความไว	เกน
$S_e \downarrow$	$\uparrow$	
$S_{ce} \downarrow$	$\uparrow$	
$S_{\Delta u} \uparrow$		$\uparrow$

หมายเหตุ  $\uparrow$  คือ การเพิ่ม  $\downarrow$  คือการลด

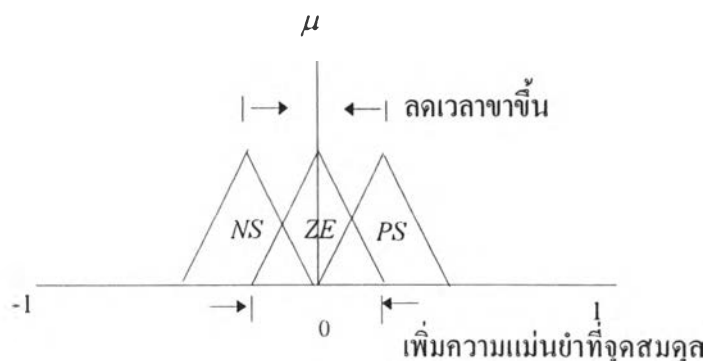
พารามิเตอร์ทั้งสามจะเป็นพารามิเตอร์หลักในการปรับจูน ซึ่งต้องทำการลองผิดลองถูกจนได้ผลตอบสนองที่น่าพอใจที่สุด อย่างไรก็ตามนอกจากพารามิเตอร์หลักแล้ว ในกรณีที่ต้องการปรับจูนละเอียดเพื่อให้ได้ผลการตอบสนองที่ดียิ่งขึ้นก็สามารถทำได้ด้วยการปรับแต่งตำแหน่งของฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอินพุตและเอาท์พุต คือฟังก์ชันสมาชิกของ  $e$ ,  $ce$ ,  $\Delta u$  ลักษณะการปรับจูนฟังก์ชันสมาชิกทำได้โดยการปรับเลื่อนตำแหน่งของจุดที่กำหนดโครงสร้างฟังก์ชัน (point1, point2, point3, point4) แล้วสังเกตผลการควบคุมให้ได้ผลดีที่สุด ตำแหน่งของฟังก์ชันสมาชิกจะมีผลต่อการตอบสนองของตัวแปรควบคุมดังนี้

ก. ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกของพารามิเตอร์อินพุต ( $S_e$ ,  $S_{ce}$ )

ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกพารามิเตอร์อินพุตจะมีผลต่อความไวของตัวควบคุมสำหรับการปรับจูนละเอียดในกรณีการเปลี่ยนเซตพอยท์ ฟังก์ชันสมาชิกที่ทำให้ได้ผลการตอบสนองที่เร็วที่สุดโดยไม่ทำให้เกิดโอเวอร์ชูทคือตำแหน่งฟังก์ชันของพีชชีเซตที่อยู่ใกล้จุดสมดุล ( $e$  และ  $ce$  เป็น ZE) นั่นคือตำแหน่งของพีชชีเซต  $NS$  และ  $PS$  การเลื่อนจุดยอด ( $\mu = 1$ ) ของ  $NS$  และ  $PS$



ให้เข้าใกล้ 0 จะทำให้ตัวควบคุมมีน้ำหนักในการตัดสินใจต่อการเปลี่ยนแปลงในช่วงใกล้จุดสมดุลง่ายขึ้น ทำให้ได้ผลตอบสนองที่เร็วขึ้น (มีเวลาขาขึ้นน้อย) แต่ถ้าเข้าใกล้จุดสมดุลง่ายมากเกินไปก็อาจทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ ลักษณะการปรับแสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.11 ลักษณะการปรับตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอินพุท

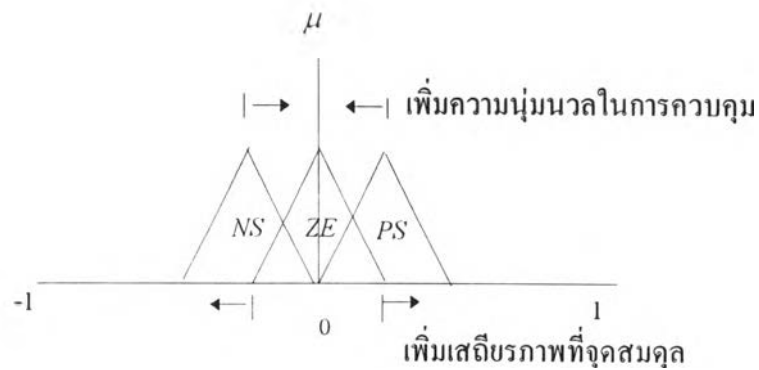
ตำแหน่งของฟังก์ชันสมาชิกของ ZE จะมีผลต่อความแม่นยำของจุดสมดุลของการควบคุมคือจุดที่ทำให้  $e$  และ  $ce$  เป็น 0 นั่นคือการเลื่อนตำแหน่งของพีซีซีเซต ZE ให้มีรูปร่างแคบลงจะทำให้ได้การควบคุมที่แม่นยำในช่วงใกล้จุดสมดุลง่ายขึ้น แต่ถ้า ZE มีรูปร่างกว้างขึ้นก็จะทำให้ตัวควบคุมมีความแม่นยำในช่วงใกล้จุดสมดุลลดลง

ข. ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรช่วย (AV)

ตำแหน่งพารามิเตอร์อินพุท AV มีผลต่อการตัดสินใจเลือกชุดของกฎที่สอดคล้องกับย่านปฏิบัติการตามพารามิเตอร์ AV นั่นคือการปรับตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกให้มีส่วนที่ซ้อนทับกันมากขึ้นก็จะทำให้ได้ผลการตัดสินใจที่เป็นค่าประมาณระหว่างย่านปฏิบัติการมากยิ่งขึ้น

ค. ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกของพารามิเตอร์เอาต์พุต ( $\Delta u$ )

ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกของ  $\Delta u$  มีผลต่อการกระทำของตัวควบคุม ในการปรับจูนละเอียดจะพิจารณาเฉพาะฟังก์ชันสมาชิกรอบจุดสมมูลนั่นคือ  $NS$ ,  $ZE$  และ  $PS$  การเลื่อนตำแหน่งของ  $NS$  และ  $PS$  ให้เข้าใกล้จุดสมมูลมากขึ้นจะเป็นผลให้ตัวควบคุมสร้างสัญญาณเอาต์พุตในช่วงใกล้จุดสมมูลได้นุ่มนวลขึ้น แต่ต้องไม่เข้าใกล้จนเกินไปเพราะจะทำให้ตัวควบคุมทำงานได้เชิงซ้ำไม่ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ ลักษณะการปรับจูนแสดงในรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 ลักษณะการปรับตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต

ความกว้างของ  $ZE$  จะมีผลต่อตัวแปรควบคุมในช่วงของจุดสมมูล โดยการกำหนดให้  $ZE$  มีช่วงที่กว้างขึ้นจะทำให้สัญญาณควบคุมที่จุดสมมูลนิ่งมากขึ้นแต่ต้องไม่กว้างจนเกินไปจนทำให้ตัวควบคุมทำงานช้าลง

ขั้นตอนการปรับจูนตัวควบคุมมีดังนี้

- (1) ตั้งค่าเซตพอยท์ที่ย่านเกณฑ์ ปรับตัวควบคุมแบบแมนวล แล้วปรับเอาต์พุตของตัวควบคุมจนกระทั่งความผิดพลาดเป็นศูนย์ที่สภาวะคงตัว

(2) เปลี่ยนเป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ ปรับเกนของตัวควบคุมโดยพารามิเตอร์ปรับจูน  $S_{du}$  จนกระทั่งได้ความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวเป็นศูนย์อีกครั้ง โดยที่ไม่ทำให้เกิดการแกว่งของเอาต์พุตจากตัวควบคุม

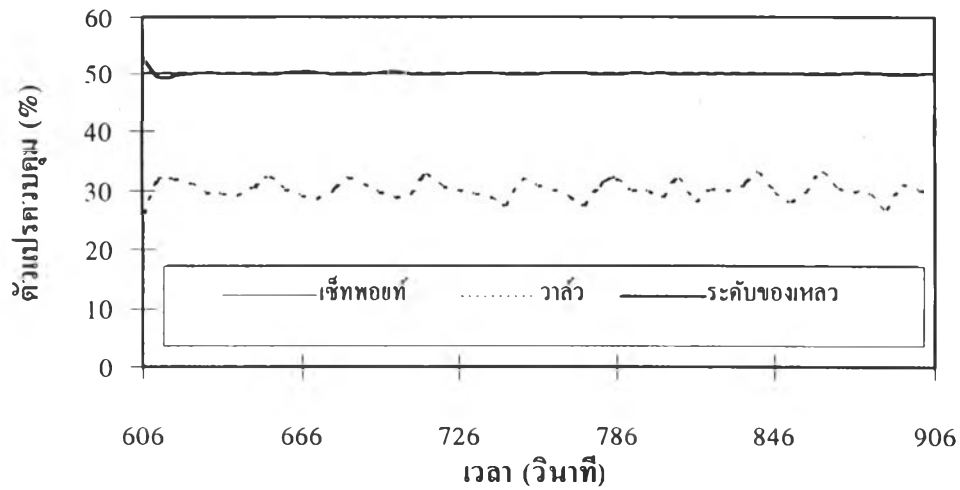
(3) ปรับความไวของตัวควบคุมโดยพารามิเตอร์  $S_e$  และ  $S_{ce}$  ทดลองเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์ คูผลตอบสนอง ปรับจูนละเอียดโดยปรับตำแหน่งและรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกจนได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด

(4) เปลี่ยนจุดปฏิบัติการไปที่ย่านเกนสูง ปรับจูนละเอียดโดยปรับตำแหน่งและรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรช่วย  $AV$  จนได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด

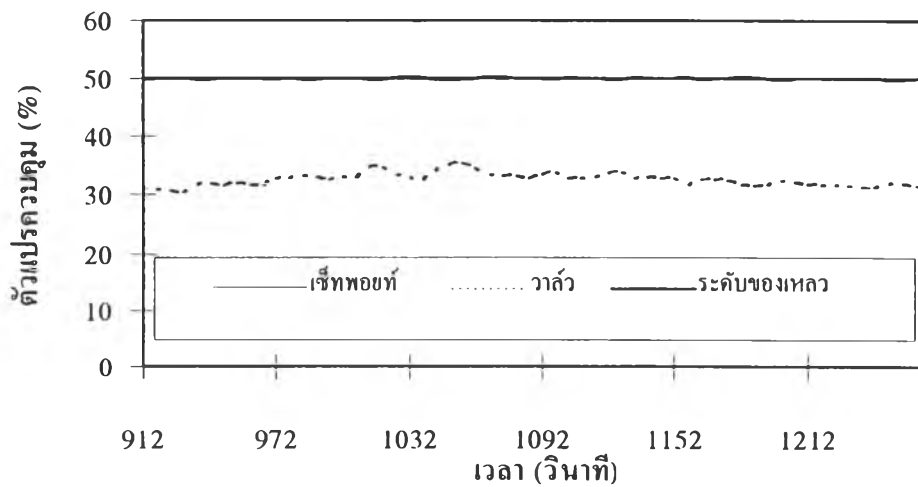
(5) ปรับแต่งกฎการควบคุมในกรณีที่ต้องการปรับแต่งผลการตอบสนองเฉพาะจุด ตัวอย่างการปรับจูนแสดงได้ดังนี้

ก. ผลของการปรับ  $S_{du}$

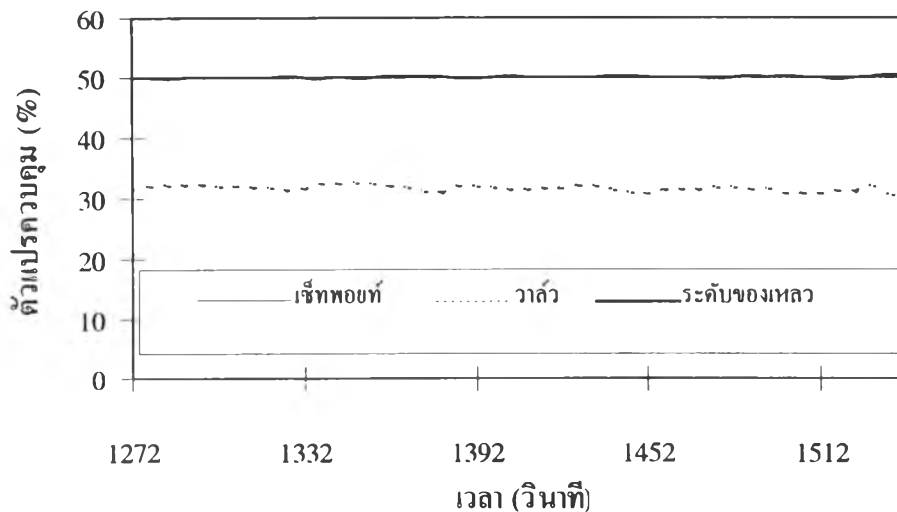
$S_{du}$  นั้นมีผลโดยตรงต่อสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมต่อสัญญาณอินพุตที่วัดได้ซึ่งก็คือเกนของตัวควบคุมนั่นเอง โดยถ้าเพิ่มค่า  $S_{du}$  ให้มากขึ้นในช่วง 0 ถึง 100 จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตที่รุนแรงขึ้นเป็นลำดับ การปรับจูนตัวควบคุมนั้นจะต้องทำการปรับลดค่าพารามิเตอร์นี้ที่สภาวะคงตัวโดยลดขนาดลงจาก 100 ให้เหลือค่าที่มากที่สุดที่ทำให้ไม่เกิดการแกว่งของทั้งตัวแปรควบคุมและเอาต์พุตของตัวควบคุม  $S_{du}$  ผลของการปรับพารามิเตอร์  $S_{du}$  โดยลดค่าจาก 100, 70 และ 45 แสดงในรูปที่ 5.13 5.14 และ 5.15 ตามลำดับ



รูปที่ 5.13 ผลการปรับจูนเมื่อ  $S_{du} = 100$



รูปที่ 5.14 ผลการปรับจูนเมื่อ  $S_{du} = 70$

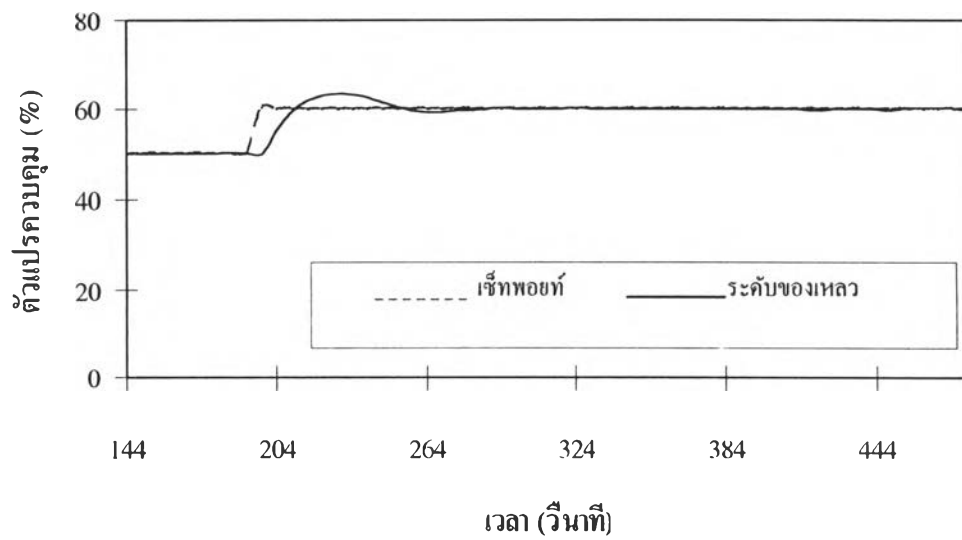


รูปที่ 5.15 ผลการปรับจูนเมื่อ  $S_{\Delta u} = 45$

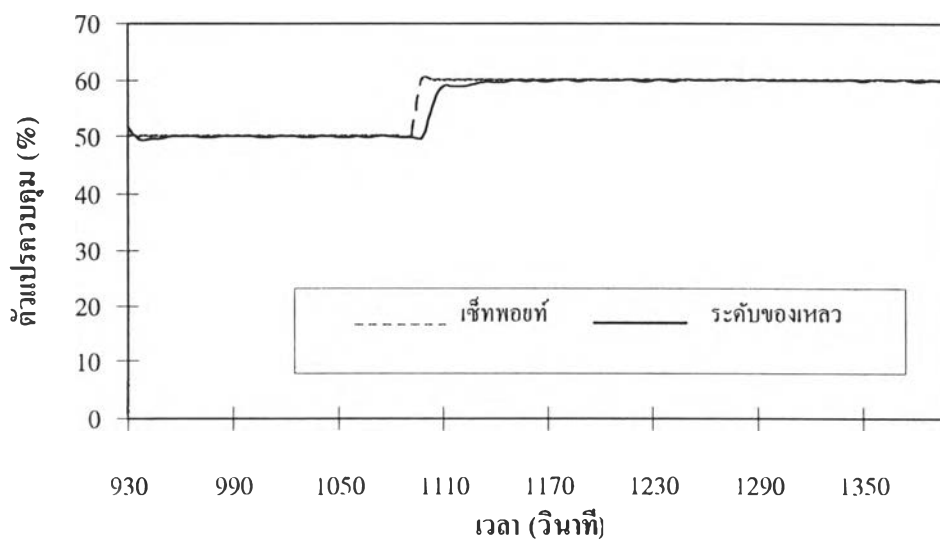
จากผลการปรับจูนจะเห็นว่าขนาดของ  $S_{\Delta u}$  จะทำให้ได้สัญญาณควบคุมที่นิ่งขึ้นเป็นลำดับ โดยการทดลองนี้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ  $S_{\Delta u} = 45$

#### ข. ผลของการปรับ $S_{ce}$

$S_{ce}$  มีผลต่อความไวของการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดซึ่งมีผลต่อการตอบสนองของตัวแปรควบคุม การตั้งค่าความไวมากเกินไปจะทำให้ได้ผลตอบสนองที่มีการแกว่งก่อนเข้าสู่สมดุลมาก (มีเวลาสู่สมดุลมาก) และการควบคุมที่สภาวะคงตัวไม่ดี การตั้งค่าความไวที่น้อยเกินไปก็มักจะทำให้เกิดโอเวอร์ชูทของตัวแปรควบคุม การปรับ  $S_{ce}$  ที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลตอบสนองเมื่อมีการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ที่ดีและนุ่มนวล ค่าที่กำหนดของ  $S_{ce}$  จะอยู่ในช่วง มากกว่า 0 ถึง 100 ผลของการปรับพารามิเตอร์  $S_{ce}$  โดยลดค่าจาก 80 เป็น 17 (กำหนดค่า  $S_e = 80$  ฟังก์ชันสมาชิกตามรูปที่ 5.4 กฎการควบคุมตามตารางที่ 5.2- 5.4) แสดงในรูปที่ 5.16 5.17 ตามลำดับ

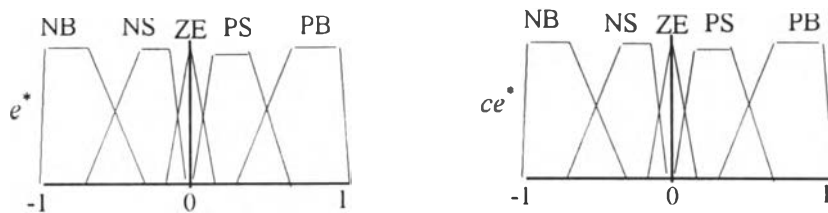


รูปที่ 5.16 ผลการปรับจูนเมื่อ  $S_{ce} = 80$

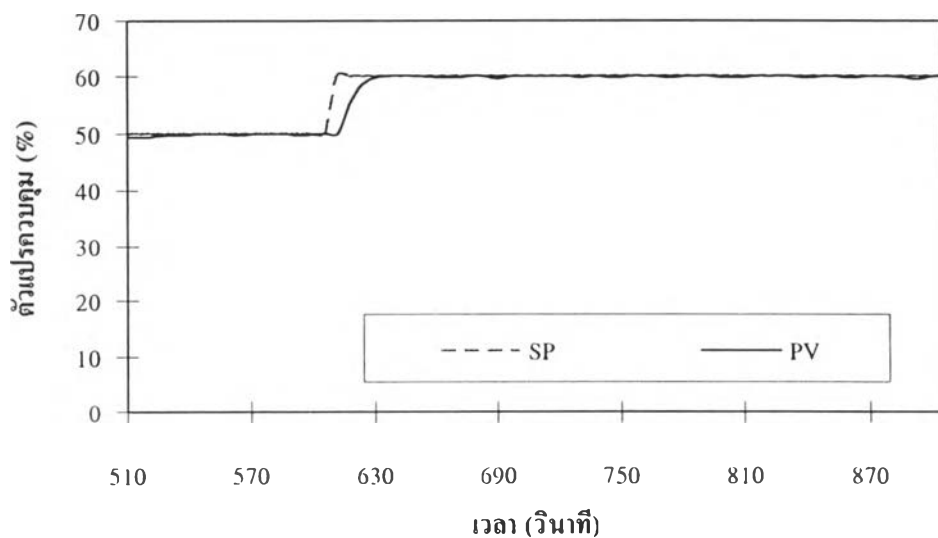


รูปที่ 5.17 ผลการปรับจูนเมื่อ  $S_{ce} = 17$

ตัวอย่างผลการปรับ  $S_{ce}$  แสดงให้เห็นว่า เมื่อลดค่า  $S_{ce}$  ลงมาจาก 80 เป็น 17 ทำให้ตัวแปรควบคุมไม่เกิดโอเวอร์ชูท แต่ยังคงมีการแกว่งของตัวแปรควบคุมก่อนเข้าสู่สมดุลอยู่บ้าง การแก้ไขทำได้โดยทำการปรับจูนละเอียดด้วยการปรับจูนฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอินพุต  $e$  และ  $ce$  ตามที่ได้เสนอแนวทางไว้แล้วข้างต้น ในกรณีนี้จะทำการเลื่อนจุดยอดของฟังก์ชัน  $NS$  และ  $PS$  ให้เข้าใกล้จุดสมดุลมากขึ้นตามรูปที่ 5.18 ซึ่งจะทำให้ได้ผลตอบสนองที่ดีขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.19



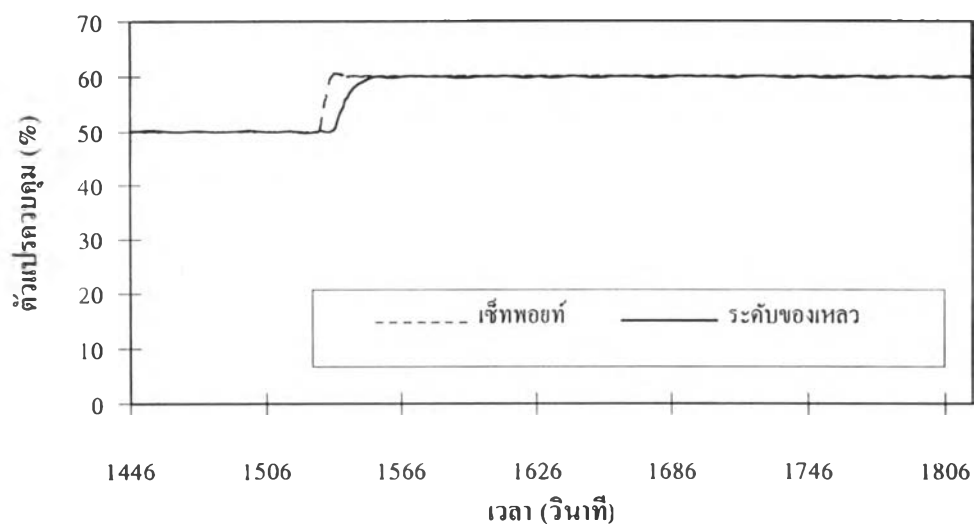
รูปที่ 5.18 การปรับจูนละเอียดด้วยฟังก์ชันสมาชิก



รูปที่ 5.19 ผลการปรับจูนเมื่อ  $S_{ce} = 17$  (หลังจากปรับฟังก์ชันสมาชิก)

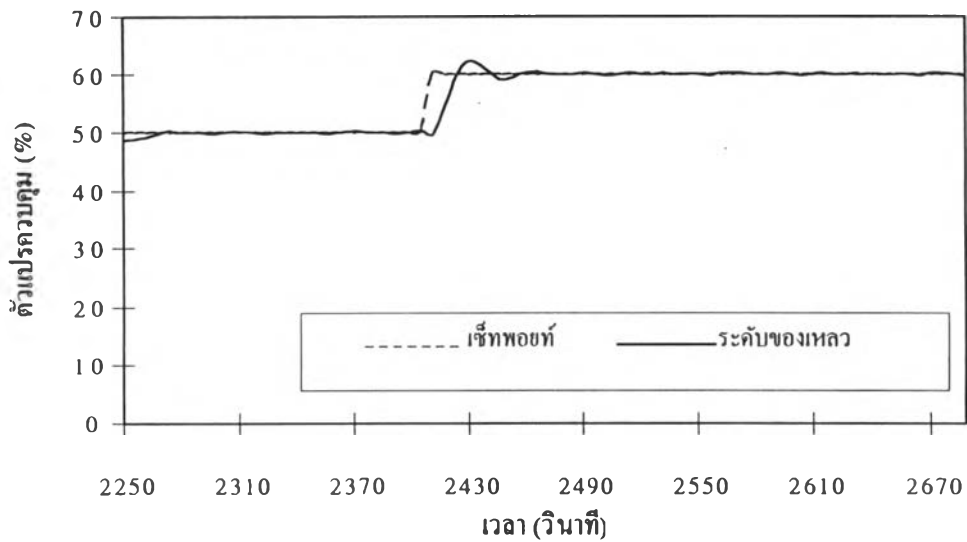
ค. ผลของการปรับ  $S_e$

$S_e$  มีผลต่อความไวของตัวควบคุมต่อขนาดของความผิดพลาดที่วัดได้ การปรับจะเหมือนกับ  $S_{ce}$  ซึ่งจะใช้ปรับช่วยในกรณีที่  $S_{ce}$  ไม่สามารถทำงานได้ดี หรืออาจใช้ปรับแต่งให้ได้ผลตอบสนองของตัวแปรควบคุมที่ดีขึ้น โดยปกติแล้ว  $S_e$  จะตั้งค่าไว้ที่ 100 แล้วปรับลดลงมาเรื่อยๆ จนได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด ผลของการปรับพารามิเตอร์  $S_e$  โดยลดค่าจาก 80 เป็น 20 แสดงในรูปที่ 5.20 และ 5.21 ตามลำดับ



รูปที่ 5.20 ผลการปรับจูนเมื่อ  $S_e = 80$





รูปที่ 5.21 ผลการปรับจูนเมื่อ  $S_e = 20$

ผลของ  $S_e$  แสดงให้เห็นว่าการลดขนาดของ  $S_e$  จะทำให้ได้ผลตอบสนองที่ไม่ดีนัก โดยที่

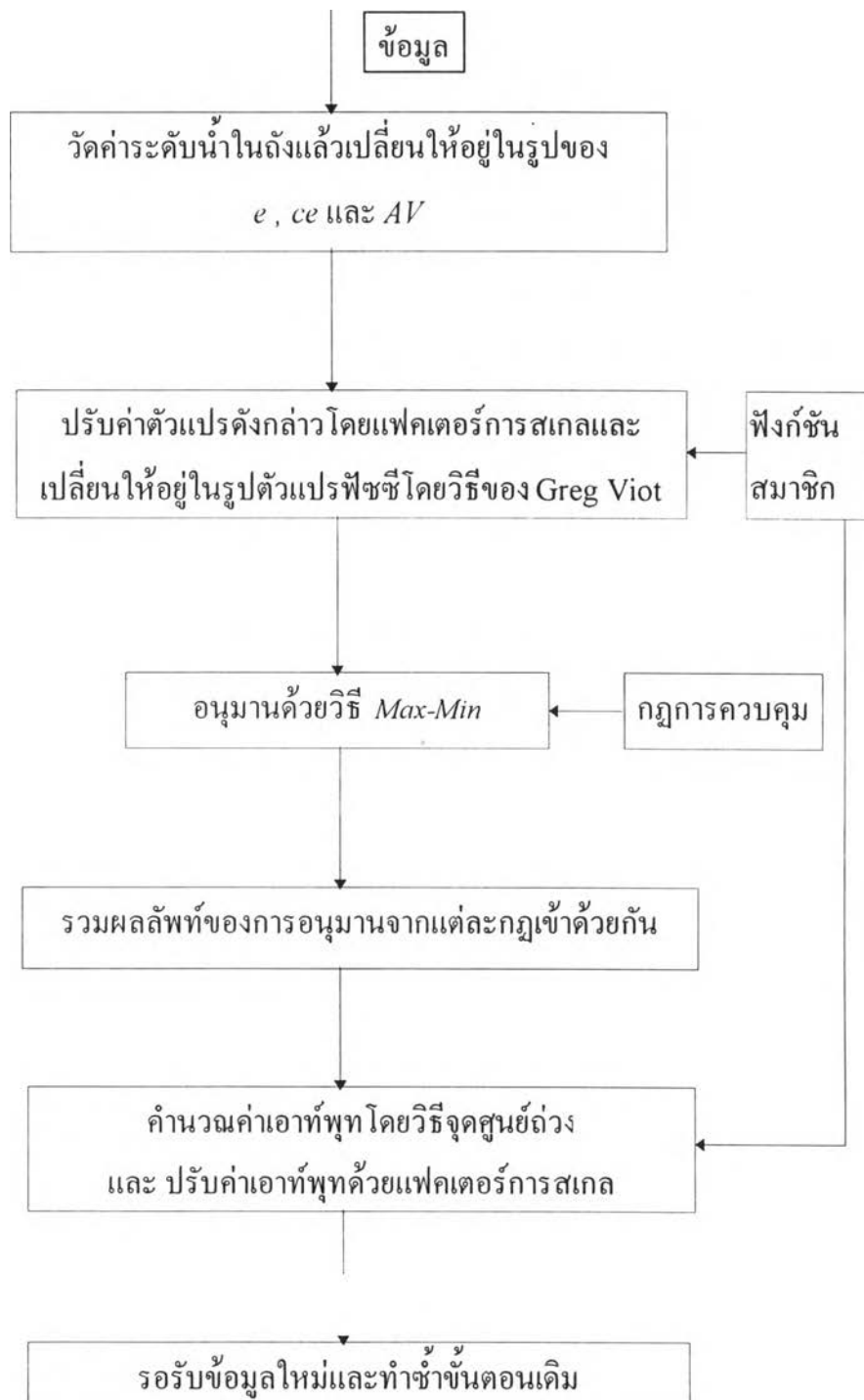
$S_e = 20$  จะทำให้เกิดโอเวอร์ชูทกับกระบวนการ

จากผลการทดลองปรับจูนทั้งหมดจึงพอที่จะสรุปได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทดลองนี้คือ

$$S_e = 80 : S_{ce} = 17 : S_{du} = 45$$

อย่างไรก็ตามค่าพารามิเตอร์เหล่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้บ้าง ซึ่งแล้วแต่ความพอใจในผลการตอบสนองของผู้ปรับแต่ละบุคคล

จากขั้นตอนการออกแบบทั้งหมดสรุปได้ในรูปแผนภูมิสายงานในรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 แผนภูมิสายงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก